

# Aus der quartären Vergangenheit Bosniens und der Herzegowina

Von **Dr. Walery Ritter von Łoziński**

(Mit 6 Tafeln und 1 Abbildung im Texte)

## I

### **Die Kalksinterbildung im Plivatale oberhalb Jajce**

Ein äußerst seltsamer Anblick ist es, welcher uns überrascht, wenn wir im wunderschönen Tale der Pliva von Jajce nach Jezero wandern. Wir sind sonst gewöhnt, an jedem fließenden Wasser nur den Leistungen seiner mechanischen Arbeit zu begegnen, die Verfrachtung von Gesteinsmaterial und hie und da eine vorübergehende Akkumulation von Sand- oder Geröllmassen zu sehen. Diese Erscheinungen sind der erwähnten Strecke des Plivatales so gut wie ganz fremd; an ihre Stelle tritt in großartigem Maße Kalksinterbildung ein, welcher die Umgebung von Jajce ihren unvergleichlichen Reiz zu verdanken hat. Durch die Abscheidung von Kalk aus dem Plivawasser werden Querriegel aufgebaut und es entstehen hinter ihnen kleinere oder größere Becken, deren Wasser über die aus Kalktuff gebildeten Ränder herabstürzt. Auf diese Weise wird der Lauf der Pliva in eine Reihe abwechselnd nacheinander folgender Kaskaden und Wasserbecken von der verschiedensten Größe, von den kleinen Wasserschüsseln bis zu den großen Plivaseen, gegliedert. Das Bild, welches sich vor unseren Augen entrollt, erinnert lebhaft, nur in verkleinertem Maßstabe an die Kalksinterabsätze der heißen Quellen und es fehlt nur die Wasser- oder Dampfsäule eines Geysirs im Hintergrunde, um uns mit einem Zauberschlage in das Märchenland des Yellowstone versetzt zu glauben. Die schlagende Analogie der Gestalt, in welcher die

Kalksinterabsätze in beiden Gebieten erscheinen,<sup>1)</sup> ist für die richtige Beurteilung der Erscheinung von der größten Bedeutung, indem sie uns einen Fingerzeig gibt, wo wir nach der Quelle des abnorm hohen  $CO_2$ -Gehaltes des Plivawassers zu suchen haben. Betrachten wir nun eingehender die Frage, ob den gemeinsamen äußeren Zügen des Phänomens auch eine tiefere, genetische Verwandtschaft zugrunde liege.

Meist unzureichend sind die Meinungen, welche bisher über die Ursachen der Kalksinterausscheidung im Plivatale und in anderen ähnlichen Fällen geäußert worden sind.

In seiner trefflichen Monographie der Karsterscheinungen hat J. Cvijić<sup>2)</sup> die Entstehung von Travertinkaskaden als eine Folge der Zerstäubung des mit bedeutenden Mengen von gelöstem Kalkbikarbonat beladenen Wassers eines Karstflusses an irgend einem kleinen Hindernisse betrachtet.<sup>3)</sup> Wie wir später sehen werden, kann die Zerstäubung des Wassers nur die Rolle eines untergeordneten Faktors übernehmen und kommt erst nachträglich zur Geltung, sobald die Anlage zur Bildung von Kalksinterkaskaden durch andere, primäre Ursachen bereits gegeben ist. Schon der erste Anblick des Plivatales mahnt uns, daß nicht die Stufen im Flußbette die Ausscheidung von Kalktuff zur Folge haben, sondern daß gerade das Umgekehrte der Fall ist. Sonst kennen wir in anderen Gegenden sehr viele kalkreiche Gewässer, welche über Stromschnellen und Wasserfälle schäumend dahinfließen, und dennoch würden wir vergeblich nach einer Spur von Kalksinterabsätzen suchen.

Eine andere Auffassung des Phänomens gipfelt in dem Satze: „Es scheint, daß diese Gebilde auf ein wärmeres Klima beschränkt sind, daß sich nur im warmen Wasser Kalk in so großen Quantitäten löst, daß das Wasser nicht imstande ist, diese Mengen gelöst mit sich fortzuführen, sondern wie es dieselben im Oberlaufe zu

<sup>1)</sup> Diese auffallende Ähnlichkeit ersieht man sofort aus der Vergleichung der hier abgebildeten Photographien aus dem Plivatale mit einem Bilde des Old Faithfull-Geysirs (Neumayr, Erdgeschichte, 2. Aufl., 1895, 1. Bd., S. 439) oder des Grotto-Geysirs (Daubrée, Les eaux souterraines à l'époque actuelle, 2. Bd. S. 25) im Yellowstone-Nationalpark.

<sup>2)</sup> Das Karstphänomen, Geogr. Abhandl., herausgeg. von A. Penck, Bd. V, Heft 3, S. 281.

<sup>3)</sup> Die Ansicht, daß Zerstäubung von Wasser die eigentliche Ursache der Travertinbildung sei, ist auch in Neumayrs Erdgeschichte (2. Aufl., 1. Bd., S. 603) vertreten.

sich genommen, so sie nun im Unterlaufe wieder absetzt.<sup>41)</sup> Die Unmöglichkeit einer solchen Bildungsweise ergibt sich aus der falschen Grundlage, auf welcher der soeben zitierte Erklärungsversuch beruht. Es ist eine Verkennung der physikalischen Gesetze, wenn man behauptet, daß mit steigender Temperatur des Wassers mehr Kalk gelöst wird. Die Umwandlung des einfachkohlen-sauren Kalkes, welcher im Wasser nicht löslich ist, in lösliches Kalkbikarbonat geschieht unter Zuhilfenahme der im Wasser enthaltenen Kohlensäure. Die Menge des in löslichen Zustand überführten Kalkkarbonates hängt direkt vom  $CO_2$ -Gehalte des Wassers ab. Bei steigender Temperatur vermindert sich jedoch die Fähigkeit des Wassers, Gase zu absorbieren; bei einer Erwärmung des Wassers von  $0^\circ$  auf  $20^\circ$  C. vermindert sich die Menge der aufgenommenen Kohlensäure ungefähr um  $50\%$ .<sup>2)</sup>

Den wertvollsten Beitrag zur Kenntnis der Travertinbildung bei Jajce und Jezero hat Fr. Katzer geliefert. Der betreffende Abschnitt seines „Geologischen Führers durch Bosnien und die Herzegowina“<sup>3)</sup> bringt eine Menge von scharfsinnigen Beobachtungen und neuen Tatsachen, welche vom richtigen Standpunkte beleuchtet werden, indem Katzer die Rolle der Vegetation in vollem Maße würdigt und zugleich die Möglichkeit andeutet, die Travertinbildung bei Jajce mit endogenen Erscheinungen in Zusammenhang zu bringen.

Die Geschichte der tektonischen Vorgänge in Bosnien besteht aus zwei Phasen, welche mit der Dämmerung und dem Abschlusse der jüngeren Tertiärzeit zusammenfallen. Die zeitliche Anordnung der bosnischen Kalksinterbildungen scheint größtenteils auf einen

---

<sup>1)</sup> Die Exkursion des Geograph. Inst. der Wiener Universität nach Bosnien . . . Reisebericht von N. Krebs und Fr. Lex. Bericht über das XXV. Vereinsjahr 1898/99 erstattet vom Verein der Geographen an der Universität Wien, S. 88.

<sup>2)</sup> 1 Volumenteil Wasser nimmt bei  $0^\circ$  1.7967, bei  $15^\circ$  bereits nur 1.002 Volumenteile  $CO_2$  auf. Die hier beispielsweise angegebenen Zahlen sind ungenau wichtig für eine richtige Beurteilung der Prozesse der Abtragung und Ablagerung, welche im Bereiche der Festländer vor sich gehen und auf der Auflösung und Ausscheidung von Kalk beruhen. Der bedeutendste Teil von Veränderungen der Temperatur, mit denen wir in der gemäßigten Zone zu tun haben, vollzieht sich gerade innerhalb der Temperaturgrenzen, auf welche sich die oben angeführten Zahlen beziehen. Unsere Beispiele zeigen, daß die Fähigkeit des Wassers,  $CO_2$  aufzunehmen, innerhalb dieser Temperaturgrenzen einem besonders raschen Wechsel unterworfen ist.

<sup>3)</sup> S. 165 ff.

Zusammenhang mit den Faltungsperioden hinzuweisen. Es macht den Eindruck, als wenn der erste Anstoß zur Kalktuffabscheidung durch tektonische Vorgänge, durch die Bildung von tiefen Spalten und das Aufsteigen von Ausscheidungen aus dem erstarrenden Magma längs derselben gegeben wäre. Besonders deutlich ist dieses in der Umgebung von Jajce zu sehen, wo zwei Perioden von Kalktuffbildung unterschieden werden können. Der ältere Kalksinter nimmt den obersten Teil der oligozän-miozänen Schichtenfolge im Süßwasserbecken von Jajce ein. Vom neuen stellt sich Travertinbildung in der diluvialen Periode ein und dauert bis auf den heutigen Tag.

Es ist auffallend, daß die in der Diluvialzeit beginnende und stellenweise noch heute vor sich gehende Abscheidung von Kalktuff in Bosnien größtenteils auf die Umgebung von Jajce, von Travnik und von Prozor beschränkt ist, welche Gebiete einen außerordentlichen Reichtum an Eruptivgesteinen, und zwar an Quarzporphyr- und Quarzdioritstöcken zeigen. Die Vermutung, daß die primäre Ursache von Kalksinterbildung in tieferen Partien der Erdkruste liege, gewinnt erheblich an Wahrscheinlichkeit, wenn wir den geologischen Bau der drei genannten Gebiete ins Auge fassen.<sup>1)</sup> Eine Störungslinie ersten Ranges ist es, längs welcher das paläozoische Gebirge gegen den SW.-Rand des von Mojsisovics mit „einem Längentale“ verglichenen Neogenbeckens Sarajevo—Travnik abfällt. Ihr Verlauf ist durch eine Reihe von Kohlsäuerlingen markiert. Gegen NW. führt uns diese tektonische Linie nach Travnik und schneidet das Kalkgebirge der Vlasici planina von älteren Schieferbildungen im Süden ab; längs der Verwerfung ist der Kalk zu einer Breccie zerrieben worden. Die Gewässer, welche an dem schroffen Absturze des Kalkgebirges zutage treten, scheiden Kalksinter ab. Die Störungslinie weiter verfolgend, erreichen wir schließlich den Schauplatz der Travertinbildung bei Jajce. Die Verwerfung bringt die SW.-Abhänge der aus jurassischen Kalken aufgebauten Hum planina mit permischen Gesteinen in Berührung. Ihre Fortsetzung koinzidiert mit dem größten Teile derjenigen Strecke des Plivatales, worin Kalktuffbildung stattfindet. Ein Blick auf die dem Führer von Katzer

---

<sup>1)</sup> Zu vergleichen Mojsisovics-Tietze-Bittner, Grundlinien der Geologie von Bosnien-Herzegowina, Wien 1880, S. 47 ff. Katzer, Führer, S. 158 und 165.

einverleibte „Geologische Karte der Umgebung von Jajce und Jezero“ lehrt uns die wichtige Tatsache kennen, daß die Travertinabsätze erst unterhalb der Stelle beginnen, wo sich Eruptivmassen im Plivatale einstellen. Auch südlich von Prozor scheint die Travertinbildung an tektonische Störungen und das Auftreten von Eruptivgesteinen geknüpft zu sein. Eine Vergleichung der von Katzer gegebenen „Geologischen Karte der Umgebung von Prozor“ und des geologischen Profiles dieser Gegend<sup>1)</sup> spricht für den Zusammenhang der Kalksinterabscheidung im Rama- und Dušicatalen mit dem Melaphyrvorkommen und mit dem Bruche zwischen den Werfener Schichten und ebenfalls triadischen Kalken und Dolomiten.

Die vorhergehende Betrachtung der geologischen Verhältnisse der Umgebung von Jajce, von Travnik und von Prozor berechtigt uns vollkommen zu der Annahme, daß die Ausscheidung von Kalksinter in erster Linie durch tektonische Störungen und durch das Auftreten von Eruptivgesteinen bestimmt ist. Sowohl die bosnischen — allerdings abgesehen von einer einzigen Ausnahme, auf welche wir später zurückkommen werden — wie auch alle anderen, außerhalb Bosniens gelegenen Stellen, wo Kalksinterbildung in derselben Weise stattfindet, sind auf Gebiete beschränkt, an deren geologischem Aufbau vorwiegend Kalkgesteine beteiligt sind.<sup>2)</sup> Auf diese Tatsache hat schon vor beinahe 40 Jahren F. Cohn aufmerksam gemacht, indem er am Schlusse seiner trefflichen Darstellung der Bildungsweise des Travertins von Tivoli betonte, daß derartige Gesteine besonders in solchen Gegenden entstehen können und konnten, „wo vulkanische Erscheinungen in der Nähe von Kalkformationen stattfinden“.<sup>3)</sup> In der Gegend von Jajce kommen mächtige Kalkkomplexe permischen, triadischen und jurassischen Alters vor. Südlich von Prozor begegnen wir ausgedehnten Kalk- und Dolomitpartien triadischen Alters, bei Travnik schließt sich die Kalksinterbildung an das wahrscheinlich posttriadi-

<sup>1)</sup> Katzer, Führer, Abb. 51 auf S. 217.

<sup>2)</sup> Es wäre ein Irrtum zu behaupten, daß Kalktuffabsätze ein charakteristischer Zug der Karstflüsse sind. Ein aus Kalkformationen aufgebautes Gebiet muß nicht notwendig auch ein Karstgebiet sein. Bei Jajce, bei Travnik und südlich von Prozor sind wir im typischen Kalkgebirge, es findet hier großartige Ablagerung von Kalktuff statt und doch vermischen wir die eigentümlichen Karsterscheinungen.

<sup>3)</sup> F. Cohn, Über die Entstehung des Travertins in den Wasserfällen von Tivoli. Neues Jahrbuch für Mineralogie etc., 1864, S. 609—610.

sche Kalkgebirge der Vlasić planina. Die Kerkafälle bei Scardona liegen im Gebiete kretazischer und eozäner Kalksteine, Dolomite und Mergel, diejenigen des Aniene bei Tivoli am Westabhange des aus Jura- und Kreidekalken bestehenden Sabinergebirges. Die angeführten Beispiele beweisen, daß der ungewöhnlich große Kalkgehalt der travertinbildenden Gewässer den obersten Partien der Erdkruste entnommen wird, somit vadosen Ursprunges ist. Die Auflösung so großer Mengen von Kalk setzt einen hohen  $CO_2$ -Gehalt des Wassers voraus. Dieser abnorm hohe Gehalt der Kalksinter abscheidenden Gewässer an Kohlensäure muß — wenigstens in den Fällen, welche wir aus Bosnien kennen — juveniler Herkunft sein.<sup>1)</sup> Für andere, außerbosnische Gebiete der Kalktuffablagerung läßt sich der juvenile Ursprung der Kohlensäure nicht mit derselben Sicherheit beweisen oder scheint sogar geradezu ausgeschlossen zu sein. Der Westabhang des Sabinergebirges sinkt allmählich unter die vulkanischen Tuffablagerungen des Latiner Gebietes, dessen Entstehung und eruptive Tätigkeit in die Diluvialzeit fallen; an der Grenze der beiden Gebiete steigen längs einer die mesozoischen Kalke durchsetzenden Verwerfung die Schwefelwasserstoffexhalationen der Solfatara di Tivoli und die heißen, Kalksinter abscheidenden Quellen der Aquae Albulae.<sup>2)</sup> Bei der geringen Entfernung dieses jungvulkanischen Gebietes von den Kalksinterbildungen bei Tivoli könnte man wohl nicht mit Unrecht an einen Zusammenhang denken<sup>3)</sup>; die einzige Schwierigkeit besteht darin, daß der Aniene erst unterhalb der Wasserfälle von Tivoli, am Austritte aus dem Sabinergebirge die Gegend von Aquae Albulae berührt. Im geologischen Bau des Kerkagebietes ist nicht das geringste Anzeichen vorhanden, welches auf einen Zusammenhang der Kalksinterabsätze bei Slap und bei Scardona mit Bruchlinien oder endogenen Äußerungen hindeuten würde. Weit und breit um die genannten Wasserfälle ist die Tektonik eine einfache. Kretazische und eozäne Kalke, Dolomite und Mergel sind in eine Reihe paralleler Sättel und Mulden gelegt, welche

<sup>1)</sup> Die Worte „vados“ und „juvenil“ gebrauche ich in demselben Sinne, wie sie von Sueß bei der Betrachtung der heißen Quellen angewendet worden sind.

<sup>2)</sup> Vgl. Daubrée, Les eaux souterraines aux époques anciennes, Profil Abb. 73 auf S. 161.

<sup>3)</sup> Allerdings kommt nach G. vom Rath vulkanischer Tuff im Liegenden der Kalksinterabsätze der Umgebung von Tivoli vor (Mineralogisch-geogn. Fragmente aus Italien, Zeitschr. Deutsch. geol. Ges., Bd. 18, S. 503).

in dinarischer Richtung streichen und sich durch einen sehr regelmäßigen Bau auszeichnen. Wollte man dessenungeachtet dennoch die Travertinbildungen an der Kerka in einen Zusammenhang mit endogenen Vorgängen hineinzwingen, dann müßte man erst zu den Eigentümlichkeiten der Karsthydrographie Zuflucht nehmen und unterirdische Verbindungen mit Störungslinien irgendwo in der Tiefe voraussetzen.

An der Grenze des Neogenbeckens Novi Schehr—Zepče gegen das Flyschgebirge, welches seine Umrahmung bildet und aus sedimentären und eruptiven Gesteinen zusammengesetzt ist, treten  $CO_2$ -Exhalationen und zahlreiche Säuerlinge zutage.<sup>1)</sup> Letztere zeigen stellenweise einen hohen Kalkgehalt und setzen Kalktuff ab.<sup>2)</sup> Die Verhältnisse, in welchen die Travertin abscheidenden Säuerlinge längs der Bosna in der Gegend von Zepče auftreten, scheinen von allen anderen Vorkommnissen von Kalksinter abweichend zu sein und den sonst überall klar hervortretenden Zusammenhang mit größeren Komplexen von Kalkgesteinen zu erschüttern. Wir müssen entweder annehmen, daß die Flysch- und Neogenbildungen irgendwo in der Tiefe von älteren Kalkgebilden unterteuft werden und somit nur eine scheinbare Ausnahme von der sonst allgemein geltenden Regel einer vadosen Herkunft des aufgelösten Kalkes vorliegt, oder aber im Gegensatze zu allen anderen Fällen auch dem Kalkgehalte der Säuerlinge einen juvenilen Ursprung zuschreiben.<sup>3)</sup>

In der Regel geht die erodierende oder lokal und vorübergehend ablagernde Arbeit des fließenden Wassers langsam, aber beständig dem Ziele entgegen, alle Unebenheiten und Störungen in seinem Bette auszugleichen und ein möglichst gleichsinniges Gefälle herzustellen. Ceteris paribus nimmt die Zahl der Wasserfälle und Seen mit dem vorschreitenden Alter eines Flusses ab. Das Entgegengesetzte sehen wir an der Pliva oberhalb von Jajce.

<sup>1)</sup> Ihre tektonische Stellung ist ohne Zweifel ganz dieselbe wie der bereits erwähnten Säuerlinge längs des SW.-Randes des neogenen Beckens Sarajevo—Travnik.

<sup>2)</sup> Grundlinien, S. 139—140.

<sup>3)</sup> Für die erstere Möglichkeit mag wohl die Mitteilung von Tietze sprechen, daß inmitten der Flyschbildungen des Kriwajagebietes (in SOO.-Richtung vom Neogenbecken Zepče—Novi Schehr) etwa bei Hrga Kalke vorkommen, welche in Bezug auf ihren petrographischen Habitus und ihre tektonische Stellung den oberjurassischen Klippen der Karpathen ganz ähnlich sind (Grundlinien, S. 142).

Hier hat die ununterbrochene Ausscheidung von Kalksinter zur Folge, daß die Unebenheiten im Flußbette sich beständig vermehren und verschärfen, daß die Pliva in dem berühmt gewordenen, beiläufig 30 m hohen und aus Travertin aufgebauten Wasserfalle den Vrbas erreicht. Wenn die Pliva, trotzdem ihr Gefälle oberhalb von Jajce 40 pro mille übersteigt, die Hindernisse in ihrem Bette nicht zu entfernen oder wenigstens deren fortwährendem Wachs­tume nicht entgegenzusteuern vermag, so haben wir dies dem Umstande zuzuschreiben, daß die Kalksinterbildung nicht einfach als Fällung aus einer gesättigten Lösung geschieht, sondern größtenteils unter Mitwirkung von kalkabscheidenden Pflanzen erfolgt. Von den kalten Tiefen des Weltmeeres bis zu den heißesten Quellen des Festlandes, deren Wasser trotz einer dem Siedepunkte nahen Temperatur noch von Algen belebt ist — überall geht die Kalkabscheidung hauptsächlich unter dem Einflusse der organischen Welt vor sich. Auch in den fließenden Gewässern des Festlandes gedeihen Gewächse, welche ihren Bedarf an Kohlensäure teilweise durch Zersetzung des im umgebenden Wasser gelösten Kalkbikarbonates decken, wobei unlöslicher einfachkohlenaurer Kalk entweder als äußerer Überzug der Pflanzen<sup>1)</sup> oder im Innern der Zellen abgeschieden wird. In erster Linie kommt diese Eigenschaft Algen und zahlreichen Moosarten zu, welche letztere von unten mit Kalk inkrustiert werden und absterben, dagegen nach oben weiterwachsen und — wie in Torfmooren — ihre gesteinsbildende Tätigkeit fortsetzen. Der abgestorbene Stengel eines *Trichostomum tophaceum* oder *Gymnostomum curvirostre* konnte in einem auf solche Weise gebildeten Kalktufflager manchmal bis zur Tiefe von einigen Metern verfolgt werden. Man hat berechnet, daß die bis 9 m mächtigen und vorwiegend durch die kalkabscheidende Tätigkeit von *Gymnostomum curvirostre* entstandenen Kalktuffbänke in Südsteiermark sich im Laufe von mehr als 2000 Jahren abgelagert haben.<sup>2)</sup> Könnten wir denselben Maßstab auf die quartären 50—60 m mächtigen Kalksinterabsätze von Jajce anwenden, so würde sich ergeben, daß die Ausscheidung von Travertin im Plivatale vor 12000—15 000 Jahren<sup>3)</sup> begonnen hat.

<sup>1)</sup> Vgl. die lehrreiche Abbildung auf S. 22 in Daubrée, Les eaux souterraines à l'époque actuelle, Bd. II.

<sup>2)</sup> Kerner v. Marilaun, Pflanzenleben, Bd. II, S. 734.

<sup>3)</sup> Diese Zahl ist viel zu klein, wenn man berücksichtigt, daß durch das Auftreten von zwei Kulturhorizonten eine zweimalige, länger andauernde Unterbrechung in der Ablagerung von Kalktuff bewiesen wird.

Die große Rolle, welche die Pflanzen bei der Bildung des Kalksinters von Tivoli spielen, ist längst erkannt worden. Bereits Leopold v. Buch (1809) hat die Struktur des Travertins von Tivoli in folgenden Worten geschildert: „Es sind konzentrische Kreise, welche im Mittelpunkte eine vegetabilische Materie enthalten, gewöhnlich ein Rohr- oder Schilfstiel, oder den Ast eines Baumes u. dgl. Der Kalksinter umgibt sie in Schalen. . .“<sup>1)</sup> Eine nähere Beleuchtung der Art und Weise, auf welche sich die Pflanzenwelt an der Ausscheidung von Kalktuff in der Nähe der Wasserfälle von Tivoli beteiligt, haben wir F. Cohn<sup>2)</sup> zu verdanken. In Berührung mit Wasser überziehen sich die Pflanzenteile mit einer Kalkkruste und es lagern sich um einen jeden Stengel herum dicke Kalkröhren ab. Auf ihrer Oberfläche sieht man die grünen Spitzen kalkabscheidender Moose und gegen das Innere der Kalkröhre zu vollzieht sich der allmähliche Übergang in dichten Kalktuff. Die Moose bilden nach Cohn „einen vegetabilischen Filz, dessen Zwischenräume der kohlen saure Kalk ausgefüllt hat“. W. Schimper hat nachstehende Moosarten unterschieden: *Hypnum (Rhynchostegium) rusciforme*, *Fissidens incurvus* und *Amblystegium irriguum (= Hypnum fluviatile)*. Neben Moosen kommen bei der Kalkausscheidung auch Algen, und zwar: *Hypheothrix Naegelii*, *Leptothrix Kohleri* und *Leptothrix tiburtina* Cohn in Betracht.

Eine Betrachtung der Kalksinterabsätze im Plivatale zeigt, daß die Wirkung von kalkabscheidenden Pflanzen nicht geringer ist als bei Tivoli. Die über dem Wasser der Pliva aufragenden Ränder der Kalksinterschüsseln zeigen einen dunklen Überzug von Moosen und wahrscheinlich auch anderen niederen Pflanzen, welche ohne Zweifel ihr fortwährendes Wachstum bedingen. Wo der Kalktuff an den Ufern der Pliva aufgeschlossen ist, überall sieht man deutlich seine eigentümliche organische Struktur, also Kalkröhren, trauben- oder nierenförmige Knollen, welche eine konzentrische Anordnung von Kalktufflagen besitzen und an der Oberfläche mit Warzen<sup>3)</sup> dicht bedeckt sind, größere oder kleinere unregelmäßige Hohlräume u. dgl.

<sup>1)</sup> F. Cohn, a. o. a. O., S. 583.      <sup>2)</sup> l. c.

<sup>3)</sup> Nach den Untersuchungen von Cohn (l. c., S. 586—587) ist diese warzige Oberfläche für Kalktuffablagerungen bezeichnend, welche unter dem Einflusse von Moosen entstanden sind, also sozusagen verkalkte Moospolster darstellen.

In der Beschreibung, welche Cvijić von den Kerkafällen bei Scardona gegeben hat, tritt die kalkabscheidende Wirkung der Pflanzen sehr schön hervor. „Zwischen beiden Armen liegt eine Insel, deren Bäume und Gesträuche bis zur Krone in Kalktuff eingewickelt sind. . . . Auch flußaufwärts, oberhalb der Kaskaden, sind kleine Inseln von Kalktuff um einige Gewächse herum abgelagert.“<sup>1)</sup>

Einige von den Flüssen, an denen die Ausscheidung von Travertin stattfindet, zeigen die merkwürdige Erscheinung, daß die Bildung von Kalksinter sich allmählich nach aufwärts verschiebt. Im Plivatale sind Anzeichen vorhanden, daß dicht oberhalb des berühmten Wasserfalles bereits die Erosion überhand nimmt, während die gegenwärtige Anhäufung von Kalksinter an Intensität und Ausdehnung zunimmt, je weiter wir uns von der Plivamündung gegen Jezero zu entfernen.<sup>2)</sup> Es scheint, als wenn wir im Plivatale mit dem frühesten Stadium desselben Prozesses zu tun hätten, welcher sich im Ramagebiete südlich von Prozor schon längst vollzogen hat. Wie es gegenwärtig mit der Plivamündung der Fall ist, stürzte einst der Dušćicabach mittels eines Wasserfalles in die Rama herab. Auf der Fahrt von Prozor nach Jablanica gelangen wir unterhalb von Lug in das großartige romantische Durchbruchtal der Rama, welches — mit Ausnahme einer kleinen, gleich am Eingange gelegenen Strecke, wo oligozäne Süßwasserkalke beiderseits herantreten — triadische Kalke und Dolomite durchsägt. Im Anfange des Durchbruchtales, unterhalb der Mündung des Dušćicabaches begegnen wir Kalksinterabsätzen, welche — als nierenförmige, im Flußbette zerstreute Knollen und vereinzelt, an die schroffen Talgehänge des Kalkgebirges angelagerte Schollen — spärliche Reste einer ehemals viel ausgedehnteren Ablagerung von Kalktuff darstellen. Der Wasserfall, welchen früher die Dušćica an ihrer Mündung in die Rama aus Kalksinter aufgebaut hatte, ist durch die Erosion bereits zum großen Teile entfernt worden und die Ablagerung von Kalktuff hat sich im Tale des Dušćicabaches nach aufwärts verschoben.

Die Tatsache, daß die Bildung von Travertin sich an fließenden Gewässern langsam nach aufwärts verlegt, kann nur durch einen juvenilen Ursprung des hohen  $CO_2$ -Gehaltes begründet werden.

---

<sup>1)</sup> l. c., S. 281.

<sup>2)</sup> Vgl. o. a. Reisebericht, S. 89.

Es liegt in der Natur der vulkanischen Kräfte, daß ihre Äußerungen mit der Zeit an Intensität abnehmen. Die Menge der durch das Wasser aufgenommenen Kohlensäure muß allmählich sinken und in kürzerer Zeit durch die Vegetation verbraucht werden. Infolgedessen ist das Wasser nicht mehr fähig, den gelösten Kalk auf eine ebenso große Entfernung wie früher zu verfrachten, und es muß sich der Vorrat an gelöstem Kalk schon nach einem kürzeren Laufe erschöpfen.

Betrachten wir nun die geographische Verbreitung von Kalksinterbildungen, deren Typus im unteren Plivatale vorliegt.<sup>1)</sup> Zwar geht die Ablagerung von Kalk überall im gemäßigten Klima vor sich, um nur des allgemein verbreiteten Wiesenkalkes zu erwähnen, aber die Art und Weise, wie der Kalksinter im Plivabette abgelagert wird, die stufenweise Aufeinanderfolge von Kaskaden und schüsselförmigen Becken, scheint dennoch eine spezifische Erscheinung des wärmeren Südens Europas zu sein.

Als ein an Kalktuffabsätzen besonders reiches Land der gemäßigten Zone verdient Galizisch-Podolien in erster Linie angeführt zu werden. Das atmosphärische Wasser gelangt durch die permeable Lößdecke der podolischen Platte in die tertiären Kalkablagerungen, nicht selten auch in die unterlagernden, zwar kompakten, aber häufig stark zerklüfteten Kreidemergel und tritt dann mit hohem Kalkgehalte zutage. Der hohe Kalkgehalt ist ein charakteristisches Merkmal der meisten Quellen Podoliens. Die Ausscheidung von Kalksinter geschieht gleich am Austritte des Grundwassers an die Erdoberfläche, zum Teil noch längs der Bäche, in denen das Quellwasser abfließt. Besonders die Art und Weise, wie die harten, oft durch feinen Detritus unterdevonischer Tone rötlich angestrichenen Kalksintervarietäten auftreten, gehört zu den eigentümlichen Zügen der podolischen Landschaft. In hausgroßen, schroff abfallenden Blöcken von der bizarrsten Form erscheinen sie — wie angeklebt an die älteren Schichtsysteme — hoch an den steilen Talgehängen des Dniestr und seiner größeren Zuflüsse (Strypa, Seret). Die obere Kante solcher Kalksintervorkommen markiert genau das Grundwasserniveau. Nicht selten stürzt das Quellwasser in einem Wasserfalle über den Kalktuff in die Tiefe herab.

---

<sup>1)</sup> Eine Übersicht ähnlicher Vorkommnisse wurde von Cvijić (l. c., S. 281—282) und in dem zitierten Reiseberichte (S. 88) zusammengestellt.

Ein anderes Beispiel liefert die im Gebiete der Orne auftretende Clouangequelle, welche an der Grenze von jurassischen Kalken und Mergeln zutage tritt und den ganzen Bergabhang entlang Kalktuff, dort „cron“ genannt, in abwärts zunehmender Ausdehnung aus-scheidet.<sup>1)</sup>

Alle Anhäufungen von Kalktuff in der gemäßigten Zone, auch die zahllosen, aber vereinzelt Vorkommnisse Podoliens, stehen sowohl an Ausdehnung wie an Mächtigkeit dem Plivatale bei weitem nach.

Nach dem, was wir eingangs über den Einfluß höherer Temperatur auf die Auflösung von Kalk gesagt haben, unterliegt es keinem Zweifel, daß ein wärmeres Klima und eine höhere Temperatur des Wassers dessen Fähigkeit, Kalkkarbonat aufzulösen, keineswegs steigert, vielmehr herabdrücken muß. Der außerordentlich große Kalkgehalt der Travertin ablagernden Flüsse hat mit den klimatischen Verhältnissen gar nichts zu tun, seine Ursachen sind von denselben nicht im geringsten abhängig.<sup>2)</sup> Dagegen muß das Klima die Ablagerung von Kalktuff in hohem Grade beeinflussen, und zwar entweder direkt, den Betrag der Verdunstung regulierend, oder indirekt, indem es die Vegetation beherrscht, in welcher wir den wichtigsten Faktor der Travertinbildung kennen gelernt haben. In einem wärmeren Klima erreicht die Pflanzenwelt eine stärkere Entwicklung und der Lebensprozeß wird beschleunigt. Zugleich steigt der Bedarf an Kohlensäure, es werden größere Mengen dieses Gases dem Wasser entzogen und infolgedessen auch ausgedehntere Ablagerungen unlöslichen Kalkkarbonates ausgeschieden. Möglicherweise beschränkt sich der Einfluß der höheren Temperatur nicht auf das üppigere Gedeihen der Pflanzen, welche Kalk anhäufen, sondern es können vielleicht zu den allgemein verbreiteten auch neue kalkabscheidende Pflanzenarten hinzutreten. Darüber Bescheid zu geben, ist die Phytogeographie berufen. Jeden-

<sup>1)</sup> Daubrée, *Les eaux souterraines à l'époque actuelle*, Bd. II, S. 20. Das auf Seite 21 beigegebene Bild der dortigen Kalktuffabsätze erinnert lebhaft, obwohl in verkleinertem Maßstabe, an Abb. 3 aus der Gegend von Jajce.

<sup>2)</sup> Die Geschichte der inmitten oberkretazischer Kalke gelegenen Kalksinterbildungen und Seen bei Plitvice in Kroatien ist durch H. Hranilović (*Glasnik Hrvatskoga Naravoslovnoga Društva*, XIII, Heft 1—3, S. 112 ff.) und A. Gavazzi (*ibid.*, god. XV) unter Zuhilfenahme von Klimaänderungen erklärt worden. — Abbildungen der genannten Seen hat F. Umlauf publiziert (*Deutsche Rundschau für Geogr. und Stat.*, Jahrg. 21, S. 24 und 25).

falls deuten die Untersuchungen Weeds<sup>1)</sup> über die niederen Pflanzen der „Mammoth Hot Springs“ darauf hin, daß nicht nur das Auftreten von verschiedenen Algenspezies, aber auch die Intensität ihrer kalkausscheidenden Tätigkeit von der Temperatur abhängig ist.

Die Ausscheidung von Kalktuff geschieht hauptsächlich, jedoch nicht ausschließlich durch Vermittlung der Pflanzenwelt.<sup>2)</sup> Ist das Wasser in hohem Grade mit Kohlensäure beladen, dann kann es einen gewissen Teil dieses Gases schon infolge von Berührung mit der atmosphärischen Luft abgeben. Dabei scheidet sich der einfachkohlen-saure Kalk an der Oberfläche des Wassers als dünne Häutchen aus, welche Katzer im oberen See bei Jezero beobachtet hat.<sup>3)</sup> Ähnliche Häutchen sind zu sehen an der Oberfläche derjenigen Wasserbecken in der Umgebung der „Mammoth Hot Springs“, wo Kalksinterabsätze auf rein chemischem Wege, ohne Mitwirkung der Pflanzen entstehen.<sup>4)</sup> In den Anfangsstadien der Travertinbildung hat das auf diese Weise ausgeschiedene Kalkkarbonat keine Bedeutung für das Wachstum der Kalksinterlager, da ja ein jedes abgeschiedene Kalkpartikel sofort von der Strömung des fließenden Wassers fortgerissen werden muß, wenn es nicht durch die Pflanzen gebunden ist. Erst als der Prozeß der Kalksinterbildung so weit vorgeschritten ist, daß größere, durch Kalkriegel abgedämmte Becken sich gebildet haben, können solche Kalkhäutchen sich in ihrem ruhigen Wasser erhalten und — allmählich sinkend — zur Ablagerung von Kalksinter am Boden beitragen.<sup>5)</sup>

<sup>1)</sup> Formation of travertine and siliceous sinter by the vegetation of hot springs. Ninth Ann. Rep. United States Geol. Survey, 1887—1888, S. 635—637.

<sup>2)</sup> Oberhalb der Kerkafälle bei Scardona sind die Talgehänge bis zu einer gewissen Höhe mit Kalksinter überzogen, was von Cvijić auf die Stauung während des Hochwassers zurückgeführt worden ist. Es ist schwer zu entscheiden, ob wir es hier mit einem rein chemischen Absätze zu tun haben, oder aber auch diese Kalkinkrustationen niederen, fast nie an nackten Felsgehängen fehlenden Pflanzen zuschreiben können. — Vor Kurzem ist eine Reihe von staffelförmig angelegten Kalksinterbecken aus der sogenannten „Brunnengrotte“ (Rekahöhlen bei St. Canzian) erwähnt und abgebildet worden (Himmel und Erde, Jahrg. 16, S. 64—65). Diesem Auftreten von Kalksinter liegt offenbar keine Mitwirkung der Pflanzenwelt zugrunde.

<sup>3)</sup> Führer, S. 188.

<sup>4)</sup> Weed, l. c., S. 646—647. Solche Stellen sind aber an Zahl und Ausdehnung sehr beschränkt.

<sup>5)</sup> Am Aniene hat G. vom Rath (l. c., S. 502) zwei Varietäten von Travertin unterschieden. Der „schwammige“ Kalksinter wird in der Nähe der

Ein zweiter untergeordneter Faktor, die Zerstäubung von Wasser kommt ebenfalls erst in den späteren Stadien der Travertinbildung zur Geltung. Je mehr Hindernisse infolge von Kalkablagerung im Flußbette entstehen, je größer die Vertikalabstände werden, desto bedeutender ist der Anteil dieses Faktors an der Bildung von Kalksinterabsätzen.

Daß die Zerstäubung des Wassers bei der Ausscheidung des Kalkkarbonates mitwirkt, beweisen die mit Kalk inkrustierten Räder der Mühlen unterhalb der Kerkafälle bei Scardona oder am Dušicabache, den Katzer zu den kalkreichsten Gewässern Bosniens zählt. Die Zerstäubung von Wasser wirkt in dreifacher Richtung, indem sie

1. kalkreiches Wasser mit denjenigen Pflanzenteilen in Berührung bringt, welche sich über dem Wasserniveau befinden;
2. die der Verdunstung ausgesetzte Oberfläche des Wassers erheblich vergrößert;
3. das Entweichen der Kohlensäure fördert.

Lapparent<sup>1)</sup> ist geneigt, den Wirkungskreis der Pflanzen bei der Ablagerung von Kalksinter einzuschränken. Der allmähliche Übergang des porösen, ausschließlich organisch entstandenen Travertins in dichten Kalk, worauf sich Lapparent stützt, ist nicht im geringsten fähig, unsere bisherigen Erfahrungen über die dominierende Rolle der Vegetation zu beeinträchtigen. Alle organisch entstandenen Kalkablagerungen sind zuerst locker (Globigerinenschlick), porös (Travertin) oder von zahllosen Hohlräumen durchsetzt (Korallenkalk) und erst nachträglich werden sie durch lang andauernde diagenetische Prozesse in dichten Kalkstein überführt, wobei nicht nur die Hohlräume mit Kalkkarbonat ausgefüllt werden, sondern auch Umkristallisierung, teilweise Verwandlung in Dolomit, teilweise oder gänzliche Einbüßung der ursprünglichen organischen Beschaffenheit erfolgt.<sup>2)</sup> Diese mannigfaltigen Vorgänge zu erklären, ist eine Aufgabe derjenigen Kapitel der physi-

---

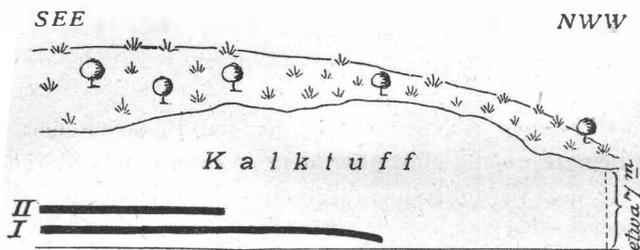
Wasserfälle ausgeschieden, während im ruhigen Wasser der seeartigen Becken ein „homogener und dichter“ zur Ablagerung gelangt.

<sup>1)</sup> *Traité de géologie*, 3. éd., 1893, S. 474—475.

<sup>2)</sup> Die Strukturverschiedenheit des Travertins kann aber zum Teile auch eine primäre sein. Nach Weed (l. c., S. 645) hängt die Beschaffenheit der Kalksinterabsätze der „Mammoth Hot Springs“ von der Geschwindigkeit des Ablagerungsprozesses ab. Je langsamer die Ausscheidung erfolgt, desto mehr kompakt soll die Struktur des Kalksinters sein.

kalischen Chemie, welche sich mit der Erforschung der osmotischen Erscheinungen und der die Lösungen beherrschenden Gesetze befassen.

Es erübrigt noch, das Problem der Kulturschichten, welche im diluvialen Kalktuff bei Jajce auftreten, in einigen Worten zu streifen. Diese Kulturschichten bestehen in überwiegender Mehrzahl aus Scherben von Tongefäßen, daneben kommen auch Knochen und Muscheln vor. Dies alles ist in dünnen, lehmigen Einlagerungen eingebettet,



Untere (I) und obere (II) Kulturschichte im quartären Kalktuff  
am rechten Plivauer oberhalb der Brücke in Jajce

welche hie und da kohlige Beimengungen enthalten. Die Unterbrechungen, welche in der Ablagerung von Kalksinter wiederholt eingetreten sind und durch das Einschalten von Kulturschichten in zwei verschiedenen Horizonten bewiesen werden, erklärt Katzer durch Schwankungen des Wasserspiegels eines ehemaligen, Kalksinter ablagernden Sees in der unmittelbaren Umgebung von Jajce.<sup>1)</sup> In der ehemaligen Existenz dieses Sees würden wir einen neuen Beweis haben, daß das Gebiet der intensivsten Travertinbildung im Laufe der Quartärzeit eine nicht unbedeutende Verschiebung nach aufwärts erfahren hat. In der Diluvialzeit nahm ein größeres Wasserbecken das heutige Plivatal bei Jajce ein und fiel mit dem Schauplatze der ausgedehntesten Ablagerung von Kalksinter zusammen. Nachher hat das Wachstum der Kalktuffabsätze allmählich an Intensität so weit abgenommen, daß die Ablagerung nicht mehr der Erosion Schritt zu halten imstande war und der Riegel des ehemaligen Sees durchsägt wurde. Seit dem Zeitpunkte hat die Pliva ihr Bett um 20—30 m d. h. so tief eingeschnitten, wie viel die Differenz zwischen der Mächtigkeit des quartären

<sup>1)</sup> Führer, S. 189.

Kalksinters bei Jajce und der Höhe des Plivafalles beträgt. Das Maximum der Kalkausscheidung wanderte langsam in der Richtung nach aufwärts um ungefähr 3 km und befindet sich heute in der Gegend von Jezero, wo die größten gegenwärtigen Wasserbecken, die beiden Plivaseen, durch die jüngste Ablagerung von Kalktuff geschaffen wurden.

Trotzdem im untersten Stücke des Plivalaufes die erodierende Arbeit überhandnimmt, dürften die Veränderungen des prachtvollen Wasserfalles langsamer vor sich gehen, als wir nach anderen Beispielen erwarten könnten, dank der außerordentlichen Widerstandsfähigkeit des Kalksinters, welche ihn zum vorzüglichen Baumaterial gemacht hat.

## II

### **Einige eigentümliche Züge der Verwitterungsformen und der Oberflächengestaltung des Okkupationsgebietes**

Die eigentliche Entwicklung der an Abwechslungen so überaus reichen Landschaft des Okkupationsgebietes fällt mit der Quartärzeit zusammen. Mit dem Abschlusse der Tertiärzeit setzte das Spiel verschiedener, morphologisch maßgebender Kräfte ein, welche der Oberflächengestaltung des Landes ihre Wirkungen eingepreßt haben und deren Tätigkeit entweder bereits erloschen ist oder noch gegenwärtig fort dauert. Die gebirgsbildenden Prozesse, welche einzelne Talstücke in abgeschlossene Becken der Poljen verwandelt haben,<sup>1)</sup> beschränken sich auf die Anfänge der Diluvialperiode, die Gletscher sind vor dem Ausgange der Diluvialzeit verschwunden, nachdem sie mächtige Nagelfluhbänke abgelagert haben, deren merkwürdige Erosionsformen wir im Narentatale unterhalb von Jablanica bewundern, die Bildung der eigentümlichen Travertinabsätze hat an der unteren Pliva mit dem Einzuge der Quartärzeit vom neuen angefangen und heutzutage sind die Bedingungen zur weiteren Anhäufung vorhanden. Schreitet man an die Betrachtung all dieser Vorgänge, so fällt vor allem die ehemalige Eisbedeckung ins Auge, welche auch in vielen anderen Gebieten Europas das hervorragendste Ereignis der Diluvialperiode war. Der Einfluß dieses Abschnittes der Quartärzeit auf die gegenwärtige Oberflächengestaltung des Okkupationsgebietes ist von hervorragenden Forschern bereits so eingehend untersucht und so

<sup>1)</sup> Katzer, Führer, S. 53.

vielseitig beleuchtet worden, daß wir darüber kein Wort zu verlieren brauchen. Anstatt bei dem feuchteren, Gletscher erzeugenden Klima der Eiszeit zu verweilen, werden wir uns den entgegengesetzten klimatischen Verhältnissen zuwenden und diejenigen, zwar zerstreuten, aber nicht weniger auffallenden Merkmale flüchtig hervorheben, welche die Oberflächengestaltung Bosniens und der Herzegowina mit den trockenen Gebieten gemeinsam hat.

Als ich mit der bosnisch-herzegowinischen Exkursion des IX. Internationalen Geologen-Kongresses das Okkupationsgebiet durchzog, sind mir an einigen Stellen Verwitterungsformen aufgefallen, deren Herauspräparierung zum Teile unter dem Einflusse der Deflation geschehen sein mag. Die nischen- oder pilzförmigen Gebilde an den Konglomeratfelsen miozänen Alters zwischen Lašva und Janjići machen den Eindruck, als wenn sie ihre Gestaltung nicht allein der Einwirkung des Wassers, sondern daneben auch der des trockenen Windes zu verdanken hätten. Von Bugojno in südlicher Richtung nach Prozor fahrend, kommen wir zu der Stelle, wo die Straße knapp am linken Vrbasufer eine Partie von oligozänen Süßwasserkalken angeschnitten hat. Dieser Aufschluß zeigt an einer Stelle kleine Nischen mit all den Merkmalen, welche für die durch Deflation ausgearbeiteten bezeichnend sind. Etwas weiter begegnen wir rechts von der Straße einem Kalkfelsen, an dessen Wänden zahlreiche taschenförmige Höhlungen erscheinen. Zwar in unvergleichlich geringerer Ausdehnung entwickelt, erinnern sie dennoch lebhaft an ähnliche Gebilde, welche Futterer von den Graniten und Konglomeraten Zentralasiens abgebildet hat<sup>1)</sup> und deren Entstehung er auf die Eigentümlichkeiten der trockenen Verwitterung zurückführt.<sup>2)</sup>

In Blagaj angekommen, genießen wir eine echte Wüstenansicht, sobald wir das in diluvialer Nagelfluh eingeschnittene Trockental mit einem typischen Blindende, ein schönes Gegenstück zu den klassischen Wadis der Wüste, betreten. Dieses kurze Trockental senkt sich, durch eine Stufe unterbrochen, allmählich gegen die Buna und vereinigt sich mit ihrem Bette. Hier tritt uns der Gegensatz des Wassermangels an der Oberfläche, welcher in der Versiegung des Trockentales zur regenarmen Jahreszeit seinen Ausdruck findet, und des unterirdischen Wasserreichtums,

<sup>1)</sup> Durch Asien, Bd. I, Abbildungen auf S. 153, 167, 180 und 274. — Geogr. Zeitschrift, VIII. Jahrg., Fig. 2 und 4 auf Tafel 8.

<sup>2)</sup> Durch Asien, I, S. 154.

welcher die kräftig und dauernd fließende Buna speist, scharf entgegen. Das Vorhandensein eines echten Wadis in der unmittelbaren Nähe eines Flusses, welcher selbst zur trockenen Jahreszeit einen bedeutenden Wasservorrat besitzt, ist nur bei der eigentümlichen Karsthydrographie möglich, dank dem Umstande, daß große Wassermengen sich in unterirdischen Klüften, Hohlräumen usw. aufspeichern können und dadurch der Verdunstung entzogen werden, um nachher in der ergiebigen, beständigen Karstquelle der Buna ans Tageslicht zu gelangen.

Wir sehen also, daß der Oberflächengestaltung und den Verwitterungsformen in Bosnien und noch mehr in der Herzegowina gewisse Züge eingeprägt sind, welche für die trockenen Gebiete der Erdoberfläche bezeichnend sind. Um diese Züge zu verstehen und deren Vorhandensein zu begründen, fassen wir die klimatischen Verhältnisse des Okkupationsgebietes ins Auge, wobei wir die diesbezüglichen Angaben der kurzen, übersichtlichen Zusammenstellung von Ph. Ballif<sup>1)</sup> entlehnen werden. Die jährliche, in Sarajewo 80 cm betragende Regenmenge ist beinahe gleichmäßig über alle Jahreszeiten verteilt.<sup>2)</sup> Dagegen ergeben sich bedeutende Unterschiede, wenn wir anstatt der absoluten Regenmenge die Zahl der Regentage in einzelnen Jahreszeiten miteinander in Vergleich ziehen. Es entfallen nämlich für den

Sommer . . . . .	30	Tage	mit	Niederschlag
Herbst . . . . .	37	„	„	„
Winter . . . . .	53	„	„	„
Frühling . . . . .	43	„	„	„

Diese letzteren Zahlen sind für die Beurteilung des Einflusses des Klimas auf die Gestaltung der Erdoberfläche sehr wichtig. Das Wachsen der Niederschlagsmenge kann nur bis zu einer gewissen Grenze für die Verwitterungsprozesse auf der Erdoberfläche von einschlägiger Bedeutung sein, da das Wasser nur bis zu einem gewissen Grade ins Gestein einsickern kann. Was über diese Grenze

---

<sup>1)</sup> Die österr.-ungar. Monarchie in Wort und Bild, Bd. XXII (Bosnien-Herzegowina), S. 11—12.

<sup>2)</sup> Von der im Jahre 1889 in Bosnien verzeichneten Niederschlagsmenge kamen 19·8% dem Sommer zu (Ph. Ballif, Ergebnisse meteorol. Beobachtungen in Bosnien und der Herzegowina 1889. Wissensch. Mitteil. aus Bosnien und der Herzegowina, Bd. I, S. 524). Allerdings war dieses nicht überall in Bosnien der Fall. In Livno entfielen in demselben Jahre kaum 11·9%, im Jahre 1887 sogar 10·9% der jährlichen Regenhöhe für den Sommer (ibid., S. 540—541).

hinaus fällt, muß sofort abfließen und ist für die Verwitterung der Gesteine an der Erdoberfläche belanglos. Deshalb kommt es bei der Prüfung der Beeinflussung von Verwitterungsvorgängen durch klimatische Verhältnisse nicht darauf an, wie viel die Regenmenge beträgt, sondern hauptsächlich darauf, wie die Regenmenge innerhalb der gegebenen Jahreszeit verteilt ist. Auf die obigen Zahlen angewendet, bedeutet dies, daß für unsere Zwecke in erster Linie nicht die Verteilung der Regenmenge über einzelne Jahreszeiten, sondern das Verhältnis der Zahl der Tage mit Niederschlag entscheidend ist. Wenn — wie dies aus den oben angegebenen Zahlen leicht zu ermitteln ist — von der jährlichen Zahl der Tage mit Niederschlag nur ca. 18% für den Sommer entfallen, so sind damit Bedingungen gegeben zum Eintreten längerer Dürre, während welcher die Vorgänge der trockenen Abtragung hie und da lokal platzgreifen und dauernde Spuren ihrer Wirkung hinterlassen können. In weit höherem Grade mag dasselbe in der Herzogowina der Fall sein, welche zwar eine bedeutend größere, aber viel ungleichmäßiger verteilte Regenmenge bekommt.<sup>1)</sup> Zu der Trockenheit des Sommers gesellt sich eine hohe Temperatur. In Mostar beträgt die Julitemperatur durchschnittlich 25·9° C., an einzelnen Tagen aber kann das Quecksilber sogar 45·8° C. erreichen. Wenn aber trotz so extremer klimatischer Verhältnisse die Spuren von

<sup>1)</sup> Sehr lehrreich ist die nachstehende Zusammenstellung einiger Zahlen, welche aus dem soeben zitierten Beobachtungsmaterial Balliffs herausgegriffen worden sind (S. 530—533 und 540—541):

Es entfallen für den Sommer:

in	1887	1889
Širokibrieg	5·3%	6·5%
Humac .	3·1%	6·0%
Mostar	5·8%	14 5%

der jährlichen Niederschlagshöhe.

Nicht weniger interessant ist ein Vergleich des nicht nur in der Herzogowina, aber auch beinahe im ganzen Okkupationsgebiete regenärmsten Monats August mit dem ganzen Jahre:

	Regenhöhe <i>mm</i>		Zahl der Regentage	
	im ganzen	im Aug.	im ganzen	im Aug.
	J. 1889	1889	J. 1889	1889
Ružići . .	2177·9	14·0	115	1
Širokibrieg	1808·7	1·0	98	1
Mostar .	1441·0	27·7	93	2
Humac .	1339·1	16·1	116	2

Einwirkung der Trockenheit des Sommers verhältnismäßig nicht häufig in der Oberflächengestaltung der Herzegowina hervortreten, so ist daran die Karsthydrographie schuld. Ihre Eigentümlichkeiten sind die Ursache, daß in unterirdischen Spalten, Klüften u. dgl. namhafte Wassermassen aufgespeichert und gegen intensive Verdunstung geschützt werden. Das Wasser, welches selbst während der trockenen Jahreszeit in ergiebigen Karstquellen zutage tritt, lähmt den Einfluß der Trockenheit der Sommermonate auf die Oberflächengestaltung des Landes. Dank diesem Umstande ist der Einfluß des niederschlagsarmen Sommers auf die Oberflächengestaltung ein lokal beschränkter und läßt sich nur stellenweise beobachten. Ein schönes Beispiel haben wir bereits im Wadi zu Blagaj kennen gelernt, ein anderes, nicht minder typisch, tritt uns im sandigen Trockenbette der Trebinjčica entgegen, welches sich durch die im Sommer trockengelegte Ebene des Popovopolje windet. Die ungleichmäßige Verteilung des Niederschlages über einzelne Jahreszeiten übt auch einen hervorragenden Einfluß auf die Gestaltung des Popovopolje aus, indem sie periodisch wiederkehrende Inundationen veranlaßt, deren Aufschüttungen, vorwiegend ein sandiger und toniger Rückstand des aufgelösten Kalkes, den Boden des Polje einebnen.

Schon beim ersten Anblicke des Popovopolje, welches den nördlichsten Teil einer über 50 *km* langen, von allen Seiten abgeschlossenen Depression einnimmt, fallen seine zwei charakteristischen Merkmale ins Auge: der beinahe vollkommen ebene Boden des großartigen Kessels und die steilen Gehänge, welche an den Rändern der Ebene unvermittelt aufsteigen und ihre Umrahmung bilden. Der Boden weist so unbedeutende Höhenunterschiede auf, daß beim Eintritte der Überschwemmung das Popovopolje manchmal schon binnen weniger Stunden in seiner ganzen Erstreckung unter Wasser gerät.<sup>1)</sup> Einem morphologischen Analogon zu dem flachen Boden des Popovopolje begegnen wir nur in niederschlagsarmen, abflußlosen Gebieten der Erdoberfläche. Die „Playas“ des nordamerikanischen Westens, welche sich zeitweise, nach mehr oder weniger regelmäßigen Zeitintervallen mit Wasser füllen, besitzen einen so flachen Boden, daß bei einer kaum einige Zentimeter betragenden Schwankung des Wasserspiegels das Areal des vorübergehenden Sees schon um mehrere Quadratmeilen ab-

<sup>1)</sup> K a t z e r, Das Popovopolje in der Herzegowina. Globus, Bd. 83, S.192, 193.

beziehungsweise zunimmt.<sup>1)</sup> Der völlig ebene Boden eines turkmenischen Takyr kann in manchen Fällen binnen 20 Minuten in ein unabsehbares Wasserbecken verwandelt werden.<sup>2)</sup> Freilich bestehen in den Einzelheiten tiefgreifende Unterschiede zwischen den Überflutungen eines temporären Sees im abflußlosen Gebiete und den Inundationen des Popovopolje. Erstere erfolgen launenhaft, manchmal nach jahrelanger Trockenlegung, letztere wiederholen sich alljährlich mit periodischer Regelmäßigkeit. Im ersten Falle wird das Wasser ausschließlich durch Verdunstung entfernt und hinterläßt sterilen, salzdurchtränkten Boden, im letzteren sind es in erster Linie die Schluckschlünde, welche den Abfluß des Wassers besorgen, und dementsprechend bleibt nach jeder Überschwemmung eine neue Schichte feinen, überaus fruchtbaren Sedimentes. Doch kommen diese Unterschiede, wie weitgehend sie auch sind, bei einem rein morphologischen Studium nicht in Betracht. Die Hauptsache ist, daß in gewissen kleineren oder größeren, regelmäßigen oder unregelmäßigen Zeitabständen Überflutungen erfolgen, welche in Bezug auf die Gestaltung der Erdoberfläche die spezifische Eigenschaft besitzen, allmählich eine horizontale Ebene zu schaffen. Die besonderen Umstände, welche bei der mechanischen Gesteinsbildung in periodischen Wüstenseen maßgebend sind, prüfend, sagt J. Walther: „Im Gegensatz zu einer drainierten Gegend, wo der Strand ebenso lokalisiert ist wie der Umriss und die geographische Position eines Sees . . . sind die Umstände bei der Bildung und beim Verschwinden eines . . . Wüstensees derart, daß die ganze Grundfläche des Sees jedesmal ‚Strand‘ wird und an jedem Punkte der daselbst gebildeten Ablagerungen die Merkmale einer ‚Strandbildung‘ erkennen läßt.“<sup>3)</sup> Diese Tatsache ist auch in morphologischer Beziehung von der größten Bedeutung, denn sie läßt uns verstehen, worauf der eigentümliche Mechanismus einer nahezu vollkommen horizontalen Ein ebnung durch zeitweise Überflutungen beruht.

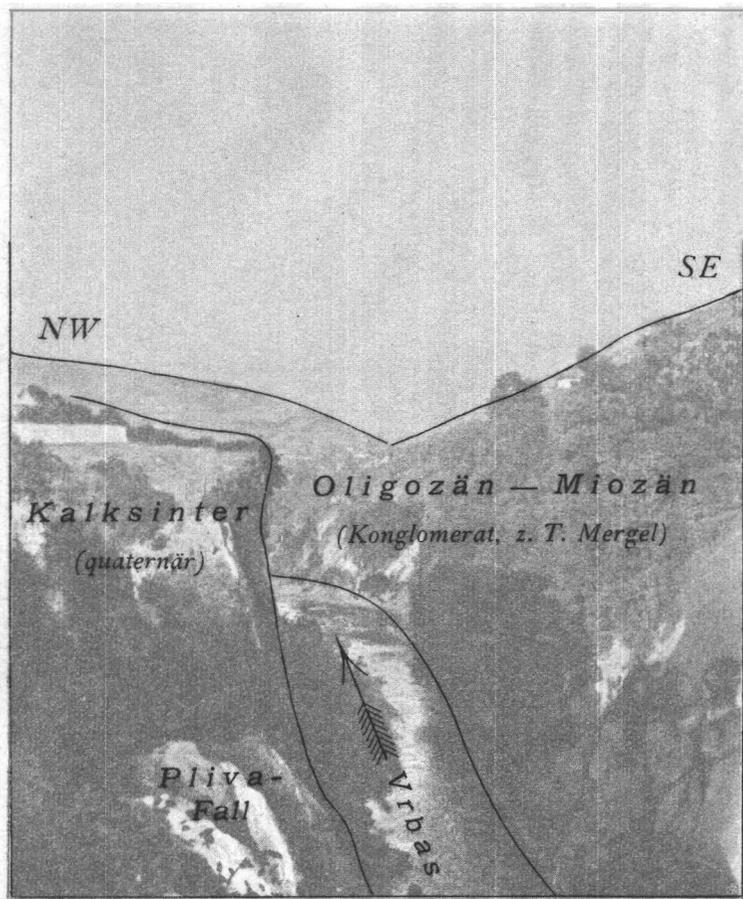
Lemberg, Anfang Dezember 1903.

---

<sup>1)</sup> J. C. Russel, Geol. Hist. of Lake Lahontau. Monographs of the United States Geol. Survey, Vol. XI, S. 81.

<sup>2)</sup> J. Walther, Das Gesetz der Wüstenbildung, S. 110.

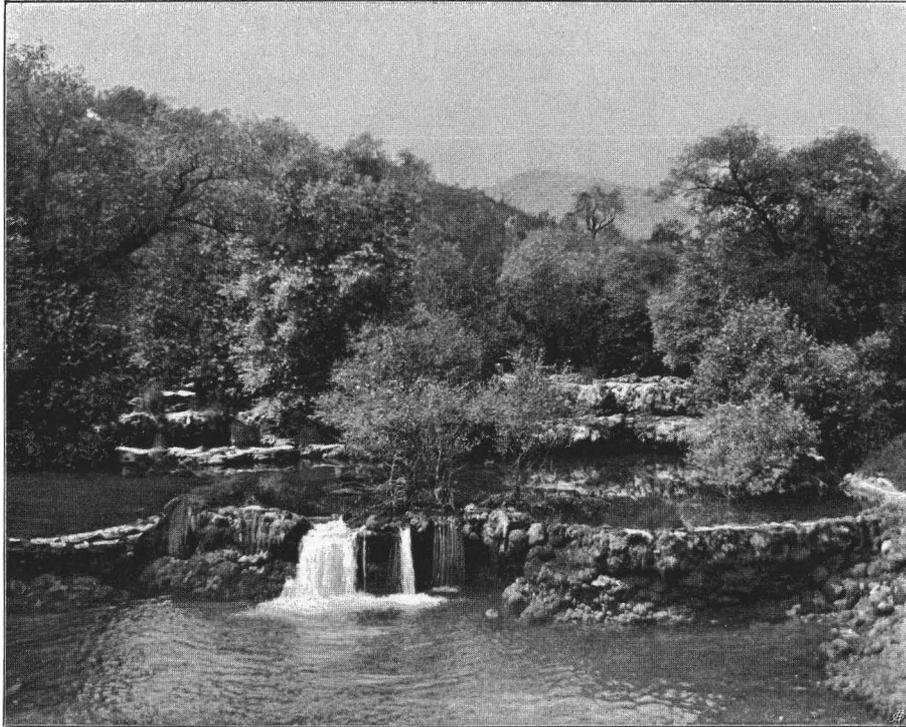
<sup>3)</sup> A. a. O., S. 72.



Mündung der Pliva in die Vrbasschlucht  
(Nach photographischer Aufnahme des Verfassers)



Die Bildung von Kalksinterabsätzen im Plivatale oberhalb Jajce  
(Nach photographischer Aufnahme des Verfassers)



Die Bildung von Kalksinterabsätzen im Plivatale oberhalb Jajce  
(Nach photographischer Aufnahme des Verfassers)



Die Bildung von Kalksinterabsätzen im Plivatale oberhalb Jajce  
(Nach photographischer Aufnahme des Verfassers)



Die Bildung von Kalksinterabsätzen im Plivatale oberhalb Jajce  
(Nach photographischer Aufnahme des Verfassers)



Trockental (Wadi) in Blagaj, in diluvialer Nagelfuh eingeschnitten  
(Aufgenommen durch den Verfasser am 9. September 1909)