

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

1692

Grundriss der Wildbachverbauung.

Erster und zweiter Theil

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000297192

A. 6

Grundriss der Wildbachverbauung.

Von
Ferdinand Wang.

Professor an der k. k. Hochschule für Ingenieurwesen in Wien,
Lehrer des Fachs Wasserbau, Franz Joseph-Gebäude 100.

Erster Theil.

Mit 25 Abbildungen und 25 Figuren im Texte.



Leipzig

Verlag von S. Hirzel

1881

944 45

Reichsverkehrsministerium

Planamter

Bestandnummer Nr. 292

Verlag des Reichsverkehrsministeriums

X
1211

Grundriss

der

Wildbachverbauung.

Von

Ferdinand Wang,

k. k. Forstrath. a. ö. Professor der k. k. Hochschule für Bodencultur in Wien,
Ritter des kais. österr. Franz Joseph-Ordens etc.

Erster Theil.

Mit 25 Abbildungen und 25 Figuren im Texte.



L. Han.

Leipzig
Verlag von S. Hirzel
1901.

944.45.

Reichsverkehrsministerium

* Plankammer *

Bestandsbuch Nr. *292*

Leitwort: *Grünfelder* Spind. Fach.

Das Recht der Uebersetzung ist vorbehalten.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

II. 1692

Akc. Nr. 164 149

Dem Andenken
an die unermüdlichen Förderer
der
Wildbachverbauung
in
Oesterreich, Frankreich und in der Schweiz,

Julius Grafen Falkenhayn,

weiland k. k. Ackerbauminister,

Prosper Demontzey,

weiland französischem Generalforst-Inspector,

Elias Landolt,

weiland eidgenössischem Oberforstmeister
und Professor am Züricher Polytechnikum,

Dr. Arthur Freiherren von Seckendorff,

weiland o. ö. Professor der k. k. Hochschule für Bodencultur in Wien,

und

Johann Salzer,

weiland k. k. Ministerial-Rath,

gewidmet vom

Verfasser.

Vorrede.

Der liebenswürdigen Einladung der Verlagsbuchhandlung S. Hirzel in Leipzig folgend, habe ich mich gerne entschlossen, einen „Grundriss der Wildbachverbauung“ zu verfassen, scheint mir doch das Bedürfniss für ein solches Buch in Fachkreisen vorhanden zu sein.

Zwar ist die Literatur über Wildbachverbauung heute bereits eine reichhaltige, doch dürfte die Veröffentlichung dieses Buches namentlich deshalb erwünscht fallen, weil es nach Absicht des Verfassers die Grundzüge der Wildbachverbauung nach jeder Richtung hin behandeln und auch geeignet sein soll, als Nachschlagewerk für die gesammte Fachliteratur zu dienen.

Die Lehre der Wildbachverbauung gründet sich in ihrer heutigen Entwicklung zunächst auf die Erkenntniss aller jener kosmischen und tellurischen Erscheinungen, die auf das Regime der Gewässer von Einfluss sein müssen.

Hiemit im Zusammenhange sind es die Ursachen der Geschiebeführung, die Gesetze des Geschiebetransportes, bezw. der Ablagerung desselben, welche die genannte Lehre, die sich auch mit den wirksamen Gegenmaßregeln zu beschäftigen hat, umfasst.

In dieser Ausgestaltung bildet sie einen ganz speciellen, auf naturwissenschaftlicher Grundlage fußenden Wissenszweig, welcher seine ganz besondere Ergänzung in den Lehren der Forstwissenschaft, dann aber auch der Culturtechnik, sowie des Ingenieurwesens findet.

Dieser Rahmen ist dem Buche gesetzt, welches im vorliegenden ersten Theile die allgemeinen Grundzüge, im folgenden zweiten Theile die Anwendung derselben auf die wirksamen Gegenmaßregeln behandeln soll,

Wenn dabei die Waldfrage in eingehenderer Weise behandelt wurde, so ist dies in ihrer Bedeutung und in dem Umstande begründet, dass diesbezüglich oft ganz entgegengesetzte Anschauungen obwalten.

Möge die vorliegende Arbeit, deren Gelingen gewiss kein leichtes ist, nicht zu strengen Beurtheilern begeben!

Wenn dieselbe einzelnen Förderern der Wildbachverbauung gewidmet ist, so geschah dies in pietätvoller Anerkennung ihrer Verdienste und der persönlichen Beziehungen zu dem Verfasser wegen. Es soll daher damit keinerlei Schatten auf alle anderen Männer geworfen sein, welche bisher gleichfalls für die Sache gewirkt haben, beziehungsweise für sie noch wirken!

Wien, im November 1901.

Der Verfasser.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Vorrede	
Einleitung	1
Allgemeiner Theil	7
I. Abschnitt. Charakteristik der Wildbäche	9
Eintheilung der Wildbäche und Gliederung des Niederschlags- gebietes	12
Eintheilung der Wildbäche	12
Gliederung des Niederschlagsgebietes	18
Herkommen des Geschiebes	26
Verwitterung	26
Bergstürze und Steinschläge	31
Gletscher	37
Lawinen	44
Erosion und Corrosion	52
Unterwühlung	59
Murgänge	64
II. Abschnitt. Vegetation und Wirthschaft im Wildbachgebiete . .	74
Allgemeiner Einfluss der Pflanzendecken auf das Regime der Gewässer	75
Der Wald und dessen Bedeutung im Wildbachgebiete	77
Waldklimafrage	78
Absorption und Retention der Niederschläge durch das Waldland .	95
Mechanisches Abflusshinderniss, Verminderung der Geschiebeführung	106
Die Waldwirthschaft im Wildbachgebiete	110
Kahlschlag oder Plenterbetrieb	112
Die Nebennutzungen im Walde, Besitzesverhältnisse, Holztransport, Entwässerung von Waldland und von Gebirgsmooren	115
Die Alpen- und Weidewirthschaft im Wildbachgebiete	121
Das Oedland	130
III. Abschnitt. Die Ursachen der Wasserverheerungen	136
Die Ueberschwemmungen	136
Zunahme der Ueberschwemmungen	136
Ursachen der Ueberschwemmungen	142
Die Wildbachverheerungen und ihre Ursachen	152
Schlussfolgerung über die Ursachen der Ueberschwemmungen und der Wildbachverheerungen	156

	Seite
IV. Abschnitt. Die Gesetze der Bewegung des Geschiebes	161
Allgemeine Bewegungsgesetze	162
Die Schleppekraft des Wassers	162
Der Einfluss der Geschiebeführung auf die Bewegung des Wassers .	165
Der Stoß des Wassers auf das Geschiebe und der Widerstand des letzteren	167
Die Grenzgeschwindigkeit des Wassers und dessen Sättigung mit Geschiebe	176
Die Gesetze der Sohlenerosion und die natürliche Entwicke- lung des Längenprofils	180
Der Einfluss der Wasserführung auf die Veränderungen in den Querprofilen	195
Die Bildung der Schuttkegel	200
Anhang	208

Berichtigung.

Seite 25, 2. Zeile von unten statt „Terrainfiguration“ soll es heißen „Terrain-
configuration“.

Seite 49, 18. Zeile von oben statt „eine Breite von 168 Meter“ soll es heißen
„eine Breite von 168 Metern“.

Einleitung.

Das hohe volkswirtschaftliche Interesse, welches sich an Vorbeugungsmaßregeln gegen Wildbachverheerungen knüpft, ließe sich wohl am besten aus der Geschichte der letzteren ableiten.

Mangels genügender verlässlicher Daten ist diese Aufgabe kaum zu lösen.

Trotzdem soll und zwar an der Hand einer kurzen historischen Skizze versucht werden, die Möglichkeit der Beurtheilung jener unermesslichen Werthe zu bieten, welche, es kann wohl gesagt sein, seit Jahrtausenden den Wildbächen zum Opfer fallen.

Auf die Frage, wie lange Wildbäche bestehen und wie lange sie verheerend wirken, lässt sich mit Dr. Paul Lehmann¹⁾ antworten:

„Seit Wasser von den Bergen ins Thal eilen.“

Dieser Anschauung nach reicht die Thätigkeit der Wildbäche in prähistorische Zeiten zurück, was Dr. Lehmann mit den folgenden Worten noch näher zu erörtern sucht:

„Drei Perioden lassen sich in der Geschichte der Wildbäche unterscheiden, von denen die mittlere vermuthlich die friedfertigste war. Je größer die Ungleichheiten des Gefälles im Anfang, während der ersten Periode waren, um so größer musste die Wirkung der Gewässer bei ihrer nivellirenden Tendenz sein. Sie durchsägten die weichen Gesteine, füllten hinter festen Querriegeln große Seen aus und schoben in die großen Becken ihre mehr oder minder regelmäßig ausgeführten Bauten hinaus. Allmählich aber ward der Kampf weniger heftig, das Gefälle glich sich mehr aus und wo Schutt und Eis sich zurückzogen, fasste die Vegetation Fuß.

1) „Die Wildbäche der Alpen“; von Dr. Paul Lehmann. Breslau 1879.
Wang, Wildbachverbauung.

So bekleideten sich die Berge hoch hinauf, und nur ausnahmsweise gingen die Bäche während dieser zweiten Periode von einer regelmäßigen langsamen Thätigkeit zu einer gewaltsamen über. Als der Mensch in die Alpenthäler vordrang, war der Anfang zum Baue vieler Schuttkegel lange gemacht, darauf lässt wenigstens mit ziemlicher Sicherheit der Umstand schließen, dass auf ihnen so viele Ortschaften und zwar nach Annahme Schlagintweits zum Schutze vor Versumpfungen angesiedelt sind. Sicher wäre dies nicht geschehen, wenn man diese Ansiedelungsplätze als besonders bedroht gekannt hätte. Sie waren es in der That auch nicht, so lange der schützende Wald die Abhänge der Berge bedeckte, sie wurden es erst, als der Mensch den von der Natur geschaffenen Schutz zerstörte und so die dritte Periode herbeiführte. Runsen bildeten sich an den Abhängen, die Bäche veränderten ihren Charakter und führten die unter dem Schutze des Waldes in Jahrtausenden gebildete lockere Erde ins Thal, neue Schuttkegel bildeten sich, an alten wurde mit erneuerter Energie zum Schrecken der Thalbewohner weiter gebaut.“

Von Vermuthungen, wie solche der vorstehenden Anschauung zu Grunde liegen, abgesehen, lässt sich doch behaupten und feststellen, dass die verheerende Thätigkeit der Wildwässer bis in das graue Alterthum zurückreicht. Die alten Culturvölker standen mit ihnen im Kampfe, wofür mannigfache Anhaltspunkte vollen Beweis liefern.

So stellte man im Alterthum gerne die Flüsse und Ströme als Stiere dar, vermuthlich nur um den Kampf der menschlichen Einsicht mit der wilden Naturkraft zum Ausdrucke zu bringen.

Die schnaubenden Nüstern, der trotzige volle Mund, der stiere Blick, die kraftvolle Breite des aus dem unbeugsamen Nacken scheinbar herauswachsenden Hauptes des Flussgottes drücken die elementaren Gewalten des wilden Bergstromes deutlich aus.

Schon Plato hat im sechsten Buche seiner Gesetze Vorschläge zur unschädlichen Ableitung der Gebirgswässer gemacht und empfohlen, dafür Sorge zu tragen, dass die Gewässer, welche von den Höhen in tiefe Gebirgsschluchten herabstürzen, dem Lande nicht schaden, sondern nützen.

Horaz vergleicht die in der Zukunft gelegene große Unsicherheit, das Zukunftsdunkel, mit den wechselnden, unbeständigen Wogen der Gebirgsbäche und seine Schilderung: „Das Uebrige rollt dahin, einem Strome gleich, der bald ruhig im gewohnten Bette seine Fluthen dem Etruskischen Meere zuführt, bald wüstes

Gerölle, der Bäume entwurzelte Stämme, Herden und der Menschen Behausung mitreißt, — nicht ohne der Berge und des benachbarten Waldes Gebrüll“ —, führt die Thätigkeit des Wildbaches recht anschaulich vor Augen.

Auch andere Schriftsteller der Alten, so Livius, erwähnen nicht selten die wilde Gewalt des entfesselten Elementes und die Schwierigkeiten, mit welchen Hannibal auf dem von den Hochwässern der Durance verwüsteten Thalboden zu kämpfen hatte, sind genugsam bekannt.

Uebrigens lassen Ueberreste mächtiger Steindämme in Aegypten darauf schließen, dass auch in diesem Lande die Zurückhaltung des Geschiebes im Alterthum nöthig fiel.

Der Kampf mit den Wildwässern ist sonach, wie schon aus diesen kurzen Bemerkungen hervorgeht, ein alter und ein sich ununterbrochen seit Menschengedenken bis in die jüngste Zeit fortsetzender.

Auch geologische Verhältnisse lassen dies unzweifelhaft erkennen.

Die gewaltige Denudationsarbeit, welche die Wässer namentlich in den Gebirgsländern bisher geleistet haben, liefert hiefür vielleicht den besten Beweis!

Die Alpen, ein verhältnissmäßig noch junges Gebirge, haben schon eine so gewaltige Abtragung erfahren, dass sie nur mehr als die Ruinen ihres früheren Bestandes anzusehen sind. So wird für die Centralalpen angenommen, es sei ihr jetziges Volumen über dem Meeresniveau nur um wenig größer, als das Volumen dessen, was durch Abtragung bereits vernichtet wurde.

Ist diese Annahme nur halbwegs richtig, so ist das Wasser gewiss durch unfassbare Zeiträume hindurch erodirend thätig gewesen, wenn die Erosionswirkung auch in den verschiedenen Zeitperioden eine vielleicht ungleich rasch fortschreitende, eine für die Thalbewohner ungleich gefahrbringende gewesen sein mag. Unzweifelhaft nimmt aber ihre für den Menschen unheilvolle Bedeutung mit dem Fortschritte der Cultur stetig zu.

Dass auch das Mittelalter von durch Wildwässer hervorgerufenen Elementarereignissen heimgesucht und vielleicht nicht seltener heimgesucht wurde, als die Neuzeit, geht aus der Chronik der Ueberschwemmungen hervor, welche Sonklar²⁾ in so treff-

2) „Von den Ueberschwemmungen“; von Karl Sonklar, Edlen von Innstaedten, Wien 1883.

licher Weise zusammengestellt hat. Danach und bezüglich Tirol durch alte Aufzeichnungen nachgewiesen, reichen gewaltige, mit Verlust an Menschenleben und an Thieren, sowie an anderen werthvollen Gütern verbundene Wasserfluthen in Tirol bis in das 4. Jahrhundert n. Chr., in Italien bis 585, in Kärnthen und Krain bis 792, in Steiermark bis 1194, in Deutschland bis 1281 n. Chr. zurück.

Und so wie in Tirol, um nur ein Beispiel herauszugreifen, woselbst nachweisbar ³⁾ große Ueberschwemmungen in den Jahren 1400, 1515, 1520, 1597, 1616, 1728, 1757, 1758, 1762, 1817, 1821, 1839, 1857, 1858, 1882 eintraten, so setzt sich die Reihe der Verheerungen auch in vielen anderen Ländern bis in die neueste Zeit fort. Mag vielleicht auch ihre Heftigkeit entgegen der oft beliebten Annahme nicht besonders zunehmen, ihre Schädlichkeit muss, wie schon betont, eine stets größere werden, denn der Werth der menschlichen Güter ist ein steigender!

Und die Schädlichkeit selbst, sie offenbart sich, wenn erwogen wird, dass unter der Einwirkung der vorgedachten stetigen, erodirenden, transportirenden und ablagernden Thätigkeit der Wässer im allgemeinen und der Wildwässer im besonderen, der Lauf der Flüsse, die Configuration des Bodens, die Vertheilung von Land und Meer, und damit wohl auch, sicherlich wenigstens örtlich, die klimatischen Verhältnisse nicht unwesentliche, zumeist mit Gefahren für den Menschen und seine Culturbestrebungen verbundene Veränderungen erfahren müssen. Wenige Beispiele des gewaltigen, wohl in erster Reihe auf die Thätigkeit der Gebirgswässer zurückzuführenden Geschiebetransportes lassen obige Behauptung gerechtfertigt erscheinen.

Die Rienz soll nach Breitenlohner ⁴⁾ am 17. September 1882, d. i. zur Zeit der grossen Hochwasserkatastrophe in Tirol und Kärnthen, durch 24 Stunden, 18 000 000 Metercentner Sedimente, wasserfrei gedacht, die Drau in Tirol, die Rienz, der Eisack und die Etsch im September und October 1882 zusammen über 1 000 000 000 Metercentner Geschiebe getragen haben, das sind Verhältnisse, wie sie der Mississippi, dessen Delta ca. 320 Km² beträgt und der jährlich ca. 130—150 Millionen Cubikmeter Schlamm an seiner Mündung absetzen soll, nicht aufzuweisen hat. Die jährliche

3) „Die Lage Brixens“; Gedenkschrift. Brixen 1882.

4) „Wie Murbrüche entstehen, was sie anrichten, wie man sie bündigt“; von Dr. Jakob Breitenlohner. Wien 1883.

Schlammführung der Rhone wird mit ca. 17 000 000 m³, jene der Donau mit ca. 35 500 000 m³ und jene des Po, welcher von letzterer an Wassermasse um das fünffache übertroffen wird, mit ca. 43 000 000 m³ geschätzt. Unter diesen Verhältnissen ist die Thatsache begreiflich, dass das Delta der Rhonemündung jährlich um 16, jenes des Po um 70 m vorrücken. Professor Intze⁵⁾ berichtet, dass in Frankreich durch die Flüsse jährlich düngende Sinkstoffe im Werthe von 30 Mill. Francs in das Meer geführt werden, und dass die Elbe bei Lobositz in Böhmen jährlich 975 Mill. kg. Stoffe theils schwebend, theils gelöst mit sich führt.

Wenn von diesen concreten, augenfälligen Beispielen allgemein geschlossen wird, so muss erkannt werden, dass durch den zumeist im Gebirge seine Grundursachen findenden Geschiebetransport und seine Folgen, bedeutende Flächen Landes unproductiv werden müssen oder doch nicht entsprechend ihrer Bodenbeschaffenheit ausgenützt werden können.

Es überrascht förmlich, wenn Duile⁶⁾ die Flächengröße solcher Landesstrecken in Tirol auf ein Dritteltheil der Gesamtfläche des Landes schätzt oder wenn behauptet wird, es habe die „Haute Provence“ in der Zeit vom XV. bis zum XVIII. Jahrhundert die Hälfte ihres Culturlandes auf gedachte Weise verloren.⁷⁾

Einleuchtender sind solche Behauptungen, wenn erwogen wird, dass die Versumpfung vieler ausgedehnter Gebirgsthäler, so des Salzachthales im Oberpinzgau, des Gailthales in Kärnthen und anderer Thäler, mit Recht auf die Thätigkeit der Wildbäche zurückzuführen ist.

Selbstverständlich muss dieser so hervorgerufene Entgang an culturfähigem Boden um so mehr auf die allgemeinen Landesverhältnisse, ja auf die Verhältnisse ganzer Staaten zurückwirken, als zu dem gemeinten Schaden noch mitunter ganz enorme Beschädigungen an Communicationen aller Art, an Baulichkeiten

5) „Ursachen und Folgen der jähen Ueberschwemmungen und die Mittel zu deren Beseitigung unter besonderer Berücksichtigung der Stauweiher, Thalsperren als Reserven für Bewässerungen und Kraftanlagen“; von Christov Seiler. München und Leipzig 1899.

6) „Ueber Verbauung der Wildbäche in Gebirgsländern“; von Josef Duile. Innsbruck 1826.

7) „La Provence au point de vue des inondations avant et après 1789“ von Ribbe, bezw. „Die Wildbäche der Alpen“; von Dr. Paul Lehmann“.

u. s. w. hinzuzurechnen sind. So wird es begreiflich, wenn Ule⁸⁾ schreibt: „Diese zerstörende Thätigkeit der Gebirgsströme in den französischen Alpen ist für den Geschichtschreiber eine der merkwürdigsten Erscheinungen, da sie ihn die Ursachen beweisen lässt, welche die Entvölkerung mancher Ländtriche Syriens, Griechenlands, Kleinasiens, Afrikas und Spaniens herbeigeführt haben. In den 305 Jahren von 1471—1776 hatten die Departements der Hoch- und Niederalpen den dritten Theil, die Hälfte und sogar drei Viertheile ihrer Culturgründe verloren. Von 1863—1866 hat sich die Bevölkerung dieser beiden Departements um 25 000 Köpfe, d. i. nahezu um ein Zehnthel vermindert.“

Wenn schließlich noch auf jene großen Katastrophen hingewiesen wird, von welchen Oesterreich im Jahre 1882 zweimal, dann in rascher Folge in den Jahren 1897 und 1899 Oesterreich, sowie Theile des deutschen Reiches, so namentlich Schlesien, Sachsen heimgesucht wurden, so geschieht dies, um der Behauptung noch mehr Nachdruck zu geben, dass es Pflicht eines jeden Einzelnen, Pflicht eines jeden Landes, Staates ist, das Seinige zur Bekämpfung des gemeinsamen Feindes beizutragen. Wissenschaft und Erfahrung bieten hiezu wahrlich, wie dies in den folgenden Abschnitten dargelegt werden soll, der Mittel genug.

8) „Die Erde und die Erscheinungen ihrer Oberfläche“; von Dr. Otto Ule. Braunschweig 1892.

Allgemeiner Theil.

I.

Charakteristik der Wildbäche.

Aus naheliegenden Gründen ist es nicht leicht möglich, mit kurzen Worten eine allgemein geltende, sich allen Verhältnissen anschmiegende und dabei doch erschöpfende Charakteristik der Wildbäche aufzustellen. Zeigen schon oft die Bäche der Alpen je nach den geognostischen, oro- und hydrographischen, dann wirthschaftlichen Verhältnissen der Niederschlagsgebiete wesentlich von einander verschiedene Charaktere auf, so müssen sowohl der Bach des Mittelgebirges, als auch der Bach der Niederung, wenn zum Wildwasser geworden, ganz besondere unterscheidende Merkmale an sich tragen.

Ein meist in verhältnissmäßig kurzen, mehr oder minder steilen Rinnsalen fließendes, rasch anschwellendes Gewässer, welches, durch verschiedene Umstände veranlasst, seine Ufer, seine Sohle in Bewegung setzt, Materiale, d. i. Gerölle thalabwärts führt und dieses an gewissen Oertlichkeiten, und zwar in der Regel schadenbringend ablagert, das ist ein „Wildbach“, welche letztere Bezeichnung allen jenen Gewässern, die mit Recht in diese Kategorie eingereiht werden, für sich schon einen gewissen, sie vielleicht kurz am besten kennzeichnenden Stempel aufdrückt.

Nicht ununterbrochen, wenigstens nicht sichtlich ununterbrochen, kann der Wildbach in vorbeschriebener Weise thätig sein. Nur bei gewissen Anlässen führt er, dann aber gewöhnlich mit außerordentlicher Vehemenz große Wassermassen zu Thale, und es ist diese plötzliche Entfesselung als eine seiner wesentlichsten Eigenschaften anzusehen.

Muss schon die plötzliche oder doch sehr rasche Zufuhr großer Wassermassen Unzukömmlichkeiten und Gefahren aller Art mit sich bringen, wie groß müssen diese erst werden, wenn

dem entfesselten Elemente, wie dies zumeist der Fall, Schotter, Gerölle, entwurzelte Bäume u. dgl. m. beigemengt sind, wenn die weitere Eigenschaft des Wildbaches, die besondere Geschiebeführung zutrifft!

Jeder Entfesselung, die als ein im gewissen Sinne krankhafter Zustand des Wasserlaufes anzusehen ist, muss verhältnissmäßig rasch wieder ein Zustand der Ruhe folgen, denn mit der Abnahme des Wassers erlahmt die Kraft des empörten Elementes, und unbekümmert um die Oertlichkeit sinkt die mitgeführte Last, welche der normale, gesunde Wasserlauf nicht mehr zu bewegen vermag. Die rasche Entfesselung, die Zufuhr von großen Wasser- und Geschiebemassen, dann die in der Regel gefahrvolle Ablagerung der letzteren, das sind sonach Eigenschaften, welche den Wildwässern unter allen Umständen zukommen.

Auch größere Gewässer, die man füglich nicht als Bäche bezeichnen kann, besitzen diese vorgenannten Eigenschaften, doch darf nicht übersehen werden, dass sie dieselben den Wildbächen verdanken, aus welchen sie sich zusammensetzen.

Es sind dies die wildbachartigen Flüsse, welche schon Fabre⁹⁾ und Surell¹⁰⁾ von den eigentlichen Wildbächen geschieden hat. Ersterer nennt sie „torrents rivières“, letzterer „rivières torrentielles“ zum Unterschied von „torrents“, den Wildbächen. Ein wesentlicher Unterschied zwischen beiden dürfte wohl darin zu suchen sein, dass die eigentlichen Wildbäche mit verhältnissmäßig kurzem Laufe und steilem Gefälle vorherrschend die Tendenz zeigen, ihre Sohle zu vertiefen, zu kolken, während die wildbachartigen Flüsse mit verhältnissmäßig längerem Laufe und geringerem Gefälle den Charakter des Flusses an sich tragen, d. h. ihr Bett vorherrschend zu erhöhen trachten und sich entweder gar nicht oder doch nur in geringem Maße und auf kurzen Strecken kolkend verhalten. Sie gehören jener Kategorie an, welche Studer¹¹⁾ als die Gebirgsströme bezeichnet, das sind Gewässer, welche sich aus mehreren Wildbächen zusammensetzen, durch größere Wassermassen und auch überdies noch dadurch kenn-

9) „Essai sur la théorie des torrents et des rivières“; von Fabre. Paris 1797.

10) „Etude sur les torrents des Hautes-Alpes“; von Alexander Surell. Paris 1842.

11) Lehrbuch der physikalischen Geographie und Geologie“; von B. Studer. Bern 1847.

zeichnen, dass sie zumeist in größeren Thälern fließen. Naturgemäß wird es in einzelnen Fällen ganz und gar von den localen Verhältnissen abhängen, ob dem Gewässer noch der Charakter des Wildbaches oder schon jener des Flusses zugesprochen werden soll.

Von den Wildbächen sind weiter jene bachartigen Wasserläufe zu trennen, denen füglich der Charakter der ersteren nicht zugesprochen werden kann. So hat denn auch schon Surell¹⁰⁾ die gewöhnlichen Bäche „ruisseaux“ von den Wildbächen „torrents“ geschieden. Auch Seckendorff¹²⁾ bezeichnet als „Gießbäche“ solche Bäche, die meist über festes Gestein herabstürzen, häufig Wasserfälle bilden und selten außer Wasser-, noch Erd- und Schuttmassen mit sich führen. Die Behauptung Seckendorffs aber, dass Gießbäche niemals zu Wildbächen werden können, ist in so allgemeiner Fassung nicht zutreffend, denn so mancher der heute wüthenden Wildbäche wäre vor vielleicht nicht geraumer Zeit den Gießbächen zuzuzählen gewesen. Die gleiche Anschauung spricht auch Koch¹³⁾ aus und fügt hinzu, dass mit der Zeit aus jedem „aufwühlenden“ Wildbache ein sogenannter „Gießbach“ im Sinne der Franzosen und Seckendorffs werden muss, sobald aus den Bergen aller Schutt weggeführt und nur der glatte Fels zurückgeblieben ist, wie denn überhaupt eine große Katastrophe alle schönen Systeme und Classificationsversuche über den Haufen werfen kann.

Es hat eine gewisse Berechtigung, wenn Demontzey¹⁴⁾ die Runsen oder die Wasserrisse (ravins) von den Wildbächen und Bächen trennt, denn es sind das zumeist ganz kurze, trockene, steil verlaufende, und wenn so gesagt werden darf, zur Existenz nicht berechnete Erosionsrinnen, die nur bei größeren Niederschlägen und dann auch gewöhnlich nicht sehr wasserführend werden, die sich aber allerdings in der Folge zu Wildbächen ausbilden können und deshalb in der Verbauung eine sehr wesentliche Rolle spielen.

12) „Verbauung der Wildbäche, Aufforstung und Berasung der Gebirgsgründe“; von A. Freiherrn von Seckendorff. Wien 1884.

13) „Die Ursachen der Hochwasserkatastrophen in den Südalpen“; von Dr. Gustav Adolf Koch. Separatabdruck aus der Zeitschrift des deutschen und öster. Alpenvereines. 1883.

14) „Traité pratique du reboisement et du gazonnement des montagnes“; von Prosper Demontzey. Paris 1878. In deutscher Uebersetzung von A. Freiherrn von Seckendorff. Wien 1880.

Eintheilung der Wildbäche und Gliederung des Niederschlagsgebietes.

Eintheilung der Wildbäche.

Die vorstehende allgemeine Charakteristik der Wildbäche erfährt eine wesentliche Ergänzung, wenn die von den einzelnen Autoren getroffene Eintheilung berücksichtigt wird.

Josef Duile, der Altmeister der Wildbachverbauung in Tirol, theilt die Wildbäche in dem bereits bezogenen Werke⁶⁾ u. zw. basirend auf die Verhältnisse seiner Heimath wie folgt ein:

1. In solche, die ununterbrochen das ganze Jahr hindurch fließen; sie werden entweder von immerwährend thätigen Quellen oder von Seen und Gletschern gespeist.

2. In solche, welche erst beim Eintreten der wärmeren Witterung auftreten und mit der kälteren Witterung zu versiegen beginnen; ihnen gibt die Wärme, welche den auf den Gebirgen angehäuften und zum Theil in Eis übergegangenen Schnee auflöst, ihr Entstehen; ihre Wassermasse steht daher immer im Verhältnisse mit dem stattgehabten Wärmegrade in den Sommermonaten und der den Winter hindurch gefallenen Masse des Schnees auf den Gebirgen.

3. In solche, die erst bei länger andauerndem warmen Winde, ausserordentlich warmen Regen, bei Hagel oder Wolkenbrüchen entstehen.

So sehr nützlich, sagt Duile, die Wildbäche der zwei ersten Kategorien unter gewöhnlichen Verhältnissen dem Menschen durch fruchtbare Bewässerung der Fluren etc. werden können, so schädlich müssen sie, in tosende Wildbäche umgewandelt, sich erweisen. Da die Ursachen des Entstehens der Wildbäche der dritten Ordnung zumeist nur in einzelnen Gegenden vorliegen, so sind die Verheerungen auch in den meisten Fällen nur partiell. Selbstverständlich werden aber durch diese Ursachen auch die Bäche der ersten zwei Ordnungen in verheerende Wildwässer verwandelt.

Von einem ganz anderen Gesichtspunkte geht Surell¹⁰⁾ bei der Eintheilung aus. Er unterscheidet je nach der Lage des Aufnahmebeckens:

1. Wildbäche, die von einem Sattel ausgehen und in ein eigentliches Thal fließen.

2. Wildbäche, die von einem Gebirgskamme ausgehen und in der Linie des stärksten Gefälles herabstürzen.

3. Wildbäche, deren Ursprung unterhalb des Gebirgskammes und auf den Abhängen gelegen ist.

Scipion Gras¹⁵⁾ dagegen unterscheidet je nach Art und Ausdehnung des oberen Bachgebietes kleine, mittlere und große Wildbäche. Es ist das eine Eintheilung, wie sie ähnlich auch Costa de Bastelica¹⁶⁾ getroffen hat, welcher einfache Wildbäche „*torrents simples*“ mit nur einer Schlucht und zusammengesetzte Wildbäche „*torrents composés*“ mit zwei oder mehreren Schluchten unterscheidet. Der Wildbach „*de Pontis*“, Abbildung Nr. 1, und das Thal „*d'Astan*“, Abbildung Nr. 2 veranschaulichen diese beiden Wildbacharten. Demontzey¹⁴⁾ hat denselben noch eine dritte, den sogenannten „*muschelförmigen Ausriss*“, „*la combe*“ beigefügt, das ist der allenthalben zu beobachtende einfache Terrainbruch, welcher mitunter, bei nachträglich sich fühlbar machender Erosionswirkung, große Dimensionen annehmen kann, wie dies aus Abbildung Nr. 16, Seite 57, zu ersehen ist.

Demontzey stellt jedoch im übrigen die von ihm getroffene Unterscheidung der Wildbäche auf eine ganz andere Grundlage. Er trennt diese in zwei große Kategorien, von welcher die erste jene Wildbäche umfasst, deren Schuttmassen lediglich von der Unterwühlung der Gebirgshänge herrühren. Er nennt diese Bäche „*torrents à affouillements*.“ Dagegen gehören der zweiten Kategorie alle jene Wildbäche an, die vorwiegend Verwitterungsproducte führen oder die von Gletschern gespeist werden; er nennt sie „*torrents à casses*“ bezw. „*torrents glaciaires*.“

Eine ähnliche Eintheilung trifft Suda¹⁷⁾, welcher gestützt auf die Verhältnisse Kärnthens, Gletscherbäche, Bäche der Schutthalden und unterwühlende Wildbäche unterscheidet. Bezüglich der Gletscherbäche ist Suda der Anschauung, dass sie sich im allgemeinen weniger gefährlich zeigen, weil sie einerseits in weniger werthvollem Boden fließen und jährlich wiederkehrende, vom Regen ganz unabhängige, einen Monat und auch länger anhaltende Ueberschwemmungsperioden aufweisen, durch welche sie regelmäßig in die Lage kommen, den sich mittlerweile ansam-

15) „*Etudes sur les torrents des Hautes-Alpes*“; von Scipion Gras. *Annales des ponts et chaussées*. Paris 1857.

16) „*Les torrents, leurs lois et leurs effets*“; von Costa de Bastelica. Paris 1874.

17) „*Ueber die Wildbäche Kärnthens*“; von Franz Suda. Manuskript.

melnden Schutt ungefährlich abzuführen, sowie auch alljährlich ihr Gebiet gänzlich zu occupiren, so dass es dem Menschen nicht einfällt, sich auch nur theilweise dieses Gebietes zu seinen Zwecken zu bemächtigen. Die Bäche der Schutthalden nennt

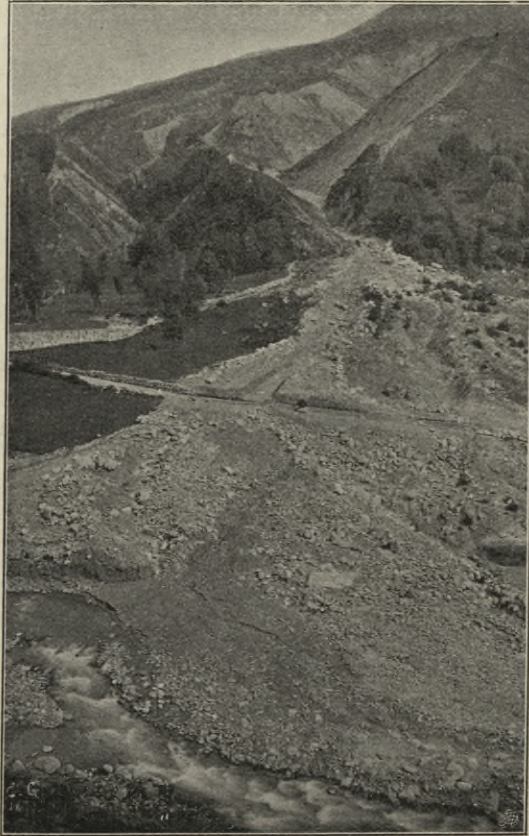


Abbildung Nr. 1.

Gesamtansicht des Wildbaches „de Pontis“. Französische Hoch-Pyrenäen.
Aus dem Prachtwerke von Eugène de Gayffier: „Reboisement et Gazonnement des montagnes“.

Suda jene meist aus Kalkgebirgen kommenden Wildbäche, die vorwiegend Verwitterungsproducte führen. Die unterwühlenden Wildbäche nach Suda fallen mit jenen der 1. Kategorie nach Demontzey zusammen, nur trennt ersterer sie in zwei Unter-

arten, in solche, die vorwiegend im anstehenden Gestein und solche, die vorwiegend im Glacial-Schutte wühlen. In einer im Jahre 1900 erschienenen Schrift theilt Kuss¹⁸⁾ die Gletscherbäche, „torrents glaciaires“, in „torrents glaciaires simples“ und in „torrents glaciaires composés“, je nachdem sich das Gletscherende nahe der Sohle des Hauptthales oder aber noch in ansehnlicher Höhe über derselben befindet, in welch' letzterem Falle das Gletscher-



Abbildung Nr. 2. Gesamtansicht des Thales von „d'Astan.“ Haute-Garonne. Aus dem Prachtwerke von Eugène de Gayfrier: „Reboisement et Gazonnement des montagnes“.

wasser noch über die Hänge zu fließen gezwungen ist, sich daher noch durch Zuzüge vergrößern und so viel schädlicher wirken kann.

Noch sei der Eintheilung von Schindler¹⁹⁾ gedacht, welcher unterscheidet:

1. eigentliche Wildbäche mit größerer und beständiger Wasserführung,
2. kürzere, steilere, sich nur bei Schlagwettern (Hagel, Wolkenbrüchen) als Wildbäche bemerkbar machende Wasserläufe;

18) „Les torrents glaciaires“; von M. Kuss. Paris 1900.

19) „Die Wildbach- und Flussverbauung nach den Gesetzen der Natur“; von A. Schindler. Zürich 1889.

3. tiefe, steile Rinnen mit eingebetteten Colossalblöcken;
4. Rinnen mit unbedeutendem Gefälle, theilweise erheblicher Breite und einer gründlichen Geröll- und Schlammtiefe, dann bedeutendem Bruchgebiete.

Basirend auf speciell österreichische Verhältnisse hat Salzer²⁰⁾ die Wildbäche in zwei große Gruppen getrennt, in die Wildbäche der Alpen und in jene der Berg- und Hügelländer, welch' letzteren er Böhmen, Mähren, Schlesien, Galizien und die Bukowina zuzählt. Die Wildbäche der Alpen werden in solche geschieden, die vorwiegend unterwühlen und in solche, die vorwiegend Verwitterungsproducte führen. Zu den letzteren werden ausschließlich die Wildbäche der Kalkalpen gezählt. Die Wildbäche des Berg- und Hügellandes, das sind vor allem die Wildbäche der Karpathen, Beskiden, Sudeten, mit vorwiegend mäßigem Gefälle, haben brüchige Stellen zumeist nur in den höheren Lagen, weisen im Unterlaufe vorherrschend Uferbrüche im Diluvium auf und zeichnen sich besonders durch Zufuhr großer Wassermassen aus. Von den Wildbächen der Alpen sind sie zudem noch oft dadurch unterschieden, dass bei ihnen, und es wird darauf zurückgekommen werden, die Gebiete der Materialbeschaffung und der Materialablagerung nicht so scharf getrennt sind, wie in der Regel bei den ersteren.

Eine ähnliche Eintheilung und zwar basirend offenbar auf die Verhältnisse der Schweiz, hat Landolt²¹⁾ getroffen, welcher Bäche des Hochgebirges, des Hügellandes und der Ebene unterscheidet. Bezüglich der zweiten äußert er sich dahin, dass dieselben wohl ähnliche Erscheinungen wie die ersten zeigen, dass alle Veränderungen aber langsamer und im kleineren Maßstabe vor sich gehen. Tiefe Schluchten, Runsen, sowie hohe Schuttkegel kommen bei ihnen selten vor. Die Bäche der Ebene sind zahm, schaden nur ausnahmsweise durch Sohlenvertiefung und Uferunterwaschung.

Es ist sicher, dass alle vorstehend namhaft gemachten Eintheilungen gewisser Berechtigung nicht entbehren. Doch sind

20) „Ueber den Stand der Wildbachverbauung in Oesterreich“; von Johann Salzer. Wien 1886.

21) „Die Bäche, Schneelawinen und Steinschläge und die Mittel zur Verminderung der Schädigung durch dieselben“; von Elias Landolt. Zürich 1887.

jene von Surell, Costa de Bastelica, Scipion Gras, Schindler und selbst von Duile deshalb von untergeordneter Bedeutung, weil an ihrer Hand nicht sofort auf den markanten Bachcharakter geschlossen werden kann.

Wesentlich größeren Werth haben dagegen die Eintheilungen nach Demontzey, Suda und Salzer, weil sie sich auf Verhältnisse stützen, welche für den Bachcharakter in erster Linie maßgebend sind und welche von vornherein für die Wahl des Verbauungssystemes bestimmend sein müssen. Demontzey gebührt das Verdienst, als Erster eine solche Grundlage für die Eintheilung aufgestellt zu haben. Dass er die sogenannten Gletscherbäche zu den vorwiegend Verwitterungsproducte führenden Wildbächen zählt und Suda sie ganz isolirt, ist insofern nicht gerechtfertigt, als sie in nicht seltenen Fällen, und die geognostischen Verhältnisse sind dann vorwiegend ausschlaggebend, zu den vorwiegend unterwühlenden Bächen gezählt werden können, und als der Umstand allein, dass sie von Gletschern gespeist werden, für die Wahl des Verbauungssystemes nicht maßgebend sein kann.

Die Untertheilung der unterwühlenden Bäche nach Suda in solche, die im anstehenden Gestein und solche die vorwiegend im Glacialschutte wühlen, ist dagegen deshalb vollkommen gerechtfertigt, weil das Vorkommen des letzteren für den Grad der Bösartigkeit des Wildbaches zumeist sehr ausschlaggebend ist.

Einen großen Vorzug verdient die Eintheilung nach Salzer und zwar nicht allein in Bezug auf österreichische, sondern vielleicht auf die gesammten mitteleuropäischen Verhältnisse deshalb, weil durch sie der jeweilige Bachcharakter in noch weit höherem Maße präcisirt wird.

Dass sich nur die Wildbäche der Kalkalpen durch vorwiegende Führung von Verwitterungsproducten auszeichnen, ist allerdings nicht ganz zutreffend, denn es kann dies, wenn auch zugegeben werden muss seltener, bei den Bächen des krystallinischen Massen- und des Schiefergebirges der Fall sein.

Eigenartig sind die unterirdischen, mitunter auch wildbachartigen Wasserläufe des an Höhlen reichen Karstgebirges, doch müssen sie von vornherein schon deshalb von allen andern getrennt werden, weil bei ihnen von einer Wildbachverbauung im strengen Sinne des Wortes nicht die Rede sein kann.

Gliederung des Niederschlagsgebietes.

Es ist begreiflicher Weise nicht leicht thunlich, hinsichtlich der Gliederung des Niederschlagsgebietes, der Eintheilung des Verlaufes der Bäche, allgemein giltige Normen aufzustellen.

Behauptet kann werden, dass die Verhältnisse der Thalbildung in den Kalkalpen wesentlich verworrener sind, als jene im Urgebirge, beispielsweise auf der Kette der Centralalpen. Diese Verworrenheit der Thalbildung, welche in den höheren Gegenden in völlige Unbestimmtheit ausartet, ist sogar ein charakteristischer Zug der höhern Kalkalpenwelt.

Die Bäche der Alpen zeigen im großen und ganzen anders geformte Niederschlagsgebiete und auch anderen charakteristischen Verlauf, als jene des Berg- und Hügellandes, oder gar jene der Niederung. Die unterirdischen Kalkgebirgsbäche sind überhaupt von jeder derartigen Eintheilung auszuschließen.

Von weiterem Gesichtspunkte aus betrachtet, lassen sich das Niederschlagsgebiet eines Wildbaches und damit im Zusammenhange sein Verlauf in drei mehr oder minder ausgeprägt hervortretende Theile trennen.

Schon Duile⁶⁾, Surell¹⁰⁾, Costa de Bastelica¹⁶⁾, Demontzey¹⁴⁾, Lehmann¹⁾, haben in den benannten Werken, dann aber auch Culmann²²⁾, Graf²³⁾, Kovatsch²⁴⁾, Förster²⁵⁾, Kreuter²⁶⁾, diese Eintheilung getroffen. Es hat einen gewissen Werth, sie kurz anzugeben, weil hiemit nebenher auf manche Eigenthümlichkeiten der Wasserläufe und Auffassung der einzelnen Autoren aufmerksam gemacht wird.

Duile unterscheidet das „Sammelbecken“, dann den „Tobel“ oder die „Klamm“ und das „Ablagerungsgebiet“ oder „Ausgussbett“.

22) „Bericht an den schweizerischen Bundesrath über die Untersuchung der schweizerischen Wildbäche vorgenommen in den Jahren 1858, 1859, 1860, 1863“; von Culmann. Zürich 1864.

23) „Waldverwüstung und Murbrüche“; von Edmund Graf, Wien 1879.

24) „Das obere Fellagebiet im Canalthale in Kärnthen und die dortigen Wasserbauten“; von Martin Kovatsch.

25) „Das forstliche Transportwesen“; von G. R. Förster. Wien 1885.

26) „Verbauung der Wildbäche“; von Fr. Kreuter. Handbuch der Ingenieurwissenschaften. 3. Band. 2. Abth. 1. Hälfte. Dritte Auflage. Leipzig 1899.

Seine eigenen Worte, aus welchen diese Gliederung nicht unschwer zu entnehmen ist, und welche die einzelnen Theile des Wildbaches charakterisiren, heißen:

„Man denke sich nur enge, auch bis 12 Stunden lange Thäler, eingeschlossen von hohen, steilen Gebirgen, deren Kronen vielfach mit ewigem Eise bedeckt sind, und welche da, wo sich das Thal schließt, das ist im Hintergrunde, öfters Trichter von ungeheurer Ausdehnung bilden und nicht selten an Ferner grenzen; man denke sich weiter diese Gebirge vielfältig verwittert, die Felsmassen, aus denen sie bestehen, noch locker, unzusammenhängend, ihre jäh sich gegen das Thal abdachenden Flächen der sie schützenden Decke vielfältig beraubt, das Gefälle des Thales selbst bis zur Ausmündung äußerst groß; welche Verwüstungen müssen dann wohl in solchen Thälern erfolgen, wenn Schnee, Eis in den Schluchten jahrelang verborgen liegend, auf einmal schmelzen; wenn bei andauerndem, warmem Regen die große Wassermasse in die schon damit gesättigten steilen Flächen nicht mehr eindringen kann, sondern mit Gewalt sich über dieselben und über Felsen herabstürzt, Schotter, lockere Erde, entwurzelte Bäume, Felsenstücke und Steine in das tiefe Thal fortreißt; wenn hier dann das sich sammelnde Wasser diese schrecklichen Massen unter fürchterlichem Getöse mit sich fortwälzt, bis es dieselben da, wo das Gefälle sich mindert, das Thal sich erweitert, daher das Wasser an Kraft abnimmt, liegen lässt!“

Aehnlich unterscheidet Surell das Aufnahmebecken, „bassin de réception“, den Abflusscanal, „canal d'écoulement“ und das Ablagerungsgebiet, „lit de déjection“. In Abbildung Nr. 1, Seite 14, sind diese drei Theile deutlich zu erkennen. Während im Aufnahmebecken die Wasser vorwiegend unterwühlen, im Ablagerungsgebiete vorwiegend ablagern, ist nach Surell im mittleren Gebiete, im Abflusscanal, eine wesentliche Thätigkeit der Wildwasser nicht zu constatiren, das Gebiet also im gewissen Sinne als neutral zu bezeichnen. Dieser Abflusscanal wird von Bastelica als Schlucht, „gorge“, von Culmann als „Sammelcanal“ bezeichnet. Demontzey, der für das Ablagerungsgebiet die Bezeichnung „cône de déjection“, Schuttkegel, wählt, acceptirt die Bezeichnung „gorge“ und bemerkt, dass dieselbe, rudimentär wenigstens, bei jedem Wildbache vorkommt. Dagegen ist er mit der Surell'schen Charakterisirung insofern und auch wohl mit Recht nicht einverstanden, als sich die Ablagerung seiner Erfahrung nach auch theilweise innerhalb der

Schlucht, oder mitunter selbst die ganze Schlucht hindurch vollziehen kann.

Lehmann, der die Bezeichnung „Schuttkegel“ „Sammelgebiet“ „Sammelcanal“ gebraucht, scheint innerhalb der beiden letzteren die Neigung des Wassers zur Sohlenvertiefung, Kolkung, zu erkennen.

Er sagt: „Noch mannigfacher wie bei den Schuttkegeln, sind die Erscheinungen im Sammelgebiete und im Sammelcanal der Wildbäche; doch treten uns überall, am Gletscherbache wie an der öden Rufe, die nur bei Regenwetter geht, ein starkes Gefälle, steile Ufer und infolgedessen die Neigung des Wassers zur Sohlenvertiefung, Kolkung, als bezeichnende Merkmale entgegen“²⁷⁾.

Graf schließt sich der Duile'schen Eintheilung vollkommen an. Kovatsch erkennt, ganz in Uebereinstimmung mit Surell, drei Zonen:

Die Zone des absoluten Abtrages, den obersten Theil des Wildbaches umfassend; die Zone des absoluten Auftrages im untersten, und die Zone der Nullarbeit, im mittlern Verlaufe des Wildbaches. Kovatsch bemerkt hiezu, dass die Zone der Nullarbeit dann als die für die Verbauung tauglichste angesehen werden müsse, wenn das Uebel nicht am Ursprunge behoben werden könne.

Förster spricht nur ganz oberflächlich vom „Schuttkegel“, vom „Sammel- oder Einzugsgebiet“ und vom „Durchflussgebiete.“

Nach Kreuter hat der Bach im „Oberlaufe“ Ueberfluss an Schleppkraft; Ausnagung herrscht vor. Im „Mittellaufe“ ist der Bach mit Geschiebe beladen; er vermag sich nicht mehr in den Boden einzuschneiden, sondern es findet hier eine wilde, unregelmäßige Geschiebeführung statt. Sand und Geschiebe schleifen die etwa vorhandenen Felswände ab, die Entwicklung der Thalverbreiterung ist gegeben. Aus dem Thale mit verbreitertem Grunde

27) Lehmann verweist auf die Schrift Streffleurs, „Ueber die Ursachen und Wirkungen der Wildbäche“ (Sitzungsberichte der kaisl. Akademie der Wissenschaften math. naturw. Classe, Band 8, Wien 1852), welcher den Wildbach mit einem Trichter vergleicht und „Becken“, „Röhre“ und „Ausguss“ unterscheidet. In einer Abhandlung von Koch: „Ueber Murbrüche in Tyrol“ (Jahrbuch der k. k. geologischen Reichsanstalt, Band 25, Wien 1875), wird diese Eintheilung acceptirt, dagegen für unrichtig gehalten, dass Streffleur den Ausdruck „Murre“, „Giess“ oder „Schwemmkegel“ auf den Schuttkegel anwende.

tritt der geschiebeladene Bach in das Hauptthal, und lagert hier seinen Schutt in Gestalt eines Kegels ab.

In der italienischen Literatur²⁸⁾ findet sich eine Scheidung in vier Theile, welche späterhin auch von Landolt und Thiéry getroffen wurde.

Landolt²¹⁾ unterscheidet an den größeren Bächen des Hochgebirges in der Regel die folgenden vier, von einander abweichenden Partien und zwar

1. das Sammel- oder Einzugsgebiet, gewöhnlich von einer großen Zahl von Zweigen des Hauptbaches durchschnitten. Es fällt im Hochgebirge auf die als Weide benutzte obere Terrasse, beziehungsweise in die unwirthlichen Gegenden (Felspartien, Gletscher oder Schneefelder), in den Vorbergen in die obere Waldregion. Die einzelnen Zweige der Bäche sind, wenn nicht von Quellen, Gletschern, Schneefeldern gespeist, in der Regel wasserarm, oft sogar trocken, füllen sich aber bei Schneeschmelze, Gewittern u. s. w. rasch und führen dann den Runsen und Schluchten im Erosionsgebiete große Wassermassen und Geschiebemengen zu. In der Regel liegen die sich oben oder in der Schlucht zu einem Bache vereinigenden Gräben in einer weiten Mulde.

2. Das Erosions- oder Auswaschungsgebiet, in dem der Hauptbach nicht selten auch noch Seitenbäche aufnimmt. Es befindet sich zum größten Theile in der Waldregion, weil die steilsten Partien der Hänge dieser angehören sollen. Hier fließt das Wasser durch enge, tief eingeschnittene Runsen, deren Einhänge häufig „verrutscht“ und unproductiv sind, und nimmt den größten Theil des Materials auf, welches bis in das Thal befördert wird und dort den Schuttkegel bildet. In Abbildung Nr. 3, Seite 22, sind das oberste Einzugs- und der oberste Gürtel des Erosionsgebietes im Wildbache „de Rif-fol“ ersichtlich.

3. Den Schuttkegel, das Gebiet der Ablagerung, in dem das Bachbett höher liegt, als das den Schuttkegel begrenzende Culturland.

4. Die Bachstrecke im Thale, die je nach den Gefällsverhältnissen sehr verschieden gestaltet ist, oft auch ganz fehlt, und nicht selten zu Versumpfungen Veranlassung geben kann.

28) I torrenti delle Alpi ed i mezzi diretti alla loro difesa. Milano 1859.

Eine Eintheilung in vier Theile trifft auch Thiéry²⁹⁾. Aus der obersten Region „Bassin de réception“ stammen die geführten Wasser und Materialmassen. Sie hat oft die Form eines weiten Trichters, so zwar, dass sich die von der Oberfläche herabfließenden Wasser rasch in einem Punkte concentrirt finden. Abwärts des Trichters beginnt die enge Schlucht, der Hals, mit steilen, von Runsen durchfurchten, in ihren Füßen vom Wasser unterwühlten Böschungen, die dem Bache große Mengen Materiales verschiede-



Abbildung Nr. 3. Oberes Einzugsgebiet des Wildbaches „de Rif-foi“. Isère. Aus dem Prachtwerke von Eugène de Gayffier: „Reboisement et Gazonnement des montagnes“.

ner Größe liefern können. Als Fortsetzung des erwähnten Halses erscheint weiter der Abflusscanal „Canal d'écoulement“, die Region, welche nach Surell als neutral bezeichnet werden kann. Die übrigen zwei Theile sind als „lit de déjection“ und „lit d'écoulement“ benannt, und sind mit den beiden letzten, von Landolt unterschiedenen Theilen identisch. Fehlt der erstere, der Schuttkegel, so erscheint der letztere, die Thalstrecke, bis zum Abflusscanale

29) „Restauration des montagnes, correction des torrents, reboisement“; von E. Thiéry. Paris 1891.

verlängert. Im Gegenfalle kann die eigentliche Thalstrecke, wie dies namentlich bei engen Thälern vorkommt, ganz fehlen.

Der Vollständigkeit wegen ist zu bemerken, dass Thiéry das Aufnahmegebiet selbst, im Sinne der von Scipion Gras¹⁵⁾ getroffenen Eintheilung, nach vier charakteristischen Typen trennt.

Der ersten Type gehören jene Gebiete an, die von steilen, vielfach durchfurchten, oft viele hundert Meter hohen Felsen umrahmt sind. Die Möglichkeit des raschen Sammelns der Gewässer, wie nicht minder der sich stetig fortsetzende, den Thälern Material in großen Mengen liefernde Verwitterungsprocess, lassen derartige Wildbäche gefährlich erscheinen.

Die Aufnahmegebiete der zweiten Type liegen in leicht verwitterbarem Boden, zeigen immer die Form eines durch einen Hals geschlossenen Trichters und haben, wenn kahl, stets das Bestreben, sich durch Einsturz der Wandungen zu vergrößern. Die Aufnahmegebiete der dritten Type vereinigen die Charaktere der beiden vorhergehenden. Sie bestehen aus nackten Felsen, an deren Fuße die Wasser in leicht verwitterbarem Gesteine eine Vertiefung, ähnlich dem Trichter der vorhergehenden Type, ausgehöhlt haben. Auch Wildbäche dieser Type werden als sehr gefährlich bezeichnet. Die Wildbäche der vierten Type zeigen ein hochgelegenes, im allgemeinen von einem Gebirgspass ausgehendes Thal, in welches secundäre Wildwässer münden. Die letzteren haben jedes ein verschiedenes, einer der vorhergehenden Typen angehöriges Aufnahmegebiet und sind durch einen gemeinsamen Schlauch verbunden. Die Eintheilung ist übrigens in Uebereinstimmung mit jener von Scipion Gras¹⁵⁾ in „Kleine Wildbäche“, Type 1, mit oft nur wenige Hectare großem Aufnahmegebiete; „Mittlere Wildbäche“ Type 2 und 3, mit Hunderten von Hectaren messenden Aufnahmegebieten, charakteristisch für die zumeist trockenen, oder doch nur wenig wasserführenden Wildbäche der Alpen, und „Große Wildbäche“, Type 4, (Torrents composés nach Costa de Bastelica¹⁶⁾), deren Aufnahmegebiet oft tausende von Hectaren misst.

In der ziemlichen Uebereinstimmung der diesbezüglichen Anschauungen, wie sie in der Literatur maßgebender Staaten, wie Frankreich, Schweiz, Italien, hervortreten, liegt ein gewisser akademischer Werth, aber mehr ist darin wohl nicht zu suchen. Keine der hier angeführten Eintheilungen bildet etwas unverrückbar Feststehendes und keine ist geeignet, Winke für die Praxis

der Wildbachverbauung zu geben. In letzterer Hinsicht wäre es z. B. unzulässig, aus der einer gewissen Berechtigung nicht entbehrenden Behauptung, dass der Abflusscanal als die Zone der Nullarbeit, als die beharrliche Förderstrecke anzusehen ist, allgemein darauf zu schließen, dass dort etwa keinerlei oder nur wenige oder aber ganz eigenartige Maßnahmen durchzuführen wären.

Ebenso kann nicht allgemein behauptet werden, dass diese Zone für die Verbauung des Wildbaches dann am tauglichsten ist, wenn das Uebel nicht am Ursprunge behoben, wenn dem reinen Abtrage nicht unmittelbar gesteuert werden kann. In manchen Fällen mag das allerdings ebenso zutreffend sein wie die Annahme, dass das obere Ende des Abflusscanales die geeignete Oertlichkeit für den Schlüssel der Verbauung des Aufnahmegebietes darstelle. Die Verschiedenheit der Fälle lässt es eben, wie es für die Praxis allerdings sehr werthvoll wäre, leider nicht zu, in gedachter Richtung bestimmte Grundsätze aufzustellen.

Fast scheint es deshalb angezeigter zu sein, die Gliederung des Niederschlagsgebietes noch mehr zu verallgemeinern und es lediglich in zwei Theile zu trennen, in das Gebiet der vorherrschenden Materialbeschaffung, „Denudation“ und in jenes der vorherrschenden Materialablagerung, „Accumulation,“ eine Eintheilung, wie sie auch Schindler¹⁹⁾ getroffen hat. Nur ist es nicht gerechtfertigt, das erstere Gebiet kurzweg als das Gebiet der „Erosion“ zu bezeichnen, weil sich in der Regel auch andere Prozesse dort materialschaffend zeigen können. Das Gebiet der Materialbeschaffung würde sonach, den früheren Eintheilungen entsprechend, das Sammelbecken und den Abflusscanal umfassen, das Gebiet der vorherrschenden Materialablagerung aber mit dem Schuttkegel identisch sein.

Der eigentliche Thallauf des Baches, wo ein solcher vorhanden ist, kann als das Gebiet der reinen Wasserführung bezeichnet werden. Alle drei Gebiete zusammengefasst, sind als das „Arbeitsfeld“, welches in der französischen Literatur als „Périmètre“ benannt ist, anzusehen.

Der Wildbach der Alpen zeigt die Gebiete der vorwiegenden Materialbeschaffung und Materialablagerung in der Regel scharf von einander getrennt. Die die Bildung ausgesprochener Schuttkegel begünstigenden Verhältnisse, so plötzliche Thalerweiterung und geringes Thalgefälle, sind hier markant gegeben. Der Bach

des Berg- und Hügellandes oder jener der Niederung zeigen dagegen, wie schon an geeigneter Stelle hervorgehoben wurde, diese Eigenthümlichkeiten nicht, so dass bei ihnen von einem Gebiete

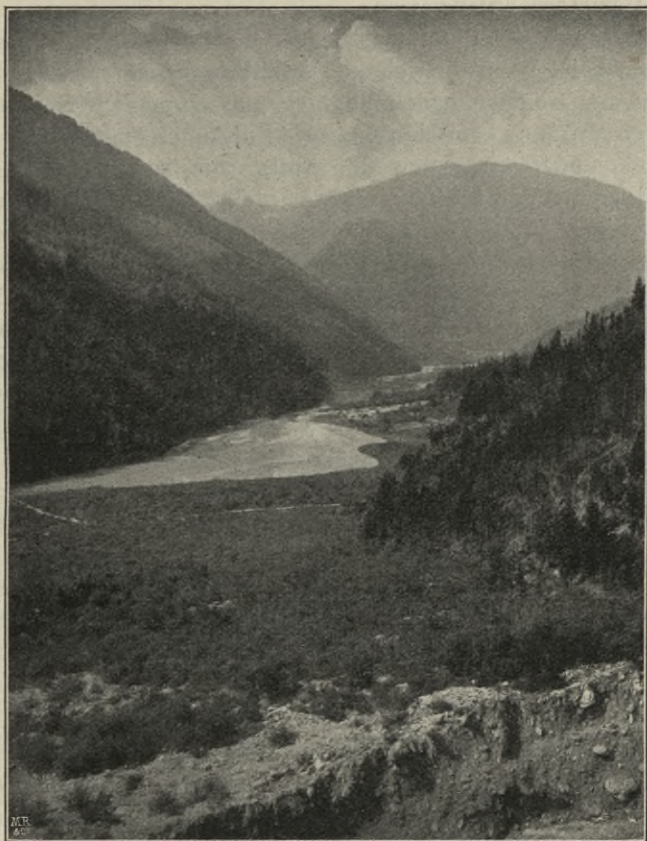


Abbildung Nr. 4. Der Klausenkofel oder Kreidebach im Möllthale in Kärnthen.
Der durch den Schuttkegel des Baches gebildete Gössnitzer See.
Nach einer Photographie von F. Ritter von Staudenheim in Feldkirchen.

vorwiegender Materialablagerung, einem Schuttkegel, oft gar nicht die Rede sein kann.

Die Gebiete der vorwiegenden Materialbeschaffung, deren Größe und Form von der Terrainfiguration abhängt, sind im allgemeinen bei den Alpenbächen kleiner und weniger lang gestreckt,

als bei jenen der Berg- und Hügelländer. Doch haben auch die ersteren — und es wird hier von größeren wildbachartigen Gewässern abgesehen — nicht selten eine Flächengröße von hunderten von Quadratkilometern und eine Längenausdehnung von 20 und mehr Kilometern aufzuweisen.

Auch das Gebiet der vorwiegenden Materialablagerung, der Schuttkegel, ist, den örtlichen Verhältnissen entsprechend, von verschiedener Flächenausdehnung. So messen manche Schuttkegel, auf deren Bildung und Größenverhältnisse an geeigneter Stelle zurückgekommen wird, von der Spitze bis zum Fuße 2—3 und mehr Kilometer und besitzen eine Ausdehnung von mehreren hundert Hectar. Der im Laufe der Zeiten durch den Gadriabach bei Schlanders in Tirol, quer über die Breite des oberen Etschthales herausgeschobene Schuttkegel nimmt über 5.5 km von der Länge dieses Thales ein; auf dem Schuttkegel des Naifbaches bei Meran, dessen mit 490 Hectar gemessene Fläche gegenüber jener des ganzen Niederschlagsgebietes von 925 Hectar als außerordentlich groß bezeichnet werden muss, liegt die Villenstadt Obermais; durch den mächtigen Schuttkegel des Oselitzenbaches im Gailthale Kärnthens wird der Abfluss der Gail gehemmt und das Thal oberhalb der Versumpfung preisgegeben. Der Schuttkegel des Kreidebaches im Möllthale in Kärnthen, Abbildung Nr.4, Seite 25, hat eine Ausdehnung von allerdings nur 16,5 ha; er versumpft aber das Thal oberhalb auf 49,93 ha und verschottert es überdies unterhalb auf 60,7 ha.

Herkommen des Geschiebes.

Es ist zunächst von Interesse, jene sich im Gebiete der vorherrschenden Materialbeschaffung vollziehenden exogenen Prozesse kennen zu lernen, durch welche die Materialführung der Bäche veranlasst und gefördert wird.

Diese Prozesse sind die Verwitterung und die den Thaltransport des Verwitterungsproductes fördernden Erscheinungen einerseits, dann die materialschaffende Thätigkeit des Wassers, die Erosion, Corrosion und die Unterwühlung andererseits.

Verwitterung.

Die Verwitterung ist eine, durch die Wirkungen des Sauerstoffes und der Kohlensäure des Wassers so wie der Luft mehr oder minder rasch fortschreitende chemische Zersetzung der Ge-

steine, welche mechanisch unterstützt wird durch das in die Risse und Spalten des Gesteines dringende und dort frierende Wasser, durch das Eindringen der Wurzeln, durch die Thätigkeit felsverzehrender Bacillen u. dgl. m.

Der Sauerstoff der Luft wirkt oxydirend, Kohlensäure zersetzt Silicate und wirkt im Verein mit Wasser auflösend.

Unter allen Umständen ist das Resultat der Verwitterung ein allmähliches Loslösen und Zerbröckeln des Gesteines, welchem Prozesse mehr oder minder alle Gesteine, von den leicht verwitterbaren Sedimenten bis zum äußerst widerstandsfähigen Quarz und den ausschließlich oder vorwiegend von demselben gebildeten Gebirgsarten unterworfen sind.³⁰⁾ Insbesondere werden Kalke durch die Kohlensäure des sie benetzenden Wassers leicht und rasch der Verwitterung zugeführt. Kein Wunder daher, dass gerade die Wildbäche der Kalkalpen große Massen Verwitterungsproductes zu Thale führen.

Mit gewisser Berechtigung gebraucht nicht selten der Gebirgsbewohner die Redensart „faul wie Fels“, denn die sich mit dem letzteren vollziehenden, mannigfachen und sichtlichen Veränderungen sind ihm wohl bekannt. In Abbildung Nr. 5, Seite 28, zeigt sich die gewaltige Verwitterungserscheinung in den Kalkalpen und gleichzeitig die Verworrenheit ihrer Thalbildung, auf welche bereits an anderer Stelle verwiesen wurde.

Seit Jahrtausenden arbeitet so der Verwitterungsprocess an dem sich auf der Erdoberfläche vollziehenden Nivellement kräftigst mit und unterstützt die Wildbäche in ihrer verheerenden Thätigkeit.

Für den Fortschritt der Verwitterung sind nicht allein die geognostischen Verhältnisse, sondern auch die Beschaffenheit der gesteinsbildenden Mineralien, dann Klima, Höhenlage, Exposition und Beschaffenheit der Vegetationsdecke maßgebend.

In erster Richtung kommt die Oberflächengestaltung des Gesteines, ob eben, muldenförmig, geneigt oder abschüssig, weiter dessen Structur, ob geschichtet, schiefrig oder compact, sowie die chemische Zusammensetzung, ob z. B. reicher an Eisenoxydul und Eisenoxyduloxyd, in Betracht. Stark eisenhaltige, geschichtete oder schiefrige Gesteine in abschüssiger Lage sind

30) Ueber die Verwitterung der einzelnen bodenbildenden Gesteinsarten gibt Dr. E. Ramann in seiner „Forstlichen Bodenkunde“, Berlin 1893, genauen Aufschluss.

der Verwitterung stark unterworfen. Bei den thonigen Gesteinen trifft dies häufig zu; Gneis verwittert rascher als Granit, Sedimentärgesteine rascher als krystallinische Massengesteine. Zu den leicht verwitterbaren Steinen gehört der Karpathensandstein, in welchem die subkarpathischen Flüsse vorwiegend ihren Ursprung haben, und welcher sich aus Sandstein, Conglomerat, Kalk- und Thonmergel, dann aus verschiedenen bituminösen Schiefen zu-



Abbildung Nr. 5. Der Kalkstock der Villnösser Geisler Spitzen, Tirol.
(Fermeda, Odlä, Sass Rigais und Force di Sielles.)

sammensetzt. Der Wiener Sandstein zeigt bei ähnlicher Zusammensetzung ähnliches Verhalten.

Ueber die einschlägigen Verhältnisse gibt auch die citirte Abhandlung Koch's¹³⁾ Aufschluss.

Das Klima ist insofern von Einfluss, als Oertlichkeiten mit häufigen und reichlichen Niederschlägen, Winden, Gewittern und insbesondere mit Hagel, dann raschen Temperaturwechselln über und unter dem Eispunkte und daher ganz besonders vermehrter Wirkung des in die Gesteinsspalten dringenden und dort frieren-

den Wassers, als dem Fortschritte der Verwitterung besonders unterworfen bezeichnet werden müssen.

Zum großen Theil hängen die klimatischen Verhältnisse von der Höhenlage und Exposition ab, weshalb den beiden letzteren ein großer Einfluss auf die Verwitterung zuzusprechen ist. Es ist erwiesen, dass die etwa 1000 Meter breite Region unmittelbar unterhalb der Schneegrenze die größte Zertrümmerung durch Verwitterung erleidet.³¹⁾ In keiner Region wird von den höhern Schneefeldern her eine so beständige Feuchtigkeit unterhalten, in keiner fehlt es so sehr an einer schützenden Bekleidung mit Schnee oder Vegetation, in keiner wechselt die Temperatur so oft über und unter dem Eispunkte. Kein Wunder daher, dass in dieser Region so viele Wildbäche ihren Ursprung nehmen! Hinsichtlich der Exposition ist zu bemerken, dass im allgemeinen die Südabhänge der Verwitterung mehr ausgesetzt sind, als alle anderen. Der Grund hiefür ist in erster Linie darin zu suchen, dass die directer auffallenden Sonnenstrahlen, dann der oft unmittelbar auffallende Südwind, schon im zeitlichen Frühjahr die schützende Schneedecke zu entfernen und so das Eindringen der schädlichen Nachtfroste zu begünstigen im Stande sind. Nach Edmund Graf²³⁾ löst der Föhn oder Scirocco in 12 Stunden eine Schneeschichte von 75 cm Mächtigkeit auf. Die Sonne kann in einem Tage 50 bis 70 cm Schnee schmelzen.

Uebrigens sind die Südhänge zufolge der in der Regel günstigeren klimatischen Verhältnisse höher hinauf von Menschen besiedelt, als alle anderen, was oft mit der Verschlechterung der gegen Verwitterung schützenden Vegetationsdecke im Zusammenhange steht.

Was diese letztere anbelangt, ist es bekannt, dass die Vegetation geschäftig an der Zerstörung der Gesteine theilhaftig ist, zwar vielleicht nur zum geringen Theile mechanisch durch das in den Boden dringende Wurzelsystem, hauptsächlich aber durch chemische Zersetzung, auf welche die Bildung des Humus, der oberflächlichen Damm- und Ackerkrumme, bestehend aus pflanzlichem Moder und dem Verwitterungsproducte des Gesteines, zurückzuführen ist. Je üppiger der Pflanzenwuchs, desto rascher im allgemeinen die chemische Zersetzung des Gesteines. Der Pflanzenwurzel kommt nicht bloß die passive Fähigkeit der

31) „Ueber Verwitterung im Gebirge“; von Albert Heim. Basel 1879.

Aufnahme jener Stoffe zu, die im Bodenwasser gelöst enthalten sind, sondern außerdem die active Thätigkeit, ungelöste Substanzen, die mit den feinsten Wurzelverzweigungen in unmittelbare Berührung kommen, in Lösung überzuführen und in sich aufzunehmen.

Es muss auch eine gewisse Ausgabe von Kohlensäure aus der Pflanzenwurzel für möglich gehalten werden, so dass durch die Vegetation ein die Verwitterung hauptsächlich veranlassendes Medium in den Boden gelangt.³²⁾

Im Hinblick auf die Geschiebeführung der Gewässer kommt aber diese, die Verwitterung fördernde Thätigkeit der Vegetation nicht in Betracht. Einerseits schafft sie eine, die tiefern Gesteinsschichten vor dem Thaltransporte schützende Hülle und andererseits durch diese selbst Material, welches, wenn schon durch Erosion oder andere Processe zur Thalfahrt veranlasst, nur befruchtend für tiefere Lagen wirken kann.

Dagegen schützt die Vegetationsdecke vor den zerstörenden Einflüssen der Atmosphärien, vor der trocknenden, ausdörrenden Wirkung der Sonnenstrahlen, vor der schädlichen Wirkung der Temperaturschwankungen, des Windes, Regens, Hagels, Frostes u. s. w. und bietet außerdem der Thalfahrt des Verwitterungsproductes mechanischen Widerstand. Ihre große Bedeutung im Regime der Gewässer in gedachter Richtung steht wohl außer jedem Zweifel.

Unter den mannigfachen Formen der Vegetationsdecke ist es der Wald, welcher vermöge seines Kronendaches, vermöge seiner Laub- und Streudecke den größten Schutz in gedachter Richtung gewährt. Allerdings ist zuzugeben, dass in einzelnen Fällen, so bei starker Aststreugewinnung, wenn die betreffenden Bestände überdies infolge der intensiven Bodenstreugewinnung auf nahezu nacktem Gesteine stocken, die mechanische, das Gestein zum Bersten bringende, nachtheilige Wirkung des Wurzelsystemes, den sonstigen, den Fortschritt der Verwitterung hemmenden Einfluss des Waldes überwiegen kann, so dass wohl mit Heim³¹⁾ zu behaupten ist, ein lückenhafter Pflanzenteppich befördert, ein dichter verzögert die Verwitterung.

Die Thalfahrt des sich an den Gehängen sammelnden, vermöge der eigenen Schwerkraft langsam nach abwärts strebenden Ver-

32) „Die Bodenkunde in zehn Vorlesungen“; von Dr. Adolf Mayer. Heidelberg 1895.

witterungsproductes wird in erster Linie durch die Schleppkraft des fließenden Wassers, dann durch den direct auffallenden Regen, Hagel, seltener durch Wind vermittelt. Hervorragend betheilt an dem Transporte des Geschiebes und namentlich des Verwitterungsproductes sind außerdem Bergstürze, Steinschläge, Gletscher und Lawinen.

Bergstürze und Steinschläge.

Die Grundursache der Bergstürze ist naturgemäß immer die, dass Gebirgsmassen, welche sich vermöge der herrschenden Böschungs- und Lagerungsverhältnisse noch im Zustande des Gleichgewichtes befinden, auf irgend eine Weise ihrer Unterstützung beraubt und zum Absturze veranlasst werden. Steil aufgerichtete, gegen ein Thal einfallende Schichten, die in ihrem Fuße oder auf den Schichtenflächen unterwaschen werden, können am leichtesten zum Absturze gebracht werden, was dann besonders zu befürchten ist, wenn auflösbare Mergel oder Thone zwischen härteren Schichten lagern. Auch nach beliebigen, im Gesteine vorhandenen Klüften findet der Abbruch dann statt, wenn Fußunterwaschungen, erhöhte unterwühlende oder Frost-Wirkung des nicht selten in Folge von Entwaldung reichlicher in das Gestein eindringenden, und dort frierenden Wassers hiezu den Anlass bieten. Stark verwitterte, von der Vegetationsdecke entblößte Felsarten sind daher, von den sehr maßgebenden geognostischen und Lagerungsverhältnissen abgesehen, der Bildung von Bergstürzen besonders unterworfen. Heftige Regenfälle, rasche Schneeschmelze können vermittelnd oder selbst ursächlich wirken, wie denn die meisten Bergstürze auch thatsächlich während der Frühjahrs- und Herbstregenperiode zu beobachten sind. Von jenen Fällen abgesehen, in welchen Erdbeben den Absturz veranlassen, kann mit Heim³¹⁾ behauptet werden, dass Vorzeichen eines Bergsturzes niemals fehlen und kein Bergsturz plötzlich eintritt. Immer gehen demselben das Ablösen kleinerer Felspartien oder einzelner Steine (Steinschlag), die Bildung von Rissen und Spalten voraus. Naturgemäß ist zu unterscheiden, ob es sich um Schutt- oder um Felsbewegungen, gegebenenfalls um beide zugleich handelt. Im ersteren Falle ist in der Regel die Bildung zahlreicher kleinerer zusammenhangloser, im zweiten Falle jene einer zusammenhängenden größeren Hauptspalte zu beobachten. Je näher der Katastrophe, desto rascher und zahlreicher erfolgt der Abbruch einzelner Steine, einzelner

Fels- und Schuttpartien, und sobald der Fuß zu weichen beginnt, ist der volle Abbruch unmittelbar bevorstehend. Krachen und Poltern der Gesteinsmassen im Inneren des Gebirges, oft hörbar auf viele Kilometer Entfernung, verrathen die innere Bewegung der aus dem Gleichgewichte gebrachten, zur Thalfahrt bestimmten Massen. Wie groß diese sind und wie gefährlich ihre Thalfahrt werden kann, möge aus den folgenden Beispielen ermessen werden.

Der große Bergsturz vom Kalkstocke des Dobratsch im Gailthale in Kärnthen (1348), verschüttete 19 Dörfer und staute den Gailfluss derart, dass die Folgen dieser Stauung, die Verumpfung des Thales, heute noch deutlich sichtbar sind.

Allein nicht nur vorübergehende Flusstauungen, sondern auch die Bildung von förmlichen Seen, der sogenannten Sonklar'schen Seen, kann die Folge von Bergstürzen sein. Im Jahre 1401 wurde durch einen Bergsturz bei Moos im Passeierthale, Tirol, der Fluss gleichen Namens, die Passer, auf eine Länge von 4,7 km und eine Breite von 3,2 km derart gestaut, dass der so gebildete See, der Passiersee, eine Tiefe von 60 Meter aufwies. Dieser See ist wiederholt, das letztmal im Jahre 1774 ausgebrochen und bei dieser Gelegenheit vollständig abgeflossen. Der verursachte Schade war enorm. In 12 Stunden flossen 150 Millionen m³ Wasser ab. Am 30. September 1512 fiel nach heftigem Regen ein Theil des Pizzo magno in das Blegnothal herab und staute die Bianca zu einem See auf, dem es erst nach zwei Jahren gelang, den Schuttwall zu durchbrechen. Dies geschah so plötzlich, dass das Dorf Biasca zerstört, das ganze Thal bis zum See verheert, 600 Menschen ertränkt und die Mauern der Festung Bellinzona fortgerissen wurden.

Dem großen Bergsturze von Goldau in der Schweiz vom Jahre 1806 fielen 457 Menschen, 111 Wohnhäuser, 2 Kirchen, 220 Scheunen und Ställe zum Opfer. 15 Millionen Cubikmeter Gestein, tertiäre Nagelfluh, kamen auf einer ausgewaschenen Mergelbank ins Gleiten.³³⁾

Der Bergsturz vom Jahre 1807 im Stubaythale in Tirol erfolgte so rasch, dass die Einwohner von Vulpmes und Plöven zu ihrer Rettung kaum 5 Minuten Zeit hatten. In Südtirol, im Canal San Bovo, hat sich im Jahre 1823 bei Primör in Folge eines Bergsturzes der Lago nuovo gebildet. Gelegentlich seines ersten, im Jahre 1825 erfolgten Ausbruches wurde das Dorf Ponte

33) „Erdgeschichte“; von Dr. Melchior Neumayr. Leipzig 1886.

mit 36 Häusern zerstört. Zwei weitere Ausbrüche verursachten ebenfalls größere Schäden. Der Bergsturz des Jahres 1881 bei Elm im Canton Glarus hat 10 Millionen Cubikmeter Gestein ins Thal geworfen, dabei wurden 115 Menschen verschüttet, 83 Gebäude zerstört und ca. 1 km² der fruchtbarsten Thalstrecken verwüstet.

Recht charakteristisch beschreibt die „Neue Züricher Zeitung“ vom Jahre 1889 den Bergsturz des gleichen Jahres bei Tscherlach im Kanton St. Gallen. „Ungefähr in der Mitte zwischen Flums und Wallenstadt, nördlich von der großen Landstraße, sanft hingelegt an den grünen Fuß des hohen Felsengebirges, gleichsam im Schutze der mächtigen Decken, die das stolze Haupt mitten im Sommer mit silberweißen Schneebändern geschmückt haben, liegen die 40 Holzhäuser des Dorfes Tscherlach, unter denen nur wenige gemauerte das größere Vermögen des Eigenthümers verkünden. Hoch oben am Berge, in der Mitte zwischen dem Vorachten und dem Jennis befindet sich, dem Auge des Thalbewohners verborgen, ein Einschnitt, der in einen kleinen Kessel ausläuft und dessen Rand wohl hundertjährige Tannen, zusammen das Rubiwäldchen genannt, umsäumen. In diesen Kessel stürzt ein magerer Wasserfall, der Kuppelbach, der nur in der Regenzeit bemerkbar wird. Was für eine unheimliche Gewalt aber das unscheinbare Wässerchen hat, wenn es anschwillt und muthig wird, das zeigt die wohl 80 Meter tiefe Rinne, die es sich in den harten Felsen eingesägt hat. Oberhalb des Rubiwäldchens nun lösen sich seit mehr als einem Jahre schon Erdreich und Fels-trümmer von der geraden Wand, so dass der da vorbeigehende Alpweg schon seit einem Jahre polizeilich verboten war. Am 25. August, Nachts um 2 Uhr, ertönten in Tscherlach die Feuerzeichen, die erschreckten Bewohner stürzten aus den Häusern, und als sie erfuhren, der Bach komme, wurden zuerst die Brücken weggeschoben, welche die Dorfsträßchen verbanden. Mitten im Dorfe gegen den Bergrand hin fließt in den Kuppelbach der Gafentisbach, der vom Vorachten herabkommt. Im Gebirge dröhnte es wie eine gewaltige Kanonade, und jeder Schuss bedeutete einen stürzenden Felsblock, der sich aufgemacht, um menschliche Stätten zu zerstören. Mit donnerndem Getöse kam die schwarze Masse herunter, in der engen Schlucht langsam sich vorwärts schiebend und, wo sie breiter war, an die Wände und Wiesenhänge hinaufspringend. Bäume von Mannesdicke fuhren

aufrechtstehend zu Thal und neigten sich, auf der Ebene ankommend, langsam zum Fall. Die Häuser an der Nordostseite des Dorfes wurden verlassen und die geringe Habe in dem nicht bedrohten Theil der Ortschaft geborgen. Eine wackere Mannschaft stellte sich auf den bergwärts vom Dorfe errichteten Mauerdamm, die Schanz, und suchte dem langsam anrückenden Feinde den Weg zu weisen. Sie musste weichen, denn die dunkle Masse ging an einzelnen Orten über die Schanz weg. Es schien, als habe der Bach seine Wuth ausgetobt. Der Sonntag und Montag gingen unter banger Wachsamkeit vorbei. Da, am Dienstag, Morgens um 9 Uhr, rief das Horn neuerdings die Mannschaft zusammen. Es kam noch grässlicher donnernd als zuvor durch den Felseinschnitt, wieder langsam rutschend, aber unerbittlich Alles vor sich niederdrückend. Welche Gewalt sich da kundgab, das zeigen weit oben am Berge die Bäume und Sträucher, die vielleicht 15 bis 20 Schritte vom Rande der Schlucht entfernt stehen. Das Leichtere, Flüssigere der Masse wurde über sie hinaufgespritzt, so dass sie heute noch aussehen, als hätte ein riesiger Maurer seinen Pinsel über sie ausgespritzt. Weiter unten, wo der Hang sanfter wird, wurde das wandernde Unheil, die schwarze Masse, wohl 30 Fuß hoch an die Mattenböschung angelegt, als hätte eine Pflugschar sie abgeschnitten und gewendet. Nun halfen die Mauern nichts mehr, sie wurden überall umgedrückt und durchbrochen. Die Masse schob sich über die Gärten, über die mitten in den Häusern liegenden kleinen Rebstöcke, in die unteren Räume der Häuser hinein, Alles verwüstend, knickend und erdrückend.

Das zunächst am Berge gelegene Häuschen steht bis ans Dach im schwarzen Schlamm. Im Bodenraum aller benachbarten Häuser liegt Wasser und Schlamm mehrere Fuß tief, und die kleinen Keller, wo die Fabrikarbeiter, aus denen der Haupttheil der Bevölkerung besteht, ihren Most aufbewahrten, sind ausgefüllt. Der Gafentisbach ergoss sich über die Straßen und Plätzchen bis zur Kirche hinunter, drang in diese ein und überdeckte den Boden mit flüssigem Schlamm. Um einen Abzug zu schaffen, wurde die Mauer des wohl zwei Meter tief eingegrabenen Bettes des Kuppelbaches durchbrochen und die Masse ergoss sich auf die blühenden Wiesen, die nun wohl jahrelang nicht werden bebaut werden können. Kein einziger Theil des Dörfchens ist unbeschädigt. Zahlreiche Hilfsmansschaften arbeiten mit größter Anstrengung,

um die Wasser- und Schlamm Massen zu vertheilen und vom Dorf abzuleiten. Mit dem eingetroffenen schönen Wetter ist die Gefahr plötzlicher neuer Abstürze verringert. Immerhin kann die Gefahr beim nächsten Regenwetter wieder eintreten. Die gewaltigen



Abbildung Nr. 6. Schuttkegel des Bergsturzes am Arlberge vom Jahre 1892.

Geschiebemassen sind nicht mehr aufzuhalten. Die Bewohner von Tscherbach sind von der Angst gefoltert, stündlich ihren ganzen Besitz verlieren zu müssen, und wenn das Schlimmste nun ausgeblieben, so belehrt sie ein Blick auf die Berge, dass die Vernichtung nur eine Verzögerung erlitten hat.“

Ein gewaltiger Bergsturz war auch jener, der sich im Jahre 1892 von der Westseite des Arlberges im sog. „Blisadonatobel“ löslöste, die Arlbergbahn unterhalb der Station Langen streckenweise zerstörte und die Ortschaft Klösterle bedrohte. Der Schutt-

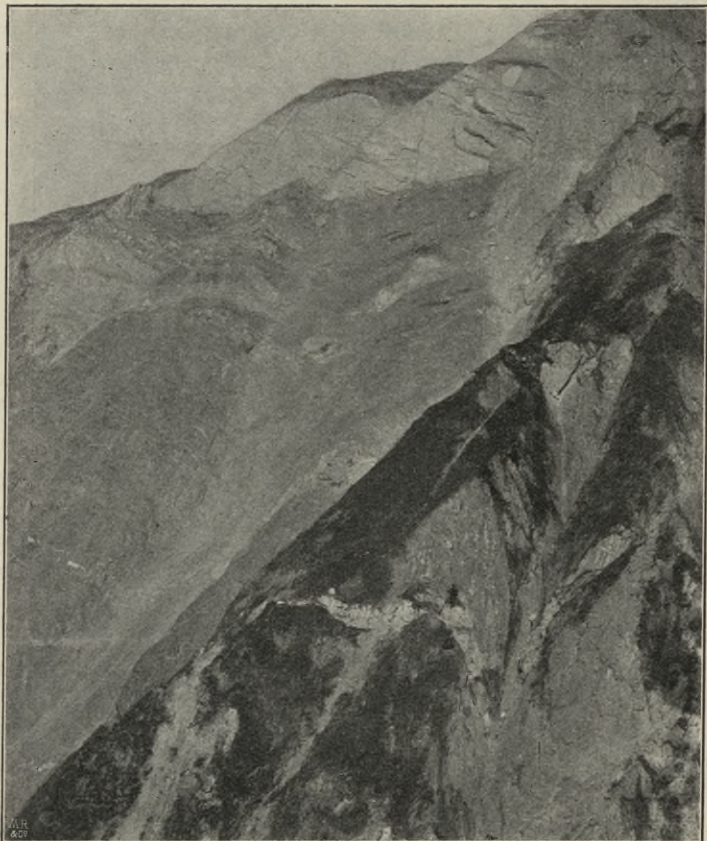


Abbildung Nr. 7. Abbruchstelle des Bergsturzes am Arlberge vom Jahre 1892.

kegel des Bergsturzes war so mächtig, die noch drohende Gefahr ist so groß, dass sich die Bahnverwaltung entschloss, den ersteren mittelst eines Tunnels zu unterfahren. Abbildung Nr. 6, Seite 35, veranschaulicht den Schuttkegel, jene Nr. 7 die Abbruchstelle dieses Bergsturzes.

Bemerkenswerthe Bergstürze neuester Zeit sind die vom Hasenberge bei Klappai in Böhmen, am 8. April 1898, von Airolo an der Gotthardbahn, Neujahr 1899,³⁴⁾ und bei Schwanden im Berner Oberland, April 1901. Eine Bergsturzkatastrophen von furchtbarem Umfange war im Frühjahr 1901 für das von der französischen Grenze bei Verrières nach dem Neuenburgersee in der Schweiz führende Traversthal zu befürchten. Die Ursache erblickte man in den Bergwerksbetrieben unterhalb der mit dem Absturz drohenden Bergpartie, deren Mächtigkeit auf ein Volumen von nahezu einer Million Kubikmeter geschätzt wurde.

Interessante Beispiele von Bergstürzen in den französischen Alpen und Pyrenäen sind der französischen Literatur^{35 u. 36)} zu entnehmen. So ist der Bergsturz vom Pic de Péguyère bei Cauterets in den französischen Hochpyrenäen, durch welchen das Thermalbad gleichen Namens bedroht erschien, besonders hervorzuheben. Weiter sind zu nennen die Bergstürze von d'Arbin, von Bec-Rouge im Departement de la Savoie u. a. m.

Es ist wohl nicht erforderlich, über das Diminutivum des Bergsturzes, den Steinschlag, Worte zu verlieren. Er vollzieht sich in dem Innern der Täler, sozusagen stetig, sei es durch das Abstürzen oder Abrollen einzelner großer Steine oder kleinerer Felspartien, sei es durch das Abrollen kleinerer Steine, die sich dann zumeist in Form von Steinhalden, im Gebirge auch „Steinlammern“ genannt, an den Gehängen ansammeln.

Das Eintreten warmer Witterung im Frühjahr, wenn die Frostwirkung im Innern des Gesteins fühlbar wird, Hagel, Regen und Wind begünstigen den Steinschlag.

Gletscher.

Die transportirende Thätigkeit der Gletscher, auf welche, insofern frühere Epochen der Erdgeschichte in Frage kommen, das reichliche Vorkommen des Glacialschuttes in den Hochgebirgen zurückzuführen ist, ist eine bekannte Thatsache. Gesteinstrümmer, zumeist Producte der Verwitterung, welche von steilen Abhängen auf den Gletscher fallen, bzw. unter denselben

34) Oesterreichische Monatsschrift für den öffentlichen Baudienst, vom Jahre 1899.

35) „L'extinction des torrents en France par le reboisement“; von P. Demontzey. Paris 1895.

36) „Eboulements, glissements et barrages“; von M. Kuss. Paris 1900.

gelangen, werden von ihm in Form von Seiten-, Mitten- oder Grundmoränen bei der Bewegung nach abwärts mitgeführt. Ebenso ist die den Glacialschutt bildende End- oder Stirnmoräne, jener vielfach gewaltige, oft über 100 Meter hohe Wall, welcher das untere, vordere Ende des Gletschers umgibt, oder im Falle der Rückwärtsbewegung des Gletschers, d. h. im Falle seiner Verkürzung oft weitab von dessen unterem Ende zu finden ist, aus jenen Ge-

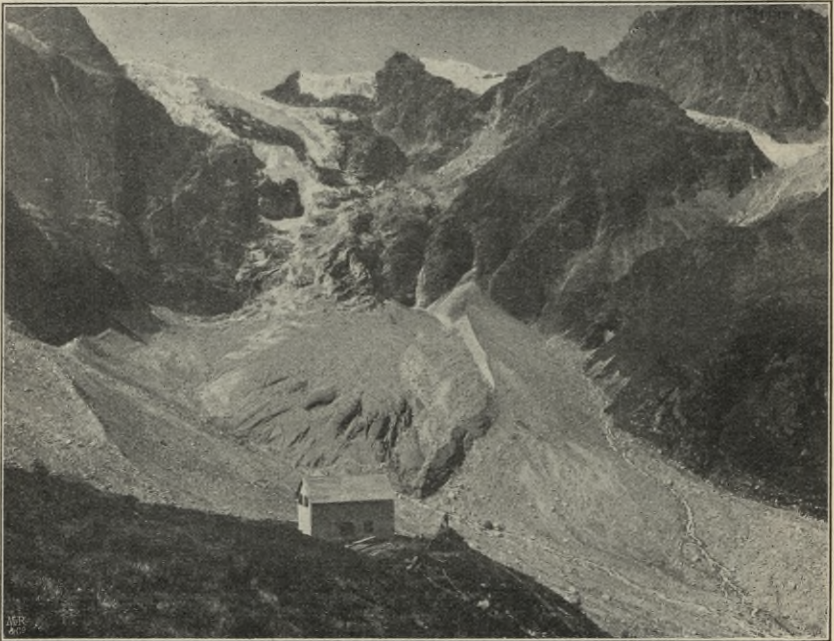


Abbildung Nr. 8. Die Laaserferner mit der Troppauer Hütte.

Nach einer Photographie des k. u. k. Hofphotographen B. Johannes in Meran.

steinsmassen zusammengesetzt, welche die Thalfahrt des Gletschers in Form der früher erwähnten Moränen mitgemacht haben. Die oft ungeheure Masse des an den Gletscherenden angehäuften Schuttes ist aus Abbildung Nr. 8 ersichtlich.

Während das Materiale der Seiten- und Mittenmoränen durch den Transport nicht verändert wird, also seine ursprüngliche Gestalt behält, wird jenes der Grundmoräne gedrückt, geritzt, abgerundet, zerrieben, an den Ecken abgestossen, unter

allen Umständen verkleinert, macht also ähnliche Veränderungen wie das vom Wasser getragene Geschiebe mit.

Das Vorhandensein ungeheurer Massen solchen Gesteines, des Glacialschuttes, zusammengesetzt zumeist aus den Producten der Verwitterung aller jener Gesteinsarten, durch welche sich ehemals der Gletscher bewegte, ist auf die transportirende Gletscherthätigkeit zurückzuführen. Gewiss ist auch das reichliche Vorkommen des Glacialschuttes in den Wildbächen mit Rücksicht auf den Umstand, dass derselbe der erodirenden Thätigkeit des Wassers so geringen Widerstand entgegengesetzt, eine beklagenswerthe Thatsache.

Das Vorkommen eines Gletschers im Wildbachgebiete bedeutet an und für sich schon eine eminente Gefahr.

Abgesehen davon, dass bei hoher Temperatur und namentlich bei warmem Winde die Gletscherwässer außerordentlich rasch und mächtig anschwellen, so ist noch anderer schädlicher Einflüsse auf das Regime des Gewässers zu gedenken. So muss vor allen jener Katastrophen gedacht werden, welche auf die Bildung von Stauseen, Eisseen, infolge Vorrückens der Gletscher und ihrer Moränen oder in Folge von Gletscherabbrüchen zurückzuführen sind. Auch können Gletscherabbrüche, wie solche namentlich an Gletscherkaskaden, Hängegletschern, zu beobachten sind, allein schon verheerend wirken. Ein Beispiel in ersterer Hinsicht bietet der Vernagtgletscher im oberen Oetzthale in Tirol, welcher seinerzeit während seiner starken Entwicklung das Rofenthal vollständig abspernte und so die Veranlassung zur Bildung eines Sees gab, der im Jahre 1601 das erstemal, später aber noch mehrmals ausbrach und das ganze Oetzthal verwüstete.

Von Interesse ist die Katastrophe des Jahres 1891, von welcher das Martellthal in Tirol in Folge Ausbruches eines Gletschersees heimgesucht wurde, und auf welche sich die Abbildungen Nr. 9, 10, 11 und 12, Seite 40 und 42, beziehen.

Toula³⁷⁾ gibt über dieselbe folgende Beschreibung:

Das Martellthal oder das Thal des Plimabaches mündet bei Laas oberhalb Schlanders in die obere Etsch. Am Ausgange des Enzthales hat der Bach in viel früherer Zeit einen gewaltigen Schotterkegel aufgeschüttet, dessen Spitze eine Seehöhe von 726 m

37) „Ueber Wildbach-Verheerungen und die Mittel ihnen vorzubeugen“; von Franz Toula. Wien 1892.



Abbildung Nr. 9. Gletschersee im Martellthale.

Nach einer Photographie des k. u. k. Hofphotographen B. Johannes in Meran.



Abbildung Nr. 10. Ausbruch des Stausees im Martellthale.

Nach einer Photographie des k. u. k. Hofphotographen B. Johannes in Meran.

besitzt. Von hier zieht sich das Thal im allgemeinen in südöstlicher Richtung im Bereiche der krystallinischen Schiefer höher und höher empor. Bei etwa 2000 m Höhe vereinigen sich zwei Gletscherbäche, der Madritschbach und der Plimabach.

Noch weiter oben liegt das Gebiet des oberen Zufallbodens. Zwei Gletscher kommen hier ins Thal des obersten Plimabaches herab, dieselben haben ihre Firnfelder in dem großen Circus zwischen der Zufallspitze im Süden (3761 m), der Suldenspitze im Westen (3385 m) und der Eisseespitze im Norden. Zwischen dem mit Moränenschutt bedeckten Zungenende des Zufallferners, welches bis an die linke Thalwand reicht und jenem des Langenferners erfolgte ein Aufstau der Plima zu einem Eissee, der seinen Abfluss durch ein Gletscherthor erhielt. Dasselbe genügte aber nicht für die sich dahinter ansammelnden Schmelzwässer und es bildete sich daher ein Stausee, welcher am 18. Juni 1891 die Barre durchbrach und das Martellthal in großartiger Weise verwüstete. Sieben Häuser wurden vollkommen zerstört, sämtliche Schutzbauten und Brücken wurden vernichtet, große Massen des Moränenschuttes zu Thale getragen. Die durch ein Signal gewarnten Bewohner von Martell konnten sich noch zur rechten Zeit retten. Die grauen Massen am Gletscherthore, Abbildung Nr. 11, sowie die Blöcke im Vordergrund, sind nicht Fels, sondern Eis. Die Fläche rechts in Abbildung Nr. 12, auf welcher aus dem Gerölle ein halb verschütteter Baum hervorragt, ist der Platz, auf welchem das vom Ausbruche vollkommen hinweggefegte, den Touristen wohl bekannte Gasthaus des Bergführers Eberhöfer stand.

Ueber diese höchst interessante Katastrophe im Martellthale gibt auch Mayr in der österreichischen Monatsschrift für den öffentlichen Baudienst genauen Aufschluss.³⁸⁾

Uebrigens sei bezüglich der Bildung von Eisseen noch besonders auf eine verdienstvolle Arbeit Simonys³⁹⁾ verwiesen.

Von Interesse sind auch die Beispiele, welche Frech⁴⁰⁾ anführt, so die Umlagerung der Endmoränen an den Trafoier Gletschern, welche von den gewaltigen Geröllmassen Zeugnis

38) „Die Gletscheranbrüche im Martellthale und der Klausenbau am Zufallboden“; von Franz Mayr. Monatsschrift für den öffentlichen Baudienst. Wien 1895.

39) „Ueber die Alluvialgebiete des Etschthales“; von Friedrich Simony. Wien 1857.

40) „Ueber Muren“; von Professor Dr. F. Frech. Zeitschrift des deutschen und österreichischen Alpenvereins. München 1898.



Abbildung Nr. 11. Gletscherthor im Martellthale nach dem Ausflusse
des Stausees.

Nach einer Photographie des k. u. k. Hofphotographen B. Johannes in Meran.



Abbildung Nr. 12. Das durch den Gletscherausbruch verwüstete Martellthal.

Nach einer Photographie des k. u. k. Hofphotographen B. Johannes in Meran.

geben, die das Schmelzwasser in Form von Schuttkegeln am Fuße der Wände ablagert.

Der in Folge eines Gletscherabbruches veranlassten furchtbaren Altelskatastrophe fiel binnen wenigen Augenblicken ein blühendes Alpenthal, in eine Eiswüste verwandelt, zum Opfer. Der Ort des Ereignisses ist ein Hochthal von 2 km Länge und 1 km Breite, im Osten durch das Massiv des Altels begrenzt. Von da löste sich ein Theil von dem Hochfirn und stürzte, in seinem Laufe alles verheerend und verwüstend, thalabwärts. Die Sturzhöhe wurde mit rund 1400 m gemessen und die stürzende Masse mit etwa 4000000 m³ angeschätzt. Die Ursachen waren neben geologischen Verhältnissen warme Witterung und die Thätigkeit der Sickerwässer.

In sehr ausführlicher Weise beschreibt Kuss in dem bezogenen Werke „Les torrents glaciaires“¹⁸⁾ die einschlägigen Verhältnisse und insbesondere die außerordentlichen Schäden, welche durch Gletscherstürze, Gletscherlawinen, verursacht werden können. So heißt es beispielsweise hinsichtlich des Wildbaches von Bionnasset und des Gletschers „Tête-Rousse“: Während der Nacht vom 11. auf den 12. Juli 1892 hat ein plötzliches Hochwasser des Wildbaches von Bionnasset 200 Menschenleben vernichtet, das Thal von Montjoye in Savoyen und einen großen Theil des Thermalbades von Saint-Gervais-les-Bains und 2 Weiler zerstört. Mehr als 70 Hectar fruchtbaren Culturbodens wurden mit Felsblöcken, Geschiebe und Trümmern aller Art bedeckt. Die Ursache war in dem plötzlichen Abbruch des kleinen Gletschers „Tête-Rousse“ und dieser selbst wieder in der viele Monate hindurch herrschenden hohen Temperatur gelegen. Da der Wasserabfluss mit der Gletscherschmelze nicht Schritt halten konnte, sammelte sich Schmelzwasser in den Gletscherspalten, zwischen Gletscher und Felsen und wo es sonst hiezu geeignete Oertlichkeiten fand, an und lockerte so den Zusammenhang gewaltiger Eismassen. Auf diese Weise und vermuthlich durch Bildung eines Eissees unterstützt, kam der genannte Gletscher in Bewegung, nachdem schon früher durch Gletscherabtrag in der Flanke außergewöhnliche Massen des Moränenschuttes zur Thalfahrt bereit lagen.

Im März des Jahres 1901 erfolgte von der Fletschhornspitze am Simplon, 4000 Meter hoch, ein Gletschersturz. Die Masse wurde auf 10 Millionen Cubikmeter, Gletschereis mit großen Fels-

stücken gemengt, geschätzt. Das Thal soll in der Ausdehnung von einem Quadrat-Kilometer 20 bis 100 m tief verschüttet gewesen sein.

Lawinen.

In ebenso hervorragender Weise wie die Gletscher, sind an dem Thaltransporte des Verwitterungsproductes die Lawinen theiligt.

Die Verbreitung der Lawinen ist nicht immer die gleiche gewesen. Am meisten zurückgedrängt waren sie jedenfalls zur sogenannten Eiszeit, wo die Gletscher weit herabreichten; ihre Zunahme steht ohne Zweifel im Zusammenhange mit dem Herabdrücken der Vegetationsdecke, mit dem Zurückdrängen des Waldes.

Verschiedene Einflüsse sind es, welche den auf den Gehängen angehäuften Schnee in Bewegung setzen und so das Entstehen der Lawinen verursachen.

Auf schiefen Flächen findet mitunter selbst schon bei geringem Gefälle, den Gesetzen der Schwere folgend, eine Bewegung des Schnees statt. Sie hängt von der Neigung des Hanges, von der Beschaffenheit und Masse des gefallenen Schnees, von den Witterungsverhältnissen, so namentlich Windströmungen, dann von der Configuration, Beschaffenheit der Bodendecke und mitunter auch von Zufälligkeiten ab.

Die Grundursache des Entstehens gibt den Lawinen in der Regel auch ihren Charakter. So werden die Lawinen nach Coaz⁴¹⁾ in Staub-, Grund- und Oberlawinen getheilt, zu welchen noch die Gletscherlawinen zugezählt werden können.

Staublawinen entstehen, wenn es bei kalter Witterung stark schneit. Die große Masse des leichtflüchtigen Schnees geräth dann auf steilen waldlosen Hängen wie eine Schichte Sand in Bewegung, und reißt die übrige Schneemasse mit sich fort. Der feine Schnee wird vom Winde getragen, der schwerere bewegt sich am Boden. Die Luft wird comprimirt und strömt als Orkan, dessen Wirkung zumeist eine größere als jene der Lawine selbst ist, dieser voraus zu Thale. Solche Lawinen brechen gewöhnlich schon während des Schneefalles ab, oder sie werden nachträglich durch Windströmungen veranlasst.

41) „Die Lawinen der Schweizer Alpen“; von J. Coaz. Bern 1888.

Ein Beispiel bietet die Staublawine vom Jahre 1876, welche sich vom Piz St. Michel in Graubünden loslöste und deren Luftdruck auf eine Entfernung von $2\frac{1}{2}$ km zu verspüren war.

Im Jahre 1827 trug der Sturm einer Staublawine bei Süs im Unterengadin einen großen Lärchenstamm über den Thurm des Gefängnisses und legte ihn jenseits des Inn, ca. 100 m ober dem Flusse nieder.

Der bei mäßiger Kälte gefallene Schnee ist nass, massig, schwer und hängt an dem Boden ziemlich fest an. Größere Massen solch frisch gefallenen Schnees rutschen viel eher ab oder sind bei mäßig warmer Temperatur noch zu locker, um nicht von selbst in Bewegung zu gerathen. Dieser Schnee bleibt aber mehr massig beisammen, zerstiebt nicht, übt daher auch keinen so großen Druck auf die Luft aus, wie derjenige der Staublawine. Die Schnelligkeit der letzteren ist vermöge der Reibung, vermöge der Hindernisse an der Gleitfläche, eine verhältnissmäßig geringe, ihre Wirkung eine räumlich beschränkte. Solche Lawinen heißen Grundlawinen, Schlag-, Schlass- oder SchlessemLawinen.

Wenn auf die Firnkruste des gefrorenen alten Schnees frischer Schnee fällt, und dieser dann auf der glatten Gleitfläche in Bewegung geräth, so wird von Oberlawinen gesprochen.

Gletscherlawinen dagegen entstehen, wie schon der Name sagt, wenn sich am Ende eines Gletschers bedeutende Eismassen lösen, über steile Hänge stürzen, dabei in kleine Eistheilchen zerstieben und in Form einer Staublawine ins Thal stürzen. Ihnen kann füglich der Charakter der im vorhergehenden Absatze erwähnten Gletscherstürze, bei welchen die Eismassen keine so weit gehende Zerkleinerung erfahren, nicht zugesprochen werden. Abrutschende Schneemassen endlich oder Lawinen von kleinem Umfange werden als Schneerutschen bezeichnet. In einer jüngst erschienenen Abhandlung von Campagne⁴²⁾ über Lawinenverbauung, ist der Hauptsache nach eine ähnliche Eintheilung und zwar in fliegende und Bodenlawinen, d. h. die vorgenannten Staub- und Grundlawinen „avalanches volantes“ und „avalanches terrières“, dann in gemischte Lawinen, „avalanches mixtes“, getroffen. Die letzteren bilden eine Combination der beiden ersteren.

Um die Ursachen der Lawinenbildung kurz zu berühren, ist zunächst hervorzuheben, dass die Neigung des Hanges als wohl

42) „Travaux de défense contre les avalanches dans la vallée de Barèges“; par M. Campagne. Paris 1900.

nicht immer ausschlaggebend, aber doch als maßgebend angesehen werden muss.

Unregelmäßiges Gefälle ist der Lawinenbildung weniger günstig, als regelmäßiges. Ein terrassirter Hang kann das Entstehen von größern Grundlawinen verhindern. Das gleiche gilt von sanft verlaufenden Mulden, in welchen sich größere Schneemassen anzusammeln vermögen. Muldenförmiges, abschüssiges Terrain ist dagegen der Lawinenbildung förderlich, weil durch das sich am Muldenrunde ansammelnde Schmelzwasser der Schnee leicht in Bewegung geräth.

Eine hervorragende Rolle spielen die Masse des gefallenen Schnees und die herrschenden Witterungsverhältnisse. Während die Staublawinen zu Beginn und während des Winters am häufigsten zu beobachten sind, gehen die Grundlawinen zumeist zu Ende des Winters oder zu Beginn des Frühjahres, zur Zeit der Schneeschmelze, und zwar gewöhnlich innerhalb eines Zeitraumes von 14 Tagen ab. Ein zur Zeit der Schneeschmelze eintretender Regen befördert den Abgang von Grundlawinen ganz besonders. Oberlawinen bilden sich zumeist während der Monate December, Jänner und Februar. Bei ruhigem Wetter hält sich der Schnee bis zu einer bedeutenden Schichte am Hange; bei stürmischer Witterung rutscht er schon bei geringer Schichtenhöhe. Je bewegter die Luft, desto eher entwickeln sich daher die Lawinen und insbesondere die Staublawinen. Das Ueberspringen des Windes von einer in eine andere Richtung soll das Anbrechen von Lawinen ganz besonders begünstigen.

Der Grad der Sonnenwärme zur Zeit der Schneeschmelze ist von hervorragendem Einfluss auf den Abgang von Lawinen. Die Südabhänge, mit direct einfallenden Sonnenstrahlen, sind daher der Lawinenbildung günstiger als die Nordabhänge. Wegen der sich auf der Sonnenseite des Gebirges leichter bildenden Firnkruste, treten dort Oberlawinen häufiger als auf der Schattenseite auf. Bei windstillem Wetter und kräftigem Sonnenschein fällt die Zeit des Lawinensturzes nach Coaz auf die ersten Nachmittagsstunden, je nachdem der Hang etwas früher oder später von den Sonnenstrahlen getroffen wird. Bei Südwind, Scirocco, halten sich die Lawinen an keine Zeit mehr. Im Hochgebirge fallen übrigens Lawinen nicht selten bei jedem neuen Schneefall, selbst mitten im Sommer. Es wird auch beobachtet, dass Lawinen zumeist bei heiterer Witterung, seltener bei be-

wölktem Himmel abgehen, weil bei heiterer Witterung, namentlich wenn morgens Kälte eintritt, der Schnee, d. h. die Eisfäden, welche ihn an die Bergseite festhalten, sich zusammenziehen, brechen und die Bewegung der Massen herbeiführen. Quell- und Sickerwässer, dann die Schmelzwässer durchfeuchten die untere Bodenschichte bis zur Sättigung und vermindern im Abwärtsgleiten auf der Trennungsfläche die Reibungswiderstände dortselbst. Sie sind sonach der Bildung von Grundlawinen förderlich.

Die geologischen Verhältnisse des Grundgesteines sind weiter sehr einflussnehmend. Die krystallinischen Massengesteine sind, bei gleicher Steilheit des Hanges der Lawinenbildung weniger günstig, als die krystallinischen Schiefergesteine, z. B. Glimmerschiefer, Flysch u. s. w. Stark in Verwitterung begriffenes Gestein ist der Bildung von Grundlawinen förderlicher als festes, obzwar große Steine und Felsblöcke dem Lawinenabgang mitunter gute Hindernisse bieten. Gefährlich und zwar im Hinblick auf das Abgehen von Grundlawinen, sind steile, mit Quell- und Sickerwässern durchtränkte Schichtenseiten, auf welchen die Bodenschichte stets feucht und im gefrorenen Zustand auch schlüpfrig bleibt. Die Seite der Schichtenköpfe mit rauher Oberfläche ist der Lawinenbildung, wenn nicht besonders starke Neigung vorhanden, weniger günstig.

Von Einfluss auf die Lawinenbildung ist die Beschaffenheit der Vegetationsdecke. Geradstämmiger, dichter, nicht zu alter Wald bietet die meisten Hindernisse. Weiden-, Krummholz-, Erlen-, Jungbuchen- und Junglärchenbestände können in Folge ihrer Elasticität die Bildung von Lawinen nicht immer und nicht überall verhindern. Rasen ist dem Abgleiten des Schnees günstig. In den über der Waldvegetation gelegenen sogenannten „Bergmähdern“ mit oft 40 bis 50 Grad Neigung, sind Lawinen am meisten zu beobachten. Insbesondere treten dieselben gerne im zweiten Winter dort ein, wo die Ernte nur jedes zweite Jahr erfolgt. Im ersten Winter nach der Heuernte geben nämlich die steifen Grasstoppeln noch einigen und zwar mehr Halt, als das lange und schlüpfrige Gras des zweiten Jahres.

Unter den Zufälligkeiten, welche die Lawinenbildung begünstigen können, ist das Abfallen von Eiszapfen, Steinen, Aesten und namentlich von Schneeschildern und Schneewächten, wie solche sich nicht selten an scharfen Gebirgsrücken, vorstehenden Felspartien etc. bilden, zu nennen.

Wird der Fuß einer Schneewand von einem Bache unterwaschen oder unterbricht eine Quelle, oder sonst ein Umstand den Zusammenhang der Schneemassen, so wird das Entstehen der Lawinen begünstigt. Im Thale St. Anton in Graubünden verfolgte nach Coaz im Jahre 1868 ein Jäger, durch eine Schneewand watend, die Spur eines Fuchses und gab so Veranlassung zur Bildung einer Lawine, die ihm das Leben kostete. Auf ähnliche Weise, d. i. durch selbst veranlassten Schneeabbruch, geht jährlich viel Wild, insbesondere Gemen zu Grunde. Hinsichtlich zufälliger Erschütterung wird auch darauf verwiesen, dass die Landbevölkerung nicht selten sogar das Glockengeläute als Lawinen-Erreger fürchtet.

Der durch Lawinen verursachte Schaden ist mitunter ein ganz enormer. Viele Menschen und Thiere verlieren alljährlich im Hochgebirge durch Lawinen das Leben, und nicht nur einzelne Häuser, sondern mitunter ganze Dörfer werden verschüttet, sowie Communicationen zerstört, Waldbestände vernichtet, die Abflussverhältnisse in den Gebirgswässern wesentlich verschlechtert. Auch das Mittelgebirge ist nicht immer von Lawinen verschont.

Zumeist ganz besonders verheerend, weil ganz unberechenbar, wirken die Ober- und Staublawinen, die ersteren insbesondere in Folge des orkanartigen Sturmes, der durch das schnelle Abgleiten bedeutender Schneemassen verursacht wird. So wurde beispielsweise die Endgeschwindigkeit der im Jahre 1879 von den Nordhängen des Dobratsch abgestürzten Oberlawine, welche den Markt Bleiberg verschüttete, mit 145 Meter per Sekunde berechnet, während die stärksten Orkane in den Tropen nur eine Geschwindigkeit von 79 Meter erreichen.⁴³⁾ Bäume brechend und Häuser zerstörend, senken sich derartige Lawinen, von rasenden Wirbelwinden begleitet, zu Thale. Ganze Waldbestände fallen ihr zum Opfer und ihre Wirkung erstreckt sich stundenweit, oft selbst bis zu dem gegenüberliegenden Gelände breiter Thäler.

In gewisser Beziehung minder gefährlich, weil im Gegensatze zu den Staublawinen zumeist gewissen, bekannten Lawinenstrichen folgend, sind in ihrer Wirkung die Grundlawinen, und das auch schon deshalb, weil sie in der Regel zur Zeit der Schneeschmelze, also dann entstehen, wenn die Mächtigkeit der Schneeschichte oft schon wesentlich abgenommen hat. Für den Transport des

43) „Wildbäche und Lawinen, deren Wesen, Entstehung, Verbauung“; von G. R. Förster. Handbuch der Forstwissenschaft von Dr. Tuisko Lorey. Tübingen 1887.

Verwitterungsproductes sind aber gerade diese Lawinen von besonderer Bedeutung.

Unter dem Drucke der beweglichen Schneemasse wird nicht nur das lose am Boden aufliegende Verwitterungsproduct mitgerissen, es wird auch in Folge Erosionswirkung der schweren Schneemasse der Boden aufgewühlt, das Grundgestein bloßgelegt und so dem Verwitterungsprocesse in erhöhtem Maße unterworfen. Die mit Steinen, Erde, Rasenstücken, Wurzeln, Aesten, ja selbst Stämmen durchsetzte Schneemasse stürzt zu Thale und hemmt oft in Form eines Kegels den Lauf der Gewässer, wie dies aus Abbildung Nr. 13, Seite 50, ersichtlich ist. Im Jahre 1827 hielt eine gewaltige Lawine bei Sius den Inn eine halbe Stunde auf, so dass das Dorf vollkommen unter Wasser gesetzt wurde. Die Oberfläche eines solchen Lawinenkegels ist höchst uneben, porös, mit Löchern und Sprüngen versehen. Der Kegel einer Grundlawine ist größer, als jener einer Staublawine, deren Schnee theilweise verstaubt. Der Kegel der Lawine vom Jahre 1876, von Ratschitsch bei Zernez im Unterengadin, hatte eine Breite von 168 Meter, eine mittlere Höhe von 12 Metern, eine Maximalhöhe von 19,2 Metern und eine Länge von 300 Metern. Zur Einhaltung des Verkehrs musste eine Galerie von 75 Meter Länge durchgegraben werden. Der letzte Rest dieser Lawine schmolz erst im Sommer des darauf folgenden Jahres. Das Abschmelzen des Lawinenkegels beginnt fast sofort nach seiner Bildung. Namentlich tragen hiezu die Sonne, warme Winde, warme Regen und Quellen bei. Um dunkle Gegenstände herum, als Felsen, Bäume, die aus der Lawine hervorragen, schmilzt der Schnee besonders rasch, hauptsächlich auf der Südseite. Das Wasser zeigt zunächst die Tendenz, die Schneemassen von unten nach oben zu lockern, zu lösen und sich einen kanalartigen Abfluss zu schaffen. An Stelle des Lawinenkegels verbleibt endlich der Schotterkegel, bereit zur Thalfahrt im Falle höherer Wasserstände.

Ueber Lawinenschäden in Oesterreich und in der Schweiz geben die in den Fussnoten ⁴⁴, ⁴⁵ u. ⁴⁶) angeführten Abhandlungen detaillirten Aufschluss.

44) „Ueber die Lawinen Oesterreichs und der Schweiz und deren Verbauungen“; dann

45) „Ueber den Schnee im Gebirge“; von Vincenz Pollak. Zeitschrift des österr. Ingenieur- und Architekten-Vereines. Wien 1891.

46) „Der Lawinenschaden im schweizerischen Hochgebirge im Winter und Frühjahr 1887 u. 1888“; von J. Coaz. Bern 1889.

Ueber Lawinenschäden in den französischen Alpen berichten Demontzey¹⁴⁾ und Campagne⁴²⁾ in den bezogenen Werken; auch der Bericht über den internationalen Forstcongress zu Paris, 1900,



Abbildung Nr. 13.

Lawinenablagerung in Schmittenbache bei Zell am See, Salzburg.

enthält Wissenswerthes über Lawinen und Lawinenschäden. Hierauf wird an anderer Stelle zurückgekommen werden.

Von Interesse, weil ein beiläufiges Bild der möglichen Beschädigungen entrollend, ist eine Zusammenstellung über den während des Winters 1895—1896 in Tirol und Vorarlberg erhobenen Lawinenschaden. Der „Bote für Tirol und Vorarlberg“ hat hierüber be-

richtet: Unter den Lawinenzügen, welche insgesamt eine Schneemasse von ca. 600000 m³ aufwiesen, werden als ständige 1355, periodische 765 und vereinzelt aufgetretene 527, zusammen 2647 gezählt. Nicht weniger als 53 Menschen haben durch die Lawinen den Tod gefunden. An Thieren wurden folgende Verluste constatirt: 6 Pferde, 38 Ochsen und Kühe, 121 Rinder, 11 Schweine, 105 Schafe, 100 Ziegen, 2 Maulthiere, 104 Gemsen, 23 Rehe, im Ganzen 510 Stück im Werthe von 17,318 fl. Die Zahl der zerstörten Baulichkeiten ist eine überraschend hohe gewesen. Es waren dies 103 Häuser, 94 Stallungen, 150 Alpenhütten, 445 Heustadln, 1 Waschküche, 245 verschiedene Oekonomiegebäude, 1 Stationshaus und ein Wächterhaus (Bahngebäude), 38 Schupfen, 52 Mühlen, 27 Futterhäuser, 29 Brücken, 1 Bergwerksgebäude, 4 Straßen, 9 Sägen, 2 Backöfen, 2 Kapellen, zusammen 1204 Objecte im Werthe von 278,789 fl. Der Schaden an vernichteten Fahrnissen, Lebensmitteln, Viehfutter und dergleichen bezifferte sich auf 8966 fl. Die Beschädigungen an Aeckern, Wiesen, Obstgärten u. s. w. betragen 26,340 fl.; der Schaden an Einzäunungen 729 fl. Aber auch der Wald wurde von den Lawinen, die sich hoch über der Vegetationsgrenze gebildet hatten, hart mitgenommen; die verwüstete Fläche betrug 2020,65 Hectar mit einer beiläufigen Holzmasse von 302,343 Festcubikmetern und einem Schaden von 422,020 fl. Nach der vorgenommenen Bewerthung stellte sich demnach der Gesamtschaden, durch Lawinen in Tirol und Vorarlberg im Winter 1895/96 verursacht, auf 754,162 fl.

Außerdem wurde eine Person schwer verwundet, zwei Personen derart verletzt, dass sich eine mehrmonatliche Arbeitsunfähigkeit als Folge ergab; eine Frau ist wahnsinnig geworden. Außer den vorbezeichneten Objecten hat es sehr viele gegeben, die durch die abgegangenen Lawinen stark beschädigt worden sind; so wurde das Hôtel auf der Franzenshöhe zum Theil zerstört, drei Kirchen und ein Friedhof, ein Schutzhaus (die Augsburger Hütte), eine Kieswäscherei, ein Bergwerksgebäude mit Maschinen, eine Trinkuranstalt beschädigt. Im Weiteren haben die Lawinen an 28 Gebäuden die Dächer eingedrückt, sowie Wasserleitungen und Stege abgerissen. Die an der Staatsbahn und an der Südbahn durch die Lawinen der genannten Jahre verursachten Verkehrsstörungen erforderten zu ihrer Behebung einen Aufwand von 70000 fl.

Erosion und Corrosion.

Die bei weitem größte Menge des von den Wildwässern und vom Wasser überhaupt transportirten Geschiebes und somit auch die größte Denudationsarbeit auf dem Festlande, ist auf die Erosion, Corrosion und auf die Unterwühlung der hangenden Bodenschichten, oder auch festerer Gesteine, die auf weichen, thonigen oder sonst leicht zerstörbaren Schichten ruhen, zurückzuführen.

Das Wasser zeigt das Bestreben, die Sohle des Rinnsales dann zu vertiefen, „zu kolken“, wenn seine Kraft größer ist als der Sohlenwiderstand. Diese kolkende Thätigkeit des Wassers, welcher nicht immer mechanische Kräfte allein, sondern auch chemische Vorgänge zu Grunde liegen können, heißt erodirende Thätigkeit, Erosion oder genauer umschrieben „Longitudinal-Erosion.“

Sie äußert sich nicht nur in der Vertiefung der Sohle, sondern im Zusammenhange hiemit auch in der Lockerung der Lehnenfüße und den mit beiden Erscheinungen verbundenen Folgen.

Als eine nur auf mechanische Kräfte zurückzuführende Erosionswirkung ist die Bildung der sogenannten Erdpyramiden oder Erdpfeiler, im Gebirge auch „Mandeln“ genannt, anzusehen, welchen Lyell große Aufmerksamkeit zugewendet hat. Sie sind insbesondere im Glacialschutte und auch sonst in leicht zerstörbaren mächtig geschichteten Materialien, in welchen grobe Blöcke eingestreut sind, zu finden. Die Höhe dieser Gebilde beträgt nicht selten bis 50 m und ihr Entstehen ist darauf zurückzuführen, dass das Wasser ursprünglich ganz schmale, tiefe Canäle in dem lockern Material gegraben hat, deren Erweiterung und sanftere Böschung der Wirkung des von den Wänden ablaufenden Regenwassers zuzuschreiben ist. Die im Laufe der Erosionswirkung hervortretenden größeren Blöcke bilden ein schützendes Dach für die sich unterhalb immer mehr und mehr entwickelnden Säulen. Derartige Erdpyramiden finden sich in den Wildbächen nicht selten vor, so besonders schön entwickelt im Avisiogegebiet bei Segonzano in Südtirol, Abbildung Nr. 14, Seite 53, und im Finsterbache bei Bozen, dann auch in den Schweizer Alpen, so die Erdpyramiden von Useigne im Val d'Héremence im Kanton Wallis. Die letzteren, 30—50 m hoch, sind aus den Endmoränen des Val d'Héremence durch Auswaschungen entstanden. Abbildung Nr. 15, Seite 54, zeigt einzelne solcher Erdpyramiden.

Aehnliche Gebilde finden sich auch in den französischen Hochalpen, dort „Demoiselles“ genannt, so in den Wildbächen „de

l'Ubac“, „de Théus“, „de Valauria“ und an vielen anderen Orten. Immer bilden sie einen gefährlichen Herd der Materialbeschaffung, denn ihrer Entwicklung kann ohne großen Aufwand an Kosten und Arbeit nicht gesteuert werden.

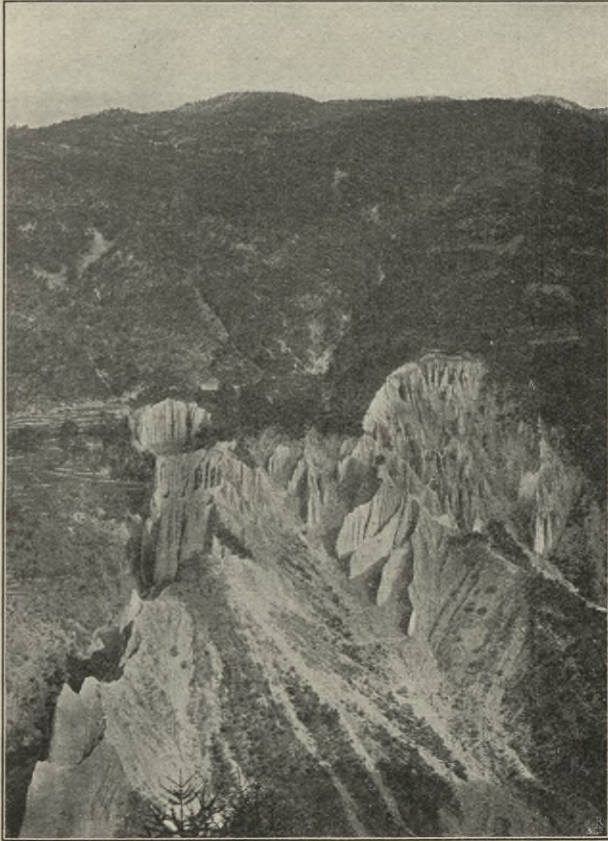


Abbildung Nr. 14. Die Pyramiden von Segonzano in Südtirol.

Aehnliche Pyramidenbildungen sind übrigens auch dort anzutreffen, wo einzelne Partien eines Gesteines durch größere Widerstandsfähigkeit ihrer Umgebung gegenüber ausgezeichnet sind.

Auf mechanische und chemische Wirkung des Wassers und vielleicht auf die letztere vorwiegend, ist der unterirdische Verlauf der Bäche der Kalkalpen zurückzuführen. Sie ähneln in

ihrem Verhalten den Bächen der Oberfläche. Auch sie nagen an ihrem Felsenbette, welche Thätigkeit als „Corrosion“, Erosion im festen Fels, bezeichnet wird, doch werden sie darin vornehmlich

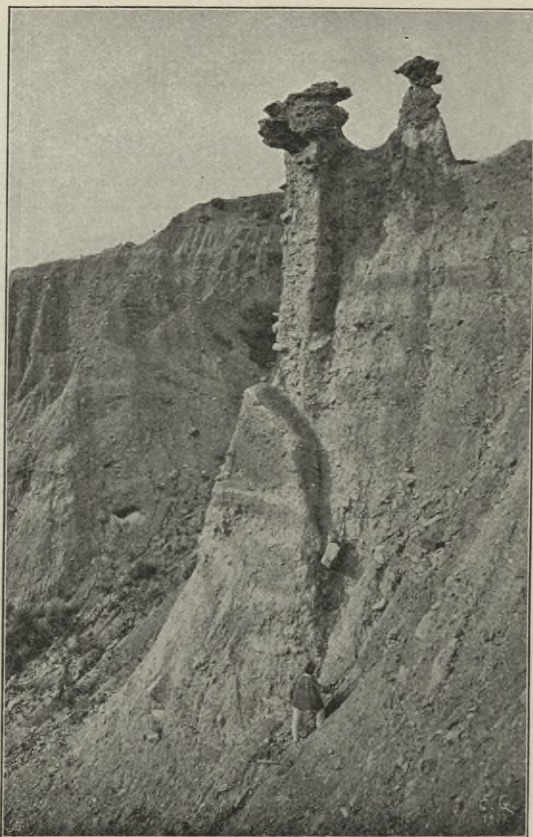


Abbildung Nr. 15.

Erdpyramidenbildung im Wildbache „de l'Ubac“. Französische Hoch-Alpen.
Aus dem Prachtwerke von Eugène de Gayffier: „Reboisement et Gazonnement des montagnes“.

durch den Kohlensäuregehalt des Wassers, durch welchen gewisse Mengen kohlensauren Kalkes zur Lösung gebracht werden, unterstützt.

Gleichwie die Verwitterung, so arbeitet auch die Erosion seit undenklichen Zeiten an der Umgestaltung der Erdoberfläche, an der Thalbildung auf derselben. Gewaltige Zeugen, wie die be-

rühmten Canons Nordamerikas und die großartigen Klammen unserer Hochalpen bekräftigen ihre nimmer ruhende Thätigkeit. Die Erosion wird umso mehr zur Geltung kommen müssen, je größer die Kraft des Wassers einerseits und je geringer der Widerstand des der Erosion unterworfenen Gesteines andererseits ist. Bei gleichen geognostischen Verhältnissen wird also die Wirkung der Erosion von dem mehr oder minder rapiden Abflusse der Meteorwässer, im Zusammenhange hiemit von dem Gefälle, dann von dem Grade der Verwitterung und von dem Umstande, ob das Wasser wegen der vorhandenen Vegetationsdecke überhaupt und in welchem Maße zu erodieren im Stande ist, abhängig sein. In manchen Fällen kann die Wirkung der Erosion, außer, wie schon berührt, durch chemische Vorgänge noch durch jene Geröllmassen unterstützt werden, welche aus höheren Lagen von den Wässern thalabwärts geführt werden und den Boden aufwühlen oder abreiben.

Die geognostischen Verhältnisse anlangend, liegt es in der Natur der Sache, dass die meisten krystallinischen Massengesteine, als Granit, Syenit, Diorit, Tonalit, Porphyry u. s. w. der Erosion im geringen Maße und in der Regel auch nur dann unterworfen sind, wenn die Verwitterung ihren zerstörenden Einfluss an diesen Gesteinsarten bereits mehr oder minder ausgeübt hat. Dass aber Wasser auch in Eruptivgestein erodieren kann, ist einem Beispiele zu entnehmen, das Hauer⁴⁷⁾ anführt: „Im Jahre 1603 ergoss sich in das Flussbett des Simeto in Sicilien ein Lavastrom des Aetna und folgte auf eine längere Strecke demselben. In das dichte, feste, basaltische Gestein dieses Lavastromes hat sich nach den Untersuchungen von Lyell in der Zeit von nicht ganz 240 Jahren der Simeto ein neues Bett gegraben, welches 12—15 m tief und stellenweise bis 100 m breit war.“ Unter den krystallinischen Schiefergesteinen ist es namentlich der Gneis, der der Erosion bedeutenden Widerstand leistet, wogegen die verschiedenen Schieferarten, als Glimmer-, Chlorit- und Talk-Glimmerschiefer u. a. m. dem Wasser günstige Böden für die erodirende Thätigkeit bieten. In ganz besonderem Maße gilt das letztere aber von den meisten Sedimenten, also von den thonigen, kalkigen, sandsteinartigen und Brecciengesteinen. Unter diesen

47) „Die Geologie und ihre Anwendung auf die Kenntniss der Bodenoberfläche der österr.-ungarischen Monarchie“; von Franz R. v. Hauer. Wien 1878.

ist es besonders der Glacialschutt, der ganz besondere Beachtung verdient, weil das Wasser in diesen wüsten Geröllhaufen ungemein leichtes Spiel findet und weil das Vorkommen desselben in den Alpen als ein leider nur zu häufiges bezeichnet werden muss.

Domaszewski⁴⁸⁾ äußert sich hinsichtlich des Glacialschuttes wohl mit Recht wie folgt: „Diese Moränen aus der Eiszeit, ihr Geröll, ihr Schotter, ihr Sand, wenn sie nicht in den Gebirgsseen ersäuft, wenn sie nicht in rationeller Weise im Gebirge und in dessen Thälern angehalten werden, bringen nur Verderben in die untern Thäler und weit hinab in die Ebene, sogar bis ans Meer.“ Die Bedeutung des Glacialschuttes im Wildbachgebiete hat, wie schon an geeigneter Stelle hervorgehoben, Suda veranlasst, jene Wildbäche, die vorwiegend in diesem Gerölle wühlen, als zu einer ganz besonderen Art gehörig, hinzustellen.

In Abbildung Nr. 16, Seite 57, ist der gewaltige, muschelförmige, von Erosionsrinnen durchfurchte Ausriss im Glacialschutte, die ca. 1800 m lange und 500 m breite „Scesa“ bei Bludenz in Vorarlberg ersichtlich. Infolge des außerordentlichen Reichthumes des Sammelgebietes an Quell- und Sickerwässern werden die von jeder schützenden Vegetationsdecke entblößten, aus lockerem Materiale bestehenden Lehnen breiartig durchweicht, und durch die stete Vertiefung des Hauptgerinnes sowie das hiedurch bewirkte Unterwühlen der seitlichen Ufer ins Rutschen gebracht. Um sich von der Großartigkeit der dadurch hervorgerufenen Bewegungen einen annähernden Begriff machen zu können, sei erwähnt, dass die hinteren Bruchpartien beinahe senkrechte, 80—100 m hohe Wände bilden, denen die abgebrochenen, vom Wasser durchtränkten Hänge, zwischen welchen das Wasser des Hauptgerinnes, über zahlreiche Kaskaden stürzend, der Tiefe zueilt, vorgelagert sind.

Auf die Vehemenz des Wasserabflusses, von welcher unter sonst gleichen Verhältnissen das Maß der Erosionswirkung abhängig ist, hat neben der Wassermenge das Gefälle grossen Einfluss. Es soll der diesbezügliche Zusammenhang an anderer Stelle und zwar bei Besprechung der Erosionsgesetze erörtert werden. Außerordentlich schwankende Wasserstände, wie solche namentlich in den Wildbächen vorherrschen, erhöhen unter sonst gleichen Verhältnissen die Erosionswirkung. Gewiss haben sonach auch

48) „Das Wasser als Quelle der Verwüstung und des Reichthumes“; von Victor von Domaszewski. Wien 1879.

sowohl klimatische Verhältnisse, welche die Schwankung in den Wasserständen bedingen, auf die Erosionswirkung Einfluss. Je weiter die Verwitterung des Gesteines fortgeschritten ist, je mehr dasselbe in seinem Zusammenhange gelockert wurde,



Abbildung Nr. 16. Die Scesa bei Bludenz, Vorarlberg.

desto fühlbarer wird die Erosionswirkung sein. Da aber die mehr oder minder rasche Herbeiführung jenes Zustandes der Verwitterung, welcher vom Standpunkte der Verschleppung der Verwitterungsproducte zu fürchten ist, wesentlich von der Beschaffenheit der Vegetationsdecke, respective von den Bewaldungsverhältnissen abhängt, so kann hieraus wieder und dies umsomehr

auf die Bedeutung der Vegetationsdecke und insbesondere des Waldes im Wildbachgebiete, was die Einschränkung der Erosionswirkung anbelangt, geschlossen werden, als auch die Gleichmäßigkeit des Abflusses durch Verringerung der zu Thale eilenden Wassermengen und die Erhöhung des mechanischen Widerstandes des Bodens gleiche Ursächlichkeit haben. Der Einfluss der Vegetationsdecke und insbesondere des Waldes auf das Regime der Gewässer im allgemeinen und auf die Erosionswirkung im besonderen ist so bedeutungsvoll, dass der Erörterung desselben ein eigener Abschnitt gewidmet werden soll.

In mehr untergeordnetem Maße wirken in den Wildbächen Bergstürze, Steinschläge, dann Gletscher und Eis-Lawinen erodirend. Die directe Wirkung des Hagels, wenn man sie als Erosionswirkung bezeichnen will, ist mitunter bei Vorhandensein lockerer, mächtiger Geröllschichten eine ganz bedeutende. Die Erosionswirkung des Windes, wie solche bei Flugsandbildungen zu beobachten ist, oder sich in Folge des Triebandes fühlbar macht, soll, weil für die Zwecke dieser Abhandlung belanglos, nicht in Betracht gezogen werden.

Auch Eingriffe des Menschen, so z. B. das Benützen der Rinnale als Abfuhrwege, der Erdriesen zum Holztransporte, der Triftbetrieb mit und ohne Klauswässern u. dgl. m. sind es, welche die Erosion begünstigen.

Strenge genommen ist von Erosion das Lostrennen der oberen Bodenschichte in breiteren Flächen, verursacht durch oberflächliche Abschwemmung in Folge des raschen Wasserabflusses der Meteorwässer oder durch Hagel und Wind, zu scheiden. Die weichen, namentlich stark lehmigen und thonigen Schichten werden, mit Wasser oder Hagel vermenget, zu einem schweren zusammenhanglosen Brei, der sich ungemein leicht an der Böschung thalwärts bewegt. Sobald dann die Austrocknung eintritt, werden solche Böden leicht rissig, blättrig, formen eine Masse, die selbst im trocknen Zustande, weil cohäsionslos, sich auf der Böschung nicht zu halten vermag und schon von starken Luftströmungen in Bewegung gesetzt werden kann.

Die Corrosion, im Gegensatze zur Erosion, auch Lateral- oder Transversal-Erosion genannt, besteht in dem seitlichen Angriffe der Lehnenfüße, der Böschungen und Ufer und den hiemit verbundenen Folgen.

Obzwar die Corrosion mit der Erosion in einem gewissen

Zusammenhang insofern steht, als mit dem Eintritte der letzteren die erstere verbunden sein kann, so sind doch die Ursachen, die zur Corrosion führen, das Vorhandensein des corrodierbaren Materiales vorausgesetzt, vorwiegend in den örtlichen Verhältnissen, in der Situation gegeben.

Alle localen Ursachen, die das Anschmiegen der Strömung an lose Ufer begünstigen, oder den Wasseranprall an solche Ufer bedingen oder hervorrufen, führen zur Corrosion. Verklausungen in den Gerinnen, verursacht durch Geröll- und Lawinenkegel oder durch Holzmassen, Kiesbankbildungen, sonstige sich dem Wasserlauf entgegenstellende Hindernisse, können durch Verwerfung des Stromstriches Corrosion hervorrufen. Auch der mit Querprofilveränderungen verbundene Wechsel der Wassergeschwindigkeit und Wassertiefe kann Corrosion vermitteln. Eisgang und Triftbetrieb wirken durch den Anprall von Eis und Holz an die Ufer corrodierend. Auch Gletscher reiben die Wandungen ihres Bettes in nicht unbedeutendem Maße ab.

Die Corrosionswirkung des stehenden Wassers, des Meeres, bzw. des Windes an der Meeresküste, bildet für sich einen gesonderten interessanten Gegenstand, bezüglich dessen, insoweit gewisse Theile der Küste Frankreichs in Frage kommen, auf eine jüngst erschienene Abhandlung von Lafond⁴⁹⁾ hingewiesen wird.

Unterwühlung.

Wie schon an geeigneter Stelle hervorgehoben, besteht die unterwühlende Wirkung des Wassers in der Unterwaschung lockerer Bodenschichten oder festeren Gesteines, in der Aufweichung thoniger oder sonst leicht zerstörbarer Schichten, welche unter härteren Felsmassen liegen oder mit solchen wechsellagern. Unter gewöhnlichen Verhältnissen ist es die oberste, lockere, wasserdurchlässige, „permeable“, Schichte, welche auf der darunter liegenden, mehr oder minder wasserundurchlässigen, „impermeablen“, durch die Thätigkeit des Wassers zum Gleiten veranlasst wird. Der Zusammenhang dieser beiden Schichten, von welchen die letztere entweder felsig oder aber aus weicherem thonigen Gesteine zusammengesetzt ist und im Gegensatze zu der oberen „hangenden“ als die „liegende“ Schichte bezeichnet wird, ist von verschiedenen Factoren abhängig.

49) „Les paysages des dunes et les travaux de défense contre l'océan“; von M. A. Lafond. Paris 1900.

Zunächst sind es Cohäsion und Reibungswiderstände, welche den Zusammenhang bedingen. Bei Abwesenheit aller anderen, die Bewegungstendenz fördernden Factoren, wird sich die obere Schichte im Gleichgewichte erhalten, wenn sie ein ihrer Cohäsion entsprechendes Böschungsverhältniss besitzt und wenn die Reibungswiderstände an der Trennungsfläche groß genug sind, um sie vor dem Abgleiten zu bewahren. Die Cohäsion und der Feuchtigkeitsgehalt stehen aber insofern in einem innigen Zusammenhange, als mit der Zunahme des letzteren die Volumensvergrößerung bei gleichzeitiger Gewichtszunahme und Cohäsionsverminderung verbunden ist.

Es ist bekannt, dass die Niederschlagswässer directe von oben her die oberflächliche, wenn noch so lockere Bodenschichte nicht tief zu durchtränken vermögen und der Hauptsache nach, wenn nicht durch Hindernisse aufgehalten, zu Thale eilen. Jene Niederschläge aber, welche sich an der Terrainoberfläche, sei es in Form flüssigen oder festen Niederschlages sammeln können, von der Pflanzendecke oder sonstwie zurückgehalten werden, dringen allmählich durch die Risse, Spalten, Hohlräume des Bodens in denselben ein und gelangen so in tiefere Schichten, mitunter auch in beträchtliche Tiefen.

Sobald sich diesem ihren Eindringen eine festere, mehr oder minder wasserundurchlässige Schichte, so z. B. die vorgenannte „liegende“ entgegenstellt, beginnt ein Theil des Wassers auf der Trennungsfläche nach abwärts zu gleiten und dort in der Regel die Reibungswiderstände zu verringern. Der andere Theil steigt vermöge seiner Capillarität in der oberen Schichte auf, diese von unten nach oben hin durchfeuchtend, ihr Volumen und ihr Gewicht vermehrend und ihre Cohäsion vermindernd. Mit der Zunahme des Sättigungsgrades der oberen Schichte hält der oberirdische, aber auch der unterirdische Abfluss auf der Gleitfläche oder in größeren Tiefen gleichen Schritt. So kann ein Moment gedacht werden, in welchem sich die so veränderte obere Schichte auf der Gleitfläche nicht mehr zu halten vermag und zur Absatzung veranlasst wird. In ähnlicher Weise kann das in größere Tiefen gelangende Wasser durch unterlagernde Schichten in seiner directen Bewegung nach abwärts gehindert werden und unterwühlend thätig sein.

Naturgemäß sind die Lagerungs- und Schichtungsverhältnisse für das Entstehen von Absatzungen ohne und infolge Unterwühlung

sehr maßgebend. So können diese Verhältnisse allein schon größere Rutschungen veranlassen, wenn der Neigungswinkel der Schichten gegen den Horizont ein so großer ist, dass die Schwerkraft die Reibungswiderstände und die Cohäsion der Massen überwiegt.

Als allgemeiner Grundsatz muss aber angenommen werden, dass die Bewegung der hangenden Massen um so leichter eintritt, je fester die Bodengattung ist, welche einer darüber liegenden weicheren eine Gleitfläche bietet — Thonschiefer unter thonigem Sand oder Humus —, im Gegensatze zu jenem Falle, wo die liegende Schichte aus weicheren, vielleicht thonigen Bodenarten formirt ist. Unter diesen letzteren Lagerungsverhältnissen wird durch das Gewicht der oberen und die Weichheit der unteren Masse ein Ineinanderpressen der Trennungsf lächen, eine Erhöhung der Reibungswiderstände verursacht. Bei ersteren Bodenarten also, welche den überlagernden Massen Gleitflächen bieten, bedarf es eines geringeren Neigungswinkels der Schichten, als bei weichen, um unter sonst gleichen Verhältnissen Abrutschungen hervorzurufen. In ausführlicher und klarer Weise hat Tiefenbacher⁵⁰⁾ alle jene Verhältnisse beschrieben, welche zu den gedachten Absitzungen führen, und es muss für den vorliegenden Zweck genügen, darauf zu verweisen. Hinsichtlich des Verhaltens des Thones und der thonigen Bodenarten, welche der unterwühlenden Wasserthätigkeit besonders unterliegen, hat Thiéry²³⁾ im Hinblick auf die in den Wildbächen vielfach zu beobachtenden Erscheinungen Aufschluss zu geben versucht. Während der trockene oder nur wenig feuchte Thon sehr bedeutende Cohäsion besitzt, verringert sich bekanntlich diese letztere bei Aufsaugung von Wasser in ganz beträchtlichem Maße bis zur Veränderung in einen ganz weichen Brei. Auf diese Eigenschaften des Thones fußend, unterscheidet Thiéry drei Fälle des Eintretens von Rutschungen. Bedeutet *MN*, Fig. 1, die Trennungslinie zwischen der oberen, wasserdurchlässigen und der unteren, thonigen Schichte und wird angenommen, dass sich in dieser letzteren eine, z. B. als Schichtenfuge zu betrachtende Spalte *AB* befindet, in welche das Wasser nach Durchtränkung der oberen Schichte reichlich einzudringen vermag, so kann sich in Folge des hydrostatischen Druckes und der Cohä-

50) „Die Rutschungen und ihre Ursachen, Wirkungen und Behebungen“; von Ludwig E. Tiefenbacher. Wien 1880.

sionsverminderung der Theil $ABCM$ von der Böschung lostrennen und den Theil ADM der oberen Schichte mit sich reißen. Findet aber das auf der Trennungsfäche abgleitende Wasser in seinem Abflusse ein Hinderniss, wie dies z. B. im Falle des Einfrierens der Böschung unter gleichzeitigem reichlichen Zuflusse des Schneeswassers in das Terrain, vorkommen kann, so beginnt das Wasser die thonige Schichte rascher bis zu einer gewissen, durch die Linie mn gegebenen Tiefe derart zu durchfeuchten, dass sich die Böschung mM unter dem gegebenen Neigungswinkel nicht zu

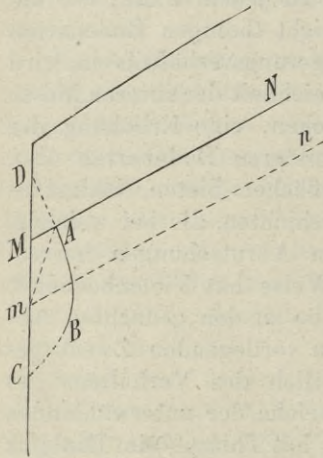


Fig 1.

halten vermag und den Ausgleich nach mA trifft, dabei aber wieder das Stück ADM mit sich reißt. Der dritte Fall liegt dann vor, wenn die Trennungsfäche MN so stark geneigt ist, dass die Bewegung der oberen Schichte schon bei der geringsten Aufweichung, Verseifung der thonigen Schichte eintritt.

Theoretisch genommen, ist die Bewegung der Terrains gleichwie die Bewegung eines jeden Körpers auf schiefer Ebene immer dann ausgeschlossen, wenn die Tangente des Neigungswinkels kleiner oder höchstens gleich dem Reibungscoefficienten ist, in welch' letzterem Falle der Neigungswinkel auch der Ruhewinkel

genannt wird. Sobald der Tangentenswert den Wert des Reibungscoefficienten übersteigt, ist Bewegung zu erwarten, was gewiss immer dann eintritt, wenn eine sehr dünne Thonschichte zwischen einem durchlässigen und einem felsigen Boden gelagert ist und in Folge der Uebersättigung mit Wasser zu einem Brei, welcher keinerlei Reibungswiderstände bietet, verwandelt wird.

Die Abbildung Nr. 17, Seite 63, stellt eine Glacialschutt-Bruchfläche im Val Canali des Cismonegebietes, Südtirol, dar, deren Entstehen, gleich wie dies bei der Scesa, Abbildung Nr. 16 der Fall, unter anderem auf die unterwühlende Thätigkeit der Sickerwässer zurückzuführen ist. Auch hier sind zahlreiche Erosionsrinnen bemerkbar.

Es bedarf keiner weiteren Erwähnung, dass die Bewegungstendenz unterwühlter Bodenschichten durch alle jene Verhältnisse,

welche die Verwitterung, also Cohäsionsverminderung derselben, oder das Eindringen der Wässer in den Boden begünstigen, wie letzteres beispielsweise bei Bewässerungs- und Trinkwasserleitungen im Gebirge oder durch Viehtritt nicht selten der Fall ist, dann



Abbildung Nr. 17.

Bruchlehne mit Runsenbildung im Val Canali, Cismonegebiet, Südtirol.

durch die Lockerung oder Corrosion des Böschungsfußes gefördert oder im letzteren Falle selbst wach gerufen werden kann.

Gewiss übt sonach Pflanzenwuchs, wenn die Gefahr der Absitzung durch Unterwühlung droht, namentlich dort einen günstigen Einfluss, wo er durch sein Wurzelsystem den Zusammenhang der

Bodenschichten erhöht, ohne gleichzeitig, wie dies bei hochstämmigen und zugleich flachwurzigen Waldbeständen, Fichtenbeständen, auf seichtgründigen Böden der Fall sein kann, durch die Schwere der oberirdischen Masse, die sich insbesondere bei starken Luftströmungen durch Hebelwirkung bemerkbar macht, die Bewegungstendenz des Erdreichs zu fördern. Es wird hierauf noch zurückgekommen werden.

Murgänge.

Ihrer Ursächlichkeit halber wurde die Besprechung jener Erscheinung, welche in Tirol und anderswo vielfach als „Mure“, „Murbruch“ oder „Murgang“ benannt wird, in die letzte Linie gestellt. Der Begriff „Mure“ gleichbedeutend mit „Rüfe“ in der Schweiz, „Gieße“ in Kärnthen, „lave“ in Frankreich, formulirt sich am klarsten durch die Bezeichnung „Schlamm- oder Schuttstrom“, vergleichbar in gewisser Beziehung mit der steinig, in fließende Bewegung gesetzten Lavamasse.

Es scheint daher in gewisser Beziehung unzutreffend, der Erscheinung des Murganges, mit welcher sich der Begriff des Transportes großer Massen verquickt, auch die Bezeichnung „Murbruch“ zu geben, denn unter „Murgang“ ist eben die in fließende Bewegung versetzte und nur durch besondere Ursachen momentan zum Stillstande gebrachte, dickflüssige Masse zu betrachten, während der „Murbruch“ nur den Charakter und die Ursachen des Bergsturzes an sich haben oder aber als die in Folge Erosions- und Corrosionswirkung hervorgerufene Grundursache des „Murganges“ angesehen werden kann.

Das Wesen der Mure oder des Murganges und gleichzeitig auch die Ursachen seines Entstehens, können nicht besser, als durch die folgenden Worte Breitenlohners⁴⁾ gekennzeichnet werden: „Lassen wir einmal, eingekeilt zwischen den Bergflanken, einen ausgiebigen Wolkenbruch niedergehen oder über ganze Gebirgszüge einen Dauerregen sich ausschütten, da rollen sich gleichsam massirte Truppen zum Hauptstosse auf. Von den glatten, abgeschabten Alpenböden stürzt das Wasser eilends in eine Bachrunse zusammen. Die Sturmkolonne auf die tiefer liegende Region ist formirt. Das zusammengeschwemmte Wasser schleppt bereits Erdreich und Gebirgsschutt mit sich. Das starke Gefälle steigert im hohen Grade die Wirkung der Sturzmasse.

Das lose Bett des Bachrunstes wird aufgerissen und der Fuß eines schuttigen Hanges unterwaschen. Der Widerlager beraubt, gleitet eine Uferwand in die gehetzte Fluth, welche sich aufbäumt und im Sprunge, gleich einem Raubthiere, auf die andere Böschung sich wirft, sie gleichfalls untergrabend. So wühlt und frisst sich das Wasser immer weiter und tiefer in die Schuttlehnen ein.

Mächtige Felsblöcke werden losgespült und sausen wie Fangbälle in den Abgrund. Nun berennt das Wildwasser die Waldungen. Links und rechts krachen die Bäume nieder und hinterher stürzt der Boden. Von obenher drängt verstärkter Nachschub und immer unwiderstehlicher wird der Vorstoß. In Galopp, mit Sätzen einer brutalen Bestie, tobt die Mure, eine dämonische Allianz zügelloser Naturgewalten, der Thalrichtung zu. Der mit rasendem Ungestüm einherbrausende Strom bohrt und erzwingt sich neue Bahnen, auf welchen er fortstürmt, ohne bestimmte Straßenlinien beizubehalten. Es ist kein Bett, kein Rinnsal mehr, nur eine grauenhafte Flucht stürzender Massen, vergleichbar den wüsten Raubzügen wilder Kriegshorden der Vorzeit, vor sich die Schrecken, hinter sich die Greuel.

Alle die vielen Arme und Zweige des Murganges streben nur einem einzigen Wasserrisse, einer Sammelrinne, einem Tobel zu, vorgezeichnet durch zusammenrückende Felsrippen. Die Passage gestaltet sich zu einer Klamm, einer Schlucht, einem Schlauch. Es ist eine Erosionsspalte, eingesägt in einen Felsriegel und ausgehöhlt zu abgrundtiefen Schlünden. Da verklemmt sich zwischen den felsstarrten und scheidelrechten Seitenwänden ein herabgewälzter Blockkoloss. Baumstämme verspreizen sich und verrammeln den Ausweg. Rasch sind die Wasserlücken verlegt. Hundert Fuß hoch und höher staut sich die Masse. Es tritt eine Verklausung ein, es bildet sich ein Verhau, eine Barrikade. Der Druck der Schutt- und Wasserlasten hämmert mit ungeheurer Gewalt gegen das cyklopische Schleußenthor.

Düstere Anzeichen lassen das Anrücken der Mure ahnen. Von ferne vernimmt man im heillosen Getümmel ein unbeschreiblich hohles, alles übertäubendes Gepolter, eine Kanonade bei Sturmgeheul, stundenweit hörbar. Da erhebt sich mit einem Male ganz nahe ein entsetzliches Getöse; eine grauenhafte Dissonanz von Dröhnen, Krachen, Brausen und Rauschen erfüllt die Luft. Im Aufruhr der Elemente erbebt der Boden. Wandartig und haus- hoch bricht brüllend der Wasserschwall mit seiner ganzen un-

heimlichen Ladung aus dem Zwinger hervor. Gleich der Windsbraut stürmt voraus die gepresste Luft. *)

Das sind die Abzugsanäle der Unwetter und Regengüsse im Hochgebirge, eine furchtbare Bergplage, der schrecklichste der Schrecken, fast noch schrecklicher als die Windlawine. Anastasius Grün bringt einen großen Weltgedanken in poetisch-philosophische Form, wenn er sagt, es fliege den stolzen Bergriesen nur so etwas Staub von den Sohlen.

Einigemale hintereinander wiederholt sich dieses Schauspiel wildester Bergromantik. Oft geht Mure auf Mure nieder. Aber lahmgelegt erscheint plötzlich die unbändige Gewalt. Die lebendige Kraft des Sturzfalles hat eine andere Bewegungsform angenommen. Das vorerst rapide Gefälle ist jählings abgesunken, und wie ein ausgespannter Fächer stöbert an der Ausgusspforte der Schuttstrom auseinander. Kaum merklich stößt sich die Steinmasse abwärts, ein wahrhafter Gletscher, eine wandelnde Felsruine, ein demolirter Berg, wie Berlepsch diese Vorgänge in den Schweizer Alpen so treffend und farbenreich schildert. Allmählich, ruckweise kommt die gleitende Trümmerdecke zur Ruhe.“

Aus dieser Beschreibung, die an Richtigkeit und Lebhaftigkeit nichts zu wünschen übrig lässt und die durch die beste Abbildung nicht ersetzt werden kann, geht hervor, dass die Ursachen des Murganges die mannigfachsten sein können, aber stets, von der ersten Vorbedingung, der Heftigkeit und Plötzlichkeit der Niederschläge, Raschheit der Schneeschmelze abgesehen, in Bergstürzen, starker Erosions- oder Corrosionswirkung, in sonstiger Unterwühlung, in durch Lawinen, Gletscher oder wie immer hervorgerufenen Verkläusungen, wohl auch in der allmählichen Aufspeicherung und schließlichen Inbewegungsetzung bedeutender Massen von Verwitterungsproducten zu suchen sind. Die Abbildungen Nr. 18 u. 19, Seite 67 u. 68, zeigen zwei Murgänge verschiedener Art.

Jener im Karmelitergraben, Abbildung Nr. 18, ist infolge eines Terrainbruches rasch zur Entwicklung gelangt und hat mit elementarer Gewalt, gleich wie große Wassermassen, eine tiefe Erosionsrinne gegraben.

*) Surell ¹⁰⁾ behauptet, dass die Gewalt des der Mure vorangehenden Windes oft so stark sei, dass große Felsblöcke im noch trockenen Bachbette von ihm ins Rollen gebracht werden. Costa de Bastelica ¹⁶⁾ widerspricht dieser Anschauung.

Jener im Ferschwache, Abbildung Nr. 19, auf die Durchfeuchtung des ausgedehnten Thalbodens zurückzuführen, ungleich mächtiger als der erstere, bewegt sich langsam, träge nach abwärts und endet mit einem gewaltigen Abbruche an einer Felsenkaskade.



Abbildung Nr. 18. Murgang im Karmelitergraben, Draugebiet, Tirol.

Vielfach führen mehrere der erwähnten Ursachen vereint zur Bildung der Mure.

Die Erscheinung des Murganges bildet die höchste Potenz der verderbenbringenden Thätigkeit des Wildbaches; er führt offenbar zu jenem Zustande, welchen Kovatsch²⁴⁾ als die „Verwickelung“ oder „Peripetie“, im Gegensatze zur „Entwicklung“ oder „Ex-

position“ und „Abwicklung“ oder „Katastrophe“ in der Thätigkeit des Wildbaches unterschieden wissen will. Nicht unschwer ist diese Abstufung aus der citirten Beschreibung Breitenlohnners herauszulesen. In theilweiser Uebereinstimmung mit ihr steht auch die sich auf die Erscheinung des Murganges beziehende Eintheilung der Thätigkeit des Wildbaches nach Kreuter²⁶⁾, welcher



Abbildung Nr. 19. Mure im Fershbache, Stubachthal, Salzburg.

die „Entwicklung“, die „Ingangsetzung der Mure“ und das „Versiegen“ unterscheidet.

Es ist übrigens nicht erforderlich, dass sich die Erscheinung des Murganges, des Massentransportes, wie das bisher gemeint war, an der Bodenoberfläche, also sichtlich vollziehe. Ein solcher Murgang ist auch dann denkbar, wenn das Gefälle der Rinnsalsole hinreichend groß ist und das Wasser in das vorhandene tiefe Schotterfeld einzudringen vermag. Der Massentransport findet dann, mitunter auch tief unter der Bachsole vor sich gehend, nicht sichtlich statt.

Das Vorhandensein derartiger Geschiebeströmungen ist nicht selten zu beobachten. Pestalozzi⁵¹⁾ gibt hierüber folgendes Beispiel:

Beim Baue des Birsig-Viaductes in Basel wurde das Versetzgerüste vom Hochwasser unterspült und umgestürzt. Ein Wellbock, welcher bei diesem Anlasse in das Wasser fiel, wurde vollständig von Kies bedeckt und konnte nicht mehr gefunden werden. Einige Jahre später kam derselbe ungefähr 300 m weiter flussabwärts bei Ausgrabung der Fundamente für eine Fabrik in einer Tiefe von nahezu 3 m unter der Flusssohle zum Vorschein. Es scheint also hier, wie das in vielen anderen ähnlichen Fällen beobachtet werden konnte, eine Bewegung der ganzen Flusssohle stattgefunden zu haben.

Es besteht kein Zweifel darüber, dass Murgänge so alt sind, als es überhaupt einen Abtrag im Gebirge gibt, und Breitenlohner⁴⁾ behauptet, dass die vermuthliche säculare Periodicität dieser Erscheinung auf ganz außerordentliche, seltene Umwälzungen meteorologischer Natur zurückzuführen ist. Frech⁴⁰⁾ stellt in seiner, das Wesen der Muren eingehend behandelnden, mehrfach bezogenen Schrift, unter andern als Ergebniss seiner Studien die Behauptung auf, dass in prähistorischer Zeit, während und nach dem Abschmelzen der diluvialen Gletscher, die transportirende Thätigkeit der Muren eine der Vorbedingungen für die Festlegung der beweglichen Schuttmassen, für die Entstehung einer Pflanzendecke und somit für die spätere Besiedelung des Gebirges war.

Um auf die schon berührte Ursächlichkeit der Murbildung zurückzukommen, muss erkannt werden, dass dieselbe im Zusammenhange mit allen jenen Umständen steht, welche Verwitterung, Erosion, Corrosion, Unterwühlung, Abgang von Lawinen und alle sonstigen, materialschaffenden Prozesse zu begünstigen im Stande sind und dass sie daher, gewiss nicht im geringsten Maße, auf sorglose Bewirthschaftung des Waldes und der Weidegründe zurückzuführen ist.

Es liegt in der Natur der Sache, dass, wie Breitenlohner⁴⁾ sagt, in den Centralalpen und ähnlichen Gebirgen, deren krystallinisch massiger Kern von einer weicheren, vielgestaltigen Schieferhülle umgeben wird, Murgänge viel häufiger zu beobachten sind, als

51) „Die Geschiebebewegung und das natürliche Gefälle der Gebirgsflüsse“; von Karl Pestalozzi.

beispielsweise in den Kalkalpen, welche der Erosion, Corrosion und Unterwühlung weniger, mehr hingegen der Verwitterung unterworfen sind. Besonders für Murbildung geeignet sind lockere Böden, als: alte Moränen, Gehängschuttmassen und überhaupt leicht zersetzbare Gesteine. Frech⁴⁰⁾ bezeichnet als besonders murgefährlich den Kalkphyllit oder Kalkglimmerschiefer; auch besitzen, demselben Autor nach, die mergeligen, mit Kalkbänken wechselnden Massen der Cassianer Schichten eine ungewöhnliche, häufig in Muren übergehende Form der Bodenbewegung.

Der Einfluss des Gesteines auf die Murbildung tritt besonders dort hervor, wo in einem Längsthale zwei Gebiete von sehr abweichender geologischer Zusammensetzung aneinander grenzen.

Frech⁴⁰⁾ führt diesfalls besonders das Pusterthal in Tirol und das Thal der Fella und Geilitz in Kärnthen an.

Die Erosionsverhältnisse in den Hauptthälern bedingen mit die Thalform der Nebenbäche und die Menge des in denselben aufgehäuften Schuttes, sie sind sonach auch von wesentlichem Einfluss auf die Bildung der Muren, welche Verhältnisse Frech⁴⁰⁾ an dem Lessach- und Gailthal in Kärnthen in überzeugender Weise auseinander setzt.

Dass die Erscheinung des Murganges in den Bächen des Mittelgebirges seltener und nicht in so prägnanter Form wie in den Hochgebirgsbächen zu beobachten ist, hat in erster Linie seinen Grund in den im Hochgebirge zumeist vorherrschenden steilen Böschungsverhältnissen, dann aber auch in dem Mangel eines für die Bewegung des Murganges so günstigen eigentlichen Sammelcanales, wie er in den Hochgebirgsbächen zu finden ist, weiter in den, den Mittelgebirgsbächen eigenen beträchtlichen Thalausweitungen und dergl. mehr.

Die Muren des Hochgebirges können nach Kreuter²⁶⁾ bezw. nach Frech⁴⁰⁾, wenn speciell der Einfluss der Bewaldung auf ihr Entstehen berücksichtigt wird, in Hoch- und Niedermuren eingetheilt werden. Unter den ersteren sind solche zu verstehen, die sich an der Baumgrenze und oberhalb derselben bilden; die letzteren entstehen unterhalb der Baumgrenze, im Bereiche des dichten Baumwuchses. Die Entstehung der Hochmure hat mit der Waldverwüstung nichts zu thun, ist dagegen, von anderen Ursachen abgesehen, vielfach auf die unrationelle Bewirthschaftung der Alpengründe zurückzuführen; ihre weitere Ausdehnung nach unten kann unter Umständen durch den Wald eingeschränkt werden.

Niedermuren entstehen häufig durch Kahlschlag, durch Lawinen, Fußunterwaschungen und auch aus andern Ursachen auf tiefgründigem Schutte unten am Gehänge, und sind häufiger als Hochmuren.

Die von Surell¹⁰⁾ getroffene Eintheilung nach neuen, thätigen und erloschenen Muren, je nachdem in den ersten beiden Fällen die Gefällscurve unvollkommen ist, d. h. größern Gefällsbruch zwischen Schuttkegel und Abflusscanal aufweist, oder gleichmäßiges Gefälle besitzt, ist eine an und für sich sehr vage und bezieht sich offenbar mehr auf die Verhältnisse des ganzen Wildbaches, als auf die Erscheinung des Murganges als solchen.

Begründet ist die Scheidung in reine Gerölmuren oder Geröllströme und in Gletscher- und vulkanische Schlammströme, welche letztere für den vorliegenden Zweck bedeutungslos sind. Gletscher- oder auch Eismuren sind die Folge von Gletscherstürzen, hervorgerufen wieder durch Erdbeben, Unterspülung der Gletscher-Basis, Wasseransammlung innerhalb derselben u. dgl. m., Verhältnisse, wie sie schon gelegentlich der Besprechung der Gletscher erwähnt wurden.

Welch' außerordentlichen Umfang Murgänge annehmen können, welchen beträchtlichen Schaden sie anzurichten vermögen, kann den folgenden Beispielen entnommen werden: Der gewaltige Murgang vom 5. August 1798, der sich in Folge eines heftigen Gewitterregens aus dem Mühlbachthal in das Salzachthal ergoss und zwei Dörfer nahezu ganz verschüttete, hat nach Sonklar²⁾ über 20 Millionen Cubikmeter Schuttmassen über den Thalgrund ausgebreitet. Als eine weitere Folge war die Veränderung des Laufes der Salzach und die Versumpfung der obern Thalstrecke anzusehen, wie denn überhaupt die Versumpfung des Salzachthales im Oberpinzgau auf die Wirkung der Wildwässer zurückzuführen ist. Der Murgang von Lichtenberg in Obervintschgau in Tirol, am 18. und 19. Mai 1847, riss 26 Häuser fort und wies eine Schuttlawine von 340000 Cubikmetern auf. Im Jahre 1882 sollen allein durch von dem Wielenbach herbeigeführte Abstürze, offenbar Muren, 7 Millionen Cubikmeter Geschiebe von der Rienz nach Bruneck in Tirol herabgeführt worden sein.⁵²⁾ Einer der größten Murgänge der jüngsten Zeit war jener von Kollmann bei Waid-

⁵²⁾ Die Wildbäche, ihr Wesen, ihre Bedeutung im Wirthschaftsleben der Völker; von Dr. A. Freiherrn von Seckendorff. Wien 1886.

bruck in Tirol, dessen Material sich in Folge eines Wolkenbruches in der Nacht vom 17. auf den 18. August 1891 durch den Ganderbach herabwälzte. Dreiundvierzig Menschen kamen um das Leben, 16 Häuser wurden zerstört und der Eisackfluss durch die ungeheuere, mehr als 500 000 Cubikmeter fassende, am Fuße 18 Meter hohe Geröllmasse vorübergehend derart gestaut, dass die Wucht der Gewässer den Damm der Bahnstrecke Klausen-Waidbruck auf eine Länge von 600 Meter zerstörte. Der in einer Nacht verursachte Schade wurde auf mehrere Millionen Gulden geschätzt. Die Mure soll, nach einem Berichte von Holzer über die Bahnunterbrechung bei Kollmann, in drei Theilen gekommen sein⁵³). Der erste Ausbruch war unbedeutend; der zweite füllte das ganze Eisackbett bis 60 Centimeter unterhalb der Krone des am jenseitigen Ufer gelegenen Eisenbahndammes aus; der dritte, große Ausbruch erfolgte gleich einer Lawine unter Begleitung eines Orkanes und trug bis 25 Cubikmeter haltende Porphyrböcke herab.

Die Bedeutung der Murgänge im Regime der Gebirgsbäche zu würdigen, vermag an Stelle der besten Beschreibung der einfachste Localaugenschein. Es ist nicht zu viel gesagt, wenn Frech⁴⁰) behauptet, die hauptsächlichsten und dauernden Verwüstungen verursachen im Gebirge weniger die Hochwässer, als vielmehr die von denselben bewegten Schuttmassen, insbesondere die Muren. Die Zurückhaltung des Gebirgsschuttes an seinen ursprünglichen Lagerstätten und, wenn dies nicht mehr möglich ist, wenigstens an geeigneten Stellen der Thäler, ist deshalb thatsächlich das Wesen der Wildbachverbauung.

Das Kapitel über das Herkommen des Geschiebes kann nicht geschlossen werden, ohne auf eine ausgezeichnete Arbeit von Bargmann⁵⁴) zu verweisen, welche sich mit den verschiedensten Formen der Ablagerung des Schuttes beschäftigt. Von besonderem Interesse sind die Betrachtungen über das Verhältniss von Schutt und Schnee (Firn), von Schutt und Wasser bei

53) „Die Kollmanner Katastrophe in Tirol und die neue Brückenanlage über den Ganderbach nebst Streckencorrection“; von Ing. Rudolf Freiherrn von Hartlieb. Oesterr. Monatsschrift für den öffentlichen Baudienst. Wien 1896.

54) „Der jüngste Schutt der nördlichen Kalkalpen in seinen Beziehungen zum Gebirge, zu Schnee und Wasser, zu Pflanzen und Menschen“; von Albert Fr. J. Bargmann. Wissenschaftliche Veröffentlichungen des Vereines für Erdkunde zu Leipzig. II. Band. Leipzig 1895.

Hervorhebung besonderer Murformen, und die Classification der Schuttlagerungen.

Die vorstehende Erörterung der sich im Gebiete der Materialbeschaffung vollziehenden Prozesse würde folgerichtig zur Beschreibung jener Thätigkeit der Wildwässer führen, welche sich im Zusammenhange mit der ersten im Gebiete der Materialablagerung bemerkbar macht. Diese letztere fußt jedoch auf Gesetzen, welche sich, ähnlich wie die Erosionsgesetze, in mehr exacter, weil analytischer Form erklären lassen. Sie sollen daher auch bei Besprechung der Theorie der Bewegung des Geschiebes berücksichtigt werden.

Obzwar die Ursachen, welche der Materialbeschaffung zu Grunde liegen, der Hauptsache nach schon Erwähnung fanden, so bedarf doch eine derselben, d. i. die Bloßlegung des Bodens durch Entwaldung und sonstige nicht zweckentsprechende wirthschaftliche Maßregeln, der eingehendsten Würdigung, welcher denn auch der folgende Abschnitt gewidmet ist.

II.

Vegetation und Wirthschaft im Wildbachgebiete.

Die furchtbaren Hochwasserkatastrophen, welche das europäische Festland in rascher Aufeinanderfolge heimsuchen und deren Schädlichkeit im Hinblick auf den stets wachsenden Werth der menschlichen Güter eine immer größere werden muss, werden stets mit der culturellen Frage und insbesondere mit der Frage der Waldwirthschaft derart in Verbindung gebracht, dass der Verschlechterung der Vegetations-, namentlich aber der Waldverhältnisse a priori eine gewisse Ursächlichkeit in Bezug auf diese Hochwasserkatastrophen beigelegt wird.

Ungezählt sind die literarischen Arbeiten, Mahnrufe und andere öffentliche Kundgebungen, dann wohl auch die gesetzlichen und sonstigen Maßnahmen, welche diese, es kann wohl gesagt sein, brennende Tagesfrage betreffen, und es erscheint deshalb geboten, sie, soweit für den vorliegenden Zweck nothwendig, der Erörterung zu unterziehen.

Außer Zweifel steht wohl, dass der Vegetation und Wirthschaft im Regime der Gewässer, vornehmlich aber in jenem der Wildbäche, eine sehr wesentliche Bedeutung beigegeben werden muss, eine Thatsache, die schon aus den Ausführungen des ersten Abschnittes klar hervorgeht. Um aber auch beide, Vegetation und Wirthschaft, mit dem Eintritte von Hochwasserverheerungen jeder Art und Ausdehnung, sowie mit deren Intensität mit vollem Rechte in eine so innige Abhängigkeit zu bringen, wie dies vielfach geschieht, müssten zunächst Art und Maß ihres Einflusses und die etwaige Unzweckmäßigkeit der Wirthschaft, dann der Umfang der Bodenverödung und deren stete Zunahme sichergestellt sein. Der Natur der Sache nach ist ein diesbezüglicher strikter Nachweis nach jeder Richtung hin schwer und nur an der Hand eines

reichen, wissenschaftlichen Beobachtungs- und statistischen Materiales möglich.

Nichtsdestoweniger soll der Versuch hiezu hauptsächlich zu dem Zwecke unternommen werden, um den Stand dieser Frage, welche nicht allein die Wildbachverbauung, sondern auch manch' anderes technisches Gebiet berührt, zu beleuchten und die eigenen Anschauungen im Gegenstande zum Ausdruck zu bringen.

Allgemeiner Einfluss der Pflanzendecken auf das Regime der Gewässer.

Was zunächst ganz allgemein den Einfluss der Pflanzendecken auf das Regime der Gewässer anbelangt, so soll derselbe an dieser Stelle nur in Kürze und seiner Gesamtheit nach zur Sprache gebracht werden, wohingegen dessen Zergliederung nach Einfluss auf Bodenfeuchte, ober- und unterirdischen Abfluss der Gewässer, Geschiebeführung u. dergl. m. bei der Waldfrage, als der am meisten in dem Vordergrund stehenden, berücksichtigt werden wird.

Der leider zu früh verstorbene Professor E. Wollny, welchem die Wissenschaft neben Professor E. Ebermayer in gedachter Richtung die meisten Aufklärungen verdankt, hat in allerjüngster Zeit unter dem Titel: „Ueber den Einfluss der Pflanzendecken auf die Wasserführung der Flüsse“⁵⁵⁾, eine Studie veröffentlicht, deren Schlussfolgerungen, weil die eingehendsten einschlägigen Auseinandersetzungen ersetzend, hier auszugsweise Raum finden sollen. Wollny sagt:

Von den mit Pflanzen bedeckten Flächen erhalten die Wasserläufe insgesamt unter sonst gleichen Verhältnissen eine geringere Wassermenge zugeführt, als von kahlen oder mit einer schwachen Vegetationsdecke versehenen. Die Ursache ist darin zu suchen, dass der Boden unter den Gewächsen das Vermögen besitzt, größere Quantitäten von Wasser aufzuspeichern, und dass derselbe durch die ausserordentlich starke Transpiration der Pflanzen während der Vegetationszeit bedeutend mehr Wasser verliert als der kahle.

Die lebenden Pflanzen verzögern sowohl die ober- als auch unterirdische Wasserableitung in mehr oder minderem Grade, weil dieselben mit ihren ober- und unterirdischen Organen dem

55) Vierteljahresschrift des bayrischen Landwirthschaftsrathes, 1900, Heft III, siehe auch meteorologische Zeitschrift, 1900, Heft XI und Zeitschrift für Gewässerkunde, herausgegeben von Dr. H. Gravelius, Leipzig 1900, 6. Heft.

auffallenden und absickernden Wasser entsprechende Hindernisse entgegensetzen, im Vergleiche zu dem nackten Lande, in welchem wegen Fehlens der Wurzeln die Geschwindigkeit der abgeführten Wassermassen eine ungleich größere ist. Die Vegetation hat sonach die Bedeutung, dass dieselbe eine gleichmäßigere Zufuhr des Wassers zu den Flüssen bedingt. Die Abschwemmung von Erd- oder Gesteinsschutt auf abhängigem Terrain wird durch die verschiedenen Pflanzenformen in einem meist außerordentlichen Grade herabgedrückt, hauptsächlich aus dem Grunde, weil dieselben vermöge ihres Wurzelgeflechtes die Bodenelemente zu einer zusammenhängenden, den mechanischen Einwirkungen des Wassers gegenüber widerstandsfähigen Masse vereinigen und ausserdem den Wasserablauf verlangsamten. Deshalb werden vom bepflanzen Boden beträchtlich geringere Mengen von Erde und Schutt abgeführt, als vom kahlen oder mit einer ärmlichen Vegetationsdecke versehenen.

In vollkommener Weise wirken die Pflanzendecken, mit Ausschluß der aus Ackergewächsen bestehenden, zweifellos auf die Geschiebeführung der Flüsse und erweisen sich hiedurch weit nützlicher, besonders hinsichtlich der Hochwasserstände, als in Folge des Einflusses, welchen sie auf die Menge und die Geschwindigkeit des zugeführten Wassers ausüben.

Es wird daher gesagt werden können, dass die in den oben angeführten Punkten näher präcisirten Erscheinungen für das Regime der Wasserläufe einen verschiedenen Werth besitzen, in specie, dass im allgemeinen die durch die Pflanzendecken hervorgerufenen Abänderungen sich im geringsten Grade auf die Menge des abgeleiteten Wassers, in höherem Maße auf die Geschwindigkeit des letzteren und am vollkommensten auf die mit dem Wasser fortgeführten Erd- und Gesteinmassen erstrecken.

Für die in praktischer Hinsicht zu ergreifenden Maßnahmen ergeben sich aus dem vorliegenden Material verschiedene wichtige Anhaltspunkte.

In der Ebene tritt die Bedeutung der Pflanzendecken auf die Wasserführung der Flüsse wesentlich zurück, weil die Möglichkeit einer Beeinflussung der Wasserabfuhr und der Abschwemmung von Erde in den meisten Fällen unter derartigen Umständen nicht gegeben ist. Nur dort, wo der Boden eine größere Durchlässigkeit besitzt, das Grundwasser infolgedessen leicht eine seitliche Bewegung erfährt und gleichzeitig der Wasserspiegel

in dem Flussbett so tief gelegen ist, dass dadurch ein Abfluss des Wassers aus den anliegenden Ländereien nachfolgen kann, werden sich die Pflanzenculturen, so weit es sich um die Versorgung des Flusses mit Wasser handelt, von nützlicher Wirkung erweisen. Ein Einfluss auf die Fortführung von erdigen Bestandtheilen ist hier ausgeschlossen. Ein solcher tritt erst in dem Maße hervor, als die Flächen stärker geneigt sind, und da in diesem Falle auch die Wirkung der Pflanzendecken auf die Bewegung des abgeführten Wassers in erheblicherem Grade sich geltend macht, so wird vornehmlich nur an Hängen der Vegetation eine bedeutungsvolle Rolle in Bezug auf die Wasserführung der Flüsse beizumessen sein.

Unter den verschiedenen Culturen verdient hier der Wald die höchste Bedeutung, demnächst der aus perennirenden Gewächsen (Gras) zusammengesetzte Pflanzenbestand, während die Ackerulturen mit Rücksicht auf die mit denselben verknüpften Abschwemmungen am zweckmässigsten in stärker geneigten Lagen aufgelassen und durch Aufforstung in Waldland oder aber in Wiesen und Weiden umzuwandeln sein werden. Auf Grund derartiger Erwägungen ist der Schluss zu ziehen, dass die Erhaltung und Schonung der aus perennirenden Gewächsen bestehenden Pflanzendecken, vor allem des Waldes, im Quellengebiete der Flüsse zu denjenigen Mitteln gehört, welche geeignet sind, dem bezüglich der Bodencultur wünschenswerthen Ausgleich des zeitlich und örtlich auftretenden Mangels und Ueberflusses von Wasser Vorschub zu leisten.

Soweit die bezügliche Aeüßerung Wollnys, deren autoritativer Charakter jede weitere Beifügung überflüssig macht.

In geistreicher Weise hat ein zweiter Autor, Dr. Albert Fr. J. Bargmann, in der bereits an anderer Stelle citirten Abhandlung⁵⁴⁾ und zwar unter dem Kapitel „Schutt und Pflanzen“, die Schuttstauende und einhüllende Wirkung der Pflanzen beschrieben, worauf des großen Interesses wegen, welches diesem Gegenstand für den gegenwärtigen Zweck beizumessen ist, nebenbei noch verwiesen sein mag.

Der Wald und dessen Bedeutung im Wildbachgebiete.

Hinsichtlich des Einflusses des Waldes auf das Regime der Gewässer sind zunächst zwei große Fragen aufzuwerfen:

Welchen Einfluss übt das Waldland auf das Klima einer

Gegend aus und ist die Abnahme des Waldlandes im Stande, eine Veränderung des Klimas hervorzubringen, bezw. auf diese Weise das Regime der Gewässer und in welchem Maße ungünstig zu beeinflussen?

Wie verhält sich der Wald hinsichtlich der Regelung des Wasserabflusses und wie hinsichtlich der Schotterführung der Gewässer?

In erster Beziehung ist es die Waldklimafrage, welcher näher zu treten ist.

Waldklimafrage.

Wohl selten wurde und wird eine Frage so vielfach und rastlos erörtert und zu lösen gesucht, wie die Waldklimafrage. Obzwar schon im 18. Jahrhunderte einzelne Gelehrte, als Réaumur, Buffon u. a. ihr näher zu treten versuchten, haben doch erst die, wie behauptet wird, zur Zeit der ersten französischen Republik und zu Anfang des verflossenen Jahrhunderts vorgenommenen ausgedehnten Entwaldungen, dann die gerade zu jener Zeit eingetretenen großen Wasserverheerungen dem Gegenstande besonderes Interesse verliehen.

Die Waldklimafrage kann sowohl vom Standpunkte des Einflusses auf das continentale Klima, als von jenem der Klimaänderung innerhalb relativ beschränkter Gebiete aufgefasst werden.

Sie in erster Richtung aufzuwerfen und zu verfolgen, kann nur in dem Falle zweckdienlich sein, wenn eine Aenderung des continentalen Klimas nach einer Richtung hin überhaupt constatirbar wäre, in welchem Falle vielleicht aus der ebenfalls erst zu constatirenden Waldabnahme auf diese Klimaänderung und sodann auf den Einfluss des Waldes in gedachter Richtung rückgeschlossen werden könnte.

Von prähistorischen Zeiträumen, früheren geologischen Perioden, während deren Dauer das continentale Klima von dem heutigen gewiss verschieden war, abgesehen, wäre also zu erwägen, ob sich dieses Klima in historischen Zeiten geändert hat oder nicht. Die diesbezüglichen, bereits vielfach angestellten Untersuchungen wurden erst auf eine sicherere Basis gestellt, seitdem das zahlreich vorhandene meteorologische Material verarbeitet und seitdem versucht wurde, durch dasselbe zunächst säkulare Schwankungen des Klimas nachzuweisen. Man ist da zu der Annahme veranlasst worden, dass das Klima aller Länder zu gleicher Zeit Veränderungen unterworfen und dass die Zahl jener Gebiete, welche hievon eine Ausnahme

machen, nur gering sei. Zu den letzteren Gebieten sind die Küstenstriche zu zählen, von welchen aus sich die Schwankungen gegen das Innere des Festlandes zu stets bemerkbarer machen.

Im 19. Jahrhunderte bilden die Jahre 1815, 1850 und 1881 ungefähr die Mitte von relativ feuchten und die Jahre 1830 und 1860 die von trockenen Perioden. Diese klimatischen Schwankungen erklären es auch, weshalb zahlreiche Hypothesen über Aenderungen des Klimas oft entgegengesetzter Art haben aufgestellt werden können; denn das Klima ändert sich in der That während einer langen Reihe von Jahren nach einer Richtung hin, alsdann, während einer zweiten Periode im entgegengesetzten Sinne. Was speciell die Alpen anbelangt, behauptet eine Autorität wie Penck⁵⁶⁾, es habe sich, soweit die Erfahrung reicht, deren Klima nicht geändert, und die empfindlichsten Niederschlagsmesser, die Gletscher, bekunden seit Jahrhunderten, es sei auch in den Niederschlagsverhältnissen, von periodischen und aperiodischen Schwankungen abgesehen, eine nennenswerte Veränderung nicht eingetreten.

Gleichfalls das Alpenland betreffend, schreibt Eblin⁵⁷⁾, es sei eine allbekannte Thatsache, dass das Alpenklima kein constantes ist, sondern einem mehr oder weniger bedeutenden Wechsel unterworfen war und noch ist. Diese Veränderungen im Klima des Hochgebirges seien doppelter Natur, allgemeiner und localer. Schon seit längerer Zeit seien allgemeine Veränderungen im Alpenklima periodischer Natur erkannt und in neuester Zeit näher erklärt und beleuchtet worden. Die Klimaschwankungen periodischer Natur, welche sich in Verschiebung der Schnee- und Gletscher-Grenzen und in Verschiebungen der Vegetationsgrenzen auch dem Auge kund geben, sind nach Eblin von keinerlei hoher wirthschaftlicher Bedeutung. Sie werden weit übertroffen von den Veränderungen localer Natur im Klima der Alpen, die als Klimaverwilderung zu bezeichnen, und als eine Folge der forstlichen Raubwirthschaft zu betrachten sind.

Aus den vorstehenden kurzen Bemerkungen kann geschlossen werden, dass es sich also wohl um periodische Schwankungen

56) „Die Ueberschwemmungen des Jahres 1888“ von Albrecht Penck. Mittheilungen des deutschen und österr. Alpenvereines 1888.

57) „Die Verwilderung unserer Hochgebirgen“, von B. Eblin. Jahrbuch des Schweizer Alpenklub. 30. Jahrgang.

des Continentalklimas, dann um allfällige einseitige Aenderungen des Localklimas, mit Eblin zu sprechen, um Klimaverwilderung, keinesfalls aber um eine ununterbrochene Aenderung des ersteren nach einer Richtung hin handeln kann.

Es steht wohl außer Zweifel, dass die periodischen Schwankungen des continentalen Klimas mit vermeintlicher Entwaldung oder Verschlechterung der culturellen Verhältnisse in keinerlei Zusammenhang zu bringen sind. Die Waldklimafrage spitzt sich sonach für den vorliegenden Zweck zu der Beurtheilung des Einflusses des Waldes auf das Klima räumlich beschränkterer, aber immerhin noch ausgedehnter Gebiete, so ganzer Flussgebiete, Gebirgsketten, Landstriche, d. i. auf die Festsetzung des Causalnexus mit der sogenannten Klimaverwilderung im Sinne Eblins zu.

Wie weit aber auch in dieser Richtung die Meinungen auseinandergehen, ist den folgenden Ausführungen zu entnehmen. Es behauptet z. B. Preser:⁵⁸⁾ Die Consequenz aller Consequenzen der Entwaldung sei ein immer rascher zunehmendes Zurückgehen der landwirthschaftlichen Production bis zur Verödung ganzer Landstriche. Der Zustand der Länder der alten Geschichte sei ein Fingerzeig für diese Behauptung. Die Geschichte des Alterthums erinnere z. B. an die reichen Gefilde, welche sich an den Ufern des Euphrat und Tigris hinzogen, während heute nicht viel mehr als eine Steppenvegetation dort wieder zu finden ist. Von den Marschen an den Küsten Egyptens sei nur die sumpfige Vegetation der Halophyten (Salzpflanzen) übrig geblieben. Griechenland, einst ein wald- und quellenreiches Land, ist heute waldarm und trocken. Die fetten Triften in Palästina, auf denen einst die berühmten Stiere von Basan weideten, seien mit den großen Eichenwaldungen, deren noch Jesaias (Kap. 2, V. 13) erwähnt und mit denen alle Gebirge des üppigen Landes bedeckt waren, verschwunden und stillen jetzt kaum den Hunger einiger Ziegen, des einzigen Haushieres proletarischer Wirthschaft. Die reichen Fluren von Argos und Kleinasien mussten ihre Vegetation mit der Feuchtigkeit einbüßen, welche verloren ging, als man die zahlreichen Eichen-, Linden- und Buchenwälder verdrängte. Die kahlen Gebirge in Argos führen heute überhaupt keine Quellen mehr. Schon

58) „Ueber den Einfluss der entwaldeten Höhen auf die Bodencultur“; von Karl Preser. Prag 1884.

Plato (Critias S. 11) klage über das Erkranken des Landes in Folge der Entwaldung. Pokorny, Hann und Hochstetter verweisen in ihrer allgemeinen Erdkunde auf die Folgen der Entwaldung in Dalmatien, Syrien, Nordafrika und überhaupt auf alle Mittelerranländer hin. Blanqui führe aus (Journal des Econ. Mars 1854), dass in Folge der Entwaldung zwischen Piemont und der Provence bald eine Wüste liegen werde.

In der Campagna di Roma seien mit den Wäldern Städte und zahlreiche Ortschaften, Villen und Gärten verschwunden.

Einen besonderen Gegensatz in der Entwaldung und ihrem Einflusse auf die Landwirthschaft bilden Quito und Peru. Der westliche Abhang Perus sei entwaldet und in Folge dessen arme Vegetation und Niederschläge nur zur Winterszeit, dort in Quito hingegen das Gebirge noch reich bewaldet und infolgedessen selbst im Sommer bedeckter Himmel und Regen. Es sei überhaupt eine ganz stattliche Reihe älterer und neuerer Schriftsteller, von Plinius bis auf Columbus, von Dove und Alexander v. Humboldt, der in seinem Kosmos (II, 32) auf die Abnahme der Luftfeuchtigkeit und Regenmenge durch Zerstörung der Waldungen aufmerksam mache, bis auf Zschokke, Kasthofer, Niemann, Ebermayer u. s. w., aus deren Mittheilungen die Gefahren der Entwaldung für die Landescultur zu erkennen seien.

Preser verweist weiter auf den Bericht des deutschen Consulates in Moskau über Waldverwüstung in Russland 1883, wozu nach die klimatischen Verhältnisse schon so gelitten hätten, dass die Flüsse, selbst die Wolga, schon jetzt constant niedrigeren Wasserstand zeigen. Die Abnahme der landwirthschaftlichen Production in Süddeutschland sei von autoritativer Seite schon in den 1850er Jahren mit der zunehmenden Entwaldung Tirols in Verbindung gebracht worden.

Auch Forstrath Liebich bezeichne in seiner Forstwissenschaft Gegenden in Böhmen, in denen mit der Entfernung des Waldes Quellen und Bäche versiegten, dagegen heftigere Stürme und Hagelwetter eintraten. Es können, sagt Preser, die in Rede stehenden Nachtheile nicht besser zusammengefasst werden, als es der Kulturhistoriker Riehl mit den Worten gethan hat: „Wir sehen, wie ganze gesegnete Länder, denen man den schützenden Wald geraubt, den verheerenden Fluthen der Gebirgswässer, dem ausdörrenden Odem der Stürme verfallen sind, und ein großer Theil Italiens, das Paradies von Europa, ist ausgelehtes Land.

weil sein Boden keine Wälder mehr trägt, unter deren Schutz er sich wieder verzüngen könnte. Aber nicht bloß das Land ist ausgelebt, auch das Volk.“

Im Gegensatz zu dieser Aeußerung, insoweit die Klimaänderung in Frage kommt, stehen die Anschauungen Englers, welche ihres großen Interesses wegen hier gleichfalls Raum finden sollen. Engler⁵⁹⁾ sagt:

„Die ersten Bücher über Wald und Klima sind von Rougier de la Bergerie und Rauch in den Jahren 1817 und 1818 geschrieben worden. Wenn am Ende des 19. Jahrhunderts über die gewonnenen Resultate Rechenschaft gegeben werden soll, so kommt man zum Schlusse, dass durch die wissenschaftliche Forschung der früher allgemein angenommene bedeutende Einfluss des Waldes auf die Temperatur und Niederschlagsverhältnisse auf ein recht bescheidenes Maß zusammengeschrumpft ist, aber es muss zugestanden werden, vollständig gelöst ist die Frage noch keineswegs.

Zur Lösung der Waldklimafrage wurden im allgemeinen drei verschiedene Wege eingeschlagen.

Reisende und Geographen suchten meist durch Beobachtungen bei wiederholtem Besuche von Gegenden, oder durch Vergleichung geschichtlicher Aufzeichnungen und Ueberlieferungen mit den gegenwärtigen Verhältnissen das Ziel zu erreichen.

Mit der Errichtung forstlich-meteorologischer Stationen, deren Aufgabe es ist, die Klimaunterschiede zwischen Wald und Freiland und die klimatische Einwirkung des ersteren auf das letztere durch genaue Messung festzustellen; war ein zweiter, viel wissenschaftlicherer Weg betreten.

Und endlich haben namentlich die Meteorologen die Frage zu lösen gesucht, indem sie die Daten einer größeren Zahl meteorologischer Stationen, die sich über weite Ländergebiete vertheilen, mit Hinsicht auf die bestehenden Bewaldungsverhältnisse oder auf stattgefundene Veränderungen der Bewaldung discutirten.“

„Sehr oft ist“, fährt Engler fort, „von jenen, die dem Walde einen großen Einfluss auf die Menge und Vertheilung der Niederschläge zuschreiben, auf eine Verschlechterung des Klimas der Mittelmeerländer, d. h. deren Regenarmuth infolge ausgedehnter

59) „Zur Waldklimafrage.“ Aus einem Vortrage, gehalten in der geographischen Gesellschaft zu Zürich von Professor A. Engler. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen. Nr. 2 u. 3. Jahrgang 1900. Mit reicher Autorenangabe.

Entwaldungen hingewiesen worden, und mit Vorliebe hat man Palästina als klassisches Beispiel angeführt.

Die Niederschlagsverhältnisse des Mittelmeergebietes zeigen nun aber eine gewisse allgemeine Gesetzmäßigkeit, die in keinem Zusammenhange mit der Bewaldung steht; es nimmt nämlich die jährliche Niederschlagsmenge so wie die Häufigkeit der Niederschläge, Abweichungen, die durch besondere Localverhältnisse (Gebirge, Küste) bedingt sind, ausgenommen, von Nord nach Süd und von West nach Ost ab. So dauert z. B. die regenlose Zeit am Marmarameer 2, im vorderen Kleinasien und in Griechenland 4, in Spanien $4\frac{1}{2}$, in Palästina 6—7 (von Ende April bis Mitte October) und in Alexandrien ca. 8 Monate.

Dass z. B. Palästina vor 2000 bis 4000 Jahren überhaupt walddreicher gewesen sei als heutzutage, ist kaum nachzuweisen, wenigstens aus der Bibel nicht. Dieselbe spricht höchstens von Hainen, und der Wald spielt im Culturleben des jüdischen Volkes keine Rolle. Es wäre allerdings denkbar, dass bei den vielen Kriegen Wälder verwüstet wurden, allein der Gedanke liegt viel näher, den Niedergang der Bodencultur Palästinas in der Zerstörung und Vernachlässigung der Wasserleitungen und in der ganzen türkischen Misswirthschaft zu suchen. In Jerusalem fallen nach 44jährigem Mittel jährlich 647 mm Regen, in Bairut, nördlicher, am Fuße des Libanon gelegen, dagegen 904 mm. Dass sich die Niederschläge in Palästina wenigstens seit den beiden ersten Jahrhunderten christlicher Zeitrechnung nicht verändert haben, ist durch die Untersuchung von Hermann Vogelstein in seiner 1894 erschienenen Dissertation ziemlich sichergestellt. Der Regen spielte von jeher eine Hauptrolle für die Landwirthschaft Palästinas und zog die Aufmerksamkeit der ganzen Bevölkerung auf sich. Man unterschied Frühregen vom October bis Februar und Spätregen im Nisan (März bis April). Da die Frühregen für das Aufgehen der Saat von der größten Bedeutung waren, wurden sie mit Spannung erwartet, und in einem Gefäß (Regenmesser) gemessen. Die normale Höhe der Frühregen musste ca. 54 cm betragen, wie Vogelstein durch Vergleichung der Maße ermittelt hat. Rechnet man nun die mittlere Regenmenge der Station Jerusalem im März und April — 13 cm — hinzu, so erhält man 67 cm, was ungefähr der gegenwärtigen jährlichen Regenmenge entspricht.

Ebenso kommt Georg Rindfleisch zu dem Schlusse, dass der culturelle Rückgang der Landschaft Hauran nicht durch Entwal-

dung, sondern durch die muslimische Eroberung und den Verfall der Aquäducte, artesischen Flüsse und Cisternen verursacht ist.“

„Wie sind“, fragt Engler, „alle diese Angaben über Verschlechterung des Klimas infolge von Entwaldungen zu erklären?“

1. In solchen Reiseberichten wird der außerordentlich günstige Einfluss des Waldes auf das Regime der Wässer und den Windschutz der landwirthschaftlichen Culturen vielfach verwechselt mit der Einwirkung desselben auf das eigentliche Klima, spec. die Niederschläge.

2. Solche Angaben stützen sich häufig auf mangelhafte, viel zu kurze Beobachtungen oder auf unzuverlässige Mittheilungen dritter u. s. f. Das bloße Gedächtniss leistet zur Ueberlieferung klimatischer Erscheinungen ganz unzulängliche Dienste.

3. Durchgeht man die Literatur, so findet man Angaben älterer Werke kritiklos in neueren wieder oder auch durch Verwechslung und Vermengung mit anderen Beobachtungen bis zur Unkenntlichkeit entstellt. (Aegypten!)

4. Viele zuverlässige Beobachtungen über das Feuchter- oder Trockenerwerden des Klimas dürften wohl am häufigsten durch die von Prof. Brückner entdeckten Klimaschwankungen zu erklären sein. Die Ansichten über die Austrocknung von Gegenden sind dann offenbar unter dem Eindruck verschiedener Phasen dieser Schwankungen entstanden.

Dass meist von Klimaverschlechterungen berichtet wird, hat wohl seinen Grund in einer ganz allgemeinen Erscheinung des menschlichen Wesens. Wenn es ihm gut geht, kümmert sich der Mensch wenig um die Ursache seines Wohlbefindens, stoßen ihm aber Widerwärtigkeiten und Unglück zu, so forscht er sofort nach den Ursachen und glaubt dann gar bald solche gefunden zu haben, mögen sie wirklich zutreffen oder nicht. Eine einfache Ueberlegung muss ferner sofort klar machen, dass der Wald keinen wesentlichen Einfluss auf das Klima einer Gegend haben kann. Tausendfältige Beobachtungen auf der ganzen Erde zeigen nämlich, dass der Typus der Vegetation im allgemeinen von den Feuchtigkeitsverhältnissen abhängig ist; Wald, Grasflur und Wüste, die drei Haupttypen der Vegetation, sind bedingt von der Menge und Vertheilung der Niederschläge, von der Luftfeuchtigkeit und von den Windverhältnissen in den verschiedenen Jahreszeiten. Der Wald erlangt nur dort die Oberhand, wo, eine genügend warme Vegetationszeit vorausgesetzt, der Boden stets

hinreichend Wasser enthält, resp. wo eine gewisse Menge von Niederschlägen fällt und die Luft namentlich im Winter feucht genug und ruhig ist. Dr. Brandis, der frühere General-Forstinspector Indiens, theilt mit, dass in Indien der Wald nur dort einigermaßen fortkommt, wo die jährliche Regenhöhe mindestens 1,0 m beträgt. Eine üppige Waldvegetation findet man aber nur in Gegenden mit weit größeren Regenmengen.

Ein sehr instructives Beispiel liefern auch die Vegetationsverhältnisse Nordamerikas. Wald und Prärie sind durch das Klima, besonders die Niederschläge bedingt. Nach den Klimatafeln kann man mit Sicherheit auf diese beiden Vegetations-Formationen schließen.

Nach Prof. Ch. S. Sargent herrscht in den Uebergangsbieten beständiger Streit zwischen Wald und Prärie. „Aber der Streit hält sich so gut im Gleichgewicht, dass jede Dazwischenkunft des Menschen sofort den Ausschlag geben muss.“ Dort ist also eine Aufforstung noch möglich. „Diese Gebiete sind nicht zu verwechseln mit den westlichen, regenarmen; dort ist eine systematische Aufforstung unmöglich.“

Das Klima ist also, wie Engler am Schlusse seines Vortrages hervorhebt, ein Factor, von dem die Baum- und Waldvegetation vollständig abhängt und welcher derselben die feinsten Nüancen zu geben vermag. Wer daher dem Walde einen erheblichen Einfluss auf das Klima einer Gegend zuschreibt, der verwechselt Ursache und Wirkung mit einander.“

Bei Berücksichtigung der vorstehenden Anschauungen Englers wäre also anzunehmen, dass, wie dies auch Weber⁶⁰⁾ hervorhebt, dem Walde gegenüber einer anderen Vegetationsform im besten Falle ein Einfluss auf gegebene klimatische Verhältnisse nur innerhalb gewisser, sehr enge gezogener Grenzen einzuräumen ist, Modificationen, welche, wie Weber sagt, indessen sehr beachtenswerth werden können, wenn es sich um ein großes Areal handelt, das mit dieser Vegetationsform bedeckt ist. Eine gewisse Einwirkung durch Circulationsströ-

60) „Die Aufgaben der Forstwirtschaft“, von Prof. Dr. Rudolf Weber; im „Handbuch der Forstwirtschaft“, von Dr. Tuisko Lorey, 1. Band, 1. Abtheilung Tübingen 1888, mit reicher Autorenangabe. Die Neuauflage des Handbuchs ist im Zuge.

mungen auf die Umgebung wäre immerhin möglich, so dass ein größerer Wald in analoger Weise, wie z. B. ein See, bis auf gewisse Entfernungen hin klimatische Aenderungen hervorbringen oder ein sogenanntes „Localklima“ mit gewissen charakteristischen Eigenthümlichkeiten bilden könnte. Keinem Zweifel scheint es aber wohl zu unterliegen, dass dem Walde, insofern es sich um klimatische, große Hochwasserkatastrophen, wie solche ganze Gebirgszüge, Flussgebiete, Landstriche heimsuchen, zu Grunde liegende Einflüsse handelt, eine zumindest viel zu weit reichende Bedeutung zugesprochen wird.

Immerhin bleibt noch zu untersuchen, ob sich solche Einflüsse thatsächlich nicht doch wenigstens innerhalb sehr beschränkter Gebiete, auf die nächste Umgebung, bemerkbar machen, was insbesondere vom Standpunkte der Wildbachverbauung, die ja alle in relativ kleinem Einzugsgebiet sich vollziehende Veränderungen zu beobachten hat, von Interesse ist.

Welcher Art diese Einflüsse sein, und welches Maß sie voraussichtlich erreichen können, lässt sich aber leider bisher gleichfalls nicht genau festsetzen.

Es würde viel zu weit führen, alle hier in Betracht kommenden Fragen der Erörterung zu unterziehen; ein kurzer Hinweis auf die Forschungsergebnisse, insofern dies im Vorstehenden nicht ohnehin schon geschehen ist, muß genügen.

Die nächstliegende, vielfach aufgestellte Behauptung, dass der Wald die Niederschlagsmengen vermehre, konnte durch die bisherigen Beobachtungen nicht erwiesen werden.

Eine diesbezügliche Zusammenstellung Rittmeyers⁶¹⁾ gibt gute Uebersicht über die bisherigen Forschungsergebnisse.

Während Saussure, Boussingault, Woeikof, v. Fischbach, Rödiger und andre die Behauptung aufstellen, dass die Wälder auf eine Vermehrung der Niederschlagsmenge, somit auch in der Regel auf eine größere Wasserführung der Gewässer hinwirken, sind insbesondere Dr. Hofmann, Dr. Günther, Landolt⁶²⁾ u. Lo-

61) „Einiges zur Wald- und Wasserfrage“ von Dr. Robert Rittmeyer, Centralblatt für das gesammte Forstwesen. Wien 1893. Mit reicher Autorenangabe. vide auch: „Der Einfluss des Waldes auf den Stand und die Wirkung der Gewässer“, von Ferdinand Wang, Deutsche Rundschau, Wiesbaden 1898.

62) „Der Wald“, von Elias Landolt. Zürich 1866.

renz von Liburnau⁶³⁾ anderer Meinung und hat insbesondere Professor Dr. E. Ebermayer die Frage: „Hat Wald einen Einfluss auf die Menge der Niederschläge oder nicht?“ im verneinenden Sinne zu lösen versucht. Dass die entgegengesetzte Annahme so lange und so weit, auch unter den breitesten Volksschichten vorherrschte, erkläre sich aus dem fast regelmäßigen Zusammenfallen des Waldes mit dem Gebirge, indem man dem Gebirgswalde zuschrieb, was dem Gebirge gebühre.

Nach Dr. Lorenz von Liburnau, welcher vor weitergehenden und einseitigen Schlussfolgerungen hinsichtlich des Einflusses des Waldes auf das Klima, wenn auch nur beschränkter Gebiete warnt⁶⁴⁾, besteht kein irgendwie erkennbarer Zusammenhang zwischen Bewaldung und Niederschlag. Wenn auch der Wald im untergeordneten Grade auf die locale Vertheilung der Niederschläge wirkt, so sind jedenfalls die hieraus resultirenden Beträge nicht groß genug, um sie sicher nachweisen zu können.

Einer sehr bemerkenswerthen Arbeit Kopetzky's⁶⁵⁾ sind die folgenden Schlussfolgerungen zu entnehmen:

1. Mit Rücksicht auf den gegenwärtigen Stand der meteorologischen Wissenschaft überhaupt, auf die relativ geringe Zahl der gemachten Beobachtungen, auf die theilweise Mangelhaftigkeit der angewendeten Methoden der Untersuchung sowie auf die hiebei angewendeten Apparate und Instrumente kann ein sicherer Schluss über den Einfluss der Wälder auf die örtliche und zeitliche Vertheilung der Niederschläge nicht gezogen werden.

2. Im Hinblick auf die theoretisch vorhandenen und theilweise auf dem Wege des Versuches auch thatsächlich constatirten Beziehungen der Wälder zu den meteorologischen Elementen ist es höchst wahrscheinlich, dass die Wälder auf die örtliche und zeitliche Vertheilung der messbaren Niederschläge einen theils im positiven, theils im negativen Sinne wirkenden Ein-

63) „Die meteorologischen Radialstationen zur Lösung der Waldklimafrage.“ Resultate forstlich-meteorologischer Beobachtungen insbesondere in den Jahren 1885 bis 1887 von Dr. Josef Ritter von Liburnau, unter Mitarbeitung des k. k. Forstassistenten Franz Eckert. Mittheilungen aus dem forstl. Versuchswesen Oesterreichs, XIII. Heft, II. Theil.

64) „Wald, Klima, Wasser“ von Dr. Josef Lorenz Ritter von Liburnau, München 1878, vide auch dessen „Lehrbuch der Klimatologie“, Berlin 1874.

65) „Wald und Niederschläge“, von Forstrath Richard Kopetzky, Centralblatt für das gesammte Forstwesen. Wien 1899. Mit reicher Autorenangabe.

fluss besitzen, dessen summarischer Ausdruck auf verschiedene Oertlichkeiten verschieden und von der Umgebung abhängig ist.

3. Die Vermehrung der nicht messbaren Niederschläge innerhalb eines Waldgebietes, und darunter sind Thau, Bodenreif, Rauhreif, Duftanhang u. s. f. verstanden, steht außer Zweifel.

4. Der Wald dürfte auch die Niederschläge eines Gebietes in Summa vermehren können, weil er die Niederschlagswahrscheinlichkeit nicht nur aus localen, sondern auch aus den allgemeinen Luftströmungen erhöht, deren Wasserquantum sonst in andere Gebiete fortgeführt wird, ja im Kreislaufe des Wassers im selben Jahre innerhalb der betreffenden Zone eventuell gar nicht zur Ausscheidung gelangt.

Bemerkenswerth ist auch eine Mittheilung Zachers⁶⁶⁾, welcher die herrschenden Meinungsdivergenzen in den vorliegenden Fragen unter Hinweis auf einschlägige Arbeiten Blanfards, Studnickas und Gannets bezüglich der Verhältnisse in Indien, Böhmen und Amerika hervorhebt.

Nicht unerwähnt sollen endlich jene Angaben bleiben, welche Engler⁵⁹⁾ in seinem an anderer Stelle citirten Vortrage im Gegenstande gibt. Es heisst dort:

Wie oberflächlich oft Untersuchungen über den Einfluss des Waldes auf die Niederschläge angestellt werden, beweist der Aufsatz von Leo Anderlind: „Der Einfluss der Gebirgswaldungen im nördlichen Palästina auf die Vermehrung der wässrigen Niederschläge daselbst.“

Nach den 10jährigen Beobachtungen Vartans von 1869/70 bis 1878/79 fielen in Nazareth jährlich 612 mm, in Jerusalem nach Chaplins gleichzeitig 570 mm, also 42 mm weniger. Die größere Niederschlagsmenge Nazareths soll nun nach Anderlind den dort vorhandenen Waldungen von *Quercus coccifera*, *Q. aegilops* und *Cerantia siliqua* zuzuschreiben sein. Da Jerusalem beträchtlich höher liegt als Nazareth, komme der Einfluss des Waldes auf die Regensmengen nicht in dem Maße zum Ausdruck, wie dies bei gleicher Meereshöhe der Fall wäre. Nazareth liegt nämlich 490 m ü. M. und 33 km östlich von der Küste, während Jerusalem eine Meereshöhe von 790 m hat und 58 km vom Meere entfernt ist.

66) „Ueber den Causalnexus von Wald und Regen“, von Dr. Gustav Zacher, Vierteljahresschrift für Forstwesen, Wien 1890.

Anderlind lässt dabei vollständig außer Acht, dass Jerusalem auf einem vom Meere aus allmählich ansteigenden Plateau beinahe doppelt soweit landeinwärts liegt als Nazareth und dass vorzüglich die Südwest-Winde dem Lande Regen bringen. Wie rasch aber der Wind auf dem Landwege seine Feuchtigkeit verliert, erhellt daraus, dass schon 70 km östlich von Jerusalem die regenarme Steppe und Wüste beginnt. Auch nimmt, wie schon erwähnt, die Regenmenge überhaupt von Nord nach Süd ab, und es liegt Jerusalem 103 km südlich von Nazareth. Ein Blick auf die Karte lehrt sofort, dass sich in der geogr. Breite von Nazareth das cultivirte Land (der Hauran) fast einen halben Längengrad weiter nach Osten ausdehnt, als südlich bei Jerusalem. Und schließlich üben die nahe gelegenen Gebirge, der Libanon, Harmon und Antilibanon, deren höchste Gipfel bis zu 3000 m aufsteigen, einen nicht zu unterschätzenden Einfluss auf die Niederschlagsverhältnisse von Nazareth aus.

Gerne citirt werden auch, hebt Engler hervor, die Regenverhältnisse in Unterägypten. Dasselbe soll nämlich infolge der Anlage von Baumwollplantagen durch Mehemet Ali und infolge Anpflanzung von 18 Millionen (?) Bäumen (Dattelpalmen und Sykomoren) durch Imbrahim Pascha regenreicher geworden sein.

Unterägypten hat folgende mittlere Niederschlagsmengen: Alexandrien 211, Port Said 89, Kairo 27, Ismaila 57 und Suez 28 mm.

Hann schreibt darüber: „die Sage von der Zunahme des Regensfalls im unteren Nilthale infolge der großen Baumwollpflanzungen seit Mehemet Ali muss mit Vorsicht aufgenommen werden. Zur Zeit der französischen Expedition am Schlusse des vorigen Jahrhunderts zählt M. Coutelle zu Kairo im Mittel von 1798—1800 (3 Jahre) 15 1/2 Tagemit Regenfall, Destouches 1835—1839 (5 Jahre) 12 1/2, die österreichischen Beobachter zählten 1857—1861 (5 Jahre) 13,3 Tage. Die Regenmengen zu Alexandrien waren: 1867 227 mm, 1868, 335, 1869 158, 1870 73, 1871, 68, 1872 283 mm.

Aus diesen Zahlen ist eine Zunahme der Regenmenge absolut nicht ersichtlich, und es leuchtet wohl ohne weiteres ein, dass man Baumwollplantagen und Baumwollpflanzungen nur dort anlegte, wo bewässert werden kann.“

„Es ist“, meint Engler weiter, „überhaupt sehr schwierig, geeignete Oertlichkeiten für Untersuchungen zum Zwecke der Ermittlung der Niederschläge zu finden, und wie häufig geben

schließlich trotz allem die Resultate zu starkem Zweifel Anlass, weil die gleichartige Aufstellung der Regennesser fehlte.

Die Versuche von Makereth, Nipher, Börnstein, Hellmann u. a. zeigen zur Genüge, wie unsicher die Regennmessungen sind. So hat Hellmann in den Vororten Berlins Unterschiede in der Regenmenge von 5 bis 22 % erhalten.

J. Schubert hat auf den Einfluss, den der Wald durch seinen Windschutz auf die Regennmessungen ausübt, hingewiesen. Die in Waldlichtungen angebrachten, vor dem Winde allseitig geschützten Stationen müssen größere Niederschläge haben als Freilandstationen, die vom Winde ungehindert bestrichen werden. Man misst also, absolut gleiche Niederschlagshöhen vorausgesetzt, im Walde mehr als im Freiland. Vorzüglich aus diesem Grunde vermag auch die neueste Veröffentlichung von G. Wyhhotzky über den Einfluss des Waldes auf die Regenmenge im Steppengebiet der Kritik nicht Stand zu halten. Die Fehlergrenzen der Niederschlagsmessungen scheinen überhaupt so weit auseinander zu liegen, dass die Differenzen zwischen Wald und Freiland gar nicht zum Ausdruck gelangen, und es könnte somit, wie schon Dr. von Lorenz Liburnau vermuthete, der Einfluss des Waldes auf die Regenmenge wenigstens in der gemäßigten Zone gar nicht zahlenmäßig bestimmt werden. Dagegen ist eine Vermehrung der Niederschläge durch den Wald direct nachweisbar bei Nebel und Duftanhang, worauf besonders Wilhelm, Breitenlohner und Fischbach aufmerksam machten. Auch die jüngst von Kopetzky⁶⁵⁾ erwähnte Absorption des Wasserdampfes infolge der Hygroskopicität der Körper ist zu beachten. Allerdings ist die durch Nebel, Duftanhang und Absorption dem Waldboden zugeführte Feuchtigkeitsmenge im allgemeinen nicht messbar und verhältnissmäßig klein, aber es steht doch außer allem Zweifel, dass dem Walde auf solche Art und Weise mehr atmosphärische Feuchtigkeit zugute kommt, als anderen Vegetations-Formationen“.

Nicht minder offen, als die vorbehandelte Frage über die Vermehrung der Niederschläge bleibt jene, ob der Wald einen nennenswerthen Einfluss auf die zeitliche Niederschlagsvertheilung, auf die Milderung der Niederschlags- und der Temperatur-Extreme auszuüben vermag.

Auch diesbezüglich gehen die Anschauungen recht weit auseinander. So behauptet Preser⁵⁸⁾: „die Entwaldung äußere sich zumeist in dem raschen Wechsel von Hitze und Kälte, in dem

Mangel an milderen Niederschlägen, in andauernd trockener, zu sauerstoffarmer Luft, in andauernder Hitze mit vorherrschender Neigung zu wolkenbruchartigen Regengüssen oder Hagelwettern, ja selbst heftigen Orkanen. Blätter und Nadeln hauchen viel Feuchtigkeit aus und vermitteln kleine, der Landwirthschaft wohlthätige Niederschläge. Die mit Wäldern gekrönten Höhen brechen die Gewalt der Stürme ungleich mehr als kahle Felsen und fesseln durch ihr Blätterdach und je nach den Terrainverhältnissen die gefahrvollen Wolkenmassen länger an sich, wodurch diesen sehr häufig die verheerende Wirkung genommen werde, weil sie genöthigt seien, ihre ersten und hauptsächlichsten Wassermassen an den von der Natur bestimmten Bewahrer der Feuchtigkeit, dem Walde abzugeben, bevor sie noch über das flache Land hinziehen.“

Was wäre, sagt Domaszewsky⁶⁵⁾, Triest, wenn der Karst ordentlich bewaldet wäre! Die Borastürme würden ermatten, denn jeder Wald mäßigt das Klima durch Abkühlung im Sommer, durch Erwärmen im Winter und kein Sturm braust durch einen Wald hindurch, bevor er ihn nicht niedergeworfen hat. Durch Mäßigung der Winterkälte am Karst verdünnt sich die Luftschicht auf diesem Hochfelde, kann daher nicht so wuchtig wie bisher auf die Wasserfläche des Triester Golfs fallen.

Den Einfluss des Waldes auf Gewitter und Hagel untersuchte 1875 Colladon⁶⁷⁾ und kam zu der Ansicht, dass der Wald auf hochziehende Gewitter und Hagelwolken keine schützende Rückwirkung auszuüben vermöge. Mäßigend sei jedoch der Einfluss der Bäume und des Waldes auf die Verheerung durch tiefer ziehende Gewitter und Hagelwolken. Colladon hat darzuthun versucht, dass ein Baum nahezu ebensoviel atmosphärische Elektrizität zerstört, als eine hohe, mit einer Metallspitze und einem Leitungsdraht versehene Stange.

Zu den Aufgaben, welche der Wald unbedingt zu erfüllen habe, zählt Meixner⁶⁸⁾ die Regelung der Temperaturverhältnisse; der Wald sei sonach ein Regulator für Regen und Sonnenschein. Er kühle im Frühling und erwärme im Herbste, er kühle bei Tag

67) „Ueber den Einfluss der Wälder auf den Hagel“, Centralblatt für das gesammte Forstwesen, Wien 1888. Colladon verfolgte den Zug zweier äußerst verheerender Gewitter, welche einzelne hohe Züge des Jura und der Westalpen überschritten.

68) „Der Wald und seine Bedeutung“ von H. Meixner. Minden i. W.

und wärme des Nachts. In ähnlicher Weise äußern sich Jösting⁶⁹⁾ und andere Autoren. Eblin⁵⁷⁾ citirt Betrachtungen H. Kasthofers über die Veränderungen im Klima des Alpengebirges, die im Folgenden gipfeln:

Je mehr der Holzwuchs auf den Abhängen der Thäler, die am Fuße der hohen Alpen streichen, geschwächt wird, je mehr durch die Folgen dieser Schwächung die nackten Felsen zutage kommen und der Rasen nach verschwundenem Schutze zerstört wird, desto mehr steige während der Sommermonate die Temperatur der Thäler, besonders wenn sie von Ost nach West streichen, desto mehr falle diese Temperatur, wenn diese Thäler den kältesten Nordwinden offen stehen. Im ersten Falle also würde die Schneelinie hinauf, im zweiten Falle herunter rücken.

In beiden Fällen aber werden die Strömungen der Winde häufiger und heftiger, die Winter kälter werden, und es falle die Möglichkeit in die Augen, dass in den Thälern wie auf den hohen Alpen die Zerstörung des Holzwuchses, obgleich durch sie die mittlere Jahrestemperatur erniedrigt werde, doch die Erhöhung der Schneelinie einerseits und zu gleicher Zeit das Sinken der Vegetationsgrenze einzelner Pflanzengeschlechter andererseits erfolgen könne.

Die Erklärung auffallender Vegetationsscheiden im Gebirge liege in erster Linie in der hemmenden Wirkung der die Thäler durchquerenden Felswände oder der hemmenden Wirkung der Wälder auf trocknende und kältende Windströmungen. Solche Wälder seien klimatische Schutzwälder, speciell Windebrecher und ihr Verschwinden gestatte den Winden unbezähmten Zug über Alpenweiden, Mähder und Gehänge, wie auch über ganze Thäler. Die locale Schutzwirkung des Waldes in dieser Hinsicht sei für die Alpengebirge ein Factor von weitgehendster Bedeutung und der Hauptschlüssel zur Erkenntniss der klimatisch bedingten Verwilderungserscheinungen im Hochgebirge.

Eine Autorität wie Schwappach⁷⁰⁾ äußert sich dagegen dahin, dass eine Fernwirkung des Waldes auf die Temperatur der Umgebung und ein erheblicher Unterschied bezüglich der absoluten Feuchtigkeit zwischen bewaldetem und unbewaldetem

69) „Der Wald, seine Bedeutung, Verwüstung, Wiederbegründung“, von H. Jösting. Berlin 1898.

70) „Forstpolitik, Jagd- u. Fischereipolitik“ von Dr. Adam Schwappach. Leipzig 1894. Mit reicher Autorenangabe.

Terrain nicht bestehe, auch der geringe Ueberschuss an relativer Luftfeuchtigkeit nicht in Betracht kommen könne. Innerhalb des Kronenraumes und unmittelbar über demselben sei der Wassergehalt der Waldluft während der Vegetationszeit allerdings wegen der bedeutenden Verdunstung erheblich gesteigert. Auch ist Schwappach der Anschauung, dass der Wald einen wesentlichen Einfluss auf die Menge der atmosphärischen Niederschläge im Sinne der Vermehrung nach Frequenz und Quantität nicht ausüben vermag.

Uebereinstimmend hiemit sagt Dr. Paul Schreiber:⁷¹⁾ Die Einwirkung des Waldes auf die Lufttemperatur sei so gering, dass sie praktisch vernachlässigt werden könne. Die Feuchtigkeit der Luft im Walde sei so wenig verschieden von jener über dem freien Felde, dass alle darauf gegründeten Lehren haltlos seien. Der Wald könne auf die Häufigkeit und Ergiebigkeit des Niederschlages im allgemeinen nur einen untergeordneten Einfluss ausüben.

Hinsichtlich des Einflusses des Waldes auf Hagelbildung verweist Schwappach⁷⁰⁾ auf drei Arbeiten und zwar Bühlers, Hecks und Sarrazins, von welchen die beiden ersteren den Zusammenhang zwischen Wald und Hagelbildung negieren. Sarrazin dagegen constatirt für Norddeutschland einen derartigen Einfluss. Nach Dr. L. Mayer⁷²⁾ besteht eine Schutzwirkung des Waldes gegen Hagel, wenn auch nur auf beschränkte Entfernung und nicht unter allen Umständen insofern, als walddleere Stellen der Erzeugung von Hagel günstig sein können.

Gelegentlich des internationalen Forstcongresses zu Paris 1900, kam die Frage des Einflusses des Waldes auf Hagelbildung gleichfalls zur Sprache. Dem Congressberichte⁷³⁾ ist zu entnehmen, dass im Jahre 1882 über Auftrag des Forst-Directors das Studium dieser Frage angeordnet wurde. Die Beobachtungen innerhalb eines Stationsnetzes in den Departements „de la Meuse und de

71) „Die Einwirkung des Waldes auf Klima und Witterung“, von Prof. Dr. Paul Schreiber, Director des kgl. sächs. Meteorologischen Institutes in Chemnitz. Tharandter Forstliches Jahrbuch, 1899.

72) Centralblatt für das gesammte Forstwesen. Juni 1900.

73) Congrès international de sylviculture, tenu à Paris du 4. au 7. juin 1900. Compte rendu détaillé. Paris 1900, pag. 323. Es sei gleichzeitig auf die anderweitigen forstmeteorologischen Verhandlungen dieses Congresses, wie sie in dem Berichte niedergelegt sind, aufmerksam gemacht; so insbesondere auf das Referat B. Alexander Bergmanns: „La forêt et le danger des inondations“, pag. 498.

Meurthe-et-Moselle“ gestatteten dem Beobachter M. Claudot im Jahre 1895 die ersten Conclusionen dahin zu formuliren, dass der Wald einen günstigen Einfluss thatsächlich ausübe. Es wird darauf verwiesen, dass diese Resultate mit jenen Duchaussoys, Dr. Künzers und Rinikers übereinstimmen. Nichtsdestoweniger sei es angesichts der gegentheiligen Anschauungen nöthig, die Beobachtungen fortzusetzen.

Hinsichtlich des Windes gibt Schwappach⁷⁰⁾ zu, dass Waldungen in allen jenen Gegenden, welche an localen Windströmungen zu leiden haben, eine nicht zu unterschätzende günstige Wirkung für die dahinter liegenden Grundstücke ausüben. Dieses ist namentlich der Fall im Küstengebiet und auf den Hochlagen der Gebirge, aber auch in ausgedehnten Ebenen des Binnenlandes, deren Klima einen continentalen Charakter trägt und während der Vegetationszeit Perioden großer Trockenheit mit sich bringt.

Bei großer Trockenheit kommt namentlich noch der Umstand in Betracht, dass die Luft zwischen den Baumkronen und unmittelbar über denselben infolge der lebhaften Transpiration relativ und absolut reich an Wasserdampf ist. Streichen nun relativ wasserarme Luftströmungen durch den Wald, so werden sie feuchter und trocknen das freie Land, mit welchem sie in Berührung kommen, weniger aus.

Lorenz von Liburnau schreibt dem Walde im Hinblick auf Erwärmung oder Abkühlung in die Ferne, die Wirkung einer jeden anderen Vegetationsdecke zu. Der Wald stumpfe nicht allgemein die Extreme der Temperatur des in seinem Wirkungsbereiche liegenden Freilandes ab, sondern kann dieselben unter Umständen nach der positiven Seite hin erhöhen. Der Wald wirke nicht in der Nacht erwärmend und tagüber nicht abkühlend, er könne somit nicht eine Abstumpfung der Temperaturextreme herbeiführen, wie gewöhnlich angenommen wird.

Hinsichtlich der Windstärke wirkt der Wald nach Lorenz von Liburnau nur auf eine sehr kurze Distanz und zwar nicht immer durch Vermehrung der absoluten Windstillen, sondern mehr durch die Abschwächung stärkerer Winde.

Werden alle diese und viele andere Anschauungen⁷⁴⁾, deren es ungezählte gibt, und deren Anführung hier nicht Raum finden kann, zusammengefasst, so muss wohl zugegeben werden, dass die

74) Es soll auch auf die Schrift von Professor Friedrich Simony „Schutz dem Walde“, Wien 1877, verwiesen werden, in welcher dem Walde die Milderung der Temperaturegensätze, die Verminderung der Intensität der Winde,

Waldklimafrage heute weder in ihrer Totalität, noch in ihrem Detail endgiltig gelöst ist, dass aber dem bestehenden Walde auf Grund der bisherigen Forschungsergebnisse gegenüber anderen Vegetationsformen ein nennenswerther Einfluss auf das Klima, sei es ausgedehnter, sei es auch nur beschränkter Gebiete, ja selbst auf die nächste Umgebung wird kaum zugesprochen werden können. Damit ist nicht gesagt, dass das Verschwinden des Waldes in größerer Fläche, d. h. die Umwandlung desselben in eine andere Vegetationsform nicht unbedeutende Consequenzen nach sich ziehen würde, ja es müsste dies bei ausgedehnten Oedlandsflächen an seiner Stelle erwartet werden.

Das Klima des Freilandes, welches bisher mit dem Klima des angrenzenden Waldlandes verglichen wurde, steht eben, wie Lorenz von Liburnau hervorhebt, naturgemäß bereits unter dem Einflusse des vorhandenen Waldes, wenn ein solcher Einfluss überhaupt besteht. Die negativen Folgen der Entwaldung wären möglicherweise deutlicher, als die positiven des Waldbestandes. Gewiss ist aber nur, dass die Wirkung, welche allenfalls ein Wald auf seine Umgebung ausübt, mit dem Verschwinden des Waldes ganz oder theilweise verschwinden muss.

Wie es auch immer sein mag, ganz im Einklange mit Ministerialrath Ludwig Dimitz, bzw. mit Forstverwalter Franz Eckert⁷⁵⁾ kann mit voller Sicherheit behauptet werden, dass der im hohen Interesse des Regimes der Gewässer so unzweifelhaft nothwendige Waldschutz nicht in klimatologischen, sondern in ganz anderen Momenten begründet ist, die nun zur Sprache kommen sollen.

Absorption und Retention der Niederschläge durch das Waldland.

Hinsichtlich des günstigen Einflusses des Waldes auf die Absorption und Retention der Niederschläge besteht kein Zweifel. In dieser Richtung kommen zu erwägen:

1. Die Verdunstung des durch die Baumkronen zurückgehaltenen Niederschlages;

der größere Wasserdampfgehalt der Waldluft, ihr Einfluss auf Wolken und Niederschlagsbildungen, die längere Dauer und größere Ergiebigkeit derselben u. s. w. zuerkannt werden.

75) „Die Vegetationsdecke als Modificator des Klimas mit besonderer Rücksicht auf die Wald- und Wasserfrage“, von Franz Eckert. Vierteljahrsschrift für Forstwesen. Wien 1893.

2. Die Verdunstung des Waldbodens;
3. Das Absorptions-Vermögen des Waldbodens und der Verbrauch an Vegetations-Wasser;
4. Die Versickerung.

ad. 1. Es unterliegt mannigfachen Schwierigkeiten, die Größe jenes Niederschlages, flüssiger und fester Niederschlag, nur annähernd festzustellen, welcher unter den verschiedenen Verhältnissen von den Baumkronen aufgehalten wird und hier verdunstet. Dank aber zahlreicher Beobachtungen und Messungen liegen doch Resultate vor, deren Uebereinstimmung für ihre Verlässlichkeit spricht. Eine hervorragende Autorität in dieser Frage, Altmeister Ebermayer⁷⁶⁾ äußert sich dahin, dass von den Hauptquellen der Bodenfeuchtigkeit, dem Regen und Schnee, ein sehr beträchtlicher Theil durch die Baumkronen zurückgehalten und somit dem Waldboden wesentlich weniger Wasser zugeführt wird, als dem offenen Felde. Der Unterschied ist verschieden je nach Holzart, Alter, Schlussgrad und Niederschlagsmenge. Je nach dem Maße ihrer Belaubung halten die verschiedenen Holzarten ungleiche Regenmengen auf, die Buche mehr, als die lichtkronige Eiche oder Birke, die immergrünen Nadelhölzer mehr, als die zeitweise kahlen Laubholzbäume. Wohl die größten Wasserquanta bleiben in den Kronen der Fichten, (vermuthlich auch der Tannen) zurück, nämlich bei lichtem Schlusse ca. 30 %, bei dichtem Stande sogar 40—45 % der jährlichen Niederschlagsmenge, in Buchenbeständen dagegen nur ca. 20 %. Sehr bedeutend ist auch der Wasserverlust durch die Kiefernkronen, insolange diese Holzart im guten Schlusse steht, sich also nicht mit zunehmendem Alter licht stellt.

Diese Angaben stimmen nahezu mit den Resultaten jener ombrometrischen Messungen überein, welche die Bestimmung der Verdunstungsgröße der jährlichen Niederschlagsmengen an den Baumkronen in Procenten zum Zwecke hatten und ergaben:

In der Schweiz, bei Lärche	15 %
„ Fichte	23 %
„ Buche	10 %

76) „Der Einfluss der Wälder auf die Bodenfeuchtigkeit, auf das Sickerwasser, auf das Grundwasser, und auf die Ergiebigkeit der Quellen, begründet durch exacte Untersuchungen“. Ein Beitrag zu den naturgesetzlichen Grundlagen des Waldbaues von Dr. Ernst Ebermayer, kön. Geheim. Hofrath und ö. o. Professor an der Universität München. Stuttgart, 1900. Mit reicher Autorenangabe.

In Preussen,	bei Buche	24 $\frac{0}{10}$
	„ Fichte	22 $\frac{0}{10}$
	„ Kiefer	27 $\frac{0}{10}$
In Baiern	„ Buche	22 $\frac{0}{10}$
	„ Fichte	27 $\frac{0}{10}$
	„ Kiefer	34 $\frac{0}{10}$

Nach den Mittheilungen aus dem forstlichen Versuchswesen Oesterreichs, Jahrgang 1879, fielen auf Grund angestellter Messungen von einer bestimmten Regenmenge durch die Krone auf den Boden:

bei Buche	65,4 $\frac{0}{10}$
„ Eiche	73,6 $\frac{0}{10}$
„ Ahorn	71,5 $\frac{0}{10}$
„ Fichte	39,8 $\frac{0}{10}$

was einer

Retention von	34,6 $\frac{0}{10}$	bei Buche
„ „	26,4 $\frac{0}{10}$	„ Eiche
„ „	28,5 $\frac{0}{10}$	„ Ahorn
„ „	60,2 $\frac{0}{10}$	„ Fichte

gleich kommen würde, wobei allerdings jene Mengen in Abzug zu bringen wären, welche durch allmähliches Abtropfen, Wind, und dann stammlaufend zu Boden gelangen. Es kann also angenommen werden, dass gerade Nadelholz viel zurückzuhalten, zu verdunsten, also dem Abflusse vorzuenthalten im Stande ist. Diese Thatsache erklärt sich aus dem Umstande, dass im Laubholzwalde, Buchenwalde, schon bei ganz schwachen Regenfällen Wasser dem Stamme entlang zu Boden gleitet, während in Nadelwäldern die Wasserabfuhr an den Hochstämmen erst bei Regen von 10 mm Stärke beginnen soll. Der blattlose Zustand im Winterhalbjahre und die geringeren Hindernisse, welche die Blätter auch in Sommerhalbjahren gegenüber den zahllosen Nadeln des Nadelhochwaldes dem Wasser bieten, sind die Ursachen. Uebrigens liefern Laubholzbestände in der Regel auch mehr durch die Kronen tropfendes Wasser als Nadelholzbestände, namentlich die Fichte, Tanne und Föhre. Die Lärchen bilden den Uebergang. Die lichtbedürftigen Laubhölzer, als Birken, Akazien, Eichen, lassen mehr Wasser zu Boden, als die schattenliebende Buche u. a. m.

Die obigen Zahlen sind naturgemäß nur als Mittelwerthe anzusehen, denn schon die Dauer und Intensität der Niederschläge üben einen großen Einfluss auf die im Walde fallenden Wasser-

mengen aus. Die procentische Differenz zwischen den im Freien und im Walde fallenden flüssigen Niederschlagsmengen (der relative Wasserverlust) nimmt daher umso mehr ab, je stärker und ergiebiger die Niederschläge sind. So glaubt Krutzsch⁷⁷⁾ gefunden zu haben, dass schon bei einem flüssigen Niederschlage von 30 – 50 mm, 80—90% desselben auf den Boden gelangen. Bei festen Niederschlägen kann der umgekehrte Fall eintreten. Bei einem späten und heftigen Schneefall (16. Februar 1889) fand Bühler⁷⁸⁾ im Nadelwalde sogar 88% zurückgehaltenen Niederschlages, der allerdings gewiss nicht zur Gänze der Retention zugute kam.

Selbstverständlich richtet sich die Verdunstungsgröße im Walde überhaupt, und im Baumkronendache im besondern, auch nach Jahreszeit, Temperatur und Klima. Sie kann so groß sein, dass der Abfluss gerade zur Zeit der in der Regel reichsten Niederschläge (Juli und August) am kleinsten ist.

In Ländern und Gebieten mit vielen schwachen, in periodischen Zwischenräumen fallenden Niederschlägen, ist die procentische Differenz zwischen dem im Freien und im Walde gefallenen Wasserquantum beträchtlich größer, als in Klimaten mit stärkeren Niederschlägen. Mit der Meereshöhe wird daher auch der relative Wasserverlust im Walde geringer, die Durchfeuchtung des Waldbodens im Gebirge daher stärker als in Niederungen.

Wie schon berührt, läuft von dem auf den Blättern und Aesten zurückgehaltenen Wasser ein Theil, man hat ihn mit 2—10% geschätzt, am Stamme herab, ein anderer, und dies gilt auch von festen Niederschlägen, wird vom Winde zu Boden geschüttelt⁷⁹⁾.

Um für das Retentionsvermögen des Waldes ganz allgemeine und mehr der Information dienende Zahlen aufzustellen, hat man auch ganz allgemein mittlere Verhältnisse in Betracht zu ziehen. Bei Berücksichtigung dieser, dürfte die Berechtigung vorliegen, die mittlere jährliche Retentionskraft gemischter, vorherrschend aus Nadelholz gebildeter Bestände, insofern sie auf die Wirkung des Kronendaches zurückzuführen ist, mit 20—25% der jährlichen Niederschlagsmengen annehmen zu können.

77) „Oesterreichische Forstzeitung“, No. 40 vom Jahre 1887.

78) „Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen“, 1884.

79) „Der Wald und die Quellen“, von C. E. Ney. Tübingen 1893. Mit reicher Autorengabe. Ney verweist mehrfach auf eine einschlägige Arbeit Dr. Rieglers in den Mittheilungen des forstlichen Versuchswesens Oesterreichs 1879.

Als die Extreme wären, was die Holzart anbelangt, ca. 10% bei den lichtbedürftigen Laubhölzern und etwa 33% und darüber bei Fichte, Tanne, oder im dichten Schlusse stehenden Föhrenbeständen anzusehen, wobei im Falle heftiger Niederschläge der Procentsatz ein noch geringerer werden kann.

ad 2. Ein Theil jener Niederschläge, d. h. also im Durchschnitt ca. 75–80%, welche auf den Waldboden gelangen, wird von der Bodendecke oder den obersten Bodenschichten festgehalten und verdunstet theilweise selbst wieder. So wird z. B. angenommen, dass gesättigte Buchenlaubstreu ebensoviele verdunstet, als eine gleich große Wasserfläche. Die Verdunstung des in der Bodendecke und in den obersten Bodenschichten vorhandenen Wassers ist aber wegen der geringen Erwärmung des Waldbodens und der verlangsamten Luftbewegung im allgemeinen nicht nur weniger rasch, sondern auch geringer, als im freien Lande. Die Beschaffenheit des Bodens, des Bestandes und der Holzart modificirt natürlich den Verdunstungsbetrag wesentlich, sowie er insbesondere durch die wasserabsorbirende Wirkung der Streudecke bedeutend herabgemindert werden kann. Prof. Ebermayer⁸⁰⁾ hat mit Hülfe von Verdunstungsmessern nachgewiesen, dass die Wasserverdunstung im Walde im Jahresmittel um etwa 64% geringer ist, als im Freilande. Nach den Untersuchungen Prof. Müttrichs verdunsteten durchschnittlich in den Beständen 40% jener Menge, welche im Freien verdunstet würde, was mit dem Resultate Ebermeyers nahezu vollkommen übereinstimmt. Bei Zugrundelegung des angenommenen mittleren Baumkronen-Retentions-Procentes von 20 bis 25%, kann also genommen werden, dass im Mittel ca. weitere 8–10% der Niederschläge im Walde verdunstet, dass sich sonach das ganze Verdunstungsprocent im Walde, wenn man es so nennen will, im Mittel auf ca. 28–35% belaufen kann.

Die Bodenverdunstungsgröße ist naturgemäß von verschiedenen Verhältnissen beeinflusst, so zunächst nach Jahreszeiten verschieden. Doch ist darauf zu verweisen, dass diese Verdunstungsgröße auch im Winter, insbesondere bei continuirlich mäßigen Schneefällen eine sehr bedeutende werden kann, zumal der Wald ein erhebliches Procent der Schneemassen (nach Bühler bis 88%) zurückzuhalten und hievon wieder unter dem Kronendache

80) „Physikalische Einwirkungen des Waldes auf Luft und Boden,“ von Dr. Ernst Ebermayer, Aschaffenburg 1873.

einen beträchtlichen Theil zur Verdunstung zu bringen vermag. Dagegen ist es nicht ausgeschlossen, dass sehr heftige Niederschläge selbst in den Sommermonaten, besonders aber in den Frühjahrs- und Herbstmonaten, das gemeinte Verdunstungsprocent gegenüber dem gesammten Abflussprocente wesentlich verringern können. Es hat also eine gewisse Berechtigung, zum Zwecke des Ziehens allgemeiner Schlüsse, auch einen allgemeinen Mittelwerth für das Bodenverdunstungsprocent anzunehmen, wie das vorhin geschehen ist.

Von Interesse für die Beurtheilung der gesammten Verdunstung im Walde, d. i. auf den Baumkronen und im Waldesschatten, ist die Thatsache, dass gelegentlich des Hochwassers vom Juli 1897, trotz der ausserordentlich großen Niederschläge vielfach nicht jene, und zwar relativ gemeint, Wasserabflussmengen beobachtet werden konnten, wie anlässlich des Septemberhochwassers vom Jahre 1890, trotzdem die damals fallenen Niederschläge beträchtlich geringer waren. Man nimmt an, es seien im Jahre 1890 50 %, im Jahre 1897 nur ca. 27 % der in allen Ueberschwemmungsgebieten fallenen Niederschläge zum Abflusse gelangt. Die Ursache ist in der größern Verdunstung im Juli 1897, gegenüber September 1890, und in der größern Wasseraufnahmskraft des Bodens im Juli 1897 nach vorhergegangener warmer, gegenüber September 1890, nach vorhergegangener nasser Witterung zu suchen. Unter den Verhältnissen des Jahres 1890 hätte es also eine Katastrophe gegeben, wie sie vielleicht bisher noch nie eingetreten war.

ad 3. Von wesentlichem Einfluss auf die Absorption der Niederschläge ist das Wasser-Aufsaugvermögen der Bodendecke im Walde. Nach den Untersuchungen Ebermayers verbraucht der theilweise mit Streu bedeckte, theilweise ausgerechte Wald bei mittlerer Regenhöhe auf geneigten Lagen, im Mittel ca. 55 % der jährlichen Regenmenge. Wird von dieser Größe das vorstehend näher detaillirte Verdunstungsprocent von im Mittel 30 % abgezogen, so ergibt sich, dass der theilweise streubedeckte, theilweise ausgerechte Waldboden als solcher ca. 25 % der Regenmenge verbraucht, worin allerdings auch schon der Verbrauch von Vegetationswasser mit inbegriffen erscheint⁸¹⁾. Dieses letztere repräsen-

81) Es ist von Interesse zu erfahren, dass nach Hönel „Mittheilungen aus dem forstlichen Versuchswesen Oesterreichs“, Bd. II, Heft I u. III „Forschungen der Agriculturphysik, Bd. 2 u. Bd. 4., der Wasserbedarf eines Buchenwaldes erst bei einer Niederschlagshöhe von ca. 300 mm gedeckt ist. vide Ramann³⁰⁾, „Forstliche Bodenkunde und Standortslehre“.

tirt im Walde einen sehr erheblichen Betrag, da der Wasserverbrauch der Bäume, infolge der hochangesetzten Krone mit großer Oberfläche, allen angestellten Versuchen nach ein gewaltiger ist.

Es unterliegt keinem Zweifel, dass auch das Pflanzen-Absorptions-Procent, wenn es so genannt werden darf, eine nach der Jahreszeit schwankende Größe darstellt. Allein es ist nicht unbeachtet zu lassen, dass sehr heftige Niederschläge während des Sommers, das Absorptions-Vermögen des Waldbodens relativ ungünstig beeinflussen können, während umgekehrt, der langsame, unter dem Kronendache des Waldes sich vollziehende Schneeabgang im Winter, das Eindringen der Feuchtigkeit in den Boden wesentlich fördern und so das Absorptions-Vermögen des Bodens sehr erhöhen kann. Dieses letztere ist bei normalen Niederschlägen und nach vorhergegangener Trockenheit am größten; es verringert sich im Falle andauernder Niederschläge und es kann im Falle von Wolkenbrüchen eine selbst minimale Größe annehmen. Wie beim Verdunstungs-Procente, dürfte es deshalb auch hier seine Berechtigung haben, nur mit einem Mittelwerthe zu rechnen.

Für die sub 2 und 3 besprochenen Punkte von Interesse sind die in dieser Richtung maßgebendsten Resultate der Forschungen Wollnys⁸²⁾, welche die nachstehenden Folgerungen zulassen:

a. dass die Erde bedeutend größere Mengen von Wasser durch Verdunstung verliert, als die verschiedenen Streudecken, die sich sonach feuchter erhalten,

b. dass die Moosstreu von allen Streusorten die größten Mengen von Wasser an die Atmosphäre abgibt, sonach die geringsten Wassermengen in sich schließt, dann folgen in absteigender Reihe das Eichenlaub mit dem höchsten Wassergehalt, das Buchenlaub, die Kiefern und Fichtennadeln, mit nur geringen Unterschieden bezüglich der drei letzteren.

c. dass die Verdunstungsmengen um so größer sind, je geringer die Mächtigkeit der Streudecke ist, der Wassergehalt der Waldstreu sonach mit der Mächtigkeit der Schichte zunimmt.

Letzteres lässt sich darauf zurückführen, dass sich die feuchten Schichten um so tiefer unter der Oberfläche befinden und das capillare Aufsteigen des Wassers umsomehr erschwert wird, je höher die Streu aufgeschichtet ist. Bei Zusammenstellung der in diesen Versuchen festgestellten Eigenschaften der Waldstreu in

82) „Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik“, von Prof. E. Wollny. Oesterr. Forstzeitung No. 71 vom Jahre 1888.

Bezug auf deren Verhalten dem Wasser gegenüber, lässt sich letzteres dahin präcisiren, dass die Laub- und Nadelstreu das zugeführte Niederschlagswasser zwar in großen Mengen nach unten hin abgeben, sich aber trotzdem in einem sehr feuchten Zustande erhalten, weil sie verhältnissmässig wenig Wasser durch Verdunstung verlieren, ferner dass die Moosstreu durch bedeutende Schwankungen in ihrem Wassergehalte ausgezeichnet ist, weil sie einerseits eine große Wassercapacität, andererseits ein beträchtliches Verdunstungsvermögen besitzt.

Ueber das Wasseraufsaugvermögen der einzelnen Waldbodenarten haben Versuche gelehrt⁸³⁾, dass dasselbe bei Moosstreu (Sphagnum —, Hypnumarten etc.) 177—1041 ‰, bei Laubstreu 123—253 ‰ (Rothbuche am besten, zunächst Eiche), bei Nadelstreu 110—156 ‰ (Tanne am besten, zunächst Fichte, am mindesten stark verweste Schwarzföhre), in Gewichtsprocenten der lufttrockenen Streu betragen könne. Gelegentlich des Hochwassers im Jahre 1882, in Tirol und in Kärnthen, konnte die Beobachtung gemacht werden, dass das Wasseraufnahme- und Zurückhaltungsvermögen in der Humusschichte und den darunter liegenden fruchtbaren Erdschichten, in Nadelholzbeständen das größte war, und zudem im genauen Verhältniss zur vorhandenen Bodenstreuenschichte, beziehungsweise zur Beastung der einzelnen Baumindividuen stand.

ad. 4 Was die Sickerwassermengen anbelangt, so unterliegt es naturgemäß ganz besonderen Schwierigkeiten, diesbezüglich ziffermäßige Anhaltspunkte zu geben. Soviel steht fest, dass frische unzersetzte Streu das Wasser leicht durchsickern lässt, dass dagegen mit dem Fortschritte der Verwesung der Streudecke das Absorptionsvermögen derselben zunimmt. Nach den Untersuchungen Wollnys ergab sich in Consequenz seiner sub 2 und 3 citirten Forschungsergebnisse,

a. dass von derselben Niederschlagsmenge durch die verschiedenen Streusorten bedeutend größere Mengen von Wasser absickern als durch die Erde.

b. dass die von Eichlaub-, Buchenlaub-, Fichtennadel- und Kiefernadelstreu in die Tiefe abgegebenen Wassermengen nur wenig von einander verschieden, aber wesentlich größer sind, als die aus dem Moose abtropfenden;

83) Mittheilungen aus dem forstlichen Versuchswesen Oesterreichs, 1879.

c. dass im Allgemeinen die Sickerwassermengen aus verschiedenen Streudecken unter sonst gleichen Umständen mit der Mächtigkeit der Schichte zunehmen. Auch kann angenommen werden, dass die immergrünen Nadelhölzer die Absickerung des Wassers in den Boden, bezw. die Höhe des Grundwasserspiegels im stärksten Maaße herabsetzen, dann folgen in absteigender Reihe die Laubbölzer.

Ueber die Wassermassen, welche in die Bodendecke des Waldes einsickern, und so den Abfluss zu den Bächen und Flüssen verringern und verlangsamen, kam Ebermayer zu dem Schlusse, dass die Sickerwassermenge von der Verdunstungsgröße, von der chemischen und physikalischen Beschaffenheit des Bodens, von der Art der Bodenbedeckung, der Lage und den Terrainverhältnissen abhängt. Sehr dicht stehende Pflanzen mit in einander verschlungenen Wurzeln erschweren das Eindringen des Wassers bedeutend; im streubedeckten Waldboden sickern um 24 Procent mehr ein als im nicht bewaldeten Boden. Uebrigens hält Ebermayer⁷⁶⁾ auch diese Frage für noch lange nicht abgeschlossen. Karl v. Fischbach hat auf dem 1890 er Wiener internationalen, land- und forstwirtschaftlichen Congress hervorgehoben, dass der Einfluss des Waldes auf die Zuleitung der Tagewasser in die tieferen Schichten des Erdbodens und die damit zusammenhängende Speisung der Quellen, noch zu wenig untersucht sei, um bestimmte Behauptungen aufstellen zu können.

Von den Schwierigkeiten, welche sich sonach der Festsetzung eines nur annähernd richtigen Versickerungsprocentes entgegenstellen müssten, abgesehen, ist zu berücksichtigen, dass dieselbe für die vorliegenden Zwecke deshalb überflüssig erscheint, weil angenommen werden kann, dass die größte Sickerwassermenge denn doch wieder in irgend einer Weise dem oberirdischen Abflusse in den offenen Gerinnen zugute kommen muss.

Werden die vorstehenden Betrachtungen über das gesammte Absorptionsvermögen des Waldes zusammengefasst und die im Hinblick auf die Veränderlichkeit der Verhältnisse allerdings nur einen gewissen, problematischen Werth besitzenden, lediglich der besseren Information dienenden, abgeleiteten Zahlen berücksichtigt, so ergibt sich nach Abzug der Verdunstungs- und Absorptionsprocente von zusammen ca. 55 % eine Abflussmenge, einschließlich eventueller Sickerwässer, von insgesamt im Mittel ca. 45 % des gesammten Niederschlages, ein Abfluss-Coeff-

ficient, welcher mit den reichlichen Erfahrungsergebnissen übereinstimmt, die in neuerer Zeit bezüglich des Wasserabflusses in Bächen unter mittleren Verhältnissen gewonnen wurden. Diesen Erfahrungen entsprechend, kommen zum Abflusse:

1. In hochcultivirten Ländern und in Hängen, die eine reichliche Quellenbildung besitzen 30—35%
2. In bergigen Sammelgebieten mit guter Bestockung 35—45%
3. Ebenso in solchen mit mangelhafter Bestockung 45—55%
4. In kahlen Sammelgebieten 55—60%

Im Hochgebirge kann dieser Coefficient allerdings infolge der großen Steilheit und, weil ober der Vegetationsgrenze, auch vielfach absoluten Nacktheit der Gehänge nicht unwesentlich größer werden, sowie denn die reichen Schneefälle in Hochlagen, insbesondere auf gefrorenem Boden, und die rasche Schneeschmelze den Abfluss ganz wesentlich erhöhen können.

Wenn sich auch die Abflussverhältnisse großer Gebiete mit jenen kleinerer nicht gut vergleichen lassen, so möge doch als Anhalt dienen, dass nach den zahlreichen Messungen Harlachers der Abfluss-Coefficient für das gesammte Elbegebiet mit 27% angenommen wird. Sogar während der Hochfluth des Jahres 1897 kamen nach den Messungen des österr. hydrographischen Centralbureaus in der Donau bei Wien nur 42%⁸⁴⁾ der oberhalb im Donaugebiete niedergegangenen Regenmengen zum Abflusse. Allerdings ist diese letztere Ziffer insofern nicht ganz verlässlich, als ein Theil der Regenmengen gewiss erst später zum Abflusse kam. Dagegen ist gewiss auch während der so sehr heftigen Regenperiode das Retentionsvermögen der Gebiete ein sehr geringes gewesen.

Wenn auch zugegeben werden muss, dass alle bisher angeestellten Versuche, das Abflussprocent oder den Abflussfactor zu bestimmen, daran krankten, dass es sehr schwer fällt, Niederschlag und Abfluss bei Berücksichtigung der mannigfachen, einflussnehmenden Verhältnisse einander gegenüber zu stellen, und wenn die im Vorstehenden abgeleiteten Werthe auch nur ganz vage Mittelwerthe darstellen, so ist doch nicht zu bezweifeln, dass die Frage des Waldschutzes vom Standpunkte der Absorption der Niederschlags-

84) „Die Hochwasserkatastrophe der Jahres 1897 in Oesterreich“, Beiträge zur Hydrographie Oesterreichs. Herausgegeben vom k. k. hydrographischen Centralbureau in Wien. II. Heft. 1898.

mengen, vom Standpunkte der Retention, eine ganz andere Grundlage als vom klimatologischen Standpunkte gewinnt, denn das Retentionsvermögen des Waldes in gedachter Richtung zeichnet sich vor dem jeder andern Vegetationsform sicherlich vortheilhaft aus. Das Laubdach des Waldes bricht, um dessen günstige, eben besprochene Wirkung nochmals zu skizziren, die Kraft der Niederschläge und bewirkt eine Vertheilung derselben auf die ganze große Oberfläche des Kronendaches, wodurch eine größere Verdunstung, eine stärkere Absorption eintritt, was zur Folge hat, dass nur ein Theil der Niederschläge die Bodendecke und zwar nur allmählich und im vertheilten Zustande erreicht. Diese letztere und die unter derselben befindliche Humusschichte erhalten auf diese Weise Zeit, möglichst viel Wasser aufzunehmen und sich zu sättigen; die schwammartige Decke des Waldbodens dient sonach in erster Linie als Regulator und Reservoir der meteorischen Niederschläge. Diese gleichmäßige Vertheilung und allmähliche Versickerung der atmosphärischen Niederschläge wird um so bedeutungsvoller, je höher die Waldungen über der Thalsohle liegen, und je steiler die Lehnenlage ist, denn es vermehren sich die Feuchtigkeit der Luft und die Niederschlagsmengen mit der Höhenlage, es wächst mit ihr und mit der Steilheit der Lehne die Geschwindigkeit und lebendige Kraft des abfließenden Meteorwassers.

Allein leider sind es neben den meteorologischen auch die geognostischen, und andere Verhältnisse, welche die in Rede stehende Wohlfahrtswirkung des Waldes bestimmen und seiner Retentionsfähigkeit mitunter rasch ein Ziel setzen. So kann hie und da die betäubende Wahrnehmung gemacht werden, dass sich selbst der bestgepflegte Wald im Falle besonderer kosmischer und meteorologischer Ereignisse, dann im Falle des Vorhandenseins eines sich rasch sättigenden oder eines mehr wasserundurchlässigen Bodens, der Wucht des Elementes beugen muss und Uberschwemmungen nicht zu verhindern vermag.

Der sicherlich bestgepflegte Wiener-Wald, um nur ein Beispiel anzuführen, mit einem 85 procentigen Antheile an dem Niederschlagsgebiete des Wienflusses, vermag die Hochwässer nicht immer zu bannen.

Nichtsdestoweniger können solche Verhältnisse der Werthschätzung des Waldes in gedachter Richtung keinen Abbruch thun und den Grundsatz seiner unbedingten Erhaltung in keiner

Weise und dies umso weniger erschüttern, als ihm im Regime der Gewässer noch eine weit größere Aufgabe, die Retention des Geschiebes zufällt.^{85, 86, 87 u. 88)}

Mechanisches Abflusshinderniss und Verminderung der Geschiebeführung.

Jede wie immer geartete Bodendecke bietet dem Wasserabflusse eine hindernde Zwischenschichte. Selbst in jenen Fällen, in welchen die Bodendecke aus Wiese und Weide besteht, wird je nach dem Grade ihrer Dichte der Wasserabfluss lediglich im Hinblick auf den gemeinten mechanischen Widerstand mehr oder weniger verzögert, was namentlich, ganz abgesehen von der hiemit in Verbindung stehenden Beförderung der Verdunstung, auf steilen Hängen von hervorragender Bedeutung ist. In dieser Richtung von wohlthätigstem Einflusse ist jedoch der gut gepflegte Wald, denn dessen Streu- oder Moosdecke verlangsamt unter Mitwirkung der zahlreichen Baumstämme die Bewegung des oberflächlich abfließenden Wassers und erschwert das Abrutschen des Schnees in steilen Lagen. Ebermayer⁷⁶⁾ verweist diesbezüglich

Hinsichtlich der Bestimmung des jährlichen Abflussfactors und der hiemit im Zusammenhange stehenden, theilweise auch für die vorliegenden Zwecke wissenswerthen Betrachtungen, wird noch verwiesen auf:

85) „Untersuchungen über Verdunstung und Abfluss von größeren Landflächen“; von Prof. A. Penck, Wien 1896 und

86) „Essai-programme d'Hydrologie“; von Dr. Ed. Imbeaux. Zeitschrift f. Gewässerkunde, Jahrgang 1899.

87) „Allgemeine Erdkunde“ von Hann, Hochstetter u. Pokarny, II. Abtheilung. „Die feste Erdrinde und ihre Formen“ von Ed. Brückner. Wien, 1898.

88) „Versuche zur Aufstellung einer allgemeinen Uebersicht der aus der Größe und Beschaffenheit der Flussgebiete abgeleiteten Schweizerischen Stromabflussmengen, gestützt auf die meteorologischen u. hydrometrischen Beobachtungen der Schweiz, nebst Anleitung zur Behandlung dieser Aufgabe im Allgemeinen“; von Robert Lauterburg, Bern 1876. Von der Anschauung ausgehend, dass sich die Abflussmenge und Abflussgeschwindigkeit je nach Steilheit, Culturlosigkeit oder Sterilität, sowie Dichtigkeit der Thalwände und der Thalsohle richten wird, hat Lauterburg seinen Berechnungen einen sog. Zustandsfactor zu Grunde gelegt, welcher sich aus drei, auf Steilheit Culturzustand und Bodendichte beziehende Componenten α_1 , α_2 u. α_3 zusammensetzt.

Die für die schweizerischen Flüsse verwendeten Factoren schwanken zwischen 0,966 für den Tessin bei Biasca und 0,3 für die Glatt, einen Nebenfluss des Rheines; man kann sie aber im Mittel mit 0,5–0,6 annehmen.

auf Messungen des Betrages der oberflächlich abfließenden Niederschlagsmengen auf einem bewaldeten und einem nicht bewaldeten Gebiete im Elsass, wonach sich das Verhältniss der Ueberschwemmungsgefahr wie 1:2 stellte, wobei allerdings anzunehmen ist, dass schon die Absorptionwirkung des Waldes berücksichtigt erscheint. Auch bemerkt Ebermayer, dass die oberflächliche Abflussmenge in Fichtenbeständen mit gleichmäßig vertheilter Moosdecke zweifellos geringer sei, als in Buchenwäldern mit Laubdecke, obzwar letztere, namentlich im Herbste nach dem Laubabfalle, wenn also frisch, dem oberflächlich abfließenden Wasser besondere Hindernisse bietet⁸⁹⁾. Diese Verlangsamung des Wasserabflusses, bei heftigen Regengüssen sowohl, als auch bei Schmelzen des Schnees, ist namentlich in steilen Lagen nicht zu unterschätzen, denn eine Verzögerung, von wenn auch nur geringer Dauer, kann local von großer Bedeutung sein, insbesondere seit dem durch Flusscorrectionen vielfach eine Beschleunigung des Wasserabflusses bewirkt wurde.

Nach allen bisherigen Erfahrungen und Versuchen ist die Behauptung gerechtfertigt, dass der Wald am meisten zur Verzögerung des Wasserabflusses beiträgt, dass dann in absteigender Reihe die Ackerculturen folgen, demnächst die permanenten Gras- u. Futterflächen, während vom kahlen und wenig bewachsenen Boden die Ableitung des Wassers am unregelmäßigsten und schnellsten erfolgt.

Von besonderer Wesenheit ist aber die Thatsache, dass durch den Wald, beziehungsweise durch dessen Wurzelsystem das Erdreich mechanisch festgehalten und durch Verminderung der Stoßkraft des Wassers die Runsenbildung, das Abbröckeln des Erdreichs und so die Geschiebebildung, wenn auch nicht immer unmöglich gemacht, so doch erschwert werden.

Die Richtigkeit dieser Thesen wurde durch Erfahrungen mehrfach bestätigt, übrigens schon im Jahre 1859 auch auf dem Wege des directen Versuches durch Forster⁹⁰⁾ auf einem unter 45% geneigten Hange zu erweisen gesucht. Forster hat $\frac{1}{7}$ der Hangfläche und zwar die eine Hälfte ganz, die zweite bis an das untere Viertel abgestockt, während der restliche, $\frac{6}{7}$ der Gesamt-

89) In einer sich dermalen unter der Presse befindlichen Abhandlung Neys, „Die wasserpolizeiliche Bedeutung des Gebirgswaldes“, wird die Frage des mechanischen Hindernisses der Streudecke näher erörtert werden.

90) „Annales forestières“, 1859, pag. 353.

fläche betragende Theil bewaldet blieb. Es hat sich nun die Thatsache ergeben, dass die mit Buche und Eiche bestockte größere Versuchsfläche gar keinen Wasserriss aufzuweisen hatte, der ganz entwaldete Theil drei von oben nach unten im Querschnitte zunehmende Wasserrisse und die nur zum Theil entwaldete Fläche vier Runsenbildungen besaß, von denen eine im Walde ganz verlief, die übrigen jedoch beim Eintritte in den Wald ihren Querschnitt außerordentlich verengten.

Allerdings können auch Umstände eintreten, bei deren Zusammenwirken die sonst unzweifelhaft verminderte Erosionswirkung des Wassers im Walde geradezu gesteigert wird. In dieser Richtung lehrreich war das Hochwasser des Jahres 1897 in Nordböhmen, während dessen Verlaufe sich innerhalb der Gebiete der Domänen Hoheneibe und Marschendorf, Stromgebiet der Elbe, nicht weniger als 63 Erosionsrinnen und sonstige Rutschungen, durch welche große Holz- und Geröllmassen zu Thale gefördert wurden, im vollbestockten, schönsten Walde gebildet hatten.

Nach Altersklassen des Holzbestandes von 20 zu 20 Jahren, stellte sich die Runsenbildung wie folgt:

und zwar:

in der	I.	Altersklasse	14	Runsen
„ „	II.	„	17	„
„ „	III.	„	5	„
„ „	IV.	„	19	„
„ „	V.	„	7	„
„ „	VI.	„	1	„

Die Länge der Runsen schwankte von 50 bis 400 m, deren Breite von 10 bis 80 m.

Im Ursprungsgebiete der Aupa, im sogenannten Riesengrunde, ist mitten im Walde eine Erdlawine 1000 m lang, 80—100 m breit entstanden, welche große Holzmengen in das Rinnsal der Aupa gebracht hat. Sie begrub sieben Menschen und zerstörte einige Häuser.

Im unbewaldeten oder mit Knieholz mehr oder weniger bewachsenem Terrain, in der Meereshöhe von 1300 bis 1450 m, dann in ganz kahlen, nur mit Gras bewachsenen Hochlagen sind zu jener Zeit nur wenige Muren abgegangen. Die mit wenig Grummet bewachsenen Bergwiesen haben so gut wie gar nicht gelitten. Die Terrainbewegungen im Walde fingen alle sehr schmal, nach Art von Erosionsrinnen an und nahmen in Form eines spitzen Dreiecks,

ganz entgegengesetzt der Form nach Forster, nach abwärts hin an Breite zu, formten sich sonach nach Art des Murbruches aus. Dagegen hatten die Erosionsrinnen im kahlen Terrain eine fast gleichmäßige Breite beibehalten. Diese auffallende Erscheinung, welche dem Laien die günstige Wirkung des Waldes vielleicht zweifelhaft erscheinen lassen könnte, ist auf den Umstand zurückzuführen, dass zur Zeit der gemeinten Katastrophe, und zwar gerade gelegentlich der größten Niederschläge, ein heftiger Sturmwind losbrach, der ganze Partien des flachwurzigen und durch die Niederschläge sehr schwer gewordenen Fichtenwaldes auf dem durchnässten, seichtgründigen Waldboden zum Sturze brachté. Die schwere, oberirdische Holzmasse musste die Bewegungstendenz des Terrains fördern und zur Entwicklung der Muren beitragen, deren Bedeutung im Hinblick auf die Gefahr der Bachverkläusungen eine größere war, als wenn es sich um bloße Erdbewegungen gehandelt hätte. Das sind aber ganz außerordentliche Verhältnisse, welche der Bedeutung des Waldes in gedachter Richtung keinerlei Eintrag zu thun vermögen. Es ist gewiss, dass bei Vorhandensein tiefwurziger Holzarten, oder solcher mit geringer oberirdischer Holzmasse, selbst so selten ungünstige Umstände, wie die damals herrschenden, die günstige Wirkung des Waldes nicht gestört hätten.

Der allgemein günstige Einfluss des Waldes auf Verminderung der Geschiebeführung durch Einschränkung des Verwitterungsprocesses, Abschwächung der Erosions-, Corrosions- und unterwühlenden Wasserwirkung, dann auf den Abgang von Lawinen und alle sonstigen Vorgänge innerhalb der Niederschlagsgebiete, durch welche den Rinnsalen Geschiebe zugeführt wird, wurde bereits im ersten Abschnitte erörtert, und es kann daher hier darüber hinweggegangen werden.

Erwähnenswerth ist nur noch, dass sich auf Grund der anlässlich der beiden Hochwässer des Jahres 1882 in Tirol angestellten Untersuchungen, die folgenden näheren Behauptungen haben aufstellen lassen:

Laubhölzer und dies namentlich solche mit Pfahlwurzel oder reicherer Bewurzelung, trugen wesentlich zur Bindung des Bodens bei und waren besonders geeignet, Terrainabrutschungen und die Bildung von Murbrüchen zu verhindern.

Nadelhölzer mit sehr guter und mittelmäßiger Bestockung widerstanden am besten der ungünstigen Einflussnahme der reichen Niederschläge des Jahres 1882, und das Abrinnen des Wassers

auf der Oberfläche des Bodens fand in solchen Wäldern fast gar nicht oder doch nur im verminderten Grade und in ungefährlicher Weise statt. Rutschungen und eigentliche Murbrüche kamen in derartigen Beständen, wenn nicht durch Unterwaschung der Lehnenfüße und nachfolgendes Einstürzen der letzteren hervorgerufen, am seltensten und dann am meisten auf schieferigem Grundgestein vor.

Im Gebiete des Krummholzes, beziehungsweise überall dort, wo Legföhren und Alpenerlen vorkommen, wurde constatirt, dass solche Bestände den Absatzungen und Murbrüchen den meisten und zähesten Widerstand entgegensetzten und in ihnen Murbrüche überhaupt nicht entstanden sind.

An sanft ansteigenden und mäßig steilen Berglehnen ist rücksichtlich des Verhaltens der Altbestände zu Mittelbeständen und Jungwüchsen kein wesentlicher Unterschied beobachtet worden, dagegen haben in steilen und sehr steilen Lagen, Mittel- und Jungbestände ein entschieden günstigeres Verhalten als die in der Regel lichten Altbestände gezeigt.⁹¹⁾

Die Waldwirthschaft im Wildbachgebiete.

Von hervorragendem Einfluss auf die Retentionswirkung des Waldes, sei es was die Zurückhaltung des Wassers, sei es was jene des Geschiebes anbelangt, ist dessen Lage und Beschaffenheit und mit letzterer im Zusammenhange, dessen Bewirthschaftung. In gewisser Beziehung sind diese beiden Momente, Lage und Beschaffenheit, von größerer Bedeutung, als das Moment der Ausdehnung des Waldes, denn es kommt nicht so sehr darauf an, wie viel Wald dort und da zu zählen ist, sondern wo und in welchem Zustande er sich befindet.

In den Gebirgsländern, woselbst die Niederschläge heftiger, die Abflussgeschwindigkeit infolge der topographischen Beschaffenheit größer und die Geschiebebildung bedeutender sind, dann

91) Der Einfluss des Waldes auf das Regime der Gewässer wird nicht nur in Europa, sondern auch in überseeischen Ländern zu ergründen gesucht. Hier voran in Indien und in Amerika. Bezüglich Amerikas sei auf mehrere einschlägige Artikel in der Zeitschrift „The Forester“ Zeitschrift des amerikanischen Forstvereines, Washington 1889, 1900, und 1901 verwiesen. Von Interesse ist insbesondere der in Heft 11 und 12, Jahrgang 1899, erschienene Artikel „Effect of forests on water supply“ von H. Hawgood.

wo die Gefahr der Verschüttung des Culturlandes und der Verödung der Berghänge drohender ist als im Hügel und Flachlande, kommt dem Walde im allgemeinen eine ganz besonders wichtige Rolle in der Bodenwirthschaft zu, und dies um so mehr, als der Wald im Gebirge gerade das steilste, also meist gefährdete Terrain einnimmt, während das ebene oder weniger steile Gelände der Landwirthschaft dient.

Diese steilen und vielfach unmittelbaren Einhänge der Gewässer sind es, welche im Hinblick auf die Regelung der Abflussverhältnisse vor allen andern bewaldet bleiben, bzw. wieder bewaldet werden müssen.

Den Waldbeständen an der Vegetationsgrenze fällt die besondere Aufgabe der unmittelbaren Zurückhaltung, Einhüllung des aus den höchsten vegetationslosen Regionen herablangenden Schuttes zu, und sie sollen deshalb gleichfalls in Form eines möglichst dichten Waldgürtels erhalten bleiben, bzw. wieder begründet werden.

Wo Lawinengefahr zu befürchten, dann wo mit Rücksicht auf die geognostischen und andere Verhältnisse Erosionswirkung, Murbrüche drohen, kurz wo „Volantwerden“ größerer Schuttmassen zu gewärtigen ist, dort ist der Wald gleichfalls besonders zu pflegen, wenn thunlich Waldland neu zu begründen.

Nicht so sehr um die Ausdehnung desselben, sondern vielmehr um Erhaltung des Waldes in den zutreffenden Oertlichkeiten und um dessen ordnungsgemäße Bewirthschaftung kann es sich handeln.

Aus Anlass einer im Jahre 1883 nach Kärnthen und Tirol zu dem Zwecke unternommenen Studienreise, um sich über die vermeintlichen Ursachen der bedeutenden Hochwasserkatastrophen des Jahres 1882 Klarheit zu verschaffen, sprach sich Hofrath Professor Adolf von Guttenberg⁹²⁾ dahin aus, dass es sich weit mehr um Besserung der Waldwirthschaft als um die Vermehrung des Waldstandes handle. Man dürfe nicht vergessen, dass z. B. Kärnthen mit 44,6% Waldfläche nächst der Bukowina das meist bewaldete Land Oesterreichs sei. Es sei aber auch nichts damit gethan, wenn große Waldstrecken als „Schutzwald“ erklärt werden, so sehr dies zur entsprechenden Durchführung des Forstgesetzes wünschenswerth wäre und wenn allenthalben nur der

92) Oesterr. Forstzeitung No. 19, 21, 38 und 39 vom Jahre 1883.

Plenterbetrieb angewendet und empfohlen werde. Von größerem Belange als insbesondere letzteres scheine es, dass auf eine bessere Pflege der Wälder, auf die so vielfach vernachlässigte Wiederaufforstung, auf die Abschaffung der übermäßigen Streunutzung und nicht zu mindest auf die Besserung der Besitzverhältnisse hingewirkt werde.

Hinsichtlich der Bewirthschaftung des Waldes kommen für den vorliegenden Zweck die Art der Haupt- und Nebennutzung, dann die Art der Holzbringung im Walde, und die Entwässerung des Waldlandes in Betracht.

Die erstere, die Art Hauptnutzung, steht nicht immer im Einklange mit jenen Forderungen, welche im Interesse der Regelung der Wasserabflussverhältnisse gestellt werden müssen.

Die Frage, welche in gedachter Richtung am meisten erörtert wird, betrifft die Wahl der Betriebsart:

Kahlschlag- oder Plenterbetrieb?

Es kann oft beobachtet werden, dass selbst in hoher Lage Kahlhiebe ohne Rücksicht auf die Standortsverhältnisse und nur mit Aussicht auf möglichste Rentabilität, Herabsetzung der Bringungskosten etc., und zwar nicht in schmalen Streifen, sondern in möglichst großen Flächen geführt werden.

Der Kahlschlag hat naturgemäß den Nachtheil, dass des öfteren ein wunder offener Boden entsteht, welcher sich je nach seiner Güte später mit mehr oder weniger guten Schlaggräsern und Kräutern überzieht. Diese neue Bodendecke bewirkt nicht allein eine rasche Zersetzung der für die Aufsaugung und Bindung des Meteorwassers wichtigen Humus- und Feinerdeschichte, sondern verfilzt auch gewöhnlich die obere Bodendecke derart, dass die Wässer nur sehr schwer durch dieselbe dringen können, daher bei starken Niederschlägen rasch auf der Erdoberfläche abrinnen. Nach den Untersuchungen Hoppes⁹³⁾ nimmt die Fähigkeit des Bodens, Wasser aufzunehmen, wenigstens was den Lehm Boden anbelangt, infolge Abnahme des Humusgehaltes in den oberen Schichten des der Sonnenwärme und den Atmosphärlilien ausgesetzten Bodens, in Schlagflächen ab.

93) „Ueber Veränderungen des Waldbodens durch Abholzung“; von Dr. Ed. Hoppe, Mittheilung der k. k. forstl. Versuchsanstalt in Mariabrunn. Centralblatt für das gesammte Forstwesen, 1898.

Zu berücksichtigen ist weiter, dass sich gewöhnlich auf dem unbeschirmten Boden bedeutende Schneemassen ablagern, welche bei dem Eintritte wärmerer Witterung rasch schmelzen und deren Wässer bei dem mangels der Beschirmung gewöhnlich stark gefrorenen Boden rasch über denselben abfließen; auch können solche Schneemassen in den höheren Lagen die erste Veranlassung zur Bildung von Lawinen geben.

Selbstverständlich treten die Nachtheile eines unbeschirmten Bodens um so mehr zum Vorschein, je höher und exponirter die Lage, je mehr der Boden der Sonne, dem Winde und Wetter ausgesetzt und je geringer die Bodengüte ist.

Ein Nachtheil des Kahlschlagbetriebes in exponirten Lagen ist auch der, dass die Wahl der heranzuziehenden, in der Jugend widerstandsfähigen Holzarten eine beschränkte ist. Die Eigenschaft, den Schutz der Mutterbäume entbehren zu können, besitzen nur die Eiche, Kiefer, Lärche, Zirbe und Fichte, von welchen jedoch die beiden ersteren Holzarten nur in den tieferen und wärmeren Lagen den für ihr Gedeihen geeigneten Standort finden, weshalb ihr Vorkommen in den Hochlagen ein sehr beschränktes ist.

Die Zirbe verlangt mehr die hochgelegenen, warmen Südost- und Westseiten mit frischem, kräftigem Boden, die Lärche eine windgeschützte Lage mit lockerem, tiefgründigem Boden. Von den obgenannten Holzarten hat deshalb die Fichte beim Kahlschlagbetrieb die größte Verbreitung, doch sind derlei Bestände zwar vom Standpunkte des Ertrages sehr zu schätzen, vollständigen Bodenschutz gewähren sie aber nur in der ersten Jugend; der alte Bestand lichtet sich und ist der Windwurfgefahr sehr ausgesetzt.

Als Vortheile des Plenter- oder auch Femelschlagbetriebes sind im Hinblick auf das Retentionsvermögen des Waldes im Gegensatze zum Kahlschlagbetriebe anzuführen: das Meteorwasser findet bei der rasch wechselnden Gruppierung sämtlicher Altersstufen eine gleichmäßigere und bessere Vertheilung und wird, da die Jung- und Vorwuchshorste es zum Theile aufsaugen und zwingen durch die von den Wurzeln gleichsam eröffneten Canäle allmählich nach der Tiefe zu versickern, wirksamer im raschen Abflusse verhindert. Auch die Schneeschmelze geht in solchen Beständen langsamer und regelmäßiger vor sich.

Im übrigen ist nicht zu unterschätzen, dass der Plenterwald

allen jenen Gefahren, welchen die reinen, gleichaltrigen Bestände ausgesetzt sind, in weit geringerem Maße unterworfen ist, was sich nicht allein durch seine der Natur am nächsten kommende Form, sondern auch durch die besser gepflegte Boden-thätigkeit, welche den bessern Waldwuchs und hiedurch eine größere Widerstandsfähigkeit gegen äußere Gefahren bedingt, erklärt.

Nach Anschauung A. Puenzieuxs⁹⁴⁾ ist der Kahlschlag im Hochgebirge unter Umständen zulässig und kann dort auch vor andern Nutzungsarten dann den Vorzug verdienen, wenn gute, an das Klima gewohnte Pflanzen in genügender Nähe zur Verfügung stehen und wenn die Waldbesitzer gewillt sind, die Aufforstung rasch durchzuführen und zu unterhalten. Dagegen sagt Fankhauser⁹⁴⁾, der Kahlschlag mit künstlicher Verjüngung sei in Hochlagen als ein Nothbehelf, als letztes Hilfsmittel, nachdem alle andern versagt haben, zu betrachten.

Gewiss ist der Kahlschlag dort nicht am Platze, wo es sich um erhöhten Bodenschutz und um möglichste Verminderung des Wasserabflusses handelt, er kann deshalb für die steilen Einhänge der Gewässer nicht nur nicht empfohlen werden, ist dort vielmehr im Interesse der Regelung der Abflussverhältnisse, wenn es die einschlägigen gesetzlichen und forstpolizeilichen Vorschriften zulassen, zu untersagen.

Der vorbesprochene Hauptnutzungsbetrieb erscheint jedoch für die gegenständlichen Betrachtungen deshalb nicht von so einschneidender Bedeutung, weil die Frage der Wahl der gemeinten Betriebsart denn doch der Hauptsache nach im Großgrundbesitze actuell ist und man von diesem in der Gegenwart und Zukunft mit Recht eine pflegliche Bewirthschaftung, zumindest eine rasche Wiederaufforstung im Falle von Kahlschlägerungen erwarten kann. Auch sind bereits in manchen Staaten gesetzliche Maßregeln ins Leben gerufen worden, welche der staatlichen forstlichen Aufsichtsbehörde eine hinreichende Ingerenz in gedachter Richtung einräumen.

94) „Ueber Kahlschläge im Gebirgswalde“; von A. Puenzieux; bezw. „Zur Frage der Kahlschläge im Gebirge“; von Dr. F. Fankhauser. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen. No. 5 und 6, 1900.

Die Nebennutzung im Walde, Besitzesverhältnisse, Holztransport, Entwässerung von Waldland und von Gebirgsmooren.

Von größerer Bedeutung ist die Nebennutzungsfrage, welche vornehmlich den Kleingrundbesitz berührt. Sie ist dies umso mehr, als sich die Art der Nebennutzung der staatlichen Forstcontrole in der Regel weit mehr entzieht, als jene der Hauptnutzung.

Hinsichtlich der Bewirthschaftung des Bauernwaldes in Oesterreich hat von Guttenberg⁹⁵⁾ gelegentlich eines in der Section Austria des deutsch-österr.-Alpenvereines gehaltenen Vortrages ein lebendiges Bild entrollt, und hiebei namentlich die Nebennutzungsfrage in das richtige Licht gestellt. —

Von Guttenberg beklagt mit Recht außer der häufig zu constatirenden unrationellen, übermäßigen Holznutzung, die Streuentnahme, die Viehweide im Walde und die Harznutzung. Von diesen ist es die Streunutzung, insbesondere die Bodenstreunutzung, welche für den vorliegenden Zweck von größter Bedeutung ist, denn, wie schon Oberforstmeister Ney in seinem Referate⁹⁶⁾ über, „Wasserregulirung und Wasserbenutzung im Gebirge“ sagt, und was ja auch aus den früheren Ausführungen über die Absorptions- und Retentionswirkung des Waldbodens erhellt, ist es nicht so sehr der Wald als solcher, sondern vielmehr die in demselben vorhandene Streudecke, welche als das beste Mittel der Wasserregulirung im Gebirgswalde anzusehen ist.⁹⁷⁾ Wie es nun gerade vielfach mit dieser Streudecke in den Waldungen der Gebirgsbauern bestellt ist, ist genugsam bekannt. Allein auch die übermäßige Aststreugewinnung, wie sie in Abbildung No. 20, Seite 116, ersichtlich ist, das sogenannte „Schneiteln“, ist im Hinblick auf die in Rede stehende Wohlfahrtswirkung des

95) „Ueber Waldmisshandlung in unseren Alpenländern“; von Hofrath Adolf Ritter von Guttenberg. Zeitschrift des deutschen und österr. Alpenvereines. München 1898.

96) „Wasserregulirung und Wasserbenutzung im Gebirge“; Vortrag gehalten von Oberforstmeister C. E. Ney, enthalten im Berichte über die zwanzigste Versammlung des Elsass-Lothringischen Forstvereines zu Strassburg am 23. Mai 1898. Barr 1898.

97) Ueber das Wesen der Streunutzung sowohl, als auch der Waldweide, dann die rationelle Ausnützung bezw. Ausübung derselben, gibt Prof. D. A. Bühler in seiner „Forstbenutzung“, Handbuch der Forstwissenschaft von Dr. Tuisko Lorey, Tübingen 1887, erschöpfenden Aufschluss.

Waldes schädlich, denn der Boden hagert in den geschneitelten Waldungen aus, die Atmosphärlilien wirken in erhöhtem Maße auf ihn, seine Verwitterung, durch die Beschirmung nicht hinreichend gehemmt, kann infolge der mechanischen Thätigkeit der Wurzeln wesentlich gefördert werden. Solche Waldungen sind daher, was ihre bodenbindende Kraft anbelangt, mitunter schlechter als keine.



Abbildung Nr. 20. Schneitelbestand im Maltathal, Kärnthen.
Nach einer photograph. Aufnahme von Hofrath Adolf Ritter von Guttenberg.

Gelegentlich der Hochwasserkatastrophe des Jahres 1882 in Tirol und Kärnthen konnte die Beobachtung gemacht werden, dass Nadelholzwaldungen mit geringer Bestockung und naturgemäß auch mit geringen Streuschichten, ein wenig günstiges Verhalten rücksichtlich der Aufnahmefähigkeit der Niederschläge, deren Zurückhaltung und ungefährlicher Abfuhr in die Niederungen zeigten. Ferner war zu constatiren, dass durch die Aststreuung die Wasseraufnahmefähigkeit herabgedrückt und besonders in steilen Lagen ein Abschwemmen des Bodens, hauptsächlich der geringen und lockeren Humusschichte, sowie die Bildung von Runsen und Gräben begünstigt wurde.

Eine weitere Nebennutzung, die Waldweide, ist nicht allein wegen Hemmung des Holzwuchses, sondern auch deshalb schädlich, weil durch sie Bodenverwundungen entstehen, dem Wasser Gelegenheit geboten wird zu stagniren, und Terrainabsitzungen hervorgerufen werden können. Ein herabgekommener, mit Weideservituten belasteter Wald in hoher Lage, im Maltathale in Kärnthen, ist aus Abbildung No. 21 ersichtlich.



Abbildung Nr. 21. Waldweide im Gebirge.

Nach einer photograph. Aufnahme von Hofrath Adolf Ritter von Guttenberg.

Auch die im Gebirge oft geübte Harznutzung führt nicht selten zur Mißhandlung des Waldes und zu dessen Ruin.

Im Hinblick auf die Bedeutung der forstlichen Nebennutzungen im Wildbachgebiete und auf den Umstand, dass dieselben namentlich im Kleingrundbesitze vielfach nicht rationell betrieben werden, gewinnt die Frage des Besitzesverhältnisses besondere Wichtigkeit.

Es ist bezeichnend, dass die Landes-Forstinspectoren, anlässlich des Hochwassers vom Jahre 1899 vom österreichischen Ackerbau-Ministerium zur Aeüßerung über die Ursachen dieses Hochwassers verhalten, die zumeist ungünstigen Waldwirthschafts-

verhältnisse des Kleingrundbesitzes, welcher in den meisten Ländern Oesterreichs einen beträchtlichen Antheil an der Gesamtwaldfläche hat, beklagen. Es entfallen nämlich von der Gesamtwaldfläche Oesterreichs per rund 9709000 ha, 1400000 ha auf Gemeinde-, und 7280000 ha auf Privat-Wald; die übrige Waldfläche ist Staatswald. Der Privatwald selbst ist in großer Fläche im Eigenthum des Kleingrundbesitzers. In Oberösterreich entfallen 41 Procent der gesammten Waldfläche auf in 150000 Parzellen vertheilten, vielfach nicht rationell bewirthschafteten Bauernwald. Die Waldfläche Tirols, die rund 1050000 ha umfasst, zählt etwa 120000 ha Staats- und Fondsforste, 553000 ha Gemeinde- und 376000 ha übrigen Privat-Wald. Ueber ein Dritttheil ist also überwiegend klein parzellirt und in Händen der Bauern.⁹⁸⁾

Ueber die Vertheilung der Waldfläche in Deutschland, sowie über die Waldwirthschaftsverhältnisse daselbst, gibt Jösting⁶⁹⁾ folgende Daten. Von dem Gesamtwaldbesitze von rund 13956000 ha entfallen auf Gemeinde-, Genossenschafts- und Privat-Forste rund 9124000 ha. Dass die Waldungen in Deutschland, speciell die Privatwaldungen, überall in guter Beschaffenheit sind, lässt sich nach Jösting nicht behaupten. In der Regel findet man, ganz in Uebereinstimmung mit den österreichischen Verhältnissen, dass sie um so schlechter bewirthschaftet werden, je kleiner der Wald des einzelnen Eigenthümers, je kleiner die Waldparzelle ist. Am schlechtesten sind aber die Waldungen, in denen Nebennutzungen, insbesondere die Streunutzungen, ausgeübt werden, denn gerade diese zehren, wie Jösting richtig bemerkt, am meisten am Marke des Waldes.

Es würde zu weit führen, hier auf die sachgemäßen Ausführungen dieses Autors, und besonders auf jene über die Waldstreunutzung des näheren einzugehen. Der Hinweis hierauf muss genügen.

Auch die Waldbesitzverhältnisse in Frankreich sind nicht günstige. Von der Gesamtwaldfläche per 9550000 ha entfallen 6480000 ha auf solche Privat- und Communalwaldungen, welche einer besonderen staatlichen Controle nicht unterworfen sind, d. h. es steht bezüglich dieser Waldungen nur das Verbot der Waldrodung, und das auch nur unter besonderen Verhältnissen aufrecht.

98) Ueber die Bedeutung des bäuerlichen Waldbesitzes in Oesterreich gibt die Schrift: „Der bäuerliche Kleinwaldbesitz, seine Bedeutung, Bewirthschaftung und Pflege“ von Ethbin und Heinrich Schollmayer, Wien 1900, guten Aufschluss.

Nicht unbeachtet, weil für den vorliegenden Zweck von Bedeutung, kann die Frage des Holztransportes bleiben.

Namentlich im Falle der Anlage von Kahlhieben können durch rücksichtsloses Abbringen der Hölzer nicht nur die oberste Boden- decke beschädigt, sondern auch die tiefer liegenden Erdschichten aufgewühlt werden.

Die in den Waldungen vorkommenden Erdgefährte, Erdriesen, welche jene oft vom Bergesgipfel bis zur Thalsohle durchziehen, fördern wesentlich die Bildung von Murgängen. Es genügt oft ein einziger heftiger Regen, um aus einfachen Bodenaufrißen Gräben zu bilden, welche, einmal entstanden, sich unter weiterer Einwirkung der entfesselten Gewalt des unbehindert abfließenden Wassers rasch nach beiden Seiten hin erweitern und bis zur Erreichung des Grundgebirges vertiefen können. Wenn auch beim Plenterbetrieb die Beschädigung der Bodendecke häufig nicht zu vermeiden ist, so tritt doch im Gegensatze zum Kahlschlagbetriebe die durch Fällung und Bringung erzeugte Bodenlockerung vereinzelt auf und bleibt auf verhältnissmäßig kleine Flächen beschränkt; es vermag der durch die Ueberhalter beschirmte Boden die geschlagenen Wunden leicht auszuheilen. Im übrigen ist schon durch die bessere Vertheilung der Niederschlagsmengen ein Abschwemmen des Bodens nicht so leicht zu erwarten.

Nach heute noch vielfach üblicher, scheinbar einfacher und billiger Art des Holztransportes, d. i. durch das Schwemmen und Triften, wird das in großen Massen, zumeist in Kahlschlägen gewonnene Holz zu seinem Bestimmungsorte befördert. Zur raschen Holzabfuhr werden ferner Klauswässer verwendet und hiebei in der Regel auf Schonung und Beschützung der Triftbachufer nicht besonders Bedacht genommen. Die nachtheiligen Folgen sind dann nicht nur an dem zumeist brüchigen Zustande der Triftbachufer, sondern insbesondere auch an den im Wasserbette selbst abgelagerten bedeutenden Massen von Gerölle, Schotter und Sand bemerkbar. Die Einstellung des Triftbetriebes, wo er in gedachter Weise schädlich wirken könnte, zumindest aber die Einstellung des Triftbetriebes mittelst Klauswässern, oder aber die beste Versicherung und Instandhaltung der Triftbachufer sind geboten.

Was die Entwässerung des Waldlandes anbelangt, so bedarf es keiner weiteren Erklärung, dass durch diese Maßnahme der schnelle Ablauf der Wässer wesentlich gefördert wird.

Gelegentlich des österr. Forstcongresses vom Jahre 1893⁹⁹⁾ wurde auch auf diesen Umstand, sowie auf eine im Jahre 1875 erschienene einschlägige Broschüre des k. k. Ober-Forstrathes Hermann Reuss hingewiesen, in welcher derselbe davor gewarnt hat, die Entwässerung der Wälder, wie dies thatsächlich in Böhmen und gewiss auch anderswo geschah oder noch geschieht, übermäßig zu betreiben.

Die Entwässerung von Gebirgsmooren und Filzen, wie sich solche zumeist an das Waldland anschließen oder von demselben eingeschlossen sind, ist vom Standpunkte der Regelung der Abflussverhältnisse in den Gewässern gleichfalls sehr bemerkenswerth. Während solche Moore Wochen und Monate lang einen stetigen Abfluss in die Bäche und Flüsse zu vermitteln im Stande sind, läuft das Wasser im ausgetrockneten Moore, weil das letztere die erforderliche Capillarität nicht mehr besitzt, rasch ab.

Die große Capillarität und Wassercapazität des Sphagnumtorfes, — und die wichtigste, wesentlichste Pflanze aller Hochmoore ist das äußerst formenreiche Sphagnum, — macht, wie Sitensky¹⁰⁰⁾ sagt, die großen Sphagnummoore, die in den Grenzgebirgen Böhmens am mächtigsten entwickelt sind, zu den den Wasserstand der Flüsse regulirenden Riesenschwämmen, welche das atmosphärische Wasser ansammeln und es allmählich entlassen.

Ja selbst nach großen Ueberschwemmungen kann das schon mit Wasser vollgesogene Hochmoor noch neue Wassermengen aufnehmen, schwillt dabei nicht selten über Maßen an und zerreißt. Solche Erscheinungen gehören dort, wo es viele nicht entwässerte Hochmoore gibt, nicht gerade zu den ungewöhnlichen.

Die Entwässerung und die Austrocknung der größeren Hochmoore im Gebirge würde sonach sicherlich auf die Wasserverhältnisse eines Landes schädlich wirken. Die unteren Hochmoorschichten nehmen ausgetrocknet kein Wasser auf, die oberen Sphagnumschichten nicht so schnell, wie wenn sie unentwässert feucht sind, und lassen das bei starken Regengüssen herabgefallene Wasser ohne Aufenthalt davon fließen. Einmal angezapft, trocken Hochmoore bald so vollständig aus, dass sie das Wasser der Niederschläge des Sommers gar nicht mehr annehmen. Ueberschwemmungen

99) Verhandlungen des österr. Forstcongresses 1893. Wien 1893.

100) „Ueber die Torfmoore Böhmens in naturwissenschaftlicher und national-ökonomischer Beziehung, mit Berücksichtigung der Moore der Nachbarländer,“ von Dr. Franz Sitensky. Prag 1891.

im Frühjahr im Falle von Wolkenbrüchen, Versiegen der Quellen im Sommer, sind die unausbleiblichen Folgen.

In Erkenntniss dieses Verhältnisses wurde gelegentlich des internationalen land- und forstwirthschaftlichen Congresses in Wien im Jahre 1890¹⁰¹⁾ die folgende Resolution gefasst: „Die Congressleitung möge bei den Regierungen den Antrag stellen, dass sie die Entwässerung der Gebirgsmoore in der Nähe der Baumgrenze verhindern und sich die Erlaubniss zur Ausnützung der Hochmoore im Urgebirge vorbehalten.“

Es wurde überdies bei jener Gelegenheit hervorgehoben, dass sich die Entwässerung der Hochmoore im Juragebirge schon im Verlaufe des der Entwässerung folgenden Jahres insofern als schädlich erwiesen habe, als die Flüsse im Sommer an Wasserarmuth litten und dadurch die auf die Wasserkraft angewiesenen Industrien ins Stocken geriethen, was sich nur durch den vollständigen Abfluss der Niederschläge der Frühjahrsperiode erklären lässt. Es wurde auch des Umstandes gedacht, dass sich ausgedehnte Gebirgsmoorflächen, in welchen eine große Zahl von Flüssen ihren Ursprung haben, im böhmischen und sächsischen Erzgebirge, im Harz, im bayrischen und Böhmer Walde, im Fichtelgebirge und in den Alpen vorfinden.

Mit dem vorstehend Angeführten ist die Aufzählung jener Momente nicht erschöpft, welche als Ausfluss der Waldwirthschaft für das Regime der Gewässer von Bedeutung sein können.

Es mag aber das Erwähnte genügen, um ihre Bedeutung für dieses Regime zu erkennen. Dank dieser Erkenntniss und dank den Bestrebungen der maßgebenden Kreise sind die Waldwirthschaftsverhältnisse in den einzelnen europäischen Staaten sicherlich auf dem Wege erfreulicher Besserung begriffen.

Die Alpen- und Weidewirthschaft im Wildbachgebiete.

Wenn von dem Einflusse der Vegetation auf das Regime der Gewässer die Rede ist, so wird stets und bis zu einem gewissen Grade mit vollem Rechte, der Waldfrage die größte Beachtung geschenkt. Dabei wird aber nicht selten übersehen, dass, vielfach wenigstens, auch sehr schädliche Einflüsse oberhalb der gegenwärtigen Holzgrenze, in jener Höhenzone zu suchen sind, welche

101) Publicationen über den internationalen land- und forstwirthschaftlichen Congress zu Wien. September 1890.

man als Region der „Alpenweiden“ bezeichnet und wo klimatische Gründe das Gedeihen des Baumwuchses ausschließen oder auszu-schließen scheinen.

Diese breite, weit ausgedehnte Region ist es, welche schon seit geraumer Zeit unbeanstandet, wie selbstverständlich, einer Umwandlung hinsichtlich der Pflanzendecke unterworfen ist. Jeder Baum, der allenfalls als letzter Rest eines ehemaligen, wenn auch nur schütterten und schlechtwüchsigen Bestandes vorhanden, alles Buschwerk, Erdgesträuch wird vernichtet, um nur das Weideland der Fläche nach zu erweitern. Die Wurzelgräberei, das Scharren und Kratzen des immer spärlicher werdenden Graswuchses, das alles führt zur sichern Verschlechterung des Standortes, zur Verwundung und Bloßlegung des Bodens.

Kaum musste der Schnee den lauen Lüften weichen, so belebt sich die Alpe mit Weidevieh, dessen plumper schwerer Tritt auf steilen Graslehnen mitunter schädlicher wirkt, als der Biss. In höhern Lagen sind Schafe und Ziegen anzutreffen, welche die letzten Vegetationsreste auf sonst schwer zugänglichen Oertlichkeiten vernichten. Unter solchen Verhältnissen wird auch die Widerstandsfähigkeit der perennirenden Gewächse gebrochen und das Aussterben mancher Pflanzenart im Gebirge erklärlich. Wie Breitenlohner⁴⁾ trefflich bemerkt, erscheint der ehemalige Waldmantel nicht etwa bloß schlissig und löcherig, er ist zer-rissen und zerfetzt. Nur spärliche und ärmliche Lappen des einstmals so üppig grünenden Kleides hängen noch, vielleicht mehr aus Zufall, um die Blößen der Bergflanken.

Wo immer hingeblickt wird, in die Alpen, Cevennen, Pyrenäen, überall bietet sich ein ähnliches, trauriges Bild dar.

Die Geschichte der Alpenwirthschaft, sagt Eblin,⁵⁷⁾ die Verhältnisse der Schweiz betreffend, lässt darüber keinen Zweifel aufkommen, dass bereits ein weit ausgedehnter, einst culturfähiger und auch cultivirter Gürtel der Hochalpen gänzlich verwildert, d. h. der Unproductivität anheimgefallen ist, und dass im Laufe der nächsten Jahrhunderte, und mit solchen Zeiträumen muss der Wirthschafter sowohl als auch der Staatsmann rechnen, im Falle Ausbleibens tiefgreifender wirthschaftlicher Maßnahmen von neuem ein gewaltiger Theil des dermaligen alpinen Culturegebietes völliger Unfruchtbarkeit und Verödung anheimfallen würde, dass die bereits stark deprimirte Grenze der Alpenkultur einen neuen, auch für die tieferen Lagen folgenschweren Rückzug zu gewärtigen hätte.

Orographische, klimatische und geognostische Verhältnisse werden als Ursache der Verwilderung der Alpenregion bezeichnet. Zugegeben dass solche einwirken, doch begegnet man mitunter innerhalb derselben schönen Waldpartien, einzelnen Baumindividuen, Abbildung Nr. 22, saftigen Rasen, welche beweisen, dass es ehemals anders war und dass es bei richtiger Wirthschaft auch anders sein könnte.

Der französische Staatsrath Chassaigne Goyon hat sich im



Abbildung Nr. 22. Zirben bei der Regensburgerhütte (2050 m), im Gebiete der Geißler Gruppe in Gröden, Tirol.

Jahre 1868 über die vorliegende Frage, das südöstliche Frankreich betreffend, wie folgt geäußert:

„Mit jedem Jahre verschlechtert und verringert sich die Vegetationsdecke, die Rinnsale der Wildbäche verbreitern sich und es ist nicht zu verwundern, wenn die Bevölkerung durch Auswanderung bessere Existenzbedingungen sucht!“

Cardot¹⁰²⁾ citirt diese Aeußerung, indem er daran anschließend

102) „Restauration, aménagement et mise en valeur des pâturages de montagnes“; par M. E. Cardot, inspecteur des eaux et forêts. Paris 1900, mit reicher Autorengabe; vide auch: „Restaurations des pâturages de montagnes“; Revue des eaux et forêts, Nr. 2 und 3, 1901.

behauptet, die actuelle Situation der französischen Alpen sei Zerstörung der Vegetation, Zunahme der Wildbäche und Entvölkerung. Die Ursachen dieser traurigen Verhältnisse seien die Rodung, die Entwaldung und der Missbrauch auf den Alpen.

Es gehört unzweifelhaft zu den Hauptexistenzbedingungen des Gebirglers, hinreichend Gras- oder Weideland für das Weidevieh zu besitzen, und es wäre von vornherein ein fruchtloses und nationalökonomisch verfehltes Beginnen, wollte man diese Nutzung über Gebühr einschränken, alles zu Wald machen wollen, was Alpe und Weide heißt. Allein die in dieser Anschauung gewiss gelegene Toleranz setzt voraus, dass der so benützte Boden auch dauernd ohne schützenden Holzbestand der Grasproduction fähig ist und dass die Ausdehnung des Weidelandes nicht auf Kosten des Waldlandes geht und nicht auf andere Motive, als auf thatsächliches Bedürfniss zurückzuführen ist, bezw. dass, wenn letzteres thatsächlich vorhanden sein sollte, demselben nicht auf andere Weise, als durch Waldrodung oder Schwendung abgeholfen werden könnte.

Sicherlich sind die Bedingungen für das Gedeihen des Graswuchses im Gebirge auf ausgedehnter Fläche des heutigen Weideterains oft nicht gegeben. Die Steilheit und geringe Stabilität der Gehänge, die exponirten, den kältenden und austrocknenden Winden ausgesetzten Lagen verlangen zumindest für den Graswuchs den Schutz durch Baumwuchs. Wo ein solcher nicht mehr vorhanden, dort sind die Bedingungen für die Verwilderung an und für sich schon gegeben, ganz abgesehen davon, dass allzu intensive Weideausnutzung, der Tritt des Weideviehes, Eingriffe des Menschen und dergleichen mehr, dieselbe wesentlich beschleunigen müssen.

Die klimatischen Einflüsse sind mit Rücksicht auf die Empfindlichkeit der Alpenpflanzen nicht zu unterschätzen. Trockene Kälte ohne Schneeschutz und harte Nachfröste, sowie Vertrocknung überhaupt, sind ihnen, von Ausnahmen abgesehen, schädlich.

Die allzufrühe Entblößung des Bodens von der Schneedecke, mit hiemit verbundener nachtheiliger Wirkung der Nachfröste, wie dies auf schutzlosen Hängen leicht einzutreten pflegt, muss sich empfindlich bemerkbar machen.

Es ist sonach nicht zu bezweifeln, dass Holz- und Graswuchs vereint, d. h. dass die bestockte Weide in exponirten Lagen als die einzige thatsächlich entsprechende Culturart anzusehen ist, und dass freie Alpen und Weiden, von besonders günstigen Lagen, wie sich ja solche in kleineren Flächen im Gebirge immer vor-

finden abgesehen, besonders vorsichtige Bewirthschaftung erheischen. Allein, wie schon bemerkt, hat sich der Aelpler stets bemüht und bemüht sich heute noch, jeden Baum, jeden Strauch aus seiner Alpe, seiner Weide in dem Wahn zu entfernen, dass der Wald die Weide nass und kalt mache! Er hat damit sich selbst zum größten Schaden den Standort wesentlich verschlechtert. Dabei ist wohl noch zu berücksichtigen, dass das so herabgekommene Weideland bald seinen Bedürfnissen nicht mehr entspricht, denn die letzteren wachsen mit der Erschwerung der Lebensbedingungen stetig.

Auch ist es mitunter nur Gewinnsucht, auf welche die Steigerung des Bedürfnisses nach Weideland zurückzuführen ist. In jedem Falle zeigt sich das Bestreben, das Waldland bei in der Regel geringem Verkaufswerth des Holzes durch Erweiterung des Weidelandes zu verringern.

Allein die Abnahme des Waldlandes in jenen Regionen übt gewiss vielfach wieder directen ungünstigen Einfluss auf die Güte des nächst gelegenen Culturlandes, des nächst gelegenen Weidelandes aus, so dass daher bei Zusammenwirken aller dieser Factoren das Herabrücken der Waldvegetationsgrenze und mit dieser auch das Herabrücken der Vegetationsgrenze überhaupt erklärlich wird.

Lawinenstürze, Steinschlag und dergleichen mehr, vollenden das, wozu der Mensch die Introduction gegeben, sie führen, wie Eblin richtig bemerkt, zur Verwilderung der Hochgegenden, von welcher Abbildung No. 23, Seite 126, nur ein schwaches Bild geben soll.

Dass das Bestreben nach Ausdehnung des Weidelandes im Gebirge an dem Herabrücken der Waldvegetationsgrenze wesentlichen Antheil genommen, wird niemand bezweifeln, der die Verhältnisse nur halbwegs kennt. Dass es sich da nicht um geringe Flächen handelt, mag aus einigen Beispielen hervorgehen. In Steiermark beträgt die Höhendifferenz zwischen der natürlichen und der thatsächlichen Waldvegetationsgrenze 200—300 m, was einer Fläche von beiläufig 200 000 ha gleichkommt.

In den letzten zehn Jahren, sagt Breitenlohner⁴⁾ im Jahre 1883, haben die Alpenweiden den Waldsaum um etwa 100 000 ha zurückgedrängt und in gleichem Maße nahm der Niedergang der Bauern zu. Die Alpenweiden, welche immer mehr vergrößert, aber in keinerlei Weise verbessert werden, verschulden den Ruin der Holzvegetation an der oberen Waldgrenze. Diese Weide-

wirtschaft äußert sich nach Anschauung Breitenlohnens noch verderblicher als die so übel berüchtigte Waldwirtschaft. Der heillose Schaf- und Ziegencultus ist ein chronisches Erbübel in Tirol, wie auch in anderen Gebirgsländern. Zumal die Ziege, dieses, um mit dem genannten Autor zu sprechen, fluchbeladene Scheusal unter den vierbeinigen Hausthieren, dessen gefräßiger Zahn noch überall Wüstenschuf und die Verkarstung der Gebirge herbeiführte, genießt volle



Abbildung Nr. 23. Fersbachalpe im Stubachthale, Salzburg.

Freizügigkeit durch die ganze Wald- und Hochregion. Jeder Anflug einer Waldpflanze wird vernichtet, jeder Spross eines Holzgewächses zerstört. Und getreulich steht in diesem selbstmörderischen Geschäfte der Bauer auf der Seite seines Lieblings. Ein einziger Zwergstrauch, welcher in der Hochregion vernichtet wird, schlägt dem Naturleben eine tödtlichere Wunde als ein Dutzend Baumstämme in den tieferen Lagen. So erklärt sich der rapide Verfall der Hochregion!

Nach den Ausführungen Eblins⁵⁷⁾ hat sich das unproductive Areal in den schweizerischen Hochalpen, zumeist eine Folge der Entwaldung, wesentlich vergrößert. Als Beispiel wird das Glarner

Land angeführt, wo im Laufe von 228 Jahren der Ertrag der Alpenweiden von 11073 sogenannten Kuhrechten auf 8813 gesunken ist, woraus sich eine durchschnittlich jährliche Abnahme von 10 Kuhrechten ergibt. Diese, wenn auch nur annähernden Ziffern gewinnen unsomermehr Beachtung, wenn erwogen wird, dass in dem besagten Gebiete während der 228 Jahre die betreffenden Weidegebiete auf Kosten des zugehörigen Waldlandes nicht unbedeutend vergrößert wurden.

Den unleugbaren Zusammenhang zwischen den Höhenstufen der Alpenwirthschaft und der Höhenlage der alpinen Holzgrenze sucht Eblin an concreten Beispielen über das Vorkommen von Dörfern über Holz, sei es als solche die nur während des Sommers, sei es als solche die auch während des Winters bewohnt werden, dann an Beispielen über das Vorkommen von Alphütten weit über den letzten Vorposten des dermaligen Holzwachses klarzulegen. Er spricht hiebei die Anschauung aus, dass gewiss niemals im schweizerischen Hochgebirge Dörfer über oder hart an der dermaligen Waldgrenze angelegt wurden, so dass die Annahme gerechtfertigt erscheint, dass für ein Thal die frühere Waldgrenze immer nicht nur ebenso hoch, sondern durchwegs höher angenommen werden darf, als die in demselben liegenden höchsten Dorfschaften.

Es lässt sich sonach aus der Thatsache, dass Dörfer, Höfe und Alphütten in den Gebirgen oft in gewaltiger Entfernung über Holz anzutreffen sind, mit Sicherheit darauf schließen, dass einerseits die Waldvegetationsgrenze stetig herabrückt, wobei angenommen werden kann, dass der Rückgang der alpinen Cultur vielfach mit dem äußerst raschen Waldrückgang keineswegs Schritt gehalten haben mag, woraus sich eine stetige Verbreiterung des Gürtels zwischen der Wald- und Vegetationsgrenze überhaupt ergeben würde. Es fällt dieser Umstand unsomermehr in die Wagchale, als das gerade jene Region ist, innerhalb welcher die meisten Wildbäche ihren Ursprung haben. Es ist die in die Höhenlage von 1200—2400 m fallende Region der Quellen, der zerstreuten kleinen Wasserrinnen, deren Wässer noch nicht in tiefen Erosionsrinnen concentrirt erscheinen.

Gerne soll zugestanden werden, dass die Waldabnahme in den gemeinten Regionen der Hauptsache nach vergangenen Zeiten zur Last zu legen ist, allein unsomermehr ist es Pflicht der Gegen-

wart, mit größtmöglicher Aufmerksamkeit die wirthschaftlichen Vorgänge dort zu überwachen.

Es wird allzu häufig von der Entvölkerung der Alpenthäler infolge der Entwaldung gesprochen. Viel näher liegt es, diese Entvölkerung auf den Rückgang der Viehzucht zurückzuführen, und diesen wieder auf die Verschlechterung der Alpengründe, welche, sei es von der Natur gegeben, sei es dem Walde abgerungen, schrankenloser Ausnutzung preisgegeben waren.

Ueber die Verhältnisse der französischen Alpen und Pyrenäen, dann des sogenannten centralen Plateaus, gibt die citirte Abhandlung Cardots¹⁰²⁾ sowohl, als sein einschlägiges, gelegentlich des internationalen Forst-Congresses zu Paris 1900 ausgearbeitetes Referat⁷³⁾ nach mancher Richtung hin besonderen Aufschluss. Während jenen Vorschriften gemäß, welche vor der großen Revolution festgesetzt wurden, nur jenes Vieh auf die Gemeindeweiden aufgetrieben werden durfte, welches in der Gemeinde überwinterte, öffnete sich nach der Revolution der Gewinnsucht Thür und Thor durch Einführung der sogenannten „Wanderherden“, oder der „transhumance“, welche die schrankenloseste Beweidung mit sich brachte.

Cardot beklagt, dass Agronomen, ja selbst Behörden dieses Verfahren wohlwollend tolerirten und dass selbst Demontzey¹⁴⁾ und später Briot¹⁰³⁾ die Schädlichkeit desselben in Abrede stellten.

Nach den neuesten statistischen Daten vom Jahre 1892 besitze Frankreich eine Oedlandfläche von 6226819 ha, welche gar keinen oder doch nur sehr geringen Ertrag abwirft. Drei Viertheile dieser Fläche ließen sich jedoch theilweise durch forstliche Maßnahmen, theilweise durch Weideverbesserung wesentlich ertragsfähiger machen. In einer einschlägigen Schrift bemerkt Campardon¹⁰⁴⁾, dass das Gebirgsland der französischen Pyrenäen 1276000 ha umfasse, davon 670000 ha Rasenland, Viehweide und Fels aufweise, welche Fläche der schrankenlosen Ausbeute ausgesetzt sei. Für Einschränkung der Weide und für Meliorirung der Weidegründe sei lange Zeit nichts geschehen.

Diese schrankenlose Weideausübung bestehe zunächst wohl allorts in dem willkürlichen Auftrieb von Weidevieh nach Art und

103) „Etudes sur l'économie alpestre“, von F. Briot. Paris 1896.

104) „Restauration et conservation des terrains en montagne. Les améliorations pastorales dans l'Ariège et la Haute-Garonne“, von M. Campardon, Inspecteur des eaux et forêts, Paris 1900.

Zahl und in der Ausnützung der Weideflächen ohne Rücksicht auf deren Güte, ohne Rücksicht auf die Zeitdauer. Unbeachtet bleibt die ortweise so nothwendige Consolidirung des Bodens, dessen Schutz vor dem Tritte des Weideviehes!

Ueber die Weide-Verhältnisse in den französischen Alpen und auch in der Schweiz, entwirft Marchand¹⁰⁵⁾ ein lebhaftes Bild. Er bespricht die Hornvieh-, Ziegen- und Schafweide und ihre Schädlichkeit.

Auch Thiéry²⁹⁾ beschäftigt sich mit dem Gegenstande und behauptet, die Zerstörung der Weide füge ihre unheilvollen Wirkungen zu jenen der Waldmisshandlung hinzu. Thiéry citirt Kirwan¹⁰⁶⁾, welcher die Zahl der Schafe, die jedes Jahr während des Sommers in den Westalpen aufgetrieben werden, auf 500 000 schätzt, obgleich es nur 150 000—160 000 einheimische Schafe gibt. Die Anzahl der zur Weide aufgetriebenen Ziegen wird mit 150 000 angegeben. Auch Thiéry kommt zu dem Schlusse, dass der Missbrauch der Weide gewiss eine der wesentlichsten Ursachen der Entstehung der Wildbäche sei.

Es ist nun geradezu erstaunlich, dass eine derartige Wirthschaft in vielen Ländern, und auch Oesterreich ist nicht ausgenommen, so wenig beachtet wurde und dass sie sich bisher der staatlichen Ingerenz zu entziehen vermochte!

Zu jenen schädlichen Maßnahmen, welche mit der Alpwirtschaft im Zusammenhange stehen, sind die Nutzwasserleitungen und die Alpsbewässerungsanlagen zu zählen. Die ersteren bestehen in zumeist vollkommen unversicherten, hölzernen Gerinnen, aus welchen das Wasser entweder überfließt oder durchsickert, stets aber den darunter befindlichen Boden durchtränkt. Die letzteren sind gewöhnlich offene, im Terrain eingeschnittene, unversicherte Gräben, welche gleichfalls die Durchtränkung des Bodens herbeiführen. Das über die betreffenden, zu bewässernden Alpen herabgelassene Wasser wird nicht wieder abgeleitet, sondern versitzt. Kein Wunder, dass sich gerade in solchen Gebieten häufig Terrainbrüche zeigen, deren Ursache dann in den genannten Anlagen zu suchen ist. Thatsächlich sind mitunter selbst die größten

105) „Les torrents des Alpes et le pâturage“; par M. L. Marchand, Paris 1876.

106) „Montagnes et torrents“, par M. Ch. de Kirwan. Revue de questions scientifiques, publiée par la Société scientifique de Bruxelles.

Terrainbrüche im Gebirge auf solche Maßnahmen zurückzuführen.

Anlässlich der Hochwasserkatastrophe des Jahres 1882 in Tirol und in Kärnten konnte, was das Verhalten der Alps- und Weideböden im Hinblick auf Retention des Geschiebes anbelangt, die Erfahrung gemacht werden, dass Weideland oder beraster, während der ganzen Vegetationsperiode beweideter Boden ohne jede Bestockung, also die eigentliche Alpenregion und jene Hochlagen, welche durch totale Entwaldung zu Weideland gemacht wurden, ferner steile Lagen, insbesondere im Schiefergebirge, wo die Weide schrankenlos ausgeübt wurde, die meisten von der Grasnarbe entblößten Stellen und Runsen aufwies. Weideland mit Gesträuchbestockung verhielt sich im allgemeinen sehr günstig gegen die Witterungsunbilden und es leisteten namentlich die mit Alpenerle oder Juniperus und Rhododendron bewachsenen Weideböden jeder Runsenbildung sehr energischen Widerstand, fast in ganz gleicher Weise wie die Krummholzbestände.

Für den vorliegenden Zweck mögen die vorstehenden Andeutungen bezüglich des Einflusses der Bewirthschaftung der Alpen und Weiden auf das Regime der Gewässer genügen, um die Nothwendigkeit zu erkennen, in ausreichendster Weise Gegenmaßregeln, welche an anderer Stelle besprochen werden sollen, zu treffen.

Von Bedeutung ist es, worauf schließlich noch verwiesen sein soll, dass gelegentlich des internationalen Forst-Congresses in Paris, 1900, der folgende Beschluss gefasst wurde:

„Jeder der beim Congresse vertretenen Staaten möge die Schaffung eines entsprechenden Alpbewirthschaftungsgesetzes in Frage ziehen; bezw. es möge in jenen Staaten, in welchen solche Gesetze bereits bestehen, auf deren wirksame Beachtung und eventuelle Ergänzung oder Besserung Bedacht genommen werden.“

Das Oedland.

Der Vollständigkeit wegen, und um die in dem folgenden Abschnitte zu besprechende Ursächlichkeit der Hochwassererscheinungen voll zu ergründen, dürfte es noch angezeigt sein, die gesammte Oedlandfläche in's Auge zu fassen und sich über deren eventuelle bedrohliche Zunahme Klarheit zu verschaffen.

Unter Oedland seien hier zunächst im Sinne Grieb's¹⁰⁷⁾, der sich mit der gegenständlichen Frage auf das eingehendste beschäftigt hat, alle Ländereien verstanden, welche bei überhaupt möglicher Cultur derzeit entweder völlig ertragslos sind, oder aber einer den Verhältnissen nicht entsprechenden unwirtschaftlichen Benutzungsart unterliegen. Es umfasst sonach dieses so gemeinte Oedland die innerhalb der Vegetationsgrenze gelegenen, sei es jeder Vegetationsdecke baaren, sei es nicht entsprechend bewirtschafteten Böden; es gehören ihm daher die über der Vegetationsgrenze liegenden Oeden nicht an.

Grieb scheidet dieses Oedland in vier Gruppen, und zwar in das Haide-, Sand-, Kalk- und das Mooröderland, mit der Begründung, dass diese Oeden am meisten verbreitet sind und dass das übrige Oedland, als Schotterbänke, Sümpfe, kahle Kämme und Hänge im Gebirge, sich doch in die eine oder die andere der genannten Kategorie einreihen lässt.

Die gesammte Oedlandsfläche Europas wird von Grieb mit 22000 Quadratmeilen oder 126.500 000 ha, d. h. rund 1.265 000 km² geschätzt, welche Ausdehnung beiläufig der Größe Deutschlands, Oesterreich-Ungarns, Hollands und Dänemarks zusammen genommen und etwa 9 Procent der Gesammtfläche Europas entspricht. Wie viel von diesem Areale auf das sog. Kalköderland, welchem nach Ansicht Grieb's auch andere Gebirgsöden zuzählen wären, entfallen dürfte, ist nicht zu entnehmen. Immerhin bietet der obige Procentsatz der gesammten Oeden und deren Scheidung in vier, der Ausdehnung nach von einander vielleicht nicht sehr verschiedene Kategorien, einen, wenn auch nur sehr vagen Anhaltspunkt über die Flächenausdehnung unserer Gebirgsöden, soweit es sich eben um förmliche, der Vegetationsdecke entblößte, der Cultur aber immerhin noch zugängliche Oeden, und um solche Böden handelt, welche einer, den Verhältnissen nicht entsprechenden, unwirtschaftlichen Benutzungsart unterliegen. Zu den letzteren zählt Grieb offenbar auch die im Hochgebirge beinahe ausschließlich der Weide dienenden Flächen, welche aus Waldland entstanden sind und als solches bewirtschaftet werden sollten.

107) „Das europäische Oedland, seine Bedeutung und Cultur“, von Dr. Richard Grieb. Frankfurt a. M. 1898. Mit reicher Autorenangabe.

Wenn Grieb behauptet, dass die von ihm angegebene Gesamtfläche des Oedlandes hinter der Wirklichkeit zurückbleibt, weil z. B. verlassene Kies-, Sand- und Lehmgruben, aufgelassene Steinbrüche, Schienenwege und dergleichen mehr nicht in Betracht gezogen wurden, so könnte die Hinzuzählung dieser so gemeinten Flächen die Gesamtfläche des Oedlandes nicht wesentlich ändern; auch ist ihr Bestand als etwas nothwendiges anzusehen.

Das Entstehen des Oedlandes kann im allgemeinen auf zwei Ursachen zurückgeführt werden. Entweder ist es das freie, selbstständige Walten der Natur, wie z. B. bei Mooren, Sümpfen, Meeresdünen, Steppen, oder es sind die Eingriffe des Menschen, oft unterstützt durch entfesselte Naturkräfte, wie dies bei Gebirgsböden, Haide- und Flugsandflächen der Fall ist.

Obzwar es schwer fällt, eine Trennung der Antheile, welche die Natur und der Mensch an der Schaffung von Oedland genommen haben, vorzunehmen, so kann doch angenommen werden, dass die öden Haiden und Sandlandschaften, sowie die Kahlhänge der Gebirge vorwiegend auf die Rodung des Waldlandes, also auf menschlichen Eingriff zurückzuführen sind.

Die Natur des Menschen und zwingende äußere Verhältnisse haben zur Waldabnahme geführt. Die zunehmende Population ist eine solche und zwar begründete Ursache. Im Allgemeinen ist die Bewaldungsziffer um so kleiner, je dichter die Bevölkerung ist, doch spielt auch die geschichtliche Entwicklung der gesammten Cultur des betreffenden Volkes eine Rolle. In den Alpen (österreichische, französische, italienische Alpen und dem Karst) war es seit jeher das Bedürfniss, vielfach aber auch nur die unbegründete Sucht nach Erweiterung des Weideterains, nebenbei auch des Ackerlandes, welche zur Waldabnahme führten. Habsucht, Eigennutz, Sorglosigkeit, Verschwendung und Indolenz waren mit im Spiele. Kriege, Waldbrände, Insectenschäden, Veräußerung der Staatswaldungen haben die Verringerung des Waldlandes beschleunigt.

Für den vorliegenden Zweck noch besonders zu berücksichtigen ist die bereits an anderer Stelle besprochene, langsame Verödung der Weideflächen im Gebirge, deren zunehmende Ausdehnung, wie schon hervorgehoben, zum großen Theile mit der Waldabnahme im innigen Zusammenhange steht. Intensive Beweidung bei vollkommener Außerachtlassung jedweder Melioration muss zur langsamen Verschlechterung und schließlichen Verödung

des Bodens, bei Kalkunterlage bald zu dessen vollständiger Verkarstung führen.

Ob das dermalige Oedland in Zu- oder Abnahme begriffen ist, kann Grieb selbst nicht ohne weiteres entscheiden, glaubt jedoch im Hinblick auf die allerorts noch immer nicht zweckentsprechende Wirthschaft, auf das Unzureichende der Gegenmaßregeln, auf die stets zunehmenden Verwüstungen durch Hochwässer, Wildbachverheerungen u. s. w., berechtigt zu sein, eine allmähliche Zunahme der Oedungen annehmen zu können.

Diese letztere, in der citirten Abhandlung bis zu einem gewissen Grade im Detail ausgearbeitete Behauptung Grieb's mag richtig sein, doch wird es wohl mangels der nöthigen Aufzeichnungen und so sehr es erwünscht wäre, kaum gelingen, die Zunahme des Oedlandes, bezw. die Abnahme des Waldlandes, — und das letztere wäre von besonderem Interesse —, für eine jüngst verfllossene, aber doch immerhin längere Zeitperiode ziffermäßig halbwegs verlässlich festzustellen.

Beachtenswerth ist es, wenn Bühler in der *Revue polytechnique* (schweizerische Bauzeitung) über diesen Gegenstand bemerkt, es sei unrichtig, wenn man die jetzige geringere Waldausdehnung den neuesten Rodungen zuschreibt. Die heutige Waldausdehnung war der Hauptsache nach in Süd-, West- und Mitteldeutschland schon im 13. und 14. Jahrhundert vorhanden. Was heute gerodet wird, betrage kaum 1 Procent der Gesamtfläche des Landes.

H. Walser hat für den Kanton Zürich nachgewiesen, dass der Wald in den letzten 240 Jahren keine merkliche Veränderung erfahren hat; die Waldfläche hat sich nur von 30,7 % der Gesamtfläche auf 27,9 % verkleinert.

In der an anderer Stelle citirten Abhandlung Frechs⁴⁰⁾ ist bezüglich Schlesiens erwähnt, dass eine Veränderung des Waldbestandes seit Beginn des 19. Jahrhunderts oder wenigstens seit Aufstellung des preußischen Grundkatasters, d. i. zu Beginn der sechziger Jahre, dort nicht stattgefunden hat. Trotzdem wird gerade dieses Land nicht selten von den schauerlichsten Hochwasser-Verheerungen heimgesucht.

M. J. Serret¹⁰⁸⁾ will den Vorwurf ausgedehnter Entwaldung in

108) „Les débordements de la Garonne“, von M. J. Serret, 1900, vide *Revue des eaux et forêts*, 1901.

Frankreich zu Ende des 18. Jahrhunderts insofern abschwächen, als er behauptet, dass dieselbe zu jener Zeit allerdings besonders geübt gewesen sein mag, dass es aber ungerecht sei, lediglich die Männer von und nach 1789 dafür verantwortlich zu machen. Die Entwaldung in Frankreich datire schon seit der Zeit der Karolinger.

Insoweit die Verhältnisse Oesterreichs in Betracht kommen, lässt sich, u. zw. ganz entgegen den diesbezüglich vielfachen Behauptungen und Anschuldigungen, für die allerdings nur sehr kurze Periode 1887—1898 und insoweit es sich um dem Forstgesetze unterworfenen Flächen handelt, eine Waldabnahme nicht constatiren. In den von der Hochwasserkatastrophe des Jahres 1899 besonders heimgesuchten Ländern Niederösterreich, Oberösterreich, Salzburg und Steiermark, wurden in dieser Zeit insgesamt für rund 3400 ha behördliche Rodungsbewilligungen erteilt. In Tirol, dem Lande der vermeintlichen Waldverwüstung par excellence, betrug diese Fläche 615 ha. Von Compensationsfläche ganz abgesehen, wurden dagegen über behördliche Veranlassung zusammen in den genannten Ländern über 30000 ha kahler Waldfläche der Wiederaufforstung thatsächlich unterzogen; in Tirol allein 5000 ha. In anderen Ländern dieser Monarchie sind die Verhältnisse gewiss nicht ungünstiger. Man wird allerdings und theilweise auch mit Recht diese Zahlen insofern nicht als ganz maßgebend ansehen, als sicherlich eine gewisse Fläche eigenmächtig gerodeten Waldbestandes der Behörde nicht bekannt wurde; allein bei der doch immerhin schon ziemlich intensiven staatlichen Forstaufsicht kann diese Fläche von keiner nennenswerthen und für die gegenständlichen Betrachtungen maßgebenden Ausdehnung sein. Gewiss ist der Vorwurf der Entwaldung, insofern er sich auf in der letzten Zeit stattgehabte veritable Rodung von, wie schon hervorgehoben, dem Forstgesetze unterworfenem Waldboden bezieht und soweit österreichische Verhältnisse in Frage kommen, nicht gerechtfertigt. Wenn ausgedehnte Weideflächen im Gebirge, welche eine gewisse Bestockung aufwiesen, von dieser entblößt wurden, so ist ein solches Gebahren, so beklagenswerth es ist, leider bisher gesetzlich nicht zu verhindern.

Nach Dimitz ¹⁰⁹⁾ ist für Europa ein Bewaldungsprocent von 30, für Asien, Afrika und Australien von 20, für Amerika ein solches

109) „Forste und Forstwirtschaft an der Wende des neunzehnten Jahrhunderts“ Vortrag gehalten von Ministerialrath Ludwig Dimitz im Club der Land- und Forstwirthe in Wien, 1892.

von 21 % anzunehmen. Europa ist somit heute noch immer relativ am besten bewaldet.

Alle diese, leider nur kargen Angaben werfen allerdings nicht viel Licht in die vorliegende Frage, doch kann wohl dank der in den meisten europäischen Culturstaaten bestehenden einschlägigen gesetzlichen Vorschriften und Dank ihrer Handhabung angenommen werden, dass, in neuester Zeit wenigstens, eine nennenswerthe Waldabnahme und hierauf zurückzuführende Oedlandszunahme kaum zu constatiren sein dürfte. Es kann die Berechtigung dieser Behauptung auch aus dem Inhalte zahlreicher einschlägiger Abhandlungen geschöpft werden, welche gelegentlich der Weltausstellung in Paris, 1900, veröffentlicht wurden, und deren Titel in der österreichischen Forst- und Jagdzeitung, No. 43 vom Jahre 1900, angegeben erscheinen¹¹⁰⁾. Vollständige Klarheit in die vorstehend berührten Verhältnisse kann allerdings nur die Statistik bringen, welcher in dieser Richtung eine sehr dankenswerthe Aufgabe zufällt.

Immerhin lassen sich aber aus dem vorliegenden Materiale die folgenden, gewiss nicht zu optimistischen Schlüsse ziehen:

1. Die langsame Zu- oder Abnahme des Oedlandes in unsern Tagen ist nicht erweisbar, wenn es auch berechtigt erscheinen dürfte, die letztere vorauszusetzen. Noch weniger nachweisbar ist aber der Antheil, welchen die vorwiegend auf die Thätigkeit des Menschen zurückzuführende, vielfach beklagte Waldabnahme an der eventuellen Zunahme des Oedlandes haben dürfte.

2. Die relativ geringe Gesamtfläche des europäischen Oedlandes, insoweit dasselbe die von Grieb gemeinten Böden umfasst, kann auf das Continentalklima keinen nennenswerthen Einfluss ausüben. Immerhin ist ein Einfluss auf das Klima räumlich wesentlich beschränkter Gebiete und zwar bei relativ großer Oedlandsausdehnung in zusammenhängender Fläche, oder unter besonderen Verhältnissen, nach Natur des Oedlandes, möglich.

110) „Sammlung von forstwirtschaftlichen Schriften auf der Pariser Weltausstellung“, von Forstrath Ferdinand Wang.

III.

Die Ursachen der Wasser-Verheerungen.

Wenn ausgedehnte Verheerungsgebiete, von weitem Gesichtspunkte aus betrachtet, ins Auge gefasst werden, so kann in der Regel innerhalb derselben eine Dreitheilung vorgenommen werden.

In dem ersten, obersten, das Innere der Gebirgsthaler umfassenden Gebiete, geht insbesondere die Geschiebeerzeugung vor sich. Der Mutter Erde werden hier die Wunden geschlagen.

Der zweite Theil erstreckt sich über die unteren Partien dieser Thäler und über die wildbachartigen Gebirgsflüsse, woselbst ein Theil des aus dem oberen Thale kommenden Geschiebes verarbeitet und auch abgelagert wird. Die Werke des Menschen sind es, die hier der Zerstörung durch Wasser und Geschiebe ausgesetzt sind. Der dritte Theil umfasst das eigentliche Ueberschwemmungsgebiet im strengen Sinne des Wortes, dort wo das Wasser allein Schrecken und Verderben verbreitet.

Für den vorliegenden Zweck sollen jedoch die Hochwasser-Verheerungen als solche, in zwei Gruppen unterschieden werden und zwar in jene, welche ausgedehnte Gebiete heimsuchen und gemeinlich als „Ueberschwemmungen“ bezeichnet werden, dann in solche, welche sich nur über räumlich beschränkte Gebiete erstrecken und im strengen Sinne des Wortes als „Wildbachverheerungen“ oder „Vermurungen“ zu benennen sind. Im ersten Falle sind es mehr die Wasserfluthen, im letzten mehr die Schuttströme, welche die Verheerungen verursachen, wobei es naturgemäß in besonderen Fällen schwer fallen würde, eine genaue Scheide zwischen beiden zu ziehen, denn nicht selten können innerhalb kleiner Niederschlagsgebiete auch Wasserfluthen vorwiegend verheerend wirken.

Die Ueberschwemmungen.

Zunahme der Ueberschwemmungen.

Entgegen der vielfach aufgestellten Behauptung, lässt sich die Zunahme des Eintretens von Ueberschwemmungen an der

Hand der Ueberschwemmungschronik allgemein nicht nachweisen, noch viel weniger aber unzweifelhaft mit gewissen, innerhalb der Flussgebiete etwa eingetretenen Veränderungen in Zusammenhang bringen. Heftige, andauernde Regengüsse, rasche Schneeschmelze, begründet in kosmischen, dem Einflusse des Menschen entrückten Ursachen, werden immer eine rasche Abfuhr grosser Wassermassen mit sich bringen, wobei es allerdings, theilweise wenigstens in der Hand des Menschen liegt, ihre unschädliche Ableitung zu erzielen.

Sonklar²⁾ hebt hervor, dass Ueberschwemmungen heute nicht öfter als in früheren Jahrhunderten eintreten.

Penck⁵⁶⁾ behauptet, dass sich Gegenwart und Vergangenheit nicht durch die Häufigkeit der Hochwässer als solche, mehr aber durch Ausartung der letzteren in verheerende Ueberschwemmungen unterscheiden.

Von großem Interesse ist ein Rückblick, welchen das k. k. hydrographische Centralbureau in Wien bezüglich der im Donaugebiete innerhalb des Zeitraumes vom Jahre 1000 bis in die Gegenwart eingetretenen Ueberschwemmungen, welchen allerdings auch Eisgänge als Ursachen zu Grunde liegen, veröffentlichte¹¹¹⁾.

Es ist der betreffenden Zusammenstellung zu entnehmen, dass verheerende Katastrophen in den folgenden Jahren eingetreten sind: 1012, 1118, 1126, 1172, 1173, 1193, 1194, 1195, 1210, 1234, 1235, 1236, 1275, 1280, 1281, 1284, 1285, 1295.

Von der Ueberschwemmung des Jahres 1118 sagt die Chronik, „das Wasser sei seit der Sündfluth nicht so häufig gewesen.“ Unter den Katastrophen des 14. Jahrhunderts (1312, 1315, 1316, 1317, 1340, 1342, 1359) ist namentlich jene vom Februar 1342 zu nennen, durch welche 6000 Menschen um das Leben gekommen sein sollen.

Auffallend wasserreich war das erste Jahrzehnt des 15. Jahrhunderts, in dessen Verlaufe sieben Hochwasserjahre vermerkt wurden (1402, 1404, 1405, 1406, 1407, 1408 und 1409).

Groß waren die folgenden Hochwässer der Jahre 1434, 1439, 1445, 1464, 1465, 1490 und 1499, 1500 und 1501.

Der Wasserstand des letzten Hochwassers betrug 14 Ellen über Normale!

Weitere Hochwasserjahre waren 1508 und die Jahre von

111) „Beiträge zur Hydrographie Oesterreichs“ IV. Heft, Jahrgang 1900. „Die Hochwasserkatastrophe des Jahres 1899 im österr. Donaugebiet.“

1520 bis einschließlich 1527, dann 1567, 1568, 1570, 1572, 1573, 1595, 1597, 1598, 1606, 1614, 1615, 1617 und 1635.

Es sind weiter hervorzuheben die Jahre 1636, 1647, 1648, 1651, 1655, 1656, 1657, 1658, 1661, 1667, 1670, 1672, 1677, 1682, 1685, 1687, 1705; 1708, 1709, 1728, 1729, 1731 und 1736.

Als eine der größten Ueberschwemmungen des 18. Jahrhunderts präsentirt sich jene des Sommers 1730. Die Wiener Donaubrücken wurden sämmtlich ein Raub der Fluthen, die Vorstädte Leopoldstadt, Rossau, Weißgärber und das gesammte Uferland weit und breit standen unter Wasser.

Weitere Hochwässer sind in den Jahren 1740, 1741, 1743, 1744, 1753, 1757, 1758, 1760 dreimal, 1767, 1768, 1770, 1771, 1779, 1785, 1786 und 1787 eingetreten. Das letztere Hochwasser wird neben jenem des Jahres 1730 als das größte des 18. Jahrhunderts bezeichnet. Es folgten die Verheerungen der Jahre 1790, 1792, 1793, 1795, 1799, 1803, 1804, 1809, 1813, 1815, 1819, 1820, 1824 und 1829.

Die Katastrophe des darauf folgenden Jahres 1830 hatte unerhörte Tragweite.

„In der Nacht vom 28. Februar auf den 1. März d. J.,“ schreibt die „Wiener Zeitung“ unterm 11. März 1830 über dieses Ereigniss, „richtete der Eisgang der Donau zu Wien in den am Strome und in der Umgegend liegenden Vorstädten Leopoldstadt, Jägerzeile, Erdberg, Weißgärber, Rossau, Thury, Lichtenthal, Althan eine Verheerung an, dergleichen in den Annalen Wiens nicht vorkommt. Die Wassergefahr vom 4. bis 8. März im Jahre 1744 war bisher die schrecklichste, deren die Chronik gedenkt. Sie scheint jedoch wie unbedeutend gegen diese letzte. In drei Minuten stieg die Donau, nachdem sie ihre Grenzen überschritten, auf vielen Punkten über sieben Fuß, warf sich mit wilder Hast in alle Straßen und Häuser, zerstörte Fenster, Thüren, Thore, Mauern und Dämme und trieb centnerschwere Eisblöcke wie Schiffe auf ihrem Rücken einher. Die größte Zahl der Bewohner niederer Erdgeschosse überraschte die Fluthen in ihren Betten.

An die Rettung ihrer Habseligkeiten, an eine nothwendigste Bekleidung war nicht zu denken. Waren sie im Stande, sich selbst, ihre Kinder, ihre Greise und Kranken zu retten, so waren sie glücklich. Mehr als sieben Menschen ertranken in ihren Wohnungen oder auf der Flucht in ihren Häusern; Kühe, Pferde, Hausthiere aller Art kamen elend um. Obgleich die Behörden

unausgesetzt thätig waren, so sprachen die reißenden Wogen, ein heftiger Sturmwind und die Schrecknisse der Nacht doch allen Vorkehrungen Hohn. Die Nothschiffe wurden losgerissen, die Verrammungen der Höfe, Kellerhöhlen und Hausthore durchbrochen, mit einem Worte alle zweckdienlichen Maßregeln vernichtet“.

Die Ursachen dieser Katastrophe wurden damals in dem bedeutend schnellen Aufthauen eines großen Theiles des sehr hochaufgehäuften Schnees in den Gebirgsgegenden Ober-Oesterreichs, Bayerns, Württembergs und Tirols, ferner in den ungenügenden Durchflussöffnungen der Brücken etc. nicht aber — wie heute — in der Abstockung der Wälder gesucht, denn ein gewisser Dr. Joseph W. Fischer in Korneuburg schließt seine in der „Wiener Zeitung“ vom 20. März 1830 veröffentlichten Betrachtungen über den „hohen Austritt der Donau bei Wien“ wie folgt: „Obschon die Donau einst mehr Wasser als jetzt hatte, weil größere Wälder bestanden, so werden doch wegen des schnelleren Temperaturwechsels jene Ueberschwemmungen, besonders nach einem Winter mit anhaltend sehr strenger Kälte und mit viel Schnee, auch in der Folge sich um so schädlicher wiederholen, je mehr einer größeren Menge Wassers der ihr nöthige Raum zum schnellen Abflusse von der Kunst entzogen wurde; denn die nur allein bestehenden Oeffnungen unter den Brücken, meistens an seichten Stellen, sind für außerordentliche Ereignisse nicht hinreichend.“

Unter den älteren Hochwassermarken nächst der Steiner Donaubrücke nimmt jene vom Jahre 1830 die höchste Stelle ein; ihr folgen jene vom Jahre 1776, 1795, 1799, 1740, 1880, 1862, 1736 und 1803.

Von den hohen Donau-Wasserständen nach 1830, [1833, 1840, 1845, 1846, 1847, 1849, 1850, 1861] waren erst jene vom Jahre 1862 wieder von elementarer und vernichtender Wirkung für das ganze österreichische Donaugebiet. In Wien war die Brigittenau, Freudenau, Zwischenbrücken und Florisdorf überschwemmt, aus Linz, Melk, Stein, Pöchlarn, Ybbs und andern Donaustädten, sowie aus dem Inn-, Traun- und Ennsgebiet, von den Ybbs-, Erlauf-, Pielach- und Traisen-Gegenden liefen die betäubendsten Nachrichten über die durch anhaltende Regengüsse und rapide Schneeschmelze herbeigeführten Wassernöthen ein.

Aus dieser chronologischen Zusammenstellung über die im Zeitverlaufe seit dem Jahre 1000 vorgekommenen, das Donaugebiet betreffenden Inundationen eine Zunahme der Anzahl oder des

Umfanges oder endlich eine relativ raschere Aufeinanderfolge dieser Geschehnisse zu deduciren, erscheint dem genannten hydrographischen Centralbureau als ein ebenso nutzloses Beginnen, wie Behauptungen des Gegentheiles daraus, nämlich eine im bezeichneten Zeitraume erfolgte Abnahme dieser Beziehungen folgern zu wollen. Die Chronik der Vergangenheit erzählt eben Hochwasserereignisse, die jenen der Gegenwart weder in der Anzahl noch in der erreichten Hochfluthhöhe und noch weniger in der Kürze des Intervalles der Aufeinanderfolge nachstehen.

Dieser Anschauung muss wohl vollinhaltlich beigeppflichtet werden, kann man doch in anderen Flussgebieten gleichfalls auf eine Reihe von verheerenden Ueberschwemmungen zurückblicken, wie das Sonklar²⁾ unter andern bezüglich der Flussgebiete der Drau in Kärnthen und Tirol, dann bezüglich der Gebiete der Rienz, Eisack und Etsch nachgewiesen hat.

Es sei nebenbei bemerkt, dass eine Höhenmarke des Jahres 1594 im Hofe des Seeschlosses Ort am Traunsee auf einen Seewasserstand von 5,02 m über Normale schließen lässt, während das enorme Hochwasser im Jahre 1899 dortselbst nur einen Stand von 3,84 m über Normale ergeben hat. Ueber die Hochwässer der Salzach in Salzburg gibt ein Artikel Stummers¹¹²⁾ Aufschluss. Nach Mittheilung Professor E. Fuggers sollen solche aufgetreten sein in den Jahren 1316, 1328, 1367, 1501, 1505, 1508. Im Jahre 1316 soll das Hochwasser die Brücken in Hallein, Salzburg und Laufen weggerissen, den Thurm in letzterer Stadt zerstört und viele Menschen verschlungen haben. Im Jahre 1508 soll ein Wasserstand von 7,27 m über Null gewesen sein. Ein schreckliches Hochwasser war jenes vom Juni 1803, wie denn überhaupt in jedem Jahrhunderte gewaltige Hochwässer zu verzeichnen waren.

Die Quellengebiete der Elbe und Aupa in Nordböhmen, im Jahre 1897 von einer furchtbaren Hochwasserverheerung heimgesucht, sind solchen schon öfter unterworfen gewesen. Einer aus dem Jahre 1784 stammenden Flusskarte kann entnommen werden, dass die Elbe bei und oberhalb Spindelmühle schon zu jener Zeit durch Hochwässer gewaltige Veränderungen erfahren hat. Die letzten Generationen zählen dort bereits 6 größere

112) „Zur Hochwasserkatastrophe im September 1899“; von Roman Stummer. Centralblatt für das gesammte Forstwesen. Mai 1900.

Hochwasserverheerungen und zwar in den Jahren 1804, 1845, 1858, 1882, 1897 und 1899.

Nacheiner in der kölnischen Volkszeitung erschienenen Notiz¹¹³⁾, sind eisfreie Hochwasserstände des Rheins bei Köln nachgewiesen, die den folgenden Pegelhöhen entsprechen: 10,35 m vom Jahre 1595, 10,92 m vom Jahre 1651, 12,7 m vom Jahre 1658 —, sämmtlich erheblich höher als die höchsten Wasserstände des 19. Jahrhunderts.

Allerdings werden auch gegentheilige Behauptungen aufgestellt und an Beispielen zu begründen gesucht. So verweist Grieb¹⁰⁷⁾ auf das Addathal, welches vom Comosee bis zum Stilsfer Joch reicht, im Anfange des 19. Jahrhunderts noch bestockt war und erst nach Anlage der Hauptstraße durch Napoleon (vollendet 1820) entwaldet wurde. Nach genau angestellten Beobachtungen wurden die Intervalle zwischen zwei Ueberschwemmungen immer kürzer, d. h. diese immer häufiger, und zwar betrug der Durchschnitt des Intervalles zwischen zwei Ueberschwemmungen:

58 Monate in den Jahren 1792—1821 (vor der Entwaldung)

44 Monate in den Jahren 1821—1838 (Beginn der Entwaldung)

20 Monate in den Jahren 1839—1863 (Vollendung der Entwaldung).

In einer Abhandlung über das französische Wiederbewaldungsgesetz vom 4. April 1882 spricht sich Mougin¹¹⁴⁾ dahin aus, dass vor dem Jahre 1841 in den französischen Alpen und Pyrenäen Hochwässer eigentlich zu den Seltenheiten gehörten, und bringt deren rasche Aufeinanderfolge mit der zunehmenden Entwaldung und schlechten Waldwirthschaft in innigen Zusammenhang.

Ohne die Richtigkeit dieser Angaben bezweifeln zu wollen, scheint es doch, als würde es sich in den beiden letzten Fällen mehr um „Wildbachverheerungen“ als um eigentliche „Ueberschwemmungen“, wie sie jetzt Gegenstand der Erörterung sind, handeln, obzwar, wie schon hervorgehoben, eine strenge Scheidung beider oft schwer durchführbar ist.

113) „Die Hochwasser-Katastrophen am Rhein im November und December 1882“, von Max Honsell, Berlin 1883. Sonder-Abdruck aus dem „Centralblatt der Bauverwaltung“.

114) „Etude sur l'application de la loi de 4. avril 1882“, par P. Mougin. Revue des eaux et forêts. No. 7, 8 und 9, 1901.

Ursachen der Ueberschwemmungen.

Es ist wohl unzweifelhaft und unbestritten, dass den Ueberschwemmungen in erster Linie außerordentliche Niederschläge zu Grunde liegen. Um die Größe derselben zu illustriren, sei beigelegt, dass die größten gemessenen Niederschläge des Jahres 1897 für die 6 Tage vom 26. bis 31. Juli und zwar im Gebiete der Görlicher Neiße bei Neuwiese 450 mm betragen. Am 30. Juli des genannten Jahres fiel auf der Schneekoppe allein 240 mm Niederschlag. Wird die durchschnittliche jährliche Regenmenge z. B. für Oesterreich mit 800 mm angenommen, von welchen $\frac{1}{3}$ oder rund 260 mm auf die eigentliche 3 monatliche Regenperiode, Juni, Juli und August entfallen, so kommt der Niederschlag am 30. Juli dieser 3 monatlichen Regenmenge gleich! In den Quellengebieten der Elbe und Aupa fiel in zwei Tagen, d. i. am 29. und 30. Juli 1897, ungefähr soviel Niederschlag als in 75 Tagen normaler Zeit!

Auch im Jahre 1899 waren ganz exorbitante Regenmengen zu messen, deren Tagessumme, so z. B. im oberen Ennsthale (Grubegg), auf 168 mm stieg¹¹⁵⁾. Gelegentlich der Hochwasserkatastrophe 1897 fielen im Verlaufe der ganzen sechstägigen Regenperiode vom 26. bis 31. Juli im Gebiete der Donau 12099 Millionen m³ Niederschlagswasser. Die Regenkatastrophe vom Jahre 1899 lieferte hingegen im Verlaufe von sieben Tagen dem Donaugebiete 15900 Millionen m³.

Selbstverständlich ist die Regenmenge im Falle kurz andauernder Wolkenbrüche eine relativ bedeutend größere, doch führen solche nur zu localen Katastrophen. Als Beispiel sei des Wolkenbruches bei Marseille vom 21. September 1838 gedacht, welcher in 25 Minuten 40,6 mm Niederschlag ergab, was eine Regenmenge von 97 mm pro Stunde ergibt. Bei Wolkenbrüchen sind eben 27—60 mm Niederschlag pro Stunde keine Seltenheit.

Unter den Verhältnissen, welche ebenfalls unzweifelhaft und unbestritten die Ueberschwemmungsgefahr erhöhen und auch das öftere Eintreten von Ueberschwemmungen begründen können, ist die Zunahme der Schotterführung zu nennen. Penck⁵⁶⁾ erklärt die ungünstige Höhendifferenz zwischen Flusspiegel und Thal-

115) Ueber die bedeutendsten Regenfälle, beobachtet in den Central-Alpen, den Rheingegenden während der Herbstmonate 1882, gibt Ingenieur Joseph Riedel unter dem Titel „die Regenfälle und Ueberschwemmungen in den Alpenländern, Rheingegenden während der Herbstmonate des Jahres 1882“ genauen Aufschluss.

sohle als die Ursache der Ueberschwemmungen und behauptet ganz mit Recht, es sei die erste Aufgabe der Gebirgsflussregulirung die Erosion im Oberlaufe und die Geschiebeanhäufung im Unterlaufe zu unterbinden. Verbauung der Wildbäche und entsprechende Regulirung der Flussthalläufe sind allein im Stande, dem Uebel zu steuern.

Ein weiterer sehr naheliegender Grund der zunehmenden Gefahr der Ueberschwemmungen liegt in der wachsenden Industrie, die der Wasserkraft bedarf, den Einbau von Wehren in die Flussläufe erfordert und die Profile derselben verengt. Der Regelung der Wasserwirthschaft fällt hier eine große Aufgabe zu.

Die Werthzunahme des Culturlandes bringt an und für sich schon die erhöhte Schädlichkeit der Ueberschwemmungen mit sich.

Auch der Zeitpunkt des Eintrittes solcher Katastrophen kann nicht gleichgiltig sein. Ueberschwemmungen der Sommermonate, zur Zeit wenn die reifen Früchte auf den Feldern stehen, sind verheerender als solche im Frühjahr und im Herbst.

Es wurde diesfalls nicht selten die Behauptung aufgestellt, dass sich gerade diese Sommerhochwässer außerordentlich mehren, doch ist das weder durch die Statistik unzweifelhaft erwiesen, noch weniger aber der Grund hiefür in anderen, als in kosmischen Einflüssen zu suchen.

Unter den Einflüssen, welche die Häufigkeit des Eintretens von Ueberschwemmungen in gewissen Fällen noch begünstigen könnten, ist gewiss auch jener der Entwaldung zu nennen, der Entwaldung, wie sie aber zumeist in übertriebener Weise, was die europäischen Verhältnisse und die Gegenwart anbelangt, beklagt wird. Auch wird gewiss im allgemeinen der mögliche Einfluss derselben auf solche Katastrophen überschätzt. Es ist ja doch bekannt und leider durch Thatsachen erhärtet, dass auch die vollständigste Bewaldung der Gebirge den Eintritt von katastrophalen Ueberschwemmungen nicht unmöglich machen kann.

So sind in den Karpathen, welche heute noch vielfach ideal bewaldet sind, Ueberschwemmungen keine Seltenheit. So vermag, wie dies schon an anderer Stelle hervorgehoben wurde, der best gepflegte Wiener Wald, welcher 85% des Gebietes des Wienflusses einnimmt, die Hochwässer daselbst nicht zu bannen. Die Katastrophen der Jahre 1897 und 1899 in Oesterreich haben gerade Gebiete betroffen, welche zu den best bewaldeten zählen können. Das Sammelgebiet der Traun, das ist das oberöster-

reichisch-steirische und salzburgische Salzkammergut, ist wie selten ein anderes im Gebirge, gut und reich mit Wald bestockt.

Nichtsdestoweniger war dasselbe und zwar trotz seiner als Wasserfänge wirkenden Seen, als da sind der Grundel-, der Hallstätter, der Wolfgang-, Langbath-, Gmundner See, von den vielen kleinen Seen gar nicht zu reden, in den Jahren 1897 und 1899 ein Bild der Verwüstung.

Es hat also hier die Bewaldung der Quellgebiete, auf welche heutzutage — und wohl aus anderen Gründen mit vollem Rechte — so großer Werth gelegt wird, auf die Ueberschwemmungen den gehofften Einfluss nicht ausüben können. Allerdings müsste in diesem Falle, wie in ähnlichen Fällen die Frage aufgeworfen werden, ob nicht die Wasserfluthen ungleich verheerender gewirkt hätten, wenn die Bewaldung die ihr unbedingt zuzuerkennende günstige, doch hinsichtlich des Einflusses auf Ueberschwemmungen gewiss imponderable Wirkung, nicht ausgeübt hätte.

Dass die Bewaldung solche Katastrophen nicht hintanzuhalten vermag, lässt sich aus manchen Umständen und unter Hinweis auf concrete Verhältnisse wohl erklären. So nimmt z. B. vom ganzen Einzugsgebiete des Rheins oder der Aare das eigentliche im Gebirge gelegene Quellengebiet nur ca. 10 Procent ein, von welchen je ein Theil wieder oberhalb der Baumgrenze liegt. Der Einfluss der Retention des Gebirgswaldes auf die Menge der Wasserführung der genannten Flüsse kann daher kein nennenswerther sein.

Der Wald des in jedem Flussgebiete gelegenen Mittelgebirges, gleichwie jeder Mittelgebirgswald, hat aber an und für sich weniger die Aufgabe die Gewalt des Wasserstromes zu brechen, vielmehr hat er die Bodenschichte für die Niederschläge aufnahmefähig zu erhalten und die Speisung von Quellen zu begünstigen. Seine Retention kommt deshalb an und für sich weniger und gewiss dann gar nicht in Betracht, wenn, wie übrigens auch im Gebirgswalde, die geognostischen Verhältnisse den Boden bei andauernden Niederschlägen rasch zur Wasseraufnahme unfähig machen.

Auch ist zu berücksichtigen, dass Hochwässer in den Hauptflüssen fast nie mit jenen ihrer Zuflüsse im Gebirge im directen Zusammenhange stehen. Am Mittel- und Unterrhein erfolgen die Hochwässer zumeist im Frühjahr beim Schmelzen des Schnees zu einer Zeit, wo der Wasserstand der Gebirgsflüsse gerade am

niedrigsten ist. Zur Zeit des hohen, durch Schmelzen des Schnees und Gletschereises hervorgerufenen Wasserstandes der schweizerischen Flüsse, d. i. in den Monaten Juni, Juli und August, haben umgekehrt alle deutschen Flüsse den niedersten Stand, so dass etwaige Hochfluthwellen schon bei Basel sich zu verflachen beginnen.

Von großem Interesse sind die autoritativen Anschauungen Honsells¹¹³⁾ über die Ursachen der Rheinhochwässer. Er sagt, es sei weniger die Intensität der jüngsten Hochwasserkatastrophen, was die Behauptung, dass eine Verschlimmerung der Stromverhältnisse des Rheines vorliege, hervorgerufen habe und zu bestätigen scheine, als vielmehr die Häufigkeit der Hochfluthen schon seit 10 Jahren her, sowie der Umstand, dass deren Eintreten nicht, wie dies sonst am Mittel- und Unterrhein die Regel, beim Uebergange des Winters in das Frühjahr, sondern auch zu anderen Jahreszeiten, insbesondere in das Spätjahr fällt.

Was zunächst den letzteren Umstand anbelangt, so beweist Honsell, dass Hochfluthen im Spätjahr und zum Winteranfang auch früher am Rhein keineswegs selten gewesen. Nicht in Abrede sei aber zu stellen, dass sich die Hochwässer am Rhein seit 1872 in einem Maße gehäuft haben, wie dies aus früherer Zeit wenigstens nicht bekannt ist. Allein schon der Umstand, dass in der gleichen Zeit der gleichen Erscheinung auch in anderen Stromgebieten, selbst über Europa hinaus, begegnet wird, wo die geotektonischen und culturellen Verhältnisse wesentlich verschieden gestaltet sind gegen jene des Rheingebietes, muss es doch von vornherein als äußerst zweifelhaft erscheinen, ob die vermehrte Häufigkeit der Hochwässer wirklich durch künstliches Zuthun, durch Veränderungen im Stromgebiete, durch Entwaldungen, Entwässerungen, Flusscorrectionen und Stromregulirungen veranlasst sei. Es liege doch wahrlich näher, die Ursachen in dem Verhalten des ersten Factors bei der Speisung der Flüsse und Ströme, in der Menge der Niederschläge zu suchen. Es sei vor allem zu fragen, ob denn in dieser Beziehung in dem letzten Jahrzehnt nicht außerordentliche Verhältnisse stattgefunden haben.

Unter Hinweis auf die an Niederschlägen so arme Zeitperiode von 1857 bis 1867 und die sich daran knüpfenden Hypothesen von v. Wex und Grebenau, sowie die Erklärung von Hagen, gibt Honsell genauen Aufschluss über die Regenverhältnisse in den Perioden 1843—1855, 1856—1868 und 1868—1881, mit der durchschnittlich jährlichen Regenhöhe in Karlsruhe von 835, bezw.

661 und 1095 mm und kommt zu dem Schlusse, dass die außerordentlichen Regenverhältnisse der 1870er Jahre und des Jahres 1882 insbesondere, die bekanntlich mit einer kosmischen Erscheinung (Sonnenflecken) in Verbindung gebracht worden sind, denn doch die außergewöhnlichen Hochwassererscheinungen genugsam erklären dürften.

Die Waldfrage anlangend sagt Honsell, dass Entwaldungen in großem Umfange unbestritten zu nachtheiligen Uebelständen führen: zu Abschwemmungen der Gehänge im Gebirge, zu Berg-rutschungen, Ueberhäufung der Flussgerinne mit Gerölle, zu beschleunigtem, unter Umständen auch vermehrtem Abfluss des Wassers von den Höhen in die Thäler. Wie sich die Folgen gestalten können, davon geben manche Gegenden in Griechenland, Spanien, im mittäglichen Frankreich und am Karst beredtes Zeugniß. Ob der größere oder geringere Waldbestand wirklich auf das Ganze des Klimas, insbesondere der Niederschlagsmengen eines Landes so sehr bestimmten Einfluss hat, wie vielfach behauptet wird, ist zwar nicht unmöglich, aber doch auch noch nicht erwiesen.

Wo haben nun aber, fragt Honsell, im Einzugsgebiete des Rheines solch' schädliche Verwüstungen des Waldes stattgefunden und zwar in der Neuzeit, so dass sie mit den erst seit 1876 in rascher Aufeinanderfolge eingetretenen Hochwassererscheinungen in Beziehung gebracht werden könnten? Doch nicht im Schwarzwald oder im Neckar- und Maingebiete, von woher die Fluthwellen des Rheines gerade nicht selten ihre gefährlichsten Zufuhren erhalten?

Wohl sind auch in Deutschland Entwaldungen vorgekommen, die man heute als nachtheilig für die betreffenden Landstriche bezeichnet; dies gilt aber mehr nur vom Flachlande und wenn darunter auch ein Theil von Westpreußen sich befindet, so stammen diese Veränderungen des Waldbestandes nicht aus der neueren Zeit und ihr Einfluss auf die Rheinhochwässer könnte sich höchstens am Niederrhein fühlbar machen.

Schwarzwald, Odenwald, das pfälzische Hardtgebirge, Spessart und Fichtelgebirge gehören zu den bestbewaldeten Gegenden des deutschen Mittelgebirges und der Wald erfreut sich hier, wie auch in den Vogesen und im schwäbischen und fränkischen Jura nicht erst seit heute im allgemeinen sorgsamer Pflege. Er untersteht zum größten Theile forstpolizeilicher Beaufsichtigung und die rationelle Bewirthschaftung der Staatsforste, wie der im

Eigenthume von Gemeinden, Körperschaften und Großgrundbesitzern stehenden Waldungen lässt kaum zu wünschen übrig. Allerdings konnte es nicht überall verhütet werden, dass einzelne Waldungen abgeholzt oder zu Weiden umgewandelt wurden, allein dies trifft doch nur meist Flächen von verschwindend geringer Ausdehnung und dafür sind seit Jahrzehnten auch wieder kahle Höhen und Gehänge mit Erfolg aufgeforstet worden.

Aehnliche Verhältnisse bestehen in der Schweiz, woselbst insbesondere seit 10 Jahren kraft Eidesgenössischen Gesetzes eine strenge Beaufsichtigung der Forstwirthschaft im sogenannten Hochgebirgsrayon, der in sehr weiter Ausdehnung gezogen worden ist, durch den Bundesrath ausgeübt wird.

Die Waldfrage spielt daher im Rheingebiete in Bezug auf Wasservertheilung keine wesentliche Rolle und es kann von den allerdings nur wünschenswerthen weiteren Aufforstungen eine nennenswerthe Abschwächung der Hochwassergefahr nicht erwartet werden.

Mehr Einfluss auf die Wasserabflussverhältnisse im Rheingebiete, als die Waldfrage mag nach Honsell die Trockenlegung von Hochmooren, Entwässerungen und Entsumpfungen im Gebirge und im Hügellande geäußert haben und in dieser Beziehung ist allerdings in der neueren Zeit vieles geschehen.

Die Folge davon möge sich bei plötzlichem Eintreten von Niederschlägen, bei Gewitterregen und Hagelfällen in den kleineren Gewässern durch rascheres und anfangs auch höheres Anwachsen der Wasserstände fühlbar machen. Allein alle solche Veränderungen der Bodenoberflächen, die auf raschere Ableitung des Tagewassers abzielen, sind dann nicht mehr von Bedeutung, wenn die starken Niederschläge schon längere Zeit gedauert haben, oder wenn bei Schneeabgang der Boden unter der Schneedecke gefroren war. Deshalb darf man sich auch von den Maßregeln, die dazu dienen sollen, das Niederschlagswasser in den Quellgebieten und den Zuflüssen der größeren Gewässer möglichst zurückzuhalten oder wenigstens das Abfließen zu verzögern und so die Versickerung und Verdunstung zu befördern, einen allzu-großen Erfolg nicht versprechen.

Bei Eintritt der beiden großen Rheinhochwässer zu Ende November und Ende December 1882 war jedesmal eine so vollständige Sättigung des Bodens mit Wasser eingetreten, wie sie auf künstlichem Wege nicht mehr hätte vermehrt werden können.

Man wäre vielleicht versucht zu glauben, dass das Zusammentreffen der vielen, wenn auch in einzelnen unbedeutenden Verschlimmerungen, in der Gesamtwirkung auf die Hochwässer von Belang sein könnte. Dies ist aber, beim Rhein wenigstens, offenbar nicht oder doch nicht in merkbarem Maße der Fall. Fast jede Strecke des Rheins hat ihr größtes bekanntes Hochwasser zu anderer Zeit gehabt und kein Hochwasser hat sich über den ganzen Stromlauf mit nur annähernd gleicher Stärke verbreitet, eine Erscheinung die nicht vereinzelt, und nicht zufällig ist. Der Grund hiefür liegt darin, dass, wenn sich auch die ungewöhnlichen Niederschlagsmengen auf ein sehr großes Gebiet verbreiten können, doch die Hauptmasse da oder dort niederfällt und nie alle Verzweigungen des Stromgebietes davon betroffen werden. Soweit Honsell.

Um auch, was speciell die Waldfrage im Rheingebiete anbelangt, gegentheilige Anschauungen zu hören, sei angeführt, dass Wey¹¹⁶⁾ darauf verweist, es betrage im Kanton Graubünden der Waldstand nur 17% der Gesamtoberfläche, was auf schwunghafte Abholzung und Entwaldung zurückzuführen sei, wodurch dem Rheine namentlich große Geschiebemassen zugeführt wurden. In den übrigen Kantonen der Schweiz ist nach Wey bzw. nach Eglis statistischem Taschenbuche der Waldstand der Fläche nach besser und bewegt sich von 20,2 % in Luzern bis 36,1 % in Schaffhausen.

Könnte dieser Waldstand sofort auf das doppelte vermehrt werden, so dürfte man, wie Wey sagt, füglich behaupten, dass die durchgeführten Correctionsarbeiten mit wenigen Ausnahmen als vollendet (2) erklärt werden könnten. Hochwässer, wie man sie in den letzten Jahrzehnten erlebte, würden zur Unmöglichkeit werden, gerade wie früher ähnliche Quantitäten nie herflossen, sonst hätte ja die Thalebene bei den ehemaligen winzigen Bauten nie bevölkert werden können.

Durch die Wiederbewaldung der Urner Alpen ungefähr bis zur Höhe des Forstbestandes im Oberrheingebiet, sagt Lauterburg⁸⁸⁾, würde sich die gegenwärtige Hochwassermasse der Reuß oberhalb Flüelen um 127 m³ pro Sekunde vermindern, oder die Reuß würde um soviel weniger Wasser führen als beim gegenwärtigen kahlen

116) „Das Hochwasser vom 28. September 1885 im St. Gallischen Rheinthale“, vom Ingenieur I. Wey, Rheineck im November 1885. Beilage zum „Tageblatt der Stadt St. Gallen“.

Zustande des Reußgebietes, indem sich der „Sterilitäts-Factor“ um 0,1, mithin der „Abfluss-Factor“ α von 0,925 auf 0,825 reduciren würde.

Angesichts dieser abweichenden Anschauungen hinsichtlich des Einflusses des Waldes auf Ueberschwemmungen, ist es von Interesse, eine Aeüßerung anzuführen, welche das k. k. Hydrographische Centralbureau in Wien in der bereits citirten Abhandlung¹¹¹⁾ bezüglich Ursächlichkeit solcher Katastrophen, insbesondere bezüglich des Zusammenhanges von Wald und Ueberschwemmung abgegeben hat. Es heißt dort:

„Zweifellos ist die Entstehung derartiger Ereignisse bloß aus der Wechselwirkung atmosphärischer Erscheinungen zu erklären und, wenn es daher auch folgerichtig wäre, das Auge der Forschung diesbezüglich zunächst auf diesen Wissenszweig zu lenken, so soll doch, vorläufig davon abstrahirend, vorerst die kritische Beurtheilung einiger publicistisch hierüber oft in Wort und Schrift vertretener Anschauungen diesem Referate eingereiht werden, welche über die veranlassenden Einflüsse des Eintrittes gedachter Katastrophen durch die Gewohnheit des Irrthums auf dem muthmaßlichen Wege der Tradition in den Volksglauben gedungen sein dürften. Beispielsweise ist es eine allbekannte Thatsache, dass dem Waldbestande ein Einfluss auf die Milderung oder wohl gar auf die Verhinderung, und der Waldabstockung ein solcher auf die Entstehung derartiger Elementarereignisse oder auf die Raschheit ihrer Aufeinanderfolge allgemein zuerkannt wird, doch kann diese allgemeine Zuerkennung ebensowenig von hydrographischen Gesichtspunkten aus unwidersprochen bleiben, wie speciell der ganz unbegründete Glaube, dass die Hochwasserkatastrophen der letzten Jahre in Oesterreich durch die zunehmende Abholzung der Wälder verursacht worden wären. In gleicher Weise unzutreffend erscheinen auch die nicht selten vorkommenden Behauptungen, dass die in der letzten Zeitperiode beobachtete raschere Aufeinanderfolge der Hochfluthen mit immer steigender Wasserstandshöhe entweder auf diese Walddevastationen oder aber auf die künstlichen Eingriffe in das Flussregime, beziehungsweise auf die ausgeführten Regulierungsarbeiten zurückzuführen sei.

Das Interesse der Wasserwirtschaft bedingt unbestreitbar eine außerordentliche Werthschätzung des Waldbestandes, welche auf seinen Eigenthümlichkeiten beruht, die Bodendecke vor Abschwemmung und dadurch die Wasserläufe und Thäler vor Ver-

schotterung zu bewahren und das Abschmelzen seiner im Verlaufe der Winterszeit dort abgelagerten Schneemassen durch den gegen Sonnenstrahlen, Wind und warmen Regen gewährenden Schutz zu verzögern, beziehungsweise zu Gunsten eines ruhigen Wasserabflusses zu fördern. Diese Eigenschaften des Waldes vermögen allein schon den steten Ruf nach möglichster Pflege der Forstcultur vollauf zu begründen. Während nämlich durch das langsam und successive Abschmelzen der Schneemassen naturgemäß geringere Wassermengen gleichzeitig in den betreffenden Recipienten gelangen, entspringen aus der Zurückhaltung der Geschiebe, sowie aus der verminderten Sinkstoffführung der Flüsse ganz bedeutende Vortheile, die namentlich für die Quellgebiete deshalb einen unschätzbaren Werth in sich schließen, weil dort nur dadurch den Gefahren der Vermurung ertragsfähigen Bodens und den erschreckenden Verwüstungen cultureller Liegenschaften erfolgreich begegnet werden kann.

Damit dürften aber auch die für Ausbildung der Hochfluthen vortheilbringenden Eigenschaften des Waldes erschöpft sein. Dass demselben auch ein gewisses Retentionsvermögen hinsichtlich des Abflusses eingetretener Niederschläge eigen ist, geht am deutlichsten aus der erfahrungsgemäßen Erscheinung hervor, nach welchen ausgedehnte Entwaldungen eine fühlbare Wasserarmuth der diese Areale durchziehenden Gerinne herbeizuführen im Stande sind. Allein die wohlthätige Wirkung, welche dieser Eigenschaft großer Forste zukommt, ist local beschränkt und bloß geeignet, sich auf den relativ günstigen Verlauf von Ueberfluthungen der Quellgebiete, sowie der unmittelbar daran sich anschließenden oder den Waldbestand umsäumenden Thäler und der dahin einmündenden Wild- und Sturzbäche zu erstrecken. Einen maßgebenden Einfluss auf die Ursache, den Umfang und das Wesen katastrophaler Hochwässer, wie solche Oesterreich heimsuchten und nunmehr in Behandlung stehen, besitzt dieses Rückhaltungsvermögen des Waldes jedoch keinesfalls. Uebrigens findet dasselbe bei Regenkatastrophen, wenn die Atmosphäre und die Bodendecke mit großen Feuchtigkeitsmengen geschwängert ist, gar bald ein Ende. In diesen Fällen wird der Wald sogar für den Abfluss verhältnissmäßig mehr verfügbares flüssiges Element liefern, als wenn dasselbe Landgebiet forstfrei gewesen wäre, da in dem letzteren nach dem Regen sofort erhebliche Massen des gefallenen Wassers zur Verdunstung gelangt sein würden, während die Laub- und Nadel-

dächer des Waldes den Eintritt des Evaporationsprocesses noch längere Zeit zu verzögern geeignet sind.

Lassen nun die soeben geschilderten Verhältnisse nichts weniger als einen Einfluss der Waldwirthschaft auf die Entstehung oder den Verlauf von Hochwasserkatastrophen erkennen, so wäre doch selbst dann, wenn eine günstige Wirkung der vorbesprochenen Retention des Waldes auf den Wasserabfluss und sonach vorausgesetzt würde, dass dieselbe die Eignung besäße, auch bei excessiven Regen eine größere Ermäßigung des Wasserstandes in dem betreffenden Zubringer des Hauptrecipienten zu erzielen, als ein abgestockter oder mit anderen Culturen bebauter Boden, damit noch lange nicht der Nachweis für die vergleichsweise günstige Einwirkung des Waldes auf die Ausbildung der weiter abwärts im Stromlaufe entstandenen Hochwasserkatastrophe als erbracht anzusehen. Denn die erzielte Beschränkung der Wasserstandshöhe bedingt auch eine Verschiebung des Zeitpunktes der bezüglichen Wasserstandsculmination, und da die Mächtigkeit der Hochfluth ganz wesentlich von dem mehr oder weniger gleichzeitigen Zusammenfallen der Wasserstandsculminationen des Hauptrecipienten abhängt, so ist es wohl leicht erklärlich, dass das dem Walde zuge dachte Rückhaltungsvermögen und die daraus resultirende Verspätung der Wasserstandsculmination eine Erhöhung des Wasserstandes im Hauptrecipienten zur Folge haben kann, was übrigens sofort in die sinnliche Anschauung dringt, wenn man sich eben vorstellt, dass die Höchstwässer des Zubringers anlässlich der durch den Wald verursachten Verspätung seiner Culmination sich gerade zu dem Zeitpunkte in den Hauptrecipienten ergießen, in welchem der letztere culminirt.

Gegen die dem Walde im Volksglauben zuerkannte Einflussnahme auf die durch excessive Regen hervorgerufenen Katastrophen spricht endlich auch die interessante Thatsache, dass merkwürdigerweise Ländereien, die sich der höchsten Forstcultur erfreuen, nicht selten relativ am intensivsten von derartigen Ereignissen heimgesucht werden. So waren beispielsweise im Jahre 1897 die waldreichen Quellgebiete der Elbe, Iser, Aupa, Neiße, sowie das forestal äußerst cultivirte Einzugsareale der Wien, der Erlauf und der Pielach, ferner im Jahre 1899 die ebenso reich mit üppigem Waldbestand gesegneten Gegenden der Traun, Enns, Ybbs u. s. w. die durch die bezüglichen Katastrophen am meisten betroffenen Gebiete.

Erscheint nun aber die günstige Einflussnahme des Waldes auf

die Ermäßigung der Hochwässer nichts weniger als begründet, um wieviel weniger hat erst dann die Behauptung eine Berechtigung, dass in den Abholzungen der Forste die Ursachen dieser Katastrophen und ihres vehementen Auftretens zu erblicken seien. An dieser Stelle dürfte der Hinweis darauf, dass schon in vergangenen Jahrhunderten Hochwasserkatastrophen von gleicher Großartigkeit wie heutzutage, also zu einer Zeit stattfanden, in welcher gewiss noch keine Klagen über Forstdevastationen vorlagen, bestens geeignet sein, den Werth dieser in der Waldabstockung vermutheten Eigenschaft auf das richtige Niveau zu stellen.

In der weitverbreiteten, aus alter Zeit stammenden Meinung, die Waldabstockung sei Ursache derartiger Elementarereignisse, wird man dann umso mehr nur einen traditionellen Irrthum erblicken können, als sich eigenthümlicherweise noch niemand der Mühe unterzogen hat, an der Hand von Ziffern das Flächenmaß der behaupteten Entwaldung zu bewerthen, um so im Entgegenhalte zu den anerkannten auf den Forstschutz und die Wiederaufforstung abzielenden staatlichen Bestrebungen den Nachweis zu erbringen, dass dieser traditionelle Irrthum wenigstens in Bezug auf die Waldbestandsabnahme einer berechtigten Grundlage nicht entbehre.“

Obzwar die Aeußerung einer wenn auch noch so maßgebenden Behörde als eine für die vorliegende bedeutungsvolle Frage nicht gerade entscheidende angesehen werden muss, so ist sie doch äußerst bezeichnend. Es soll ihr hier gerne beigeppflichtet werden, womit durchaus nicht in Abrede gestellt ist, dass ein gewisser günstiger Einfluss des Waldes besteht, welcher imponderabel und vielleicht kaum bemerkbar, gewiss aber nicht ausschlaggebend ist im Falle großer, über weite Gebiete hereinbrechender Katastrophen, dagegen immer schärfer dort hervortritt, wo Geschiebeführung die Ueberschwemmungsgefahr erhöht. Auch wird dieser Einfluss immer erkennbarer, je kleiner das Verheerungsgebiet ist; er dominirt in den eigentlichen Wildbachgebieten, macht sich oft noch weit abwärts bemerkbar in den wildbachartigen Gebirgsflüssen und verwischt sich immer mehr und mehr im Thallaufe der großen Flüsse und Ströme.

Die Wildbachverheerungen und ihre Ursachen.

In seinem klassischen Werke „Etude sur les torrents des Hautes-Alpes“ hat Surell¹⁰⁾ die folgenden vier Thesen aufgestellt und mit großem Erfolge verteidigt:

1. Die Bedeckung des Gebirgsbodens mit gut gepflegtem Walde verhindert die Bildung von Wildbächen, während
2. die Entwaldung den Boden den Wildbächen ausliefert;
3. durch Ausdehnung oder Neuanlage von Wäldern wird das Erlöschen der Wildbäche angebahnt, während
4. das Verschwinden des Waldes und seiner Bodendecke die Heftigkeit der Wildbäche steigert und sie sogar von neuem hervorzurufen vermag.

Es drückt sich in diesen vier Sätzen die hohe Bedeutung des Waldes für das Regime der Gebirgsbäche und wohl auch der wildbachartigen Gebirgsflüsse aus, eine Bedeutung, deren Erklärung aus den Ausführungen des ersten Abschnittes unzweifelhaft erhellt.

Nichtsdestoweniger ist Surell, und zwar in seinem ersten Satze, zu weit gegangen, denn es gibt leider viele Beispiele, aus welchen zu erkennen ist, dass unter gewissen Umständen die besten Waldverhältnisse auch das Entstehen der Wildbäche nicht zu verhindern und ihre schädliche Wirkung nicht zu mildern vermögen. Diesbezüglich muss, wie dies schon an anderer Stelle geschehen, auf die östlichen Karpathen verwiesen werden, wo unter den, für die vorliegende Frage wohl günstigsten Waldverhältnissen gewaltige Wildbäche ihr Unwesen treiben. Als ein weiteres, recht instructives Beispiel in dieser Richtung ist das Langbaththal im österreichischen Salzkammergute anzuführen, über welches trotz der besten Bewaldung in den Jahren 1897 und 1899 furchtbare Katastrophen hereingebrochen sind. Auf landwirthschaftlich benutzte Culturen entfallen dort von der Fläche des Niederschlagsgebietes nur 2 Procent, auf Wald 72 Procent, der Rest auf die beiden Langbath-Seen und auf kahles Gestein. Den guten Bewaldungsverhältnissen, welche die Katastrophe nicht zu verhindern im Stande waren, ist es allerdings doch wenigstens zu verdanken, dass die Seitengraben nahezu völlig unschädlich geblieben sind. Die Hauptursache der Verheerung waren auch hier die abnormen Niederschläge, dann die geologischen Verhältnisse und der Zustand des Bachlaufes. Der vorherrschende Kalk und Dolomit ist in der Thalschlucht von mächtigen Lagen von Diluvialschutt bedeckt, welcher den Wassermassen keinen Widerstand entgegenzusetzen vermag. Nur dadurch war es möglich, dass die Unterwühlung der Sohle und der Hänge in einem so großartigen Maßstabe — die steilen Bruchufer haben auf langen Strecken mitunter eine Höhe von bis 40 m — vor sich gegangen

ist, wie dies aus Abbildung Nr. 24 entnommen werden kann. Eine weitere Ursache dieser außerordentlich großen Verheerung lag wohl auch im Bruche eines im Ortsgebiete befindlichen Wehres, welcher eine starke Vertiefung des Bachlaufes bergwärts desselben und damit Verkläuerungen durch Geschiebeanhäufung und Einsturz vieler Häuser, Abbildung Nr. 25, Seite 155, bedingte. Es ist eben nicht der Wald allein, welcher die ganze große Aufgabe der Retention



Abbildung Nr. 24. Sohlenvertiefung im Langbathbache, Ober-Oesterreich.

sowohl des Wassers als auch des Geschiebes auf sich zu nehmen vermag, so sehr man auch gewillt ist, ihm diese gewaltige Arbeitsleistung aufzubürden. Maßgebend sind nebst den Wald-, auch geotektonische, sowie Terrainverhältnisse und, last not least, wirthschaftliche Zustände im Niederschlagsgebiete.

Diese Auffassung theilte auch der österreichische Reichsforstverein, als er im Jahre 1883 über die Ursachen der Hochwasserschäden des Jahres 1882 berieth. In geotektonischer Beziehung, um nur ein Beispiel hervorzuheben, ist auf die Haupttheile fast sämtlicher Beskiden- und Karpathenflüsse zu verweisen, deren

Thalsohlen mit diluvialen Schottermassen ausgefüllt sind, in welchen die Wässer, trotz der besten Bewaldungsverhältnisse der Gehänge beharrlich wühlen und Nahrung für ihren wildbachartigen Charakter finden. Die Terrainfiguration ist einflussnehmend auf den Wasserabfluss, auf Entstehen von Lawinen, Muren, Bergstürzen, kurz auf alle jene Momente, welche das Herkommen des Geschiebes begünstigen.

Von wirtschaftlichen Verhältnissen seien, von der Wald-



Abbildung Nr. 25. Verheerungen in Ebensee, Langbathbach, Ober-Oesterreich.

wirtschaft ganz abgesehen, die irrationellen Wasserleitungen, hervorzuheben, welche selbst unter den besten Waldverhältnissen, ja vermöge der Schwere der oberirdischen Holzmasse gerade dort, Absatzungen und Murbrüche zu veranlassen im Stande sind. Mitunter sind es auch ganz unberechenbare Zufälligkeiten, welche örtlich Verheerungen veranlassen können. Es wird auf alle diese Umstände an geeigneter Stelle zurückgekommen werden.

Unzweifelhaft richtig sind die weitem drei citirten Sätze Surells, und es kann gar nicht in Abrede gestellt werden, dass, von größeren Entwaldungen ganz abgesehen, unvorsichtige Waldnutzungen auf räumlich beschränkter Fläche, wenn die Verhält-

nisse danach angethan sind, allein schon wesentlich zur Verschlechterung der Abflussverhältnisse beitragen können und die Ursache oder doch die Steigerung der Wildbachverheerungen erklären lassen. So wird das Entstehen vieler Wildbäche mit Recht auf wenn auch nur partielle Kahlschlägerungen zurückgeführt; so kann sich aus einer einfachen Erdrunse, welche dem Holztransporte diene, eine größere Runse, ein muschelförmiger Ausriss und in der Folge selbst ein Wildbach entwickeln.

Umgekehrt wird durch Ausdehnung oder Neuanlage von Wäldern das Erlöschen der Wildbäche angebahnt, wobei nur hinzuzufügen kommt, dass in erster Linie die richtige Wahl der Oertlichkeit — von allen andern zu berücksichtigenden Momenten abgesehen —, für die Wiederbewaldung zu beachten ist.

Einerseits der Umstand, dass die auf die Retention des Wassers und des Geschiebes zurückzuführende Bedeutung des Waldes im Wildbachgebiete eine ganz außerordentliche ist und im Entgegenhalte hiezu die Thatsache, dass sich die Waldverhältnisse in den Wildbachgebieten im Laufe der letzten Jahrhunderte, ja vielleicht manchenorts im Laufe der letzten Decennien verschlechtert haben, lassen es, von anderen wirthschaftlichen Verhältnissen, als irrationelle Weideausübung u. dergl. m., ganz abgesehen, erklärlich erscheinen, dass Wildbachverheerungen in so rascher Aufeinanderfolge die Gebirgsländer heimsuchen.

Schlussfolgerung über die Ursachen der Ueberschwemmungen und der Wildbachverheerungen.

Bei Zusammenfassung der vorstehenden Ausführungen lassen sich als die hervorragendsten Ursachen, sowohl der Ueberschwemmungen als der Wildbachverheerungen anführen:

1. Außerordentliche meteorische Niederschläge, wie sie periodisch wiederkehren und, ob mit Recht oder Unrecht behauptet, immer wiederkehren werden, insolange das Verhältniss von Wasser zu Land sich nicht zu Gunsten des Letzteren ausgleicht. Im Falle reichlicher fester Niederschläge im Winter oder im zeitigen Frühjahr ist es die rasche Schneeschmelze, welche die Führung großer Wassermassen mit sich bringt; Eisgänge und Eisstauungen führen zu Ueberschwemmungen. In Wildbächen sind es besonders die wolkenbruchartigen Regengüsse, namentlich aber unter gewissen geotektonischen Verhältnissen, bei Vorhanden-

sein nackter, aus Schutt und leicht erodierbaren Gesteinsmassen zusammengesetzten Gehängen die Hagelwetter, welche zur Entfesselung des Gewässers beitragen.

2. Die mangelhafte Wasserpolizei und im Zusammenhange damit der trostlose, vernachlässigte Zustand der Gerinne. Hier ist zu erwähnen: das Vorhandensein der nicht widerstandsfähigen neuen, nicht entsprechenden Einbauten, insbesondere Wehren, die oft ungenügenden Profile, die nicht hochwasserfreien Brücken, die Ablagerung von Holz u. dergl. in den Inundationsgebieten, die Belassung von hochstämmigem Holze innerhalb derselben und besonders an den Ufern der Gewässer, an den Rändern der Bruchflächen, die Benützung der Rinnsale als Wege, die Unterlassung der Reinigung der Gerinne von Wildholz, die oft irrationelle Ausübung der Trift und Flößerei, in letzterer Beziehung namentlich auch im Falle der Auflassung des Holztransportes zu Wasser, die nicht gehörige Instandhaltung von Klausen, Rechen und Uferschutzbauten, welche früher dem Transporte dienten.

Alle diese Umstände machen sich sowohl in den Ueberschwemmungs- als auch in den Wildbachgebieten gleich schädlich bemerkbar. Nur die Abfluss- und die localen Verhältnisse können die Art der hervorgerufenen Verwilderungen modificiren. Verklausungen in den Wildbachgebieten können örtlich und relativ große Veränderungen hervorrufen; schon geringe Wasserstauungen im Ueberschwemmungsgebiete wirken oft verheerend auf das überfluthete werthvolle Culturland.

3. Vielfach mangelhafte und unzureichende Flussregulirungen, insbesondere aber Wildbachverbauungen, und alle jene Umstände legislativer, finanzieller, administrativer und wohl mitunter auch particularistischer Natur, welche der energischen und ausreichenden Durchführung dieser im höchsten Interesse der Landescultur gelegenen Maßnahmen im Wege stehen.

4. Die vielfach noch mangelhafte, unzureichende Forstgesetzgebung und ungenügende staatliche Forstaufsicht. Trotz des unverkennbaren Fortschrittes bleibt in dieser Richtung noch vieles zu thun. Die Güterschlächtereie und das vielfach offenbar nur auf schrankenlose Ausbeute des Waldes gerichtete Bestreben nach Errichtung von holzverzehrenden Betriebsstätten, sind als weitere Ursachen zu nennen; die die ordnungsmäßige Wirthschaft behindernde Streu- und Weideservituten, die nicht selten practicirten Waldtheilungen im Gebirge können nicht unerwähnt bleiben.

Die hier sub 4 genannten Ursachen sind, weil mit der Waldfrage innig zusammenhängend, den Wildbachverheerungen in weitaus höherem Maße als den Ueberschwemmungen zu Grunde liegend.

5. Die zumeist mangelhafte Bewirthschaftung der Alpen und Gebirgsweideflächen. Die Folge dieser mangelhaften Bewirthschaftung ist zunächst das Bedürfniss nach Ausdehnung des Weidetermins, und diesem Bedürfnisse ist es wieder zuzuschreiben, dass so manche, vermöge ihrer concreten Bodenbeschaffenheit dem Waldlande angehörige und als solche im Hinblick auf möglichste Retention zu erhaltende Fläche der Waldcultur entzogen, selbst aber nach und nach infolge der mangelhaften landwirthschaftlichen Benützung der Verödung zugeführt wird.

Dieser mangelhaften, für das Regime der Wildwässer sehr bedeutungsvollen Bewirthschaftung liegt wieder der Mangel an Alpenbewirthschaftungsgesetzen, an nicht genügender Würdigung der Hebung des Futterbaues auf den Alpen zu Grunde.

6. Ist der Entwässerung des Waldlandes und der Gebirgsmoore und Filze zu gedenken.

Diese nur in den Hauptumrissen skizzirten Ursachen können von Fall zu Fall noch wesentliche Ergänzung erfahren und es werden sich dieselben bei Besprechung der Gegenmaßregeln von selbst ergeben. Es mag hier des Interesses wegen beigefügt werden, dass über Auftrag des italienischen Ackerbauministeriums der Oberforstinspector Dr. Carl Giacomelli¹¹⁷⁾ als Ursachen der Wasserverheerungen in Venetien im September des Jahres 1882 bezeichnet hat:

1. die außergewöhnlichen Regenmengen in den Niederschlagsgebieten,
2. die fortschreitende Waldverwüstung, welche unmittelbar zur Formirung der Sinkstoffe führt,
3. die große Menge der von den Niederschlagswässern aufgewühlten und in den Sammelkanal, sodann in das Ablagerungsbett abgeschwemmten Sinkstoffe,
4. den Mangel solcher baulichen Vorkehrungen in den Niederschlagsgebieten, welche geeignet wären, die Aufwühlung der Sinkstoffe hinanzuhalten.

117) „Die Ueberschwemmungen im venetianischen Gebiete im Jahre 1882 in ihrem Verhältnisse zur Entwaldung der Berge und die Wirkungen der Sperrn und Thalsperrn, insbesondere in der Provinz Sondrio“. *Annali di agricoltura*, 1883.

Auch hier ist die Größe der Niederschläge in erste Linie gestellt. Die anderen, in den letzten 3 Punkten formulirten Ursachen beziehen sich offenbar mehr auf die Verheerungen in den Wildbachgebieten. Es kann dem Gutachten nicht zum Vortheile gereichen, dass in demselben, soweit dies dem in der Fußnote citirten Artikel zu entnehmen war, anderer Ursachen, so insbesondere der mangelhaften Wasserwirthschaft, nicht gedacht war.

Zum Schlusse sei noch der Begründung der Regierungsvorlage über das schlesische Hochwasserschutzgesetz¹¹⁸⁾ gedacht, in welcher als die örtlichen Ursachen der verheerenden Ueberschwemmungen des Sommers 1897, von denen in erster Linie was das deutsche Reich anbelangt, weite Strecken der Provinzen Brandenburg und Schlesien betroffen worden sind, für sämtliche Flussgebiete mit Ausnahme der Oder, angegeben erscheinen:

1. „Die Verwilderung der Flussläufe, die in der Regel auf die mangelhafte Unterhaltung und Sicherung der Ufer zurückzuführen ist.

Während die bereits regulirten Strecken der Flussläufe günstig functionirten, hatten die nicht regulirten, in Folge der sehr wechselvollen Profilverhältnisse ungünstige Abflussverhältnisse. Die häufig vorkommenden, schlangenartigen Krümmungen in Verbindung mit den vielen, dem Abfluss hinderlichen natürlichen und künstlichen Einengungen, haben die Hochwassergefahr erhöht.

2. Der starke Baum- und Strauchwuchs im Ueberschwemmungsgebiete, namentlich auf dem Vorlande von Deichen und an den Ufern, sowie hie und dort vorkommenden Inseln. Es ist augenfällig, welchen Schaden die unmittelbar am Rande der Flüsse und Bäche stehenden Bäume und Sträucher verursacht haben, und zwar einmal durch die Einengung des Flussprofils, welche dem freien Abflusse der Wassermassen vielfach hinderlich war und durch Festhalten schwimmender Gegenstände schadenbringende Aufstauungen bewirkte. Sodann aber auch durch ihre Einwirkung auf das Ufer, da die von der Gewalt der Strömung gelockerten und entwurzelten Stämme Uferbrüche und Auskolkungen verursachten, während die Bepflanzung vielfach in der irrigen Annahme erfolgt war, dass die Bäume und Sträucher durch ihre Verwurzelung zum Schutze der Ufer gegen den Strom wesentlich beitragen würden.

118) „Das schlesische Hochwasserschutzgesetz vom 3. Juli 1900 nebst den dazu gehörigen Materialien“. Zusammen gestellt und erläutert von G. Freiherrn von Seherr-Thoss. Breslau 1900.

3. Die Einengung der Flüsse und ihrer Ueberschwemmungsgebiete durch Häuser, gewerbliche Anlagen, Stauwehren, zu eng angelegte Brücken und von Alters her bestehende unregulirte Deiche; auch das Lagern von Hölzern im Ueberschwemmungsgebiete, namentlich bei Brettmühlen und Zimmerplätzen haben vielfach ähnliche verhängnissvolle Folgen gehabt.

4. Die große Menge der von der Strömung mitgeführten Gegenstände, besonders Hölzer, Getreide, Fußstege, Brückentheile haben sowohl an Ufern und Grundstücken, wie an Gebäuden großen Schaden angerichtet und sind insbesondere auch den Brücken verhängnissvoll geworden, da sie deren Oeffnungen versetzten und in Folge des Wasserdruckes vielfach den Einsturz veranlassten. Namentlich trifft dies zu für Holzbrücken.

Wäre ihr gesammter Durchflussquerschnitt auch wohl im Stande gewesen, ohne einen besonders erheblichen Aufstau das Hochwasser zu bewältigen, so erwiesen sich bei allen zerstörten und stark beschädigten Holzbrücken doch die Weiten der Joche als unzulänglich. An ihnen wurden die von der Strömung mitgeführten größeren Schwimmkörper wie Bäume, Bretter u. s. w. festgehalten. In die Lücken dieser starren Massen setzten sich dann die antreibenden leichteren biegsamen Stoffe, Sträucher, Zweige, Garben, Heu, Gräser u. dergl. Hiedurch staute sich das Wasser, stürzte mit verstärktem Gefälle durch die freigebliebenen Querschnittsöffnungen, hier Auskolkungen und Unterwaschungen erzeugend, und suchte, falls der Aufbau sich über die Ufer und Rampen erhob, seinen Weg seitlich der Brücke. Nicht selten konnten die Joche den Wasserdruck nicht aushalten, zerbrachen und zerstörten so die ganze Brücke; häufig wurden durch Unterspülungen die Unterjoche und massiven Widerlager zum Einsturze gebracht“.

IV.

Die Gesetze der Bewegung des Geschiebes. ¹¹⁹⁾

Wenn die Besprechung der Gesetzmäßigkeit der Bewegung des Geschiebes im Rahmen eines „Grundrisses der Wildbachverbauung“ Raum finden soll, so hat das seinen guten Grund.

Vielleicht in keinem anderen technischen Gebiete bildet die Kenntniss dieser Gesetzmäßigkeit, selbstverständlich immer nur den vorliegenden Zweck im Auge, eine so wichtige theoretische Grundlage, wie in jenem der Wildbachverbauung. Auch ist es wohl unzweifelhaft, dass gerade der Wildbachverbauer reichlich Gelegenheit finden muss, diese Gesetzmäßigkeit zu beobachten und — hiezu ist wahrlich das Bedürfniss gegeben — weiter zu ergründen, wissenschaftlich, sowie auch vom Standpunkte der Praxis auszubauen.

Wenn in den nachfolgenden Ausführungen die Theorie der Bewegung des Wassers und die damit im Zusammenhange stehenden anderweitigen theoretischen Probleme außer Betracht bleiben, so geschieht dies unter der Voraussetzung des Vertrautseins mit diesen Grundlagen der modernen Hydrotechnik.

Es ist eine bekannte, übrigens auch schon aus den vorhergehenden Abschnitten erhellende Thatsache, dass sich insbesondere die Gebirgswässer, namentlich aber die Wildbäche, durch eine in der Regel ganz bedeutende, auf gewisse Prozesse, so namentlich auf die Verwitterung und die Erosion zurückzuleitende Materialführung auszeichnen.

119) „Die Gesetze der Bewegung des Wassers und des Geschiebes, die Berechnung der Abflussmengen und der Durchflussprofile“; zum Gebrauche für den Fortstechniker. Von Ferdinand Wang. Wien 1899.

Die die Bewegung des Wassers und die Entwicklung der Rinnsale so wesentlich beeinflussende Sinkstoffführung vollzieht sich nach gewissen, allerdings noch nicht vollkommen genau feststehenden Gesetzen, welche offenbar von verschiedenen Verhältnissen, so von der Menge und der Beschaffenheit des Geschiebes, von den in den Rinnsalen herrschenden Gefälls- und Profilverhältnissen, dann von den jeweiligen, den Transport vermittelnden Wassermengen und dergleichen mehr, abhängig sein werden.

Um zunächst ganz allgemeine, von der Größe und Form des Geschiebes unabhängige Bewegungsgesetze aufstellen zu können, wird von den folgenden Betrachtungen auszugehen sein.

Allgemeine Bewegungsgesetze.

Die Schleppkraft des Wassers.

Die bewegende, kinetische Kraft des Wassers, oder auch „Schleppkraft“, „force d'entraînement“ genannt, wurde in exacter Weise von Du Boys¹²⁰⁾ zu ermitteln gesucht, welcher für sie einfache Beziehungen zwischen Wassertiefe und Gefälle aufgestellt hat.

Bei Aufrechthaltung der, der gleichförmigen Bewegung des Wassers zugrunde liegenden Anschauung, dass der Zuwachs an lebendiger Kraft des Wassers durch die Arbeit des Widerstandes im Gerinne stets völlig vernichtet wird, und bei der weiteren Annahme, dass die Schleppkraft des Wassers als eine dem Widerstande des Gerinnes gleiche und entgegengesetzte Kraftwirkung auftreten müsse, fand Du Boys für dieselbe den Ausdruck:

$$1) \quad F = 1000 \cdot H \cdot i^{121)},$$

wobei H die Wassertiefe und i das Gefällsverhältniss bedeuten.

120) „Le Rhone et les rivières à lit affouillable.“ Etude du régime du Rhone et de l'action exercée par les eaux sur un lit à fond de graviers indéfiniment affouillable.“ Ch. II. „Grandeur et effets de la force d'entraînement“; von M. P. Du Boys. Annales des Ponts et Chaussées, pag. 149. Paris 1879.

121) Die Ableitung dieser und der weiteren von Du Boys aufgestellten Formeln siehe auch „Handbuch der Ingenieurwissenschaften.“ Dritter Band. „Der Wasserbau“. Zweite Abtheilung. 1. Hälfte, 1. Lieferung. „Der Flussbau“, pag. 171. „Theorie der Geschiebeführung“; von Fr. Kreuter, H. Garbe u. A. Koch. Leipzig 1897.

Zu einem ähnlichen Resultate führen jene Betrachtungen, welche in dem an anderer Stelle citirten ausgezeichneten Werke Thièrys²⁹⁾ entwickelt sind und welche wegen des sich an den Gegenstand knüpfenden großen Interesses in Kürze angegeben werden sollen.

In Figur 2 bezeichnen:

- X eine gewisse Strecke des betrachteten Gerinnes,
 AB deren unter dem $\sphericalangle \alpha$ zum Horizonte geneigte Sohle,
 CD den zur Sohle parallelen Wasserspiegel,
 MN einen unendlich dünn gedachten Wasserfaden vom Querschnitte f und der Länge $MN = AB = CD = l$,
 P das Gewicht des Wasserfadens,
 p und p_1 die beiden Componenten desselben;
 γ sei das specifische Gewicht der Flüssigkeit.

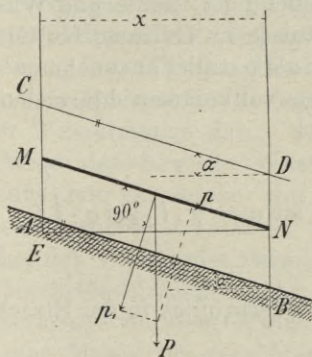


Fig. 2.

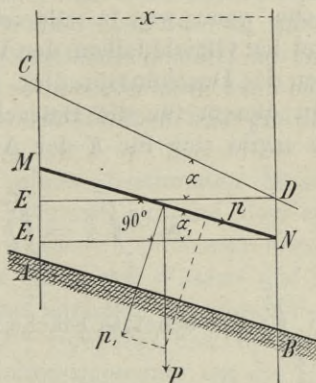


Fig. 3.

Nachdem die bewegende Kraft des Wassers offenbar nur auf die Componente p von P zurückzuführen ist und die in M und N auftretenden Wasserdrücke sich gegenseitig beheben, so lässt sich für den betrachteten Wasserfaden die bewegende Kraft k in die Formel kleiden:

$$k = P \cdot \sin \alpha = f \cdot l \cdot \gamma \cdot \sin \alpha = f \cdot \gamma \cdot CD \cdot \sin \alpha.$$

Ein ganz ähnliches Resultat ergibt sich bei Annahme der Convergenz der Gerinnsohle und des Niveaus des Wasserspiegels, wenn man mit α den Neigungswinkel dieses letzteren, Fig. 3, bezeichnet. In diesem Falle ist

$$p = P \cdot \sin \alpha_1 = \gamma \cdot l \cdot f \cdot \sin \alpha_1 = f \cdot \gamma \cdot ME_1.$$

Nachdem sich aber jetzt die Wasserdrücke in M und N gegenseitig nicht beheben, so ergibt sich die bewegende Kraft aus dem Ausdrücke

$$k = p + f \cdot \gamma \cdot [CM - DN] = f \cdot \gamma \cdot [ME_1 + CM - DN] \\ = f \cdot \gamma \cdot CE = f \cdot \gamma \cdot CD \cdot \sin \alpha.$$

Ein ähnliches Resultat würde sich auch bei Annahme der Divergenz der Sohle und des Wasserspiegelniveaus ergeben. Hieraus erhellt, dass die bewegende Kraft des Wassers von der Neigung des Wasserspiegels, nicht aber von der Neigung der Sohle abhängig ist. Um von der für die einzelnen Wasserfäden ermittelten bewegenden Kraft k auf die bewegende Kraft K der ganzen Wassermasse X zu schließen, sind die gefundenen Werthe innerhalb gewisser Grenzen zu summiren. Die Aufgabe wird nur dann eine einfache, wenn, was ja zumeist zutreffend ist, Sohle und Wasserspiegel bei Gleichbleiben der Verhältnisse im Gerinne, bei Gleichbleiben des Durchflussprofils, Fig. 2, als parallel anzunehmen sind.

In diesem für die Betrachtungen vollkommen hinreichenden Falle ergibt sich für K der Ausdruck

$$K = \int_A^C k = \int_A^C f \cdot \gamma \cdot l \cdot \sin \alpha = \gamma \cdot l \cdot \sin \alpha \cdot \int_A^C f,$$

wobei $\int_A^C f$ die benetzte Fläche F des Querprofils in der Strecke X bedeutet. Es ist sonach

$$K = \gamma \cdot l \cdot \sin \alpha \cdot F;$$

und nachdem $\gamma \cdot l \cdot F$ als das Gewicht G der ganzen bewegten Masse anzusehen ist und für die in der Regel vorherrschenden geringen Neigungswinkel statt $\sin \alpha$, auch $\tan \alpha$ gesetzt werden kann, letztere aber das relative Gefälle J darstellt, so erhält man als endgiltigen Ausdruck für die bewegende Kraft

$$2) \quad K = G \cdot J.$$

Die Uebereinstimmung der Formeln 1 und 2 ist leicht zu erkennen. Bei Ableitung der Formel 1 ist angenommen, es ruhe auf der Sohle ein Wasserprisma von der Grundfläche Eins $| 1 \text{ m}^2 |$ und der Höhe H Meter auf und es sei F die diesem Wasserprisma inwohnende Schleppkraft. Bei Annahme des specifischen Wasser-

gewichtetes $\gamma = 1000$ kg für einen Cubikmeter, stellt der Ausdruck $1000 H$ in Formel 1, das in Formel 2 eingesetzte Gewicht G der in Betracht gezogenen Wassermasse dar; auch sind in beiden Fällen i und J die jeweiligen herrschenden Gefällsverhältnisse.

Der Einfluss der Geschiebeführung auf die Bewegung des Wassers.

Der Einfluss der Geschiebeführung auf die Bewegung des Wassers macht sich zunächst dadurch bemerkbar, dass sich das mit Material belastete Wasser unter sonst gleichen Verhältnissen träger bewegt, als das materialfreie. Die theoretische Begründung dieser allenthalben zu beobachtenden Erscheinung ergibt sich auf die folgende Weise:

Wird mit Q das Volumen jener geschiebefrei gedachten Wassermenge bezeichnet, welche in einer Sekunde ein gewisses Querprofil durchfließt, und sei γ das spezifische Gewicht des reinen Wassers, so stellt das Product $Q \cdot \gamma$ das Gewicht der sich im gedachten Querprofile bewegend, sekundlichen und geschiebefreien Wassermenge dar.

Wird das bewegte Wasser in einem bestimmten Momente plötzlich mit Geschiebe von dem Volumen αQ und dem spezifischen Gewichte d belastet, wobei α einen Coefficienten darstellt, welcher das Verhältniss zwischen der Größe des Wasser- und jener des Geschiebevolumens angibt, so nimmt, nachdem das Geschiebe die Wassermenge von dem Gewichte $\alpha \cdot Q \cdot \gamma$ verdrängt, das Gewicht der bewegten Masse im gedachten Belastungsmomente um die Größe

$$\alpha \cdot Q \cdot d - \alpha \cdot Q \cdot \gamma = \alpha Q [d - \gamma] \text{ zu.}$$

Wäre die mittlere Geschwindigkeit des Wassers im gedachten Querprofile vor der Belastung mit Geschiebe v gewesen, so wird nach eingetretener Belastung eine andere, bei weiterhin gleichbleibender Belastung auch weiterhin gleichbleibende mittlere Wassergeschwindigkeit v_1 im Querprofile zu constatiren sein. Nachdem jedoch der Beharrungszustand vorausgesetzt wird, d. h. angenommen ist, dass im Falle der gleichförmigen Bewegung die Widerstände des Gerinnes die durch die bewegte Masse geleistete Arbeit stets beheben, so lässt sich die Gleichung aufstellen:

$$\gamma \cdot Q \cdot v = [\gamma Q + \alpha Q [d - \gamma]] \cdot v_1$$

oder

$$3) \quad v_1 = v \cdot \frac{\gamma}{\gamma + \alpha [d - \gamma]}$$

Durch diese Formel ist die Beziehung zwischen den beiden mittleren Geschwindigkeiten v und v_1 , im Falle der reinen Wasserführung und im Falle der Belastung mit Geschiebe gegeben. Es geht aus ihr hervor, dass v_1 thatsächlich immer kleiner als v sein muss, denn der Ausdruck

$$\frac{\gamma}{\gamma + \alpha [d - \gamma]}$$

ist, nachdem die Differenz $(d - \gamma)$ stets positiv ist, als ein echter Bruch anzusehen. Es erscheint sonach die Behauptung, dass die mittlere Wassergeschwindigkeit mit zunehmender Belastung abnimmt, theoretisch bewiesen und hiemit einer der wichtigsten Lehrsätze für die Bewegung des Geschiebes gewonnen.

Wird die für die mittlere Wassergeschwindigkeit allgemein geltende Formel $v = c \sqrt{R \cdot J}$ in Betracht gezogen, so lässt sich für v_1 im Falle der Geschiebebelastung, die Werthe von R und von J als unverändert angenommen, der Ausdruck

$$v_1 = c_1 \sqrt{R \cdot J}$$

setzen. Es wird dann

$$4) \quad \frac{v}{v_1} = \frac{c}{c_1} = \frac{\gamma + \alpha [d - \gamma]}{\gamma}$$

Um sich sonach von Fall zu Fall von dem Einflusse der Geschiebebelastung auf die mittlere Wassergeschwindigkeit ein wenigstens approximatives Bild entwerfen zu können, wird man das Verhältniss der beiden Geschwindigkeitsfactoren c und c_1 zu einander festzustellen haben. Wären z. B. $d = 2400$ kg, $\gamma = 1000$ kg und $\alpha = 1$ zu setzen, so ergäbe sich für dies Verhältniss $\frac{c}{c_1}$ der Werth:

$$\frac{c}{c_1} = \frac{2400}{1000}$$

oder für c_1 der Ausdruck

$$c_1 = 0,42 c.$$

Wenn also die bewegte, rein gedachte Wassermasse derart mit Geschiebe belastet wird, dass die Wasser- und Geschiebevolumina einander gleich werden, so sinkt die mittlere Geschwindigkeit der bewegten, nunmehr belasteten Wassermasse unter den halben früheren Werth.

Allerdings ist das in Formel 4 zum Ausdruck gebrachte Verhältniss zwischen den beiden Geschwindigkeitsfactoren und somit auch zwischen den mittleren Geschwindigkeiten nur als ein annähernd richtiges anzusehen, denn im Falle der Geschiebebelastung können sich auch die beiden GröÙen R und J ändern. Auch ist nicht allein die Masse des Geschiebes, sondern auch dessen Gestalt und die Art der Vorwärtsbewegung, ob einzeln oder in grossen Massen, auf die Aenderung der mittleren Geschwindigkeit von Einfluss; übrigens wird auch das sich an der Sohle und an den Wandungen reibende Geschiebe die Widerstände erhöhen. Doch können die gefundenen Resultate immerhin als annähernd richtig angesehen werden.

Der Stoß des Wassers auf das Geschiebe und der Widerstand des letzteren.

Für den Stoß S des unbegrenzten Wassers auf einen in Ruhe befindlichen Körper gilt zunächst die aus der Hydraulik bekannte Formel

$$5) \quad S = (k + k_1) \gamma \cdot F - \frac{v^2}{2g},$$

worin F die gestoßene Fläche, v die mittlere Flüssigkeitsgeschwindigkeit, γ das specifische Flüssigkeitsgewicht, g die Acceleration der Schwere, dann k und k_1 zwei Coefficienten bedeuten, welche zunächst von der Form der gestoßenen Fläche und von jener des gestoßenen Körpers abhängig sind.

Je dichter die Flüssigkeit, je größer die gestoßene Fläche — diese gleichgesetzt der Projection des gestoßenen Körpers auf eine senkrecht zur Bewegungsrichtung stehende Ebene — desto größer ist der Stoß des Wassers, beziehungsweise umgekehrt, desto größer ist der Widerstand, welchen dieses, wenn in Ruhe gedacht, einem bewegten Körper entgegensetzt. Auch wird die Größe des Stoßes naturgemäß davon abhängen, ob der Körper im Wasser nur theilweise oder vollkommen untergetaucht ist. Anlangend die beiden Coefficienten k und k_1 , so charakterisirt der erstere die durch die Pressung der Wassertheilchen an der oberen, der Vorderfläche des gestoßenen Körpers, die durch die sogenannte „Positivpression“ hervorgerufene Wirkung des Stoßes. Auch an der unteren, der Hinterfläche des gestoßenen Körpers, macht

sich in Folge des Bestrebens der Wassertheilchen, sich zu vereinigen, eine die Bewegung des Körpers beeinflussende Pression, die sogenannte „Negativpression“ bemerkbar und diese ist durch den Coefficienten k_1 charakterisirt. Die Größe der beiden Coefficienten k und k_1 wurde insbesondere von Dubuat, dann aber auch von Eytelwein und Sternberg experimentell zu ermitteln gesucht. Der erstere unternahm die Versuche mit Hilfe eines Bleches, eines Würfels und eines Prismas. In allen drei Fällen war die gestoßene, verticale und zur Stoßrichtung normale Fläche ein Quadrat von 0,325 m Seitenlänge; das Blech war 9 mm stark und das Prisma 0,975 m lang; die Wassergeschwindigkeit betrug 0,975 m pro Sekunde.

Während sich für k in allen drei Fällen der Werth von 1,19 ergab, war der Werth von k_1 für das Blech 0,67, für den Würfel 0,27 und für das Prisma 0,15, woraus geschlossen werden konnte, dass die sogenannte Negativpression und somit auch die Gesamtwirkung des Stoßes mit der Länge des Steines abnimmt, was sich dadurch erklärt, dass das Bestreben der Wassertheilchen, sich an der Unterseite des Körpers wieder zu vereinigen, mit der Körperlänge abnimmt. Während sich sonach auf Grund der vorstehenden Angaben die Summe der beiden Coefficienten k und k_1 im Mittel mit 1,5 festsetzen ließe, fand man weiter, dass diese Summe für sphärische Körper bis auf den Werth von 0,5 herabsinkt, der Stoß des Wassers also geringer wird. Nach Sternberg ist für die Form des Umdrehungsellipsoides, dessen Längachsen b doppelt so groß ist als die kleine Achse a , die Summe der beiden Coefficienten k und $k_1 = 0,8$ zu setzen. Bei Körpern, welche oben durch zwei Verticalebenen zugespitzt sind, nimmt die Summengröße von k und k_1 mit dem Zuschärfungswinkel ab. So sinkt beispielsweise für den Werth dieses Winkels von 12° die Summe von $k + k_1$ auf 0,44 herab. Ist die Hinterfläche des Körpers zugeschärft, so ist mit der Abnahme des Zuschärfungswinkels gleichfalls eine Abnahme des Summenwerthes $k + k_1$ zu constatiren, doch ist diese nicht so bedeutend.

Bei Annahme des Durchschnittswerthes $k + k_1 = 1,5$ lässt sich die Formel 5, in welcher für g der Werth 9,81 zu setzen ist, auch schreiben:

$$6) S = \frac{1,5}{2 \cdot 9,81} \cdot \gamma \cdot F \cdot v^2 = 0,076 \cdot \gamma \cdot F \cdot v^2 = 0,076 \cdot \gamma \cdot a \cdot c \cdot v^2,$$

wenn a und c die Dimensionen der gestoßenen Fläche darstellen.

Was den Widerstand anbelangt, welchen ein Körper der Stoßkraft des Wassers entgegensetzt, so muss berücksichtigt werden, dass die Einwirkung des Wasserstoßes auf verschieden geartete Körper auch eine verschiedene sein wird, und dass sonach auch die Widerstände dem entsprechend andere sein werden. So werden beispielsweise eckige Steine mit rauher Oberfläche gewiss anders bewegt werden, als runde Steine mit glatter Oberfläche. Bei eckigen Steinen ist, eine ebene Flusssohle vorausgesetzt, der Widerstand gegen die Bewegung offenbar dann ein ganz anderer, wenn der Körper auf der Sohle fortgeschoben wird, im Gegensatze zu jenem Falle, wenn ihn die Strömung mit sich fortreibt. Bei unebener Flusssohle sind die Verhältnisse naturgemäß in Folge wechselnder Bewegung, Strömung des Wassers, in Folge der verschiedenen Lage der Steine und des Zusammenstoßens unter einander, in Folge Einflusses des hydrostatischen Druckes und des Entstehens von Seitenströmungen u. s. f. noch complicirter.

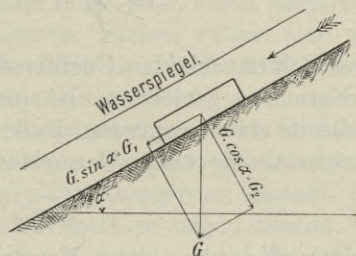


Fig. 4.

Um nun doch zu einem halbwegs richtigen und für die vorliegenden Betrachtungen brauchbaren Resultate zu kommen, wird die vereinfachte Annahme genügen, es ruhe der Stein lose auf der ebenen, unter dem Winkel α geneigten Bachsohle auf und werde ganz vom Wasser gespült.

Wird das in die zwei Componenten G_1 und G_2 getheilte Gewicht des Steines, Fig. 4, mit G bezeichnet, so ist der Ausdruck $G \cdot f \cdot \cos \alpha = G_2 \cdot f$ offenbar als der Widerstand W anzusehen, welchen der Stein dem Wasserstoße entgegensetzt, wobei f den Reibungscoefficienten auf der gedachten schiefen Ebene bedeutet. Werden die Dimensionen des Steines mit a , b und c bezeichnet, so ist die Größe G durch den Ausdruck $G = (d - \gamma) a \cdot b \cdot c$ gegeben, wenn d das specifische Gewicht des Steines bedeutet. Für den Widerstand W des Steines lässt sich sonach die Formel aufstellen:

$$7) \quad W = (d - \gamma) \cdot a \cdot b \cdot c \cdot f \cdot \cos \alpha.$$

Bei Entgegenhalt der beiden Formeln 6 und 7 und wenn die die

Bewegung fördernde, aber geringwerthige Componente $G_1 = G \sin \alpha$ vernachlässigt wird, ergibt sich die Folgerung, dass die Bewegung des Steines erst in dem Momente eintreten wird, wenn

$$0,076 \gamma \cdot a \cdot c \cdot v^2 > (d - \gamma) \cdot a \cdot b \cdot c \cdot f \cdot \cos \alpha$$

ist. Hieraus folgt für die Bewegung des Geschiebes die allgemeine Bedingungsgleichung:

$$8) \quad v > \sqrt{\frac{(d - \gamma) \cdot b \cdot f \cdot \cos \alpha}{0,076 \cdot \gamma}}$$

oder allgemein

$$9) \quad v > \sqrt{\frac{\beta (d - \gamma) \cdot b \cdot f \cdot \cos \alpha}{\gamma}}$$

wobei β einen variablen Coefficienten vorstellt, welcher vornehmlich die Form des gestoßenen Körpers charakterisirt. Mit Rücksicht auf die in einem concreten Falle constanten Größen d , γ , f und α könnte man die obige Formel auch schreiben

$$v > k_0 \sqrt{b}.$$

Nach Leslie wäre diese Formel auch allgemein anwendbar und hätte man bloß für den Würfel $k_0 = 3 \cdot 23$, für runde Körper $k_0 = 4 \cdot 58$ zu setzen¹²²⁾.

Aus den Formeln 8 und 9 lassen sich zunächst die folgenden Schlüsse ziehen:

Je dichter und daher auch, gleiches Volumen vorausgesetzt, schwerer die Steine sind, insbesondere auf sonst geneigter Sohle und unter herrschenden größeren Reibungswiderständen, desto schwerer werden sie vom Wasser fortgeführt werden können. Steine, welche derart auf „die hohe Kante“ gestellt sind, dass ihre kleinste Dimension nach der Richtung der Längsachse des Baches zu liegen kommt, werden leichter bewegt als solche, welche mit ihrer größten Dimension in der Richtung dieser Achse liegen. Für die künstliche, freie Lagerung des Steines auf der Bachsohle wird es sonach, wenn es sich um Erschwerung der Fortbewegung handelt, am vortheilhaftesten sein, ihn derart zu legen, dass seine größte Dimension nach der Richtung der Bachlängsachse zu liegen kommt.

122) Nach Hopkins und Airy soll die bewegende Stoßkraft mit der sechsten Potenz der Wassergeschwindigkeit wachsen und bei verdoppelter Geschwindigkeit vier und sechszigmal schwereres Flussgeschiebe transportirt werden können.

Soll der Stein behufs Befestigung der Sohle in dieselbe eingebettet werden, so ist er jedenfalls derart auf „die hohe Kante“ zu setzen, dass seine zweitgrößte Dimension die vorbemerkte Lage einnimmt.

Bei sphärischen Steinen würden, nachdem der Coefficient β bei Zugrundelegung der Beobachtungsergebnisse einen relativ größeren Werth annimmt, die Bewegung allerdings unter sonst gleichbleibenden Verhältnissen nicht so leicht eintreten. Wird aber die außerordentliche Abnahme der Reibungswiderstände in Betracht gezogen — ein vollkommen sphärischer Stein ruht nahezu nur auf einem Punkte auf der Sohle auf — so erklärt sich die Thatsache, dass solche Steine leicht vom Wasser fortgeführt werden. Bei Steinen, welche oben oder unten zugespitzt sind, ist die Bewegung eine erschwerte. Steine, welche sich nach abwärts zu verbreitern, weisen eine kleinere gestoßene Fläche auf und sind daher weniger beweglich als solche, welche nach unten zu schmaler werden. Es mag noch erwähnt sein, dass das Geschiebe unter normalen Verhältnissen und entsprechend dem abgeleiteten Bewegungsgesetze im Bachbette derart zur Ablagerung gelangt, dass dessen Längsachse quer über das Bachbett zu liegen kommt, weil es in dem der Ablagerung unmittelbar vorhergegangenen Bewegungsmomente in dieser für die Bewegung günstigsten Weise transportirt wurde.

Dieses Lagerungsgesetz gestattet es mitunter, auf die Richtung der ehemaligen Strömungen im Diluvium schließen zu können. In der von Du Boys veröffentlichten, citirten Abhandlung wird für den Gleichgewichtszustand einer Kiesellage die Formel abgeleitet:

$$10) \quad V \leq \frac{1}{n} \cdot \frac{1000 H \cdot i}{(d-1) \operatorname{tang} \alpha},$$

in welcher V allgemein den Rauminhalt eines Kiesel von dem specifischen Gewicht d , n die Anzahl solcher Kiesel auf einem Quadratmeter des unauswaschbaren, wagrecht gedachten Bettes, und α jenen Winkel bedeuten, unter welchem im ruhigen Wasser das Flussbett eben noch geneigt sein dürfte, ohne dass die Kiesel zu gleiten oder zu rollen beginnen.

Bezeichnet $n \cdot V = e$ die mittlere Dicke der Kiesellage (die in den n -Kieseln enthaltene Steinmasse sei über eine Fläche von 1 m^2 gleichmässig vertheilt ausgebreitet und bilde eine Schichte von der Dicke e), so ist

$$11) \quad e \leq \frac{1000 \cdot H \cdot i}{(d-1) \operatorname{tang} \alpha}$$

Aus den Formeln 10 und 11, welche allerdings nur für eine wagrechte Bachsohle abgeleitet wurden, doch die gleichen Schlüsse für den die Geschiebebewegung begünstigenden Fall der Neigung zulassen, ist zu entnehmen, dass die Kiesel unter sonst gleichen Umständen um so leichter fortbewegt werden, je kleiner ihr Rauminhalt und je geringer ihre Anzahl auf dem Quadratmeter ist, d. h. je schütterer sie am Bachbette aufliegen; auch kann geschlossen werden, dass unabhängig von Gestalt und Größe der Kiesel die zur Bewegung erforderliche Schleppkraft der mittleren Dicke der Kiesellage proportional ist, d. h. je geringer die mittlere Lage der Kiesellage wird, desto leichter kann der Strom, gleichbleibende Schleppkraft vorausgesetzt, deren Bewegung veranlassen. Immerhin sind aber sehr flache, den Boden bedeckende Steine vom Wasser nicht so leicht in Bewegung zu setzen, weil sie dem letzteren eine mehr glatte Abflussfläche bieten, sowie es ja bekannt ist, dass es bei einem gegebenen Wasserlauf einer viel größeren Anschwellung bedarf, um auf glatter Grundbette die Bedingungen der Geschiebewanderung zu verwirklichen, als auf rauhen.

Von ganz außerordentlichem Einflusse auf die Bewegung des Steines ist, wie aus den Formeln 8 und 9 zu sehen, die Größe des specifischen Gewichtes γ der stoßenden Flüssigkeit. Seine Zunahme wirkt in zweifacher Weise, und zwar einerseits durch Verkleinerung des Zählers und andererseits durch Vergrößerung des Nenners auf die Bewegung fördernd ein. Werden unter sonst gleichbleibenden Verhältnissen nur der Ausdruck $\sqrt{\frac{d-\gamma}{\gamma}}$ in Betracht und die Größe d mit 2000 kg, für einen Cubikmeter gemeint, in Rechnung gezogen, so wird, wenn der Flüssigkeit, dem reinen Wasser, das specifische Gewicht $\gamma = 1000$ kg zukommt, die Größe

$$\sqrt{\frac{d-\gamma}{\gamma}} = \sqrt{1.0} = 1.$$

Steigt aber das specifische Gewicht des Wassers in Folge Belastung mit Schlamm oder Geschiebe z. B. auf den Wert 1200 kg, so wird der Ausdruck

$$\sqrt{\frac{d-\gamma}{\gamma}} = \sqrt{\frac{2}{3}} = \text{annähernd } 0.8.$$

Nimmt γ den Werth 1600 kg an, so ist der Ausdruck

$$\sqrt{\frac{d - \gamma}{\gamma}} = 0.5$$

zu setzen.

Wenn sich der Wasserlauf im Zustande der Mure befindet, deren specifisches Gewicht 1800 kg erreichen kann, so sinkt der Wurzel Ausdruck auf $\frac{1}{3}$ des Betrages für reine Wasserführung.

Die vorstehenden Ziffern lassen die große Beweglichkeit der Steine in jenem Falle erkennen, in welchem sie sich in einer specifisch schwereren Flüssigkeit bewegen. Hieraus erklärt sich auch die Thatsache, dass im Falle eines Murganges, wenn das Wasser in Folge der Verunreinigung eine breiartige Consistenz mit höherem specifischen Gewicht angenommen hat, außerordentlich große und schwere Steinblöcke, ja oft häusergroße Fels-trümmer mit Leichtigkeit weitab thalwärts geführt werden. Dabei ist auch noch zu berücksichtigen, dass infolge des außerordentlichen Gewichtsverlustes die Geschiebe mehr schwebend erhalten werden und hiemit im Zusammenhange der Reibungscoefficient f an der Sohle einen sehr geringen Werth anzunehmen vermag.

Der Ausdruck in Formel 9 lässt erkennen, dass das specifische Gewicht des Steines auf dessen Fortbewegung einen wesentlichen Einfluss insofern ausübt, als im allgemeinen specifisch schwerere Steine, sonst gleiche Verhältnisse vorausgesetzt, schwerer vom Wasser fortgeführt werden, als specifisch leichtere.

Kreuter¹²³⁾ hat bezüglich des Gleichgewichtszustandes zweier Würfel verschiedener Gesteinsart unter Wasser, von den specifischen Gewichten d_2 und d_1 , die Formeln abgeleitet:

$$12) \quad \frac{a_1}{a_2} = \frac{d_2 - 1}{d_1 - 1}$$

und

$$13) \quad \frac{G_1}{G_2} = \left(\frac{d_2 - 1}{d_1 - 1} \right)^3 \cdot \frac{d_1}{d_2},$$

wobei G_1 und G_2 die Gewichte der Steinwürfel von den Seitenlängen a_1 und a_2 und den specifischen Gewichten d_1 und d_2 bedeuten.

123) „Ueber den Einfluss des specifischen Gewichtes auf die Verwendbarkeit von Gestein beim Wasserbau.“ Schweizerische Bauzeitung 1900, von Franz Kreuter. Vide auch Handbuch der Ingenieur-Wissenschaften, dritter Band, „Der Wasserbau“. 1. Hälfte, 2. Lieferung, Seite 225. Leipzig 1897.

Ist $d_1 > d_2$, so ist

$$\frac{d_2 - 1}{d_1 - 1} < 1$$

und folglich auch

$$\left(\frac{d_2 - 1}{d_1 - 1}\right)^3 \frac{d_1}{d_2} < 1$$

und

$$\frac{G_1}{G_2} < 1 \text{ oder } G_1 < G_2.$$

Diese Bedingungsgleichung lehrt, dass in jenem Falle, in welchem bei Zutreffen der Gleichung 12 zu Gestein von größerem specifischen Gewicht d_1 gegriffen wird, dieses selbst dann schwerer vom Wasser fortgeführt wird, als Gestein von dem geringeren specifischen Gewichte d_2 , wenn es nicht nur räumlich kleiner, sondern auch absolut leichter sein sollte.

Vorausgesetzt ist dabei eine ungefähre geometrische Aehnlichkeit der beiden Gesteinsstücke. Dieses immerhin merkwürdige Gesetz lässt sich auch aus Formel 9 ableiten. Zwei Steine von ähnlicher Form, von gleicher gestoßener Fläche, jedoch von verschiedenen specifischen Gewichten d_1 und d_2 und verschiedenen Dimensionen b_1 und b_2 bleiben unter sonst gleichen Verhältnissen vom Wasser unbewegt, wenn die Gleichheit besteht:

$$\sqrt{\frac{(d_1 - 1000) \beta \cdot b_1 f \cdot \cos \alpha}{1000}} = \sqrt{\frac{(d_2 - 1000) \beta \cdot b_2 f \cdot \cos \alpha}{1000}}$$

oder wenn

$$(d_1 - 1000) b_1 = (d_2 - 1000) b_2,$$

bezw. wenn

$$14) \quad \frac{b_1}{b_2} = \frac{d_2 - 1000}{d_1 - 1000}$$

werden. Das ist ein dem Ausdruck nach Kreuter ganz ähnlicher.

Hiebei ist angenommen, dass sich die Größen $\beta \cdot f$ und $\cos \alpha$ nicht ändern, was allerdings bezüglich β nicht sicher zutrifft, weil die Negativpression von den Längen des Steines insofern abhängig ist, als, wie an geeigneter Stelle bemerkt, die Gesamtwirkung des Stoßes mit der Länge des Steines abnimmt.

Wird, wie es Kreuter gethan, die Würfelform zu Grunde gelegt, so ergeben sich für die Rauminhalte V die Ausdrücke

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{b_1^3}{b_2^3} = \left(\frac{d_2 - 1000}{d_1 - 1000} \right)^3$$

und die Gewichte G eingesetzt folgt

$$\frac{G_1}{G_2} = \frac{V_1 d_1}{V_2 d_2}$$

oder

$$\frac{G_1}{G_2} = \left(\frac{d_2 - 1000}{d_1 - 1000} \right)^3 \cdot \frac{d_1}{d_2}$$

Als Beispiel gibt Kreuter an: Man habe die Wahl zwischen Granit $d_1 = 2800$ und Kalk $d_2 = 2400$ kg pro 1 m^3 Gestein gemeint, dann ist

$$\frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{1 \cdot 4}{1 \cdot 8} \right)^3 = 0 \cdot 47$$

und

$$\frac{G_1}{G_2} = \left(\frac{1 \cdot 4}{1 \cdot 8} \right)^3 \cdot \frac{2 \cdot 8}{2 \cdot 4} = 0 \cdot 55,$$

d. h. verwendet man zu einem losen Steinwurfe statt des Kalksteines Granit, so brauchen die Granitsteine nur 47 Proc. des Rauminhaltes, aber auch nur 55 Proc. des Gewichtes des dem gleichen Zwecke entsprechenden Kalksteins zu haben.

Das ist ein Umstand, welcher im Hinblick auf Transport und Handhabung des Steines sehr zu beachten ist.

Nach diesem Gesetze vollzieht sich zuweilen eine Sonderung der Geschiebe derart, dass die kleinen, aber specifisch schwereren Steine an Stellen liegen, wo eine größere Schleppkraft herrscht als dort, wo größere, aber specifisch leichtere Steine von gleicher Gestalt zur Ruhe kommen.

Auf die Formel 9 angewendet, lässt sich behaupten, daß insolange die Bedingungsleichung:

$$\frac{d_1 - 1000}{1000} \cdot b_1 \geq \frac{d_2 - 1000}{1000} \cdot b_2$$

$$\text{bez. } b_1 \geq \frac{d_2 - 1000}{d_1 - 1000} \cdot b_2$$

zutrifft, Steine von verschiedenen specifischen Gewichten und verschiedenen Dimensionen b , ganz abgesehen von der Größe ihres absoluten Gewichtes, das Gleichbleiben der Schleppkraft des Wassers vorausgesetzt, in Ruhe bleiben.

Als Beispiel diene:

Die obere Bedingungsgleichung ist für die beiden specifischen Gewichte $d_1 = 2800$ (Granit) und $d_2 = 2400$ (Kalk) erfüllt, inso-
lange $b_1 \geq \frac{7}{9} b_2$ ist.

Ist $b_1 = \frac{7}{9} b_2$, so bleiben beide Steine, Granit und Kalk, in Ruhe, obzwar das Verhältniss des Granit- zu dem Kalkvolumen, gleiche gestoßene Fläche vorausgesetzt, sich wie 7:9 stellt, und das Verhältniss der beiden absoluten Gewichte 21·7:24 beträgt, der gedachte Granitstein also absolut leichter als der mit ihm verglichene Kalkstein ist.

Ist $b_1 >$ als $\frac{7}{9} b_2$, so wird der Granit, dessen absolutes Gewicht zunimmt, noch sicherer in Ruhe bleiben. Sinkt der Wert von b_1 unter den Wert $\frac{7}{9} b_2$, dann ist die Bedingungsgleichung $b_1 \geq \frac{7}{9} b_2$ nicht mehr erfüllt, und es wird das specifisch schwerere, aber schon zu kleine und absolut schon zu leichte Granitstück leichter als das mit ihm verglichene Kalkstück fortgeführt werden.

Die Untersuchung der Bedingungen, unter welchen sich das Geschiebe fortbewegt, wird naturgemäß wesentlich complicirter, wenn der Stein nicht mehr als auf der Bachsohle lose aufliegend, sondern vielmehr als in dieselbe eingebettet angenommen wird. Dieser Untersuchung, welche zur Aufstellung der Gesetze der Erosion führen müsste, stellen sich außerordentliche Schwierigkeiten entgegen. Es ist aber trotzdem möglich, auf die folgende Weise die Gesetzmäßigkeit der Erosionsthätigkeit und hiemit auch die besonders wichtige Gesetzmäßigkeit der Sohlenveränderung wenigstens annähernd zu erforschen.

Die Grenzgeschwindigkeit des Wassers und dessen Sättigung mit Geschiebe.

Aus den abgeleiteten Formeln 8 und 9 ist ersichtlich, dass es unter gewissen Gefälls- und Reibungsverhältnissen, dann für jede Geschiebsart, was ihre Dichte, Größe und Form anbelangt, eine gewisse mittlere Geschwindigkeit v im Profile geben muss, bei deren Vorhandensein selbst das auf der Bachsohle aufliegende Geschiebe gerade noch in Ruhe verbleibt, welche Geschwindigkeit sonach als die Grenzgeschwindigkeit für die Bewegung des Geschiebes bezeichnet werden kann.

Der Werth dieser mittleren Geschwindigkeit und zugleich Grenzgeschwindigkeit lässt sich aus der Gleichung:

$$15) \quad v = \sqrt{\frac{\beta \cdot (d - \gamma) \cdot f \cdot b \cdot \cos \alpha}{\gamma}}$$

ermitteln.

Wenn infolge irgend welcher Prozesse, z. B. infolge von Terrainbrüchen, Bergstürzen u. s. f., Material in das Rinnsal des Baches gelangt, so werden die erdigen Theile vom Wasser aufgelöst, schwebend erhalten und nehmen annähernd die Geschwindigkeit desselben an.

Gewisses, specifisch gleich schwer angenommenes Geschiebe, welchem ein Grenzgeschwindigkeitswerth entspricht, welcher größer ist als der Werth der mittleren Wassergeschwindigkeit im gegebenen Falle, bleibt unbewegt auf der Bachsohle liegen, während das Geschiebe mit kleineren Grenzgeschwindigkeitswerthen, also das leichtere, kleinere, vom Wasser fortgerissen wird und, wenn man von dem Einflusse der Form absieht, in eine um so schnellere Bewegung geräth, je leichter und je kleiner es ist, wobei aber zu beachten kommt, dass sich alles Geschiebe langsamer als das Wasser bewegt. Bei einer gewissen Wassergeschwindigkeit scheiden sich sonach die Sinkstoffe, der Detritus, in solche, welche liegen bleiben, und in solche, welche fortbewegt werden; letztere wieder je nach ihrem Gewicht, ihrer Größe und wohl auch ihrer Form. Bei jedem Wechsel in der Geschwindigkeit tritt sonach entweder eine entsprechende Sinkstoffvermehrung oder Verminderung ein; immer aber ist im Verlaufe der Bewegung eine gewisse Materialsortirung, und zwar derart zu bemerken, dass in einer betrachteten Bachstrecke das kleinste und leichteste Material mehr oberflächlich in der Strömung vorauseilend, das gröbere minder rasch und sich mehr an der Sohle bewegend, das gröbste und schwerste, vom Wasser vielleicht nicht mehr bewegte Material im obersten Theile und auf der Sohle aufruhend zu finden wären. Hierbei ist nicht ausgeschlossen, dass in den zwischen den größeren Steinen sich bildenden Zwischenräumen auch kleineres Material fortgeführt, von dem größeren mit fortgerissen werden kann. Aus dieser skizzirten Scheidung des Materiales lässt sich übrigens auch die Thatsache erklären, dass die großen Steinblöcke in der Regel, und zwar deshalb mehr abgeschliffen sind, weil sie sich einerseits nahe oder selbst unmittelbar auf der Sohle bewegen und andererseits auch durch die ihnen voraneilenden, sie überholenden kleineren Steine noch

mehr abgenützt werden. Dagegen bewahrt das kleinere, sich mehr einzeln und in der Strömung bewegende Geschiebe eher seine ursprüngliche kantige und eckige Form, obwohl auch dieses bei länger andauerndem Transporte eine Verkleinerung erfahren muss.

Diese vorbeschriebene materialsortirende Wasserthätigkeit, welche sich sonach selbst bei unveränderlich bleibender Geschwindigkeit stets dadurch bemerkbar macht, dass das kleinere Material vor dem größeren thalabwärts getrieben wird und zur Voraussetzung hat, es hindere sich das transportirte Geschiebe im Verlaufe des Transportes durch eventuelle Berührung gegenseitig in der Bewegung wesentlich nicht, wird als die Materialausscheidung oder der Einzeltransport bezeichnet. Im Großen vollzieht sich dieser Process des Geschiebetransportes, beginnend hoch oben im Gebirge und sich in die Thalläufe fortsetzend, allenthalben und bis an die Gestade der Meere. So gibt beispielsweise Domaszewsky⁴⁸⁾ an, dass die Donau das gröbere, faustgroße Material bloß bis Pressburg, den leichteren Schotter bis Ofen-Pest, bloßen Sand bis Widdin, und endlich den Schlamm bis zur Mündung in das Schwarze Meer zu tragen vermag.

Naturgemäß bleibt das transportirte Geschiebe nur insolange in Bewegung, insolange die mittlere Wassergeschwindigkeit das Maß der Grenzgeschwindigkeit übersteigt. Nimmt die mittlere Geschwindigkeit des Wassers in einem Querprofile aus irgend einem Grunde, z. B. in Folge der Zunahme der Bewegungshindernisse ab, so wird vielleicht für einen Theil des Geschiebes, und zwar für das zunächst größte und schwerste, die Bedingung für die Bewegung nicht mehr bestehen und es muss zur Ruhe gelangen.

In Verfolgung einer solchen successiven Geschwindigkeitsabnahme ergäbe sich eine derart geformte Materialablagerung, dass das größte Geschiebe oben, das kleinste aber unten zu liegen käme.

Die vorstehenden Betrachtungen führen in weiterer Verfolgung zu dem Begriffe „der Sättigung des Wassers mit Geschiebe“.

Wenn in einem Rinnsale die mittlere Geschwindigkeit des Wassers den Werth jener Grenzgeschwindigkeit übersteigt, welche dem im Rinnsale angehäuften Geschiebe entspricht, so kann ein Theil des Geschiebes in um so raschere Bewegung gerathen, je größer die Differenz zwischen der mittleren Geschwindigkeit des

Wassers und der gemeinten Grenzgeschwindigkeit ist. Nachdem jedoch mit der eintretenden Belastung des Wassers mit Geschiebe eine Abnahme der mittleren Wassergeschwindigkeit nach Formel 3 verbunden sein muss, so wird diese Belastung über eine gewisse Grenze hinaus nicht stattfinden können, d. h. das Wasser wird nur insolange Geschiebe von gewisser Größe zu heben im Stande sein, insolange seine mittlere Geschwindigkeit nicht auf den Werth der Grenzgeschwindigkeit herabgesunken ist.

In dem Momente, in welchem die beiden Geschwindigkeitswerthe einander gleich geworden sind, in diesem Momente kann eine weitere Materialentnahme und Materialfortführung nicht mehr stattfinden, das Wasser hat seinen Sättigungsgrad erreicht.

An einem einfachen Beispiele lässt sich das Vorgesetzte erläutern:

In einem Rinnsale sei die mittlere Geschwindigkeit des Wassers mit 9,75 m per Sekunde gegeben, dagegen sei die Grenzgeschwindigkeit für das im Bachbette vorhandene gleichartige Geschiebe nach Formel 15 mit 4 m anzunehmen. Der Sättigungsgrad ist dann erreicht, wenn in Folge der fortschreitenden Belastung des Wassers mit Geschiebe, welche Belastung im Hinblick auf die Differenz der beiden Geschwindigkeitswerthe, die Möglichkeit der Geschiebeentnahme vorausgesetzt, eintreten muss, diese beiden Werthe einander gleich geworden sind. Aus Formel 3 ergibt sich sonach die Gleichung:

$$4 = 9,75 \frac{1000}{1000 + \alpha (d - 1000)}.$$

Wird für d der Werth 2400 angenommen, so wird

$$4 = 9,75 \frac{1000}{1000 + \alpha \cdot 1400}$$

oder

$$\alpha = \frac{5750}{5600}$$

oder

annähernd $\alpha = 1$, d. h.

im gegebenen Falle tritt der Sättigungsgrad dann ein, wenn der Bachsohle durch das Wasser Material von dem Volumen entnommen wurde, welches annähernd gleich jenem Wasservolumen ist, welches bei reiner Wasserführung das betrachtete Querprofil in einer Sekunde passirt.

Aus den von Du Boys aufgestellten Formeln lässt sich bezüglich der in Bewegung befindlichen Schichten des Geschiebes schließen, dass die Bewegung einer einzigen Geschiebelage von der Dicke e sehr langsam erfolgen wird im Vergleiche zu jenem Falle, wenn mehrere dünne Lagen von der Gesamtdicke e vorhanden sind. Die Bewegung der oberen Lagen wird rasch vor sich gehen und somit die Abfuhr sehr beträchtlich werden können.

Es erklärt sich dies auch aus der Betrachtung der Grenzgeschwindigkeit insofern, als eine Geschiebeschichte, welche sich aus derart großen Steinen gleichmäßig zusammensetzt, deren Grenzgeschwindigkeitswerth annähernd gleich oder vielleicht selbst größer ist, als jener der concreten Wassergeschwindigkeit nur zum Theile und langsam, im letzteren Falle überhaupt gar nicht in Bewegung gesetzt werden kann. In einzelne Schichten getheilt, deren jede kleineres Geschiebe aufweist, wird deren Beweglichkeit eine größere sein. Die letztere nimmt aber gegen die Tiefe hin ab, weil mit der Belastung des Wassers durch die Inbewegungsetzung der oberen Schichten, dessen mittlere Geschwindigkeit abnehmen muss.

Die Gesetze der Sohlenerosion und die natürliche Entwicklung des Längenprofiles.

Die vorstehenden Betrachtungen hatten immer zur Voraussetzung, es sei das Geschiebe lose auf der Bachsohle aufliegend. Schon früher wurde bemerkt, es sei außerordentlich schwer für die Totalität der Erosionserscheinung, welche ja zum überwiegend größten Theile in der Entnahme eingebetteten Materials besteht, Gesetze in analytischer Form aufzustellen. Nichtsdestoweniger lassen sich auf Grund der Erörterungen über die Grenzgeschwindigkeit des Wassers und über die Sättigung desselben mit Geschiebe folgende, zunächst ganz allgemein gehaltene Erosionsgesetze aufstellen und bis zu einem gewissen Grade auch mathematisch begründen:

1. Wenn die vornehmlich von der mittleren Geschwindigkeit des Wassers abhängige Stoßkraft desselben, Formel 5, die Widerstandskraft der Bachsohle überwiegt, so muss sich die Erosionsthätigkeit bemerkbar machen.

2. Jeder vermehrte Materialtransport vermindert unter sonst gleichbleibenden Verhältnissen die mittlere Geschwindigkeit des

Wassers, Formel 3, also auch dessen Stoßkraft und demzufolge auch die Fähigkeit zur Erosion, es wäre denn, dass in einzelnen Fällen das an der Sohle sich fortwälzende Geschiebe die Erosionsthätigkeit des Wassers begünstigt.

Unter sonst gleichen Verhältnissen wird sonach das reine, klare Wasser mehr zu erodiren im Stande sein, als das bis zu einem gewissen Grade mit Material belastete.

3. Sobald in Folge der mit der erodirenden Thätigkeit des Wassers verbundenen successiven Belastung mit Material der Werth der mittleren Wassergeschwindigkeit auf den Werth der dem vorhandenen Geschiebe entsprechenden Grenzgeschwindigkeit herabgesunken ist, Formel 15, vermag, das Gleichbleiben der sonstigen Verhältnisse vorausgesetzt, das Wasser nicht mehr zu erodiren, denn es bedarf dann seiner vollen Stoßkraft, um das einmal gehobene Geschiebe fortzubewegen. In diesem Zustande ist zwischen der Stoßkraft des Wassers und dem Widerstande der Bachsohle ein gewisser, die Unverletzbarkeit dieser letzteren garantirender Gleichgewichtszustand eingetreten.

4. Dieser Gleichgewichtszustand kommt in einer gewissen, näher zu untersuchenden Regelmäßigkeit der Form des Längenprofiles zum Ausdrucke. Dieser letztere Satz bedarf der besondern Begründung:

Wenn das Wasser mit einer dem vorhandenen Geschiebe gerade entsprechenden Grenzgeschwindigkeit in einem betrachteten Punkte A, Fig. 5, des gleichmäßig verlaufenden Rinnsales, bis zu einem gewissen Grade mit Materiale belastet, ankommt, und alle Verhältnisse im Rinnsale unverändert bleiben, so wird in diesem Punkte und unterhalb desselben weder eine Materialablagerung, noch eine Materialentnahme eintreten, die Form des Längenprofiles wird keinerlei Aenderung erfahren. Diese Unveränderlichkeit der Form kann auch noch dann gewahrt bleiben, wenn sich die Bachsohle abwärts dieses Punktes, bei sonst unveränderten Verhältnissen, aus kleinerem, specifisch gleich schweren Materiale, aus mehreren Kieslagen zusammensetzen sollte, Fig. 6 u. 7, Seite 181. Der Werth der mittleren Geschwindigkeit des Wassers würde dann den dem

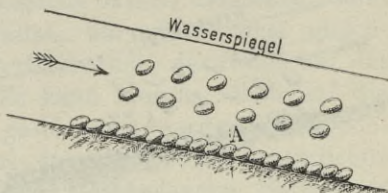


Fig. 5.

kleineren Geschiebe entsprechenden Grenzgeschwindigkeitswerth übersteigen und dieses letztere könnte in Bewegung gesetzt werden. Gleichzeitig müsste aber in Folge der erhöhten Belastung eine Verminderung der mittleren Geschwindigkeit eintreten und das Wasser wäre nicht mehr im Stande, alles bis *A* transportirte größere Geschiebe weiter fortzuführen. An Stelle des abwärts von *A* gehobenen kleineren Geschiebes müsste ein Theil des bis *A* gebrachten größeren deponirt werden, Fig. 7. Es fände sonach unterhalb *A*

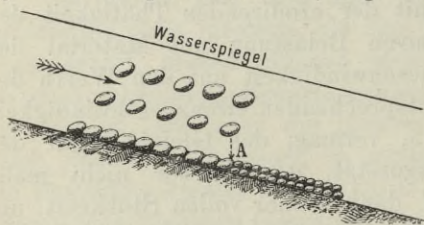


Fig. 6.

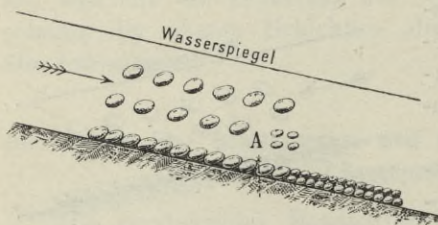


Fig. 7.

zwar ein gewisser Materialaustausch statt, die Form des Längenprofils hätte sich aber trotzdem sichtlich nicht geändert.

Jener Gefällswerth nun, welcher unter den obwaltenden concreten Verhältnissen die ungehinderte Abfuhr der Geschiebmassen bei gleichzeitiger Unveränderlichkeit, sonach auch bis zu einem gewissen Grade Unverletzbarkeit der Sohle garantirt, wird als das sogenannte natürliche Gefälle oder auch nach Breton¹²⁴⁾ als „Ausgleichsprofil“,

„profil de compensation“, nach Surell¹⁰⁾ als die „Gefällsgrenze“, „pente-limite“ bezeichnet. Es ist einleuchtend, dass auch dem reinen Wasser ein Gefällswerth entsprechen muss, bei dessen Vorhandensein die Bachsohle unverletzbar und vor jeder weiteren Erosion gefeit ist, und weil in einem solch gedachten Falle die Stoßkraft des Wassers größer ist, als im Falle der Geschiebebelastung, so muß offenbar der Werth des der Thätigkeit des reinen Wassers entsprechenden natürlichen Gefälles ein entsprechend kleinerer sein, d. h. der Ueberschuss an Stoßkraft muss durch die Abnahme des Gefälles paralysirt werden. Das natürliche Gefälle, welches der Thätigkeit des reinen Wassers ent-

124) „Mémoire sur les Barrages de retenue des Gravieres dans les gorges des torrents“; von Philippe Breton. Paris 1867.

spricht, stellt also offenbar einen Minimalwerth dar, und wurde von Breton als das sogenannte „Gleichgewichtsprofil“, „profil d'équilibre“ bezeichnet. Während im Falle des Vorhandenseins des Ausgleichs-, oder Compensationsprofiles immerhin ein in Fig. 7 ersichtlich gemachter Materialaustausch eintreten könnte, ist dies beim Gleichgewichtsprofile, nachdem keine Materialführung stattfindet, nicht mehr möglich; beide Profile garantiren die Unverletzbarkeit der Sohle unter den concreten Verhältnissen.

Wird die Frage nach der Form des Ausgleichs-, beziehungsweise des Gleichgewichtsprofiles aufgeworfen, so könnte für relativ kurze Bachstrecken immerhin die gerade aufsteigende Linie als für den Verlauf der Profile charakteristisch angenommen werden. Für längere Strecken könnte diese Annahme, wie aus dem Folgenden zu schließen ist, und wie später analytisch bewiesen werden soll, nicht mehr genügen. Unzweifelhaft nimmt im allgemeinen die Wassermenge vom Ursprunge der Gewässer nach abwärts hin zu und es bedarf daher, nachdem Wassermasse und Gefälle eine gewisse Arbeit, bewegende Kraft, darstellen, eines nach abwärts abnehmenden Gefälles, um unter sonst gleichbleibenden Verhältnissen die Unverletzbarkeit der Sohle auf der ganzen Strecke zu garantiren. Es kann hieraus schon auf die Concavität des Ausgleichprofiles geschlossen werden. Die Concavität erhellt übrigens auch aus der infolge des natürlichen Processes der Materialausscheidung stattfindenden Sortierung, wonach die Größe des abgelagerten Geschiebes thaleinwärts zu-, thalabwärts abnimmt. In allen jenen Fällen sonach, in welchen sich ein gegen den Thalboden senkendes concaves Längenprofil constatiren lässt, — hiebei wird von der Krümmung der Erdoberfläche ganz abzusehen sein —, kann von der natürlichen Thätigkeit des Wassers, beziehungsweise von der natürlichen, normalen Entwicklung des Längenprofiles die Rede sein.

Die so gedachte Continuität des Längenprofiles — die nur sehr wenig gekrümmte Gefällscurve kann als Parabel oder als Cykloide angesehen werden, präcise Gesetze über den Curvenverlauf lassen sich heute nicht aufstellen — setzt aber constante Abflussverhältnisse und constante Verhältnisse in den einzelnen Querprofilen der betrachteten Strecke voraus, so dass, insbesondere in den Wildbächen, bei den obwaltenden sehr wechselvollen Verhältnissen, von der vorbeschriebenen Continuität des Längenprofiles nicht die Rede sein kann.

Wenn in einem Rinnsale das mit Geschiebe gesättigte Wasser, beispielsweise im Punkte *A*, Fig. 8 u. 9, ankommt, und wenn sich infolge irgend welcher Verhältnisse, z. B. infolge Verbreiterung

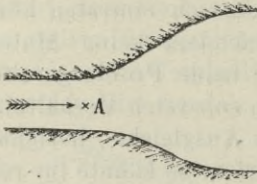


Fig. 8.

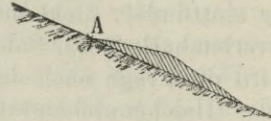


Fig. 9.

des Querprofiles, die Wassergeschwindigkeit im Profile vermindert, so wird das Wasser nicht mehr im Stande sein, alles Geschiebe

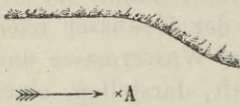


Fig. 10.

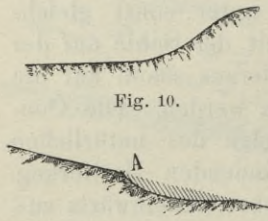


Fig. 11.

von *A* abwärts zu transportiren, es wird einen Theil des Materiales, und zwar das größte und schwerste, deponiren. Die Masse des von *A* nach abwärts geführten Materiales wird nun im Vergleiche zu der bis *A* transportirten eine entsprechend kleinere sein. Das Verhältniss stellt sich entgegengesetzt, wenn die mittlere Geschwindigkeit des Wassers in einem gewissen Punkte *A*, Fig. 10 u. 11, sei es in Folge der Profilverengung, sei es in Folge der Zunahme der Wassertiefe bei Aufnahme eines Seitenzufusses u. s. w., zunimmt, denn die Stoßkraft der Wassermasse wird eine größere und die Neubelastung derselben als Folge der Erosionsthätigkeit

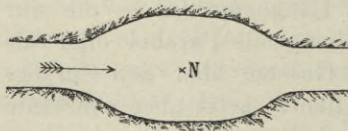


Fig. 12.

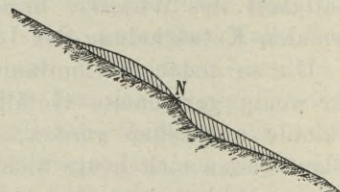


Fig. 13.

ist zu gewärtigen. Die Masse des von *A* nach abwärts geführten Geschiebes ist jetzt größer als jene des bis *A* transportirten.

Es ist sonach zu ersehen, dass ein Bach sein Längenprofil,

sei es durch Ablagerung, sei es durch Abtrag steiler oder flacher gestalten kann. Sind Auf- und Abtrag im Zusammenhange, Fig. 12 u. 13, Seite 184, so ist offenbar das Vorhandensein eines neutralen, dem ursprünglichen, als auch dem neuentwickelten Längenprofile ange-

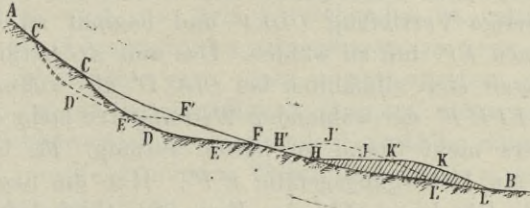


Fig. 14.

hörigen Punktes *N* anzunehmen. Bedeutet in Fig. 14 *AB* das den bestehenden Verhältnissen im Wildbache entsprechende Ausgleichsgefälle, und sei *CDEF*

die auf einer längeren Bachstrecke thatsächlich vorhandene Gefällslinie, so ist leicht zu sehen, dass im stärkeren Gefälle *CD* eine Erosion, im schwächeren Gefälle *EF* aber eine Ablagerung eintreten wird, und dass die sehr kurz

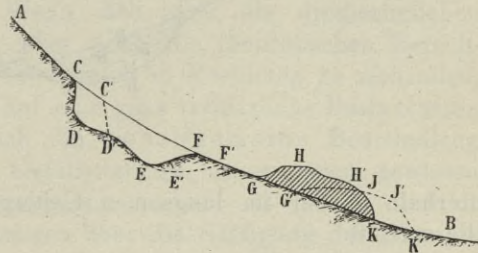


Fig. 15.

gedachte, zur Ausgleichsgefällslinie vielleicht parallele Strecke *DE* als neutral anzusehen ist. Die Vertiefung *CDEF* rückt so langsam bei steter Abnahme der Tiefe und Zunahme der Länge von unten hinauf zu gegen *C'D'E'F'* vor, und hat *F'* den Punkt *C* passirt, so ist das Ausgleichsgefälle auf der Linie *CF* hergestellt. Im weiteren Verlaufe wird die Vertiefung successive ganz verschwinden.

In ganz ähnlicher Weise lässt sich das langsame Hinaufrücken der Erhebung *HIKL* und infolge der allmählichen Abnahme der Höhe und Zunahme der Länge der Erhebung, das vollständige Verschwinden derselben, und Uebergang in das natürliche Gefälle erklären.

Sind aber die Bachstrecken *CF* und *HK*, Fig. 15, nicht lang

genug, damit sich die den jeweiligen, herrschenden Gefällen entsprechende Wassergeschwindigkeit wie in den vorbeschriebenen Fällen entwickeln kann, so rücken Vertiefung und Erhebung successive nach abwärts vor.

In einem solchen Falle stürzt das Wasser bei CD plötzlich in die lochartige Vertiefung $CDEF$ und beginnt an der Sohle derselben gegen EF hin zu wühlen. Das von AC herabgebrachte Geschiebe lagert sich allmählich bei $CDC'D'$ ab, wohingegen die untere Partie $EFE'F'$ der wühlenden Wirkung des mehr geschiebefreien Wassers nicht Stand zu halten vermag. Es bildet sich unterhalb F ein Uebergangsgefälle $E'F'$. Hat die nach abwärts vorschreitende Böschung $C'D'$ das Ende der Grube erreicht, so ist die Vertiefung $CDEF$ fast gänzlich verschwunden, die Sohle

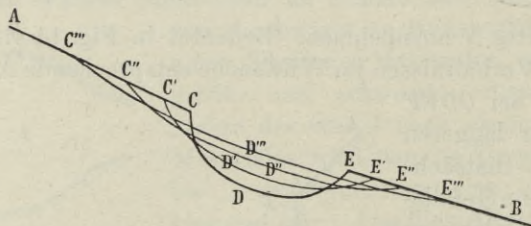


Fig. 16.

unterhalb F aber im langsamen Uebergange zum Ausgleichsgefälle vertieft.

Auf ähnliche Weise lässt sich das Abwärtsschreiten des Hügels $GHIK$, Fig. 15, erklären. Durch den Anprall der Wasser bei GH wird Material gehoben und dieses wieder in mehr ruhigem Wasser unterhalb IK deponirt. Im Vorwärtsschreiten tritt bei gleichzeitiger Verlängerung eine Erniedrigung des Hügels ein. Langsam erfolgt sonach auch hier in beiden Fällen, sowie bei dem Vorhandensein von Gefällsungleichheiten auf längeren Strecken, der Uebergang in das Ausgleichsgefälle.

Nachdem sich sonach die auf längeren Strecken vorhandenen Abweichungen vom Ausgleichsgefälle nach aufwärts, dagegen die auf kurzen Strecken vorhandenen nach abwärts bewegen, so muss es eine mittlere Grenze geben, bei welcher keinerlei Bewegung eintritt, d. h. bei welcher sich die Ungleichheit auf der Stelle auszugleichen sucht, was nur durch successive Verlängerung, Fig 16, erklärt werden kann,

Diese letzteren Verhältnisse wurden nur hervorgehoben, um die Tendenz des Wassers, das natürliche Gefälle, dessen Entwicklung durch irgend welche Verhältnisse gestört wurde wieder allmählich herzustellen, noch besser ersichtlich zu machen.

Je wechsellvoller die Verhältnisse im Bachlaufe sind, desto unregelmäßiger wird, wie dem Vorstehenden zu entnehmen, die Gestaltung des Längenprofils sein müssen, so zwar, dass insbesondere in Wildbächen von einer continuirlich verlaufenden Gefällcurve, deren Regelmäßigkeit übrigens nicht selten durch feste, die Sohlenvertiefung hindernde Umstände, durch das Vorhandensein von Felsbändern, Wehranlagen u. s. w. gestört wird, nicht die Rede sein kann.

Im Hinblick auf die Möglichkeit der Verhinderung der Sohlenerosion, der Schaffung einer eventuell nicht weiter zu versichern, natürlich verlaufenden Sohlenlinie in corrigirten Gerinnen, ist es von hohem Interesse, das den jeweiligen concreten Verhältnissen entsprechende Ausgleichsgefälle wenigstens annähernd beurtheilen zu können. Wenn sich auch die diesbezüglichen Untersuchungen, vielmehr aber noch die theoretischen Berechnungen, im Hinblick auf die vielfach in Rechnung zu ziehenden, unsicheren Factoren nicht auf eine ganz verlässliche Basis stützen können, so lassen sich doch für die allgemeine Beurtheilung des jeweiligen natürlichen Gefällswerthes bis zu einem gewissen Grade genügende Daten gewinnen.

Wie aus den Betrachtungen über die Sättigung des Wassers mit Geschiebe hervorgeht, erscheint die Unverletzbarkeit der Sohle in einem gewissen Punkte des Rinnsales dann garantirt, wenn in dem hiezu gehörigen Querprofile für die mittlere Wassergeschwindigkeit die Formel

$$v = \sqrt{\frac{\beta \cdot (d - \gamma) \cdot f \cdot b \cdot \cos \alpha}{\gamma}}$$

zutrifft.

Nachdem aber in dem angenommenen Querprofile auch die allgemeine Gleichung für die mittlere Geschwindigkeit des Wassers $v = e \sqrt{R \cdot J}$ bestehen muss und für J der Sinus des Neigungswinkel α gesetzt werden kann, vide die Ableitung der Formel 2, so ergibt sich

$$\sqrt{R \sin \alpha} = \sqrt{\frac{\beta (d - \gamma) f \cdot b \cdot \cos \alpha}{\gamma}}$$

oder

$$\operatorname{tang} \alpha = \frac{\beta \cdot (d - \gamma) \cdot f \cdot b}{\gamma \cdot c^2 \cdot R}$$

Wird für das Product $\beta \cdot f$ ein Coefficient σ eingeführt, so lässt sich obige Formel auch schreiben:

$$\operatorname{tang} \alpha = \frac{d - \gamma}{\gamma} \cdot \frac{b}{c^2 R} \cdot \sigma$$

Thiéry hat in dem Werke: „Restauration des Montagnes, Correction des torrents, reboisement“²⁹⁾, an dessen ausgezeichnete Ausführungen sich die vorstehenden und die folgenden Betrachtungen vielfach anlehnen, für das Product $100 \cdot \frac{\sigma}{\gamma}$ bei Annahme von $\beta = \frac{1}{0.076}$, vide Formel 8, $\gamma = 1000$ und $f = 0.76$, den Werth 1 gesetzt und kam so für die $\operatorname{tang} \alpha$ zu dem vereinfachten Ausdrücke

$$16) \quad \operatorname{tang} \alpha = \frac{d - 1000}{100} \cdot \frac{b}{c^2 R}$$

Nachdem der hydraulische Radius R auch durch das Product $m \cdot H$ ausgedrückt werden kann,¹²⁵⁾ wobei m einen vom Hoch-

125) Bei Annahme des Querprofiles von der Form des Dreiecks ist, Fig. 17,

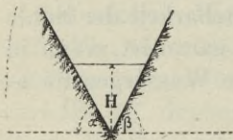


Fig. 17.

wobei

$$R = \frac{1}{2} H \frac{\cos \frac{\alpha + \beta}{2}}{\cos \frac{\alpha - \beta}{2}} = m H,$$

$$m = \frac{1}{2} \frac{\cos \frac{\alpha + \beta}{2}}{\cos \frac{\alpha - \beta}{2}}$$

gesetzt wird. Beim rechteckigen Profile von der Länge l ist

$R = H \cdot \frac{l}{l + 2H} = m H$. Der Factor $m = \frac{l}{l + 2H}$ ist von H allerdings nicht mehr ganz unabhängig. Bei großen Flüssen ist H im Verhältniss zu l sehr klein, daher $m =$ annähernd 1 gesetzt werden kann. Es wird dann $R = H$.

Im Falle des trapezförmigen Querprofiles mit den Böschungswinkeln α und $\beta = 45^\circ$ und der Sohlenweite l , wird $R = H \frac{l + H}{l + 2 \cdot 83H} = m H$, wobei der Factor m auch nicht mehr, entgegen dem Falle des Dreieckprofiles von H ganz unabhängig ist, was auch bei allen andern trapezförmigen Profilarten zutrifft,

wasserstande H in der Regel nur sehr wenig abhängigen, mehr die Form des Querprofils charakterisirenden Coefficienten, den sogenannten Coefficienten der Form darstellt, so lässt sich die Formel 16 auch schreiben:

$$17) \quad \text{tang } \alpha = \frac{d - 1000}{100} \cdot \frac{b}{c^2 m \cdot H}$$

Aus den drei letzten Formeln für die Tangente des Ausgleichsgefälles lassen sich die folgenden speciellen Erosionsgesetze aufstellen:

1. Je dichter, dann je länger, nach der auf die gestoßene Fläche senkrechten Richtung gemeint, das Geschiebe ist, aus welchem sich die Bachsohle zusammensetzt, desto geringer wird die Erosionswirkung sein, denn ein solches Materiale vermag sich bei sonst gleichbleibenden Verhältnissen unter einem relativ steileren Neigungswinkel im Rinnsale zu erhalten.

2. Je größer das spezifische Gewicht γ der Flüssigkeit ist, desto kleiner wird der Geschwindigkeitsfactor c , denn er nimmt mit der im Falle der Zunahme des spezifischen Gewichtes abnehmenden mittleren Geschwindigkeit nach Formel 4 ab. Klares Wasser wird sonach stärker erodiren, als mit Material belastetes, und mit der Zunahme der Belastung nimmt die Erosionsfähigkeit ab.

3. Je größer der Hochwasserstand H wird, desto kleiner wird das Ausgleichsgefälle und umgekehrt. Bei dem Uebergange aus einem engen in ein weites Profil nimmt der Hochwasserstand unter sonst gleichbleibenden Verhältnissen ab, das Ausgleichsgefälle muss sonach zunehmen, und umgekehrt wird sich im engen Profile die Erosion mehr geltend machen, als im weiten. Es steht dies im directen Zusammenhange mit den sich an die Figuren 8—13 knüpfenden Betrachtungen. Soll sonach das Geschiebe auf möglichst steilen Rinnsalen erhalten werden, so ist auf die Verminderung des Hochwasserstandes hinzuwirken, woraus auf analytischem Wege die Bedeutung der culturellen Maßnahmen im Rahmen einer systematischen Verbauung, namentlich die Bedeutung des Waldes im Hinblick auf dessen Retention erhellt.

Ueber einen Formcoefficienten vide auch: „Ueber den Begriff eines hydraulischen Momentes der Canalquerschnitte,“ von C. K. Aird in Würzburg. Zeitschrift für Architektur und Ingenieurwesen, Hannover 1900, Heft 4 u. 5.

4. Unter sonst gleichbleibenden Verhältnissen nimmt der Hochwasserstand nach abwärts hin infolge der Zunahme der Abflußmengen zu und die Größe b schon infolge der durch den Transport erfolgenden Abschleifung ab. Es muss sonach auch die Größe des Ausgleichsgefälles continuirlich nach abwärts hin abnehmen. Das normale Ausgleichsgefälle ist sonach, wie dies schon aus den diesbezüglichen allgemeinen Betrachtungen hervorging und nunmehr auch analytisch bewiesen ist, durch eine aufsteigende concave Linie charakterisirt.

Wenn in den abgeleiteten Formeln 16 und 17 die Größe b einen den localen Verhältnissen entsprechenden Minimalwerth annimmt, so nimmt auch die Tangente von α einen Minimalwerth an. Bei vollkommen reinem Wasser, unter Annahme $b=0$, wäre sonach erst dann jede Erosion ausgeschlossen, wenn die Sohle sich zum horizontalen Gleichgewichtsprofile entwickelt hätte.

Wenn die Wässer aus der in der Regel engen Schlucht ihres Unterlaufes in die Ebene gelangen und sich hier auszubreiten, die Ebene zu überfluten vermögen, so nimmt der Hochwasserstand H den kleinsten Werth an. Das Ausgleichsgefälle wird zu einem gewissen Maximum, d. h. das Geschiebe wird sich unter dem steilsten Böschungswinkel auf der Thalsohle erhalten. Das sich so entwickelnde Gefälle wurde von Breton¹²⁴⁾ als das sogenannte „Ueberfluthungsgefälle“, „pente de divagation“ bezeichnet. Letzteres und das Gleichgewichtsprofil bilden sonach die beiden Extreme des Ausgleichsgefälles.

Der Ausdruck für das Ausgleichsgefälle, Formel 17, ist nicht danach angethan, die Berechnung desselben in einzelnen praktischen Fällen auf leichte Weise zu ermöglichen. Der um den Wasserbau in Italien verdiente Ingenieur Carlo Valentini¹²⁶⁾ hat für die bedeutenderen italienischen Flüsse die Ausgleichsgefälle oder Compensationsprofile, „profili di compensazione“ angegeben und in einer zweiten Arbeit¹²⁷⁾ für dieses Profil unter gewissen Voraussetzungen einen anderen Ausdruck aufgestellt. Die diesbezüglichen, streng wissenschaftlich gehaltenen Ausführ-

126) „Della sistemazione dei Fiumi.“ Studio di Carlo Valentini, ingegnere del genio civile. Milano 1893.

127) „Del modo di determinare il profilo compensazione e sua importanza nelle sistemazioni idrauliche“, di Carlo Valentini, „Politecnico“, 1895.

rungen finden mit den Worten von Gravelius¹²⁸⁾ die beste Beurteilung, deren Wiedergabe daher gestattet sein mag.

Valentini macht in seiner Arbeit die Annahme, dass das Geschiebe würfelförmige Gestalt habe. Diese Voraussetzung dürfte insoweit zulässig sein, als nicht sorgfältige Beobachtungen etwa darauf hinweisen, dass das Geschiebe sich vorzugsweise nach einer seiner drei im allgemeinen ungleichen Achsen einstellt. Die numerische Bestimmung der Größe b in Formel 16 — Valentini und Gravelius gebrauchen den Buchstaben a — im gegebenen Falle geschieht dann in folgender Weise: Es wird das Volumen einer gegebenen, von Sand und Erde befreiten Geschiebemenge im natürlichen Zustande, ferner das Volumen Wasser bestimmt, welches zur Sättigung dieser Geschiebemenge erforderlich ist; die Differenz beider ist das reine Geschiebevolumen V . Nachdem durch Auszählung des Geschiebes die Zahl n gefunden wurde, so ergibt sich

$$b^3 = \frac{V}{n}.$$

Diese Bestimmungsweise ist aber nur auf kleineres Geschiebe beschränkt. In der That variirt auch b für die Versuchsprofile der Adda nach Valentini zwischen 0.007 und 0.046 m.

Wird das Geschiebe größer, so ist die numerische Bestimmung des Gesamtvolumens V mit Hilfe eines Messkastens nicht mehr auszuführen und es muss b direct als Mittelwerth einer großen Menge von Einzelmessungen gewonnen werden. Diese letztere Methode hat Valentini denn auch an den von ihm untersuchten 74 Gebirgswässern (torrenti) des Addagebietes angewendet. Valentini schreibt nun die Formel 16

$$\text{tang } \alpha = \frac{d - 1000}{100} \cdot \frac{b}{e^2 R}$$

in der folgenden Form:

$$18) \quad \text{tang } \alpha = C \frac{a}{r},$$

wobei $a = b$ und $r = R$ sind.

Er ermittelte nun aus der Reihe von Gleichungen, welche den simultanen Werthen α , a , r , entsprechen, den Coefficienten C nach

128) „Das Compensationsprofil“ von Dr. H. Gravelius, Zeitschrift für Gewässerkunde. 2. Heft 1899.

der Methode der kleinsten Quadrate, wobei eine Trennung der am Addaflusse und an den Gebirgswässern gewonnenen Beobachtungen eintritt. Er gelangte zu den folgenden Resultaten: Compensationsprofil für Flüsse:

$$19) \quad \tan \alpha = 0,871 \frac{a}{r},$$

Compensationsprofil für Gebirgswässer:

$$20) \quad \tan \alpha = 0,093 \frac{a}{r}.$$

Die von Gravelius durchgeführten Fehlerbestimmungen ergeben für Flüsse:

$$21) \quad \tan \alpha = 0,871 \frac{a}{r} (1 \pm 0,108),$$

für Gebirgswässer

$$22) \quad \tan \alpha = 0,093 \frac{a}{r} (1 \pm 0,106).$$

Das Compensationsprofil ist in beiden Fällen mit einem mittleren Fehler von 11 % bestimmt. Dieser Fehler ist bei dem großen Gefälle der Gebirgsflüsse nicht zu unterschätzen, und auf die schwierige Bestimmung des Mittelwerthes von a , bzw. b zurückzuführen. Valentini ist bei den Gebirgswässern bis zu den Werthen von $\tan \alpha = 0,4266$ gegangen (Val Malera), was einem Werthe $\alpha = 23^{\circ}$ entspricht.

Zum Zwecke der Bestimmung des Compensationsgefälles in praktischen Fällen schlägt Thiéry²⁹⁾ den folgenden Weg ein: Ist in einem geschlossenen Profile, d. i. in einem Profile, welches sich sichtlich durch lange Zeit nicht geändert hat, das herrschende Gefälle als das Compensationsgefälle anzusehen und wird weiters angenommen, es ändern sich auf einer gewissen Bachstrecke die Größen d , b und c in Formel 17 nicht, so ist, wenn

$$\frac{d - 1000}{100} \cdot \frac{b}{c^2} = A$$

gesetzt wird,

$$\tan \alpha = \frac{A}{R}.$$

Für jedes andere Querprofil dieser Strecke wird

$$\tan \alpha_1 = \frac{A}{R_1} \quad \text{oder} \quad \frac{\tan \alpha}{\tan \alpha_1} = \frac{R_1}{R}.$$

Diese Formel kann aber nur dann bestehen, wenn die mittleren Geschwindigkeiten in den zwei betrachteten Querprofilen einander gleich sind, denn wäre dies nicht der Fall, so könnte, da

$$\frac{J}{J_1} = \frac{\text{tang } \alpha}{\text{tang } \alpha_1}$$

zu setzen ist,

$\frac{\text{tang } \alpha}{\text{tang } \alpha_1}$ nicht gleich $\frac{R_1}{R}$ oder $c\sqrt{RJ} = v$ nicht gleich $c\sqrt{RJ_1} = v_1$ sein.

Da also v und v_1 gleich zu setzen sind, so werden auch

$$\frac{Q}{F} = \frac{Q_1}{F_1} \quad \text{oder} \quad \frac{F_1}{F} = \frac{Q_1}{Q} \quad \text{und} \quad \frac{R_1}{R} = \frac{Q_1}{Q} \cdot \frac{C}{C_1}$$

zu setzen sein, wobei F und F_1 die benetzten Profilsflächen, C und C_1 die benetzten Profilsanfänge, Q und Q_1 die Abflussmengen bedeuten.

Es wird deshalb

$$23) \quad \frac{\text{tang } \alpha}{\text{tang } \alpha_1} = \frac{Q_1}{Q} \cdot \frac{C}{C_1}$$

Sind in der betrachteten Strecke die Abflussmengen als gleichbleibend anzunehmen, so wird

$$24) \quad \frac{\text{tang } \alpha}{\text{tang } \alpha_1} = \frac{C}{C_1}$$

sind diese veränderlich, dagegen die Profilsverhältnisse gleich, so wird

$$25) \quad \frac{\text{tang } \alpha}{\text{tang } \alpha_1} = \frac{Q_1}{Q}$$

Auf diese Weise kann aus der Beobachtung eines vorhandenen Ausgleichsgefälles auf dessen Größe unter andern Profils- und Wasserabflussverhältnissen wenigstens annähernd geschlossen werden.

Aus der letzten Formel ist übrigens zu sehen, dass mit der Zunahme von Q das Compensationsgefälle abnehmen muss, dass es sich sonach, wie dies schon aus andern Betrachtungen erhellt, nach abwärts zu verflacht.

Aus der Formel 24 ergibt sich die Abnahme des Compensationsprofils mit der Abnahme des benetzten Umfanges, und hieraus erklärt sich neuerdings der Verlauf der Gefällscurve nach Fig. 13, denn mit der Verengung des Querprofils nimmt dessen benetzter Umfang ab und umgekehrt.

Die Abnahme des specifischen Gewichtes der transportirenden Flüssigkeit bedingt die Abnahme des Compensationsprofils,

woraus sich, worauf seiner Zeit zurückgekommen wird, die Unterwaschung von Einbauten in den Gerinnen, namentlich von Querwerken, erklären lässt, wenn infolge von getroffenen Maßnahmen oder wie immer veranlasst, die Geschiebeführung im betrachteten Gewässer durch kürzere und längere Zeit abnimmt.

Die bisherigen Ausführungen hatten immer die Entwicklung des natürlichen Längenprofils als Folge der materialauscheidenden Wasserthätigkeit vor Augen, des Längenprofils, welches, von in den örtlichen Verhältnissen begründeten Störungen, Gefällsbrüchen abgesehen, durch eine continuirlich verlaufende, aufsteigende, nach oben zu concave Curve gekennzeichnet ist.

In den Gebirgsbächen ist aber nicht selten die im ersten Abschnitte besprochene Erscheinung des Murganges zu beobachten, welche Erscheinung den natürlichen Process des „Einzeltransportes“ stört und den „Massentransport“ veranlasst.

Wenn infolge außerordentlicher Ereignisse, infolge von Bergstürzen, Terrainbrüchen u. dgl., grosse Massen Geschiebes plötzlich in das Bachbett gelangen, so vermag das Wasser diese vorerst nicht zu bewegen. Vermöge der nach und nach eintretenden Durchfeuchtung tritt aber endlich ein Moment ein, wo sich die Massen, geschoben durch das bergseits gestaute Wasser, langsam in Bewegung setzen.

Wie eine geschlossene Phalanx rückt der Murgang, in welchem die Masse des Geschiebes jene des Wassers oft weit überwiegt, und in welchem die Steine vorerst im bunten Durcheinander hart neben einander liegend und sich berührend, mit Schlamm vermengt fortgeschoben werden, langsam gleichmäßig heran, alles mit sich reißend, was sich seinem Thalgange entgegenstellt. In dieser außerordentlich tragfähigen, weil specifisch schweren Masse findet aber bald eine Materialsortirung in der Weise statt, dass das größte Geschiebe vermöge der erhöhten lebendigen Kraft vorwärts zu eilen trachtet. Die Geschiebmassen des Murganges lösen sich so zu sagen langsam aus ihrem innigen Contact und sortiren sich in einer dem Einzeltransporte entgegengesetzten Weise.

Das gröbste Material ist nunmehr voraneilend, am nächsten der Sohle, das feinste zurückbleibend und in der Strömung hoch oben zu finden, und es muss im Falle der Deponirung, gerade entgegengesetzt wie bei Vorherrschen des Einzeltransportes, das grobe Material zu unterst, das feine zu oberst zu liegen kommen.

Wenn infolge dieser Materialdeponirung das Wasser wieder

die Oberhand über das Geschiebe erhält, so beginnt seine natürliche Thätigkeit von Neuem. Es wird zunächst bestrebt sein, das an der Spitze der Ablagerung, d. i. zu oberst vorhandene feinste Materiale zu heben und es thalabwärts zu führen. Der Reihe nach kommen dann, sollte die Stoßkraft ausreichen, die weiteren Geschiebe an die Reihe, und vielleicht vermag das Wasser mit dem größten, am Fuße der Ablagerung vorhandenen nicht mehr zu rühren. Die Geschiebe sind in einem Momente des so gedachten Transportes wieder in der natürlichen Reihenfolge zu finden und werden sich im Falle der Materialdeponirung nach dem natürlichen, dem Einzeltransporte entsprechenden Gesetze lagern.

Ein Massentransport ist übrigens, wie dies im 1. Abschnitte gelegentlich der Besprechung des Murganges bemerkt wurde, auch dann denkbar, wenn das Gefälle des Wassers hinreichend groß ist und das Wasser in das vorhandene, tiefe Schotterfeld einzudringen vermag. Der Vorgang findet dann, weil mitunter tief in der Bachsohle und unter dem Wasserspiegel vor sich gehend, nicht sichtlich statt. Auch können in diesem Falle ober dem Sohlenniveau der Einzel-, unter dem Sohlenniveau aber der Massentransport gleichzeitig stattfinden.

Es ist ganz begreiflich, dass sich für die Gesetze des Massentransportes, welchem vielleicht auch in manchen Fällen eine wellenförmige Bewegung zugrunde liegen mag, allgemein giltige Gesetze nicht aufstellen lassen.

In den einzelnen Fällen wird die Beobachtung für das Phänomen und seine Wirkung den nöthigen Aufschluss geben und damit die Möglichkeit bieten, auf analoge Fälle schließen zu können. Und damit wird man sich in der Regel begnügen müssen.

Der Einfluss der Wasserführung auf die Veränderungen in den Querprofilen.

Es hat für den vorliegenden Zweck wohl weniger Bedeutung, die Entwicklung der Querprofile und die Bewegung der Kiesbänke des näheren zu erklären. Es ist das ein Gegenstand, welcher für die Flussregulirung von großer, für die Wildbachverbauung jedoch von mehr untergeordneter Bedeutung ist. Es wird übrigens auf

die diesbezüglichen Ausführungen der Publicationen ¹²⁹⁾ und ¹³⁰⁾ verwiesen.

Von weit größerer Bedeutung dagegen ist der Einfluss der Wasserführung auf die Veränderungen in den Querprofilen.

Die Annahme liegt nahe, dass sich die größten Veränderungen im Bachbette während der Dauer der höchsten Wasserstände vollziehen, zu welcher Zeit auch die größte Geschiebeführung gedacht werden könnte.

Beide Annahmen sind jedoch, wie in folgendem bewiesen werden soll, nicht ganz zutreffend.

Während der Dauer der Niederwässer werden der Bachsohle nach und nach die wenigst widerstandsfähigen Steine entnommen, und es bleibt nur jenes größere Geschiebe zurück, mit welchem das Niederwasser nicht zu rühren vermag.

Durch diesen Sortirungsprocess wird die Bachsohle in gewissem Sinne befestigt und tritt in einen Beharrungszustand, der umso größer ist, je länger die Niederwässer anhalten. Würde ein Blick unter die Oberfläche der so scheinbar widerstandsfähigen Bachsohle geworfen werden können, so würden sich Geschiebe von geringeren Dimensionen, ja selbst ganz leichter Schotter und Sand zeigen.

Im Falle des zumeist ganz plötzlichen Eintretens des Hochwassers wird der obgedachte Beharrungszustand gestört, und es setzt sich nicht allein die widerstandsfähige, grobe Sohlenbekleidung, sondern auch theilweise das darunter befindliche, geringere Material mit ungleicher Geschwindigkeit in Bewegung; die Geschiebeführung ist jetzt eine allerdings wesentlich gesteigerte, doch ist diese Steigerung vorläufig nur auf die Entnahme des Sohlenmaterials zurückzuführen.

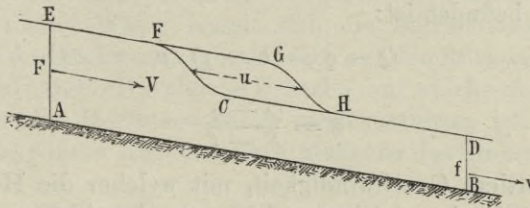
Während der Dauer des höchsten Wasserstandes bleibt die Richtung des Stromstriches vorwiegend unverändert, die Strömung schließt sich mehr den bestehenden Ufern an, und es ist in der Regel ein wesentlicher Angriff der Uferwandungen noch nicht erkennbar. In jenem Momente aber, in welchem das Hochwasser zu sinken beginnt, tritt eine, und zwar die Ablagerung des schwersten,

129) „Der Wasserbau an Gebirgsflüssen“, von Josef Freiherrn von Gumpenberg-Pöttmes, Augsburg 1860.

130) „Der Flussbau“, bearbeitet von Fr. Kreuter, H. Garbe und A. Koch. Handbuch der Ingenieurwissenschaften. 3. Band. Der Wasserbau. 3. Auflage. Leipzig 1897.

größten Geschiebes ein; das immer noch bedeutende Hochwasser ist veranlasst zu serpentiniren, in Folge dessen auch die Böschungen anzugreifen, und es wird nun eine ganz außerordentliche, die Ablagerung oft weit überwiegende Vermehrung der Sinkstoffführung, die aber jetzt zum größten Theile auf die Entnahme des Ufermaterials zurückzuführen ist, bemerkbar. Das ist in der Regel auch der Zeitpunkt, in welchem die größte Materialführung und die größten Veränderungen im Bachbette zu bemerken sind.

Es kann so behauptet werden, das Wasser serpentinire bei Niederwasser allerdings am meisten, schade aber am wenigsten. Bei höchstem Wasserstande serpentinire es nahezu nicht, und

Fig. 18. \square

zwischen den beiden Wasserständen, Nieder- und Hochwasser, bestehe ein Wasserstand, bei welchem die größte Materialführung und der größte Böschungsangriff, die größte Corrosion stattfinden müssen. Dieser gewisse Wasserstand müsste naturgemäß zweimal, beim Steigen und beim Fallen des Wassers, erreicht werden. Doch soll es Aufgabe der folgenden Betrachtung sein, zu beweisen, dass der im Falle des Steigens des Hochwassers sich ergebende gewisse Wasserstand der bei weitem ungefährlichere ist, dass sich vielmehr, wie schon früher behauptet, die größten Veränderungen bei größter Sinkstoffführung während des Fallens des Hochwassers ergeben müssen. Ist in Fig. 18 $ABDE$ eine betrachtete Section des Wasserlaufes und CD der Niederwasserspiegel, und seien die diesem Wasserstande entsprechenden Größen, und zwar die benetzte Fläche, die mittlere Wassergeschwindigkeit und sekundliche Wasserabflussmenge der Reihe nach mit f , v und q bezeichnet, so ist bekanntlich

$$q = f \cdot v.$$

Wenn in einem gedachten Momente das Querprofil in A vom ankommenden Hochwasser durchströmt wird, so gehen die Größen

f , v und q in F , V und Q über, und es besteht dann das Verhältniss

$$Q = F \cdot V.$$

In einer Sekunde gedacht, hat die Wassermasse zwischen den Profilen AE und BD und zwar bei A um Q zugenommen, bei B um q abgenommen. Der Zuwachs beträgt somit die Differenz $Q - q$. Zu gleicher Zeit hat sich die Hochwasserwelle FC im Mittel um ein gewisses Stück u nach GH vorwärts bewegt.

Dieses Stück u stellt sonach die mittlere Geschwindigkeit dar, mit welcher sich die Hochwasserwelle im gedachten Augenblicke vorwärts bewegte.

Die Wassermasse, welche sich zwischen den Hochwasserwellen FC und GH befindet ist:

$$Q - q = (F - f) \cdot u$$

oder

$$u = \frac{Q - q}{F - f}$$

d. h. die mittlere Geschwindigkeit, mit welcher die Hochwasserwelle heranrückt, ist gleich der Differenz der Abflussmengen getheilt durch die Differenz der benetzten Flächen in den beiden Querprofilen AE und BD .

Bei Einführung der vorstehenden Größen für q und Q folgt:

$$u = \frac{F \cdot V - f \cdot v}{F - f}$$

oder

$$u = v + \frac{F(V - v)}{F - f}$$

Bei Betrachtung dieser Ausdrücke und Bildung der Differenzen von $V - v$ und $F - f$ im Falle des Steigens des Hochwassers, kann behauptet werden, es müssen diese letzteren insolange positiv sein und daher auch insolange zur Vergrößerung von v beitragen, insolange mit der zunehmenden Fläche des benetzten Querprofiles auch die mittlere Geschwindigkeit zunimmt. Das ist unter allen Umständen dann der Fall, wenn das Hochwasser im geschlossenen Profile zusammengedrängt bleibt, denn mit der Fläche nimmt dann auch die Wassertiefe und mit ihr die mittlere Geschwindigkeit zu. In diesem Falle ist sonach die Geschwindigkeit der Basis der Hochwasserquelle, nur etwas größer als die mittlere Geschwindigkeit des Niederwassers und

die Geschwindigkeit der Spitze der Hochwasserwelle größer als die mittlere Geschwindigkeit des gesammten Hochwassers.

Beobachtungen, welche vielleicht zu dem Gegentheile führen, sind dem Umstande zuzuschreiben, dass zwischen den beiden Beobachtungsstationen *A* und *B* eine Ueberfluthung des Geländes eingetreten ist, dass also eventuell bei Zunahme der benetzten Fläche eine Abnahme der Wassertiefe und mittleren Geschwindigkeit zu constatiren wäre.

Je größer das Hochwasser wird, desto größer ist die Differenz zwischen den Geschwindigkeiten der Basis und der Spitze der Hochwasserwelle, woraus folgt, dass sich der Kopf *GH* der Welle stets zu verkürzen, d. h. steiler zu gestalten trachtet.

In ähnlicher Weise lassen sich die Betrachtungen auch auf das Sinken des Hochwassers, bezw. auch auf den Rücken der Wasserwelle durchführen. Die gleiche Ursache, auf welche die Verkürzung des Kopfes der Hochwasserwelle zurückzuführen ist, bedingt die Verlängerung ihres Rückens, nach Maßgabe des Sinkens des Hochwassers.

Wenn z. B. das Hochwasser zum Steigen eine Stunde bedarf, so kann sein Fallen 5—6 Stunden in Anspruch nehmen. Wenn die Culmination des Hochwasserstandes und der damit verbundenen Erosion z. B. einige Minuten währte, so kann ein Ablauf der Wasser durch Stunden andauern.

Die Verkürzung des Hochwasserkopfes bei herankommendem Hochwasser einerseits, die Verlängerung des Hochwasserrückens beim abfließenden Hochwasser andererseits liefern den Beweis für die Thatsache, dass die Hochwässer viel schneller herankommen, als sie abfließen, und daraus ist wieder zu erkennen, dass das herankommende Hochwasser eine oder mehrere der Corrosion vielleicht sehr unterworfenen Uferstellen viel rascher überströmt, als sie das abfließende Hochwasser zu verlassen vermag.

Dieses letztere wird daher schon aus diesem Grunde, ganz abgesehen von der im Eingang berührten, im Falle des Sinkens des Hochwassers eingetretenen Materialablagerung, wesentlich zu corrodiren im Stande sein.

Es unterliegt also gar keinem Zweifel, dass die größte Materialführung und die größte Corrosion, sonach auch die größten Veränderungen in den Querprofilen mit dem Sinken des Hochwassers, welch' letzteres ungleich langsamer als das Steigen vor sich geht, zusammen fallen, dass somit der durch die länger andauernden

Niederwässer geschaffene Beharrungszustand wohl durch das herankommende Hochwasser überrascht, aber erst durch das abfließende Hochwasser wesentlich gestört werden kann.

Die Bildung der Schuttkegel.

Bekanntlich bilden sich überall dort, wo das Wasser Gelegenheit findet, das von ihm geführte Geschiebe unbehindert abzusetzen, also unter den hierfür günstigen Quer- und Längsprofilen

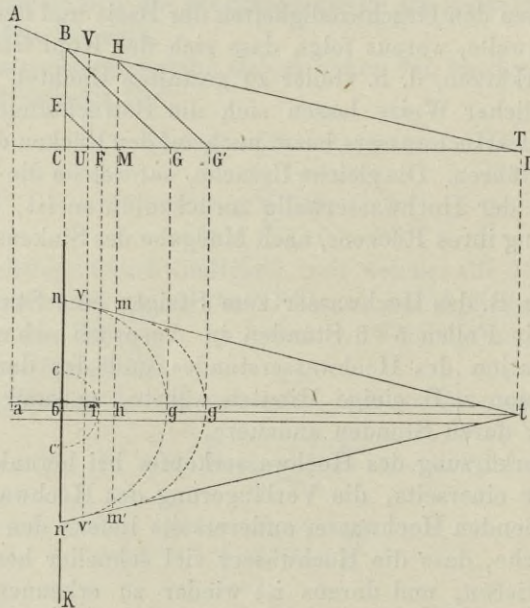


Fig. 19.

verhältnissen anscheinend kegelförmige Gebilde, die man gewöhnt ist als „Schuttkegel“ zu bezeichnen.

Abwärts des Schuttkegels ist, wenn überhaupt noch von einem eigentlichen Laufegesprochen werden kann, der Wildbach annähernd von Geschiebe frei und schlängelt sich nicht selten unter geringen Gefällswerthen als harmloses Bächlein dem Hauptgewässer zu.

Es ist Verdienst der neueren französischen Literatur, die Art und Weise der Bildung der Schuttkegel mit den Gesetzen der Geschiebebewegung in den richtigen Zusammenhang gebracht und erklärt zu haben.

Angenommen, es sei in Fig. 19, Seite 200, AB der in der Regel vor dem Austritt in das Hauptthal eine enge Schlucht durchheilende Bachlauf, und es sei das mit Geschiebe belastete Wasser gezwungen, bei B über die verticale Wand BC in die vorerst horizontal gedachte Thalebene CD hinabzustürzen. In dieser letzteren vermag sich das Wasser nach allen Richtungen auszubreiten, der Wasserstand sinkt auf seinen geringsten Werth herab. Das Wasser vermag das in B getragene Geschiebe nicht mehr weiterzuführen und lagert es unter dem möglichst größten Gefälle, dem sogenannten „Ueberfluthungsgefälle“, vide Seite 190, in der Thalebene ab.

Es bildet sich zunächst um den Punkt C , beziehungsweise im Grundrisse um den Punkt b ein kleiner Halbkegel CEF mit der Spitze in E , dessen Erzeugenden alle unter dem Ueberfluthungsgefälle zur Thalebene geneigt sind. Dieser erste Process ist ganz ähnlich jenem, wie er sich in einer Sanduhr abspielt. Bei fortgesetzter Materialführung nimmt der bezeichnete Halbkegel an Größe zu und seine Spitze steigt allmählich gegen B hinauf. So tritt ein Moment ein, in welchem die Spitze gerade den Punkt B erreicht, und es ist dann der Halbkegel im Aufrisse durch das Dreieck BCG gegeben. Im Grundrisse erscheint dieser Halbkegel durch den Halbkreis ngn' und die Gerade nn' begrenzt. Hat sich der Halbkegel bis zu dem Punkte B erhoben, so ist der erste Abschnitt in der Entwicklung des Schuttkegels abgeschlossen. Ist die Schotterführung nicht continuirlich und nicht gleichmäßig, so können die einzelnen kleinen, sich successive im Verlaufe dieses ersten Entwicklungsabschnittes bildenden Halbkegel mancherlei Umformung, insbesondere durch Erosion erleiden, allein das schließliche Ergebniss wird doch immer das annähernd gleiche sein.

Das Bestreben des Halbkegels einerseits, sich über den Punkt B hinaus zu entwickeln, und die Kraft des bei B ankommenden Wassers und Geschiebes andererseits, veranlassen vorerst eine Geschiebeanhäufung bei B , bald aber durch seitliches Verwerfen des den Wasserlauf hindernden Geschiebes die Entwicklung eines durch zwei Geschiebehöcker begrenzten Rinnsales, in welchem das Wasser vorwärts zu eilen und das weiter herablangende Geschiebe weiter zu führen trachtet.

Es macht sich abwärts des Punktes B ein langsames Verschieben der Geschiebebildung nach H hin bemerkbar, wobei die

Neigung der Linie BH , entsprechend dem Bestreben des Wassers, das natürliche Gefälle, das „Ausgleichsprofil“ zu entwickeln, diesem Gefällswerth gleichkommt. Gleichzeitig bringt die beiderseitige Ueberfluthung des Rinnsales, der Absturz des Wassers über die Erzeugenden des Halbkegels des ersten Entwicklungsabschnittes, die Bildung des Ueberfluthungsgefälles am Geschiebegebilde links und rechts von BH mit sich. In Fortsetzung dieser Entwicklung schiebt sich das Gebilde stetig bis T hin fort.

Im Grundrisse werden die einzelnen, sich stets am Kopfe des Gebildes und in der Thalebene ergebenden Abgrenzungen durch

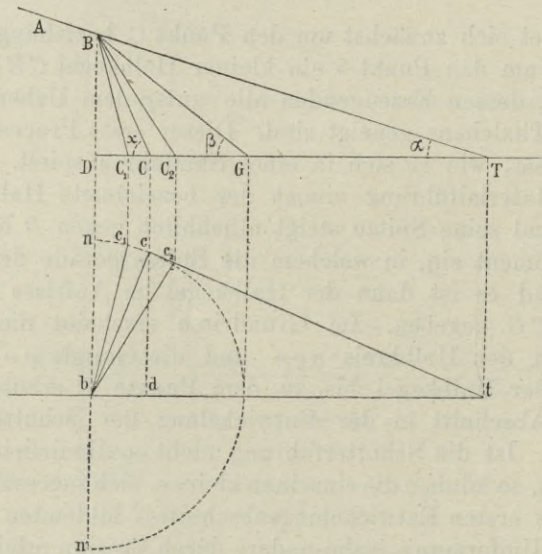


Fig. 20.

den mit dem Mittelpunkte b — soweit es die Lage HG^1 betrifft — gezogenen Halbkreis $mm'g^1$ und die Geraden mn und m^1n^1 ersichtlich gemacht werden können.

Hat sich die Ablagerung bis zu dem Punkte T vorgeschoben, so ist der zweite Abschnitt im Entwicklungsgange abgeschlossen. Im Aufrisse ist dann das Gebilde durch das Dreieck BCT gegeben; im Grundrisse ist es durch die Figur nn^1t gekennzeichnet. Seine Form ist im großen ganzen als die einer dreiseitigen Pyramide anzusehen, deren Basis in der verticalen Ebene BC und deren eine Seite in der Thalebene CD gelegen sind. Die beiden anderen,

unter dem Ueberfluthungsgefälle zur Thalebene geneigten Seitenflächen schneiden sich in der Linie BT , welche für sich zur Thalebene unter dem Ausgleichsgefälle geneigt ist; die Verschneidungslinie BT ist durch ein schmales Rinnsal gebildet.

Die vorbeschriebene und noch nicht vollständig abgeschlossene Entwicklung des Schuttkegels vollzieht sich in ganz ähnlicher Weise, wenn die Ebene BC des Absturzes, Fig. 20, Seite 202, nicht vertical, sondern unter dem Winkel x zur Thalebene geneigt sein sollte.

Die erste Phase ist bis zur Entwicklung des Kegelabschnittes, nun nicht mehr Halbkegels BCG , zu zählen, und die zweite Phase ist mit der Bildung der Ablagerung BCT , im Grundrisse zur Hälfte bet abgeschlossen. Zu bemerken ist hiebei nur der Umstand, dass die Größe der Neigung der Absturzebene BC , beziehungsweise die Lage der Verschneidungslinie bc im Grundrisse, auf die genaue Ausformung des Gebildes einen gewissen Einfluss ausübt, was aus der folgenden Betrachtung hervorgeht.

Ist tc die Tangente zu bc , so folgt:

$$bc^2 = bd \cdot bt$$

oder

$$DG^2 = DC \cdot DT$$

$$\frac{BD^2}{\tan^2 \beta} = \frac{BD}{\tan x} \cdot \frac{BD}{\tan \alpha} =$$

$$= \frac{BD^2}{\tan x \cdot \tan \alpha}$$

oder

$$\tan x = \frac{\tan^2 \beta}{\tan \alpha},$$

wobei β das Ueberfluthungs- und α das Compensationsgerälle darstellen.

Trifft dieses Verhältniss zu, so ist das Gebilde, nach Abschluss der zweiten Phase, als Pyramide anzusehen. Nimmt der Winkel x zu, so geht die Pyramide nahe an der Absturzebene beiderseits in je ein conisches Stück, im Grundrisse bce_1 , über; nimmt dagegen der Winkel x ab, so vermindert sich die Pyramide beiderseits je um ein conisches Stück, im Grundrisse bce_2 .

Die vorbeschriebene Schuttkegelentwicklung vollzieht sich übrigens in ähnlicher Weise auch dann, wenn Berg und Thal nicht

durch eine verticale oder schiefe Ebene BC , sondern durch eine wie immer beschaffene Fläche von einander getrennt sind. In ähnlicher Weise geht auch die Entwicklung vor sich, wenn die Thalebene nicht horizontal, sondern geneigt, oder sonst wie beschaffen sein sollte.

Mit dieser vorbeschriebenen Entwicklung ist aber in keinem Falle der Schuttkegel natürlich abgeschlossen.

Das am Kamme AD des Gebildes Fig. 21, vorhandene Rinnthal hat naturgemäß nur geringe Tiefe, und muss sich, da das Gestein momentan über den Punkt D hinaus nicht transportirt werden kann, bei weiter fortgesetzter Materialführung vom Punkte D an langsam nach aufwärts hin zu füllen suchen.

Die unmittelbare Folge des Ausfüllens des Rinnsales ist das Ueberströmen des bisherigen Gebildes nach links und rechts über die Flanken und die Bildung der Pyramiden MNN , $M'N'N'$ u. s. f. deren Form, da die Entwicklungsgesetze die gleichen sind, ganz ähnlich ist jener der großen Pyramide BCD .

Die Größe dieser einzelnen Pyramiden hängt von der Höhe der auf der Kante AD gelegenen Punkte M , M' u. s. f. ab; die Linien

MN , $M'N'$ u. s. w. sind unter dem Ausgleichsgefälle zur Thalebene geneigt.

So reihen sich von unten hinauf eine Pyramide an die andere an, bis das Gebilde im Grundrisse die Form $B'C'D$ angenommen hat. Die Punkte $N'N'$ u. s. w. liegen, falls die Thalebene horizontal ist, in je einer geraden Linie. Da die Thalebene aber in der Regel nach dem Hange zu ansteigt, so werden

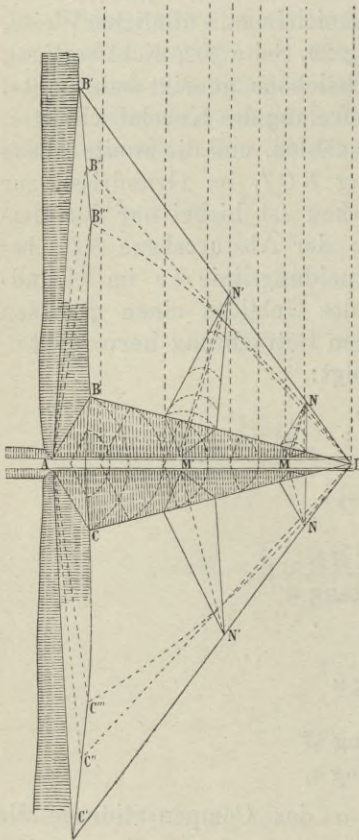


Fig. 21.

sich die Stücke MN , $M'N'$ u. s. w. nicht im gleichen Verhältnisse verlängern, und die Verschneidungslinie, die übrigens um den Punkt D herum eine kleine Rundung aufweisen wird, kann sich nach mehr oder minder gekrümmten Linie DC'' , DC''' u. s. w. entwickeln. Auf diese Weise ergibt sich die scheinbar kegelförmige Ablagerung $ABCD$, in Fig. 22, auf welcher die Wässer allerorts das gleiche Gefälle, das Ausgleichgefälle, antreffen. Je gröber das vom Wildbache geführte Material ist, desto steiler entwickelt sich das Gebilde. Wird es bei fortgesetzter Materialführung, seiner Form entsprechend, vom Wasser gleichmäßig überfluthet, so nimmt es gleichmäßig an Größe zu, wobei sich dessen Spitze bei A stetig in das Innere des Baches vorschiebt.

Aus dem beschriebenen Entwicklungsgange der Schuttkegel geht hervor, dass sich das Cultur-
gelände zu beiden Seiten, und zwar während der Dauer der beiden ersten Phasen, einer gewissen Sicherheit erfreut, obwohl schon bei dem Eintreten geringer Unregelmäßigkeiten seitliche Bachausbrüche eintreten können.

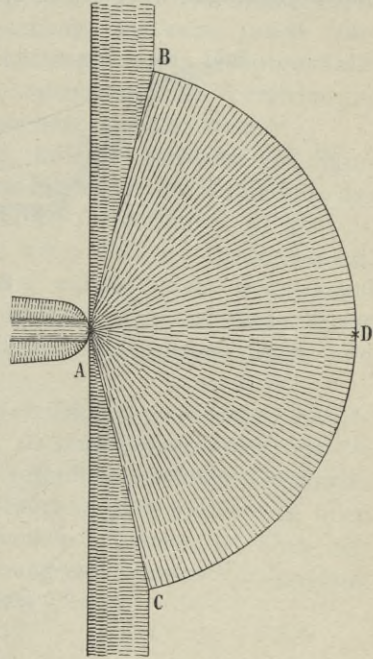


Fig. 22.

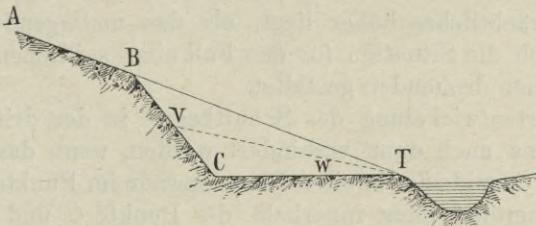


Fig. 23.

Diese letzteren suchen die Anrainer nicht selten durch die Herstellung von Uferschutzbauten zu beiden Seiten des Rinn-

sales zu verhindern, wodurch sie aber gleichzeitig die vollständige Entwicklung des Kegels nach der dritten Phase unmöglich machen.

In Folge der weiteren Materialführung muss dieser Staurücken immer mächtiger werden; er schiebt sich immer mehr in das In-

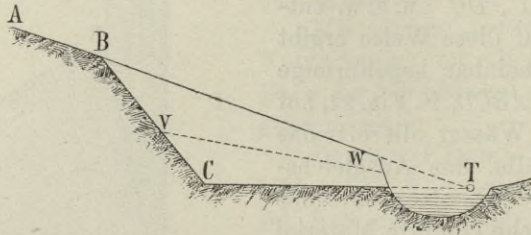


Fig. 24.

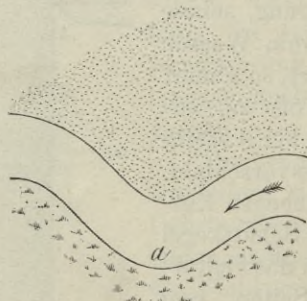


Fig. 25.

neren des Baches vor, die Sohle wird immer höher und höher und die Nothwendigkeit der Erhöhung der beiderseitigen Schutzbauten immer dringender. So kommt es, dass das Rinnsal am Staurücken oft um beträchtliches höher liegt, als das umliegende Gelände, und dass sich die Situation für den Fall eines seitlichen Bachausbruches immer drohender gestaltet.

Die Fortentwicklung des Schuttkegels in der dritten Phase kann übrigens auch dann verhindert werden, wenn das Hauptgewässer die Pyramide der zweiten Phase gerade im Punkte *T*, Fig. 23, Seite 205, berührt oder innerhalb der Punkte *C* und *T* Fig. 24, unterbricht und Kraft genug hat, alles von oben kommende Geschiebe fortzuführen. Wenn übrigens in diesen Fällen die weitere Materialführung, beispielsweise in Folge durchgeführter Verbauung oder spontan abnimmt, so wird sich das Rinnsal am Staurücken nach

dem geringeren Gefälle VW ausbilden können, der Bach schneidet sich nach und nach in seinem eigenen Schuttkegel ein. Diese Erscheinung bringt eine größere Sicherheit der Flanken, gleichzeitig aber auch eine große Unsicherheit der etwa vorhandenen Uferschutzbauten durch Unterwaschung, zeitweise auch eine größere Materialabfuhr aus dem Schuttkegel in das Hauptgewässer mit sich, was mitunter bedenklich werden und die Versicherung des Rinnsales am Staurücken nothwendig machen kann.

Wenn aber das Hauptgewässer, welches entweder den Staurücken berührt oder ihn durchschneidet, nicht die Kraft hat, das weiter von oben herabblangende Geschiebe fortzuführen, so wird es, Fig. 25, Seite 206, nach und nach, wenn dies die Beschaffenheit des gegenüberliegenden Ufers bei a zulässt, vom Schuttkegel verdrängt werden können, und es erklären sich auf diese Weise die nicht selten längs der Schuttkegel bemerkbaren Bach- und Flusskrümmungen.

Ist dagegen das Ufer bei a unverrückbar, so wird das Hauptgewässer nach und nach, und zwar so lange zugeschnürt, bis die mit der Verengung des Bachprofiles verbundene erhöhte Geschwindigkeit und Wasserkraft zur Fortführung des weiter von oben herabkommenden Geschiebes ausreichen. Immer ist aber mit dieser Zuschnürung eine Wasserstauung und zumeist Versumpfung des Thalgeländes oberhalb verbunden.

Anhang.

Außer dem in den vorangegangenen Fußnoten angeführten Literaturnachweise wird auf die folgenden, während der Drucklegung dieses Buches erschienenen oder dem Verfasser erst bekannt gewordenen einschlägigen, größeren Werke oder kleineren Abhandlungen verwiesen und zwar:

131) „River development as illustrated by the rivers of North-America;“ by J. C. Russel, London and New-York, 1898.

Enthält die Gesetze über fluviale Evolutionen; Destruction des Gesteines, Gesetze der Laufentwicklung eines Flusses, des Materialtransportes u. s. w.

132) „Correction de la Loire et de ses affluents;“ par F. Bénardeau, Moulins, 1900.

vide die Erörterungen über die allgemeinen Beziehungen zwischen dem Verhalten der Gewässer und der orographischen Gestaltung der Erdoberfläche, der Culturarten und namentlich der Bewaldung.

133) „Forestry in British India“ by B. Ribbentrop, Calcutta, 1900.

vide die Capitel über „Influence of forests on the climatic conditions of a country,“ und „Local influence of forests on the fertility of the country“

134) „Ursachen und Abwehr der Hochwässer.“ Vortrag gehalten im nied. öst. Gewerbeverein am 16. März 1900 von Louis Zels, Schiffahrtsdirector a. D. Wien, 1900.

135) „Erosion durch starke Regenfälle bei steilem Gefälle;“ Notiz in der Zeitschrift für Gewässerkunde. 1. Heft 1901.

136) „Ueber den Einfluss von Waldbeständen auf Ackerbau und Klima.“ (Nach dem Schwedischen von Dr. Hamberg.)

Centralblatt für das gesammte Forstwesen. Heft 8/9. 1901.

137) „Sur le rôle de la forêt dans la circulation de l'eau à la surface des continents“, par E. Henry.

Revue des eaux et forêts, Nr. 10 u. 11, 1901.

138) „Wirthschaftliche Aufgaben an der oberen Waldvegetationsgrenze,“ von Rudolf Jugowitz, dipl. Forstwirth, Director der höheren Forstlehranstalt in Bruck a/d. Mur.

Oesterr. Vierteljahrsschrift für Forstwesen. III. Heft 1901.

139) „Die Vertheilung des Wassers über, auf und in der Erde, und die daraus sich ergebende Entstehung des Grundwassers und seiner Quellen mit einer Kritik der bisherigen Quellentheorien,“ von Fr. König, Hydrotekt, Jena 1901.

vide die Verdunstung des flüssigen Wassers der Erde und die atmosphärischen Niederschläge und ihr Verlauf, dann die Versickerung der Niederschlagswässer.

140) „Der V. Verbandstag des deutsch-österreich. ungarischen Verbandes für Binnenschifffahrt 1901 in Breslau.“ Berichtet von Hugo Franz, k. k. Baurath im Ministerium des Innern.

(„Fortschritt auf hydrographischem Gebiete in Oesterreich“ Referent k. k. Oberbaurath, dipl. Ing. Ernst Lauda in Wien.)

Oesterr. Wochenschrift für den öffentl. Baudienst, 31. Heft 1901.

141) „Beiträge zur forstlichen Standortlehre,“ von H. v. Lorenz-Liburnau. Oesterr. Vierteljahresschrift für Forstwesen, Jahrgang 1901. II. Heft.

vide die Waldwasserfrage im Gebirge.

142) „La Loire navigable.“ Neuvième Congrès.

Revue des eaux et forêts, Nr. 18, 1901.

vide die Ausführungen über die Wohlfahrtswirkung des Waldes.

143) „Die Kälterückfälle des Frühlings und der Wald,“ von Schiller-Tietz. Oesterr. Forst- und Jagdzeitung. Nr. 24, 1901.

144) „Le rôle des forêts au point de vue des inondations“ par Paul Vessiot. Revue des eaux et forêts. Nr. 19, 1901.

Als Sammelwerke, welche reichen Autorennachweis enthalten, sind endlich anzuführen:

145) „Die Geschichte der österreichischen Land- und Forstwirtschaft und ihrer Industrien.“ IV. Band, Wien 1899 und zwar:

„Die forstliche Literatur“ von L. Dimitz, k. k. Ministerialrath im Ackerbau-Ministerium. Speciell die Autorennachgabe über die Wald-, Wasser- und Waldschutzfrage sowie forstliche Meteorologie.

„Die Wildbachverbauung“ von Ferdinand Wang, k. k. Forstrath im Ackerbau-Ministerium.

146) „Oesterreichische Land- und Forstwirtschaftliche Bibliographie,“ von Arthur Freiherr von Hohenbruck, k. k. Sectionschef a. D. Wien, 1899.

vide die Autorennachgabe über Wildbachverbauung und forstliche Meteorologie.

~~~~~  
Druck von August Pries in Leipzig.  
~~~~~


Biblioteka Politechniki Krakowskiej



II-349267

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



II-1692

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000308813

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000297192