Utrecht University Library
Partner in Science
Universiteit Utrecht

Beiträge zur Hydrographie der Ardennen

https://hdl.handle.net/1874/260054

1916

BEITRÄGE ZUR HYDROGRAPHIE DER ARDENNEN

J. B. L. HOL

A. qu.
192

Beiträge zur Hydrographie der Ardennen

RIJKSUNIVERSITEIT TE UTRECHT
1754 8060

Beiträge zur Hydrographie der Ardennen

PROEFSCHRIFT

TER VERKRIJGING VAN DEN GRAAD

VAN

DOCTOR IN DE WIS- EN NATUURKUNDE

AAN DE RIJKS-UNIVERSITEIT TE UTRECHT,

OP GEZAG VAN DEN RECTOR MAGNIFICUS

DR. P. H. DAMSTÉ,

Hoogleeraar in de Faculteit der Letteren en Wijsbegeerte,

VOLGENS BESLUIT VAN DEN SENAAT DER UNIVERSITEIT

TEGEN DE BEDENKINGEN VAN

DE FACULTEIT DER WIS- EN NATUURKUNDE

TE VERDEDIGEN

op Maandag den 27 November 1916, des namiddags te 4 uur,

DOOR

JACOBA BRIGITTA LOUISE HOL,

GEBOREN TE ANTWERPEN

UNIVERSITEITS BIBLIOTHEEK UTRECHT

Aan mijne Moeder

en

aan de nagedachtenis van mijn dierbaren Vader.

Sonderabdruck
aus dem „Jahresbericht des Frankfurter Vereins für Geographie und Statistik“.
79. und 80. Jahrgang. 1914—1916.

Bij het beëindigen mijner akademische studies rust op mij de aangename plicht U, Hoogleeraren in de Wis-en Natuurkundige Faculteit, te danken voor het onderwijs, dat ik van U heb mogen ontvangen. Uwe colleges, Hooggeleerde Kapteyn en de Vries zullen steeds tot mijne aangenaamste studieherinneringen behooren.

Ook U, Hooggeleerde Beijsens en Niermeijer dank ik voor hetgeen Gij tot mijne wetenschappelijke vorming hebt bijgedragen.

Een groot voorrecht acht ik het, Hooggeachte Promotor, Hooggeleerde Oestreich, dat ik vanaf het oogenblik, waarop Gij aan deze Universiteit het Hoogleeraarsambt aanvaard hebt, mij onder Uwe toehoorders heb mogen tellen. Hoewel aanvankelijk mijne studies in andere richting wezen, heeft de bezielende kracht van Uw onderwijs zulk een invloed op mij uitgeoefend, dat ik de Geomorphologie, Uw studiegebied, ook tot het mijne gekozen heb. Voor Uw onderwijs en voor de wijze, waarop Gij mij ingewijd hebt in de Wetenschap der Physische Geographie, vooral ook in de beide laatste jaren, waarin ik als assistente onder U werkzaam mocht zijn, breng ik U mijn zeer hartelijken dank en evenzeer voor de groote hulp en voorlichting, welke ik bij de samenstelling van dit proefschrift steeds in zoo ruimen mate van U heb mogen ondervinden.

Ook dank ik allen, die mij overigens bij mijn onderzoek met raad of daad terzijde stonden; in de eerste plaats den Heer Ed. Baron de Pierpont, administrateur-délégué de la Société anonyme des Grottes de Han-sur-Lesse et de Rochefort, voor de

groote bereidwilligheid, waarmede hij mij toegang tot de Grotten verschafte en gidsen tot mijne beschikking stelde; dan ook den Hoofddirecteur en de Directeuren van het Kon. Ned. Meteorologisch Instituut te de Bilt, die mij de voor mijne waarnemingen benoodigde instrumenten in bruikleen afstonden en mij ook velerlei inlichtingen verschaften, en eveneens Dr. P. A. Meerburg, afdeelingchef van 's Rijks Centraal-Laboratorium t. b. v. het Staatstoezicht op de Volksgezondheid, die mij toestond proeven in zijn laboratorium te verrichten.

Ten slotte breng ik gaarne mijn dank aan het Bestuur van den „Frankfurter Verein für Geographie und Statistik", dat deze verhandeling wel in zijn Jaarbericht heeft willen publiceeren.

Erster Teil.

Die Genesis des Ardennen-Flußsystems.

Einleitung. [1])

Die Ardennen bilden den westlichsten Teil des Rheinischen Schiefergebirges und können als die westliche Fortsetzung der Eifel aufgefaßt werden. Die größte Höhe erreichen sie in der Umgebung der deutsch-belgischen Grenze und in der belgischen Provinz Luxemburg, während in nordwestlicher Richtung die Höhe abnimmt. Die Maas durchbricht die Ardennen in einem besonders zwischen Mézières und Namur tief eingeschnittenen Tale. Bei der zuletzt genannten Stadt vereinigt die Maas sich mit der Sambre und beugt sich mit scharfer Wendung nach ONO, bei Lüttich ändert sich diese Richtung in eine fast nördliche. Ähnliche, plötzliche Richtungsänderungen finden sich bei der Ourthe und bei mehreren Flüssen, die dem Stromgebiet der Lesse angehören.

Die Abdachung der Ardennen kann also die jetzige Laufrichtung der Flüsse nicht erklären, und so drängt sich die Frage auf: Welchen Entwicklungsgang hat das Ardennenflußsystem durchlaufen, ehe es die heutige Stromrichtung erhielt? Diese Frage kann aber für sich allein nicht beantwortet werden, auch auf die Entwicklung des Ardennengebirges muß Bezug genommen werden. So wurde für die vorliegende Arbeit eine breitere Basis geschaffen, indem die Genesis der Ardennen den Ausgangspunkt bildete. Hier galt es allerdings, das Literaturstudium zur Hilfe heranzuziehen, zeigte sich dieses doch als der einzig mögliche Weg, um über die Richtigkeit der Schlußfolgerungen in Bezug auf die im Felde studierten Gebiete einigermaßen Gewißheit zu erlangen.

[1]) Man vergleiche hierzu Tafel II.

Erstes Kapitel.

Bisherige Theorien.

§ 1.

Die Theorie von J. Cornet.

Insoweit mir bekannt, ist J. Cornet der einzige, der der Entstehung der Ardennentäler eine eingehende Veröffentlichung [1]) gewidmet hat. Die Hauptzüge dieser Theorie (der sehr ausführlichen Arbeit schwer zu entnehmen) sind die folgenden:

Die Einebnung der Ardennen muß nicht der Arbeit der jetzigen kontinentalen Periode zugeschrieben werden, sie ist selbst nicht einmal prätertiär, sondern präkretazisch. Diese Fastebene ist bedeckt worden von den Absätzen der kretazischen und tertiären Meere. Da diese Meere jede Spur der vormaligen Hydrographie verwischt haben, muß die Entstehung der jetzigen belgischen Flußtäler in die Zeit nach dem Rückzug des tertiären Meeres angesetzt werden, das Belgien zuletzt bedeckt hat, d. h. des Diestien-Meeres (ältestes Pliozän), das gegen Süden vorgedrungen ist über die Linie, die der heutigen Sambre-Maas-Furche entspricht. Für fast ganz Belgien bedeutet also der Rückzug des Diestien-Meeres den Beginn der gegenwärtigen Kontinentalperiode. Die jüngsten tertiären Meeresabsätze bilden für Hoch-Belgien zweifelsohne diejenigen Ablagerungen, die die belgische, geologische Karte als oligozän qualifiziert. (Die damalige, höchste Erhebung der Ardennen wird nicht vom Meer bedeckt gewesen sein, und es ist also wahrscheinlich, daß noch Fluß- und Talstücke bestehen, die Relikte von Flüssen sind, nach dem Rückzug des Miozän-Meeres, des Oligozän-Meeres usw. entstanden). Das oligozäne Meer hat sich nach Norden zurückgezogen; die Küstenebene neigte sich also in dieser Richtung und die jungen Flüsse folgten dem stärksten Gefälle. Die Ardennenflüsse mit süd-nördlicher Stromrichtung sind also konsequent in Bezug auf das allgemeine Gefälle der tertiären Schichten, der noch anwesenden oder der schon abgetragenen: so die Maas von Dinant, Eau d'Heure, Ourthe-Maas (von Barvaux

[1]) J. Cornet: Études sur l'Évolution des Rivières belges. (Ann. Soc. géol. de Belgique [Liège] T. XXXI. 1903—1904 p. 261—499). Wird weiterhin im Text zitiert werden als (Cornet. Ét. p. —).

bis Maastricht), Obere Ourthe (vom Zusammenfluß der zwei Quelläste bis Noiseux) — Hoyoux, die Zuflüsse der Lesse stromaufwärts von Ciergnon, (Wamme, Lhomme, Lesse, Our, Wimbe usw.), nach Norden fortgesetzt durch den Bocq (Oberlauf bei Ciney) und den Samson.

Die tertiären Absätze, die in der Nähe der Täler der Maas von Dinant, Sambre, Maas von Huy, Ourthe, Eau d'Heure usw. gefunden werden, sind marinen Ursprungs.[1]) Es hat also eine einheitliche, tertiäre Bedeckung (recouvrement tertiaire uni) der Ardennen gegeben, auf welcher die obengenannten Flüsse entstanden sind. Denn nur auf diese Weise ist die Unabhängigkeit der Maas und der sonstigen Ardennenhauptflüsse gegenüber dem Schichtstreichen und der ungleichen Widerstandsfähigkeit der Gesteine zu erklären.

Von der ehemaligen tertiären Bedeckung sind nur noch Bruchstücke erhalten geblieben. Die Flüsse haben die mesozoischen und paläozoischen Schichten angeschnitten. Es sind also epigenetische Flüsse (rivières épigénétiques ou surimposées). Für jeden der genannten Flüsse wird der Beweis (?) geliefert.

Die Verbreitung der Maas-Ablagerungen (dépôts moséens) im Norden des Landes beweist, daß sie nicht allein von der heutigen Maas abgesetzt sein können und daß in jener Zeit, als sie von Süden hergeführt wurden, das konsequente, primitive Flußsystem noch nicht in zwei Teile zerlegt worden war. Der Unterlauf der Maas wurde damals gebildet von irgendeinem Zufluß des Systems der zwei Geeten.

Die Sambre, wenigstens von unterhalb Charleroi an, bildet mit der Maas von Namur bis Lüttich eine Einheit. Die Richtung der beiden Täler, die geologische Lage beweisen es; aus morphogenetischem Gesichtspunkt ist die Maas von Dinant nur ein Zufluß der Sambre-Maas.

Von Lüttich bis oberhalb Charleroi folgt die Sambre-Maas-Furche fast gänzlich der Richtung der devono-karbonischen Synklinale des geologischen Beckens von Namur, und auf eine große Strecke ist sie hier eingeschnitten in die Ablagerungen des Carbons, welche die mittlere Partie der Synklinale bilden. Unterhalb Lüttich entfernt sich die Maas vom Tiefsten dieser Synklinale.

[1]) Es sei betont, daß hier die Cornet'schen Anschauungen ohne Kritik wiedergegeben werden.

Der epigenetische Charakter der Sambre-Maas ist schon oben erwähnt worden. Sie ist entstanden auf einem tertiären Mantel und die Anlage wurde geleitet, erleichtert und selbst hervorgerufen durch eine synklinale Einbiegung der tertiären Schichten, die wahrscheinlich sehr wenig prononziert war und selber, ebenso wie die tertiäre Synklinale der Haine, durch eine Spezialmulde der devono-karbonischen Synklinale des Namurschen Beckens, oder durch eine spätere Einsenkung des Beckens verursacht wurde. (Der synklinale Ursprung des Sambre-Maastales unterhalb Marchienne wird durch Analogie mit demjenigen der Haine bewiesen.)

Das Sambre-Maastal ist entstanden durch von Osten gen Westen fortschreitende regressive Erosion. (Sie hat angefangen von einem subsequenten Seitenfluß der Ourthe aus.) Dieser Hypothese zufolge war anfänglich entlang der Linie der jetzigen Sambre-Maas von Marchienne bis Lüttich eine Serie subsequenter Flüsse in den paläozoischen Schichten eingeschnitten[1]) und da diese teils nach Osten, teils nach Westen gerichtet waren, könnten sich die Gefällsänderungen erklären lassen, die von Stainier in den Maasterrassen zwischen Namur und Lüttich nachgewiesen wurden[2]) (Vgl. § 11). So hat die Sambre-Maas die konsequenten Flüsse enthauptet, d. h. den Hoyoux (von Modave), Samson, Maas von Dinant, Eau d'Heure usw.

In dieser Weise erklärt Cornet die Entwicklung der Ardennentäler. Außer Betracht gelassen wurde hier seine Anschauung in betreff der Flüsse des belgischen Hügellandes und der Ebene, die sich aber im großen und ganzen mit der obigen Theorie deckt.

§ 2.

Theorien über die Entstehung des Durchbruchtales der Maas.

Der Cornetsche Standpunkt in dieser Frage soll hier später erörtert werden; es scheint aber erwünscht, erst eine kurze Übersicht über die bedeutendsten, bisherigen Theorien zu geben.

---

[1]) Ausnahmsweise sei hier auf den inneren Widerspruch in der Cornetschen Auffassung hingewiesen; denn die Sambre-Maas dürfte dann als Ganzes betrachtet, weder epigenetisch, noch subsequent genannt werden.

[2]) X. Stainier: Le Cours de la Meuse depuis l'ère tertiaire. (Bull. Soc. belge de Géol. T. VIII. 1894.)

Es handelt sich um die folgende Frage: Die Maas entspringt in einer Höhe von 347 Metern. Ihr Tal ist von dem Seinebecken geschieden durch Hochflächen, deren Höhe weniger als 400 m beträgt. Zwischen Mézières und Givet aber durchbricht die Maas die hier bis 500 m ansteigende Hochfläche der Ardennen in einem canyonartigen Engtal, das in der Mitte bis zu einer relativen Tiefe von 270 m eingeschnitten ist.

D'Omalius d'Halloy versuchte als erster diese Eigentümlichkeit im Maaslauf zu erklären. Er und die ganze Schule von Elie de Beaumont glaubten, die Maas sei nur deshalb im Stande gewesen die Ardennenerhebung zu durchqueren, weil schon vorher eine Spalte da war. E. Dupont[1]) unterstützte diese Hypothese, die jetzt fast völlig verlassen und durch die Erosionstheorie abgelöst worden ist. Von den meisten Autoren wird jetzt die Meinung vertreten, daß die Maas ihren Lauf durch die Ardennen immer beibehalten hat und allmählich durch Erosion ihr Bett in dieselben eingesenkt hat. Der Erste, der auf die Möglichkeit einer nachträglichen Erhebung der Ardennen hingewiesen hat, war Ch. de la Vallée Poussin und zwar in der am 19. Dezember 1875 gehaltenen Sitzung der Société géologique de Belgique. Damals qualifizierte er diese Idee aber selber als eine völlig theoretische Hypothese. Zehn Jahre später, am 21. Juni 1885, hielt er in derselben Gesellschaft einen Vortrag,[2]) in dem er der genannten Hypothese einen festeren Untergrund verlieh: . . . . „wir können als wahrscheinlich annehmen, daß ein Teil der Champagne von Lothringen und der Bourgogne in der Tertiärzeit ein Hochland darstellte und daß die Ardennen, welche damals anstatt eine Barriere zu bilden, sehr niedrig waren, die natürliche Richtung des Gefälles und des Abflusses der Gewässer bildeten. Der jetzige Zustand des Landes könnte also auf eine nachträgliche Hebung der französischen Ardennen zurückgeführt werden. . . . . Die tief eingesenkte Schlucht, oder wie man in Amerika sagt, der Canyon, in dessen Tiefe die Maas jetzt fließt, z. B. zwischen Charleville und Givet, zeigt

[1]) E. Dupont: Étude sur le terrain quaternaire des vallées de la Meuse et de la Lesse dans la province de Namur. (Bullet. Académ. de Bruxelles. 2e serie 1866.)

[2]) Ch. de la Vallée Poussin: Comment la Meuse a pu traverser le terrain ardoisier de Rocroy. (Ann. Soc. géol. de Belgique. T. XII (1884—1885) p. 151 etc.)

uns die mechanische Arbeit, welche ihre Gewässer während langer Zeiten geleistet haben."

A. de Lapparent[1]), W. M. Davis[2]) und K. Oestreich[3]) sind auch der Meinung, daß die Ardennen sich langsam gehoben haben, und daß die Vertiefung des Maastales mit der Ardennenaufwölbung gleichen Schritt gehalten hat. Die Theorien von Dollfus und Vidal de la Blache sollen später erörtert werden. Cornet[4]) (Cornet Ét. p. 365) verwirft die Spaltentheorie. Er stützt sich auf Dollfus,[5]) indem er annimmt, die Ardennen-Maas habe durch Anzapfung in der Nähe von Mézières (Fig. 1) die

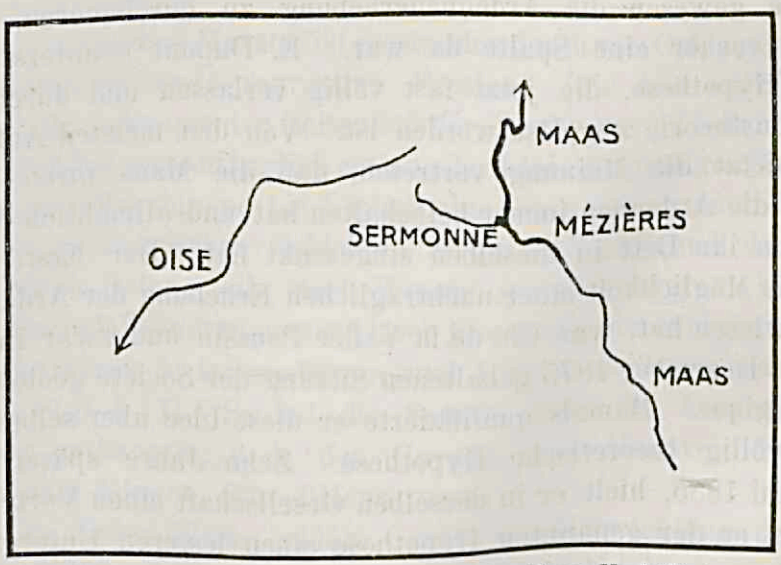


Fig. 1. Maas und Oise in ihrem heutigen Verhältnis.

Lothringer Maas, einen damaligen Zufluß der Oise, an sich gezogen (vgl. § 12), und zwar in sehr alter Zeit, noch ehe die Maas anfing ihr Tal in die paläozoischen Gesteine einzuschneiden. Cornet meint, das Quertal der Maas von Mézières bis Namur sei ein epigenetisches Tal. Das jurassische Gebiet des oberen Maasbeckens, das sich heutzutage in einem niedrigeren Niveau befindet,

[1]) A. de Lapparent: Leçons de géographie physique, p. 167. Paris 1907.

[2]) W. M. Davis: La Seine, la Meuse et la Moselle. (Ann. de géogr. 1895.)

[3]) K. Oestreich: Die Oberfläche des Rheinischen Schiefergebirges. (Handelingen v. h. XIIe Nederlandsch Natuur-en Geneesk. congres. Utrecht 1909.)

[4]) Vgl. auch J. Cornet: La Meuse Ardennaise (Bull. Soc. belge de Géol. T. XVIII 1904.)

[5]) G. F. Dollfus: Relations entre la structure géologique du Bassin de Paris et son Hydrographie. (Ann. de geogr. T. IX 1900, p. 330.)

als die höchsten Aufragungen des Ardennenmassivs, habe früher im Gegenteil die Ardennen überragt und damals sei die Maas, von jenem hohen Juragelände herabkommend, nach Norden hinuntergeflossen und habe die Ardennen durchquert, auf einer tertiären Bedeckung fließend, welche das paläozoische Massiv verhüllte. Als der Fluß sein Bett einsenkte, sei der Augenblick gekommen, wo er jenes Massiv anschnitt und epigenetisch sein Tal in vertikaler Richtung vertiefte (Fig. 2), während die

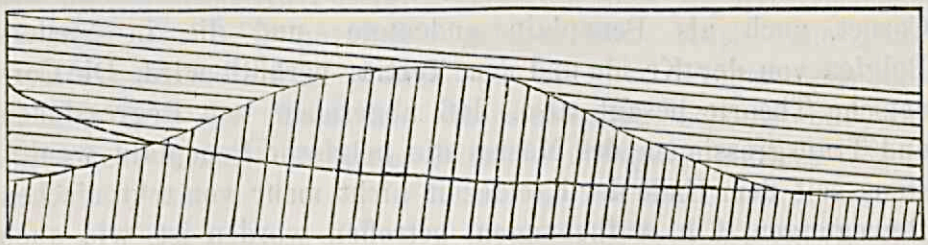


Fig. 2. Schema der Talbildung durch Epigenese.
(Nach v. Richthofen.)

Erosion die tertiäre Bedeckung entfernte (deren letzten Reste von den oligozänen Absätzen – Om und On – gebildet werden), und allmählich einerseits das belgische Tertiärland, anderseits das Lothringer Juraland erniedrigte; in dieser Weise sollen die Ardennen, weil aus widerstandsfähigerem Material aufgebaut, mehr und mehr eine Aufragung gebildet haben zwischen zwei Gebieten, die in rascher fortschreitender Denudation begriffen waren. Die Aufragung der Ardennen über die im Süden anstoßenden Gebiete sei nicht durch eine Aufhebung des Massivs verursacht worden, sondern durch ihre größere Widerstandsfähigkeit den denudierenden Agentien gegenüber. Diese Erhebung sei älter, selbst präkretazisch, und der jetzige geographische Zyklus habe nur die Herauspräparierung der Ardennen als eines Härterests besorgt. Cornet stützt diese Theorie durch den Vergleich mit der Schelde bei Tournai (Cornet Ét. p. 351) (Karbonkalkrücken, den die Schelde in einer engen Schlucht durchquert) und mit mehreren Zuflüssen der Henne.

Die hier kurz wiedergegebene Cornet'sche Theorie bildet im großen und ganzen eine logische Einheit. Es scheint mir aber, daß in einem der Hauptpunkte sie sich selber widerspricht. Cornet nimmt nämlich an, daß die Peneplain, die jetzt noch

auf den Ardennenhöhen wahrzunehmen ist, eine „aufgedeckte“ [1]) Peneplain ist; seiner Meinung nach ist sie ja doch präkretazisch; nachher habe eine Bedeckung mit mesozoischen Meeressedimenten stattgefunden; der Abtrag dieser Bedeckung sei wenigstens zum größten Teile prätertiär gewesen. Dann sei sie von den tertiären Meeren bedeckt worden; der jetzige Zyklus aber habe die tertiären Absätze wieder abgetragen, so daß die alte Peneplain wieder an die Oberfläche getreten sei. Die jetzige Ardennenoberfläche sei also dieselbe als die präkretazische, die Cornet auch als Peneplain andeutete; und die in Nieder-Belgien von der Kreide und dem Tertiär verhüllt wird. Die Cornetsche Theorie besagt also, daß abgesehen von Regressionen und Transgressionen des Meeres die belgische Peneplain wenigstens seit dem Ende der Kreidezeit nicht mehr von tektonischen Bewegungen, d. h. Aufhebungen, betroffen worden ist, wie auch aus dem folgenden Satz hervorleuchtet (Cornet Ét. p. 360): „Aus Profilen in gleichem Maßstab von Länge und Höhe kann man feststellen, daß die „Höhen“ der Ardennen nur flache Kuppeln sind und daß das Relief des paläozoischen Teiles des Landes, abgesehen von den Tälern, weniger akzidentiert ist als dasjenige manches Meeresbodens in der Nähe der Kontinenten.“ In diesem Lichte betrachtet er auch das, meiner Anschauung nach, sehr fragliche Vorkommen von anstehender Kreide bei Hockai in einer Höhe von 575 m und verwirft die Erklärung einer nachträglichen Hebung des Massivs von Stavelot, d. h. des kambrischen Kerns vom Hohen Venn. Die Cornetsche Theorie der Entstehung des Maascanyons beruht, wie oben gesagt, auf der Annahme einer allgemeinen Denudation des tertiären, belgischen Geländes und des Lothringer Juragebietes, da die Aufragung der Ardennen über die im Süden anstoßenden Gebiete, seiner Auffassung nach, eine ursprüngliche ist, sogar eine präkretazische. Dann darf aber auch nicht von einer „präkretazischen Fastebene“ die Rede sein und darf man nicht annehmen, daß diese Fastebene, wenn auch später aufgedeckt, eine ursprüngliche Peneplain vorstellt, ohne spätere Hebung um den ungefähren Betrag der Höhe, die sie jetzt in Bezug auf die Erosionsbasis besitzt. In jenem Falle würden außerdem die Flüsse, ebenso

[1]) In den Vorlesungen von Professor Oestreich (Utrecht) gebräuchliche Übertragung des Begriffes: Pénéplaine fossile.

wie jetzt geschehen ist, eingeschnitten haben. Die Theorie wäre noch zu verteidigen, wenn man annehmen könnte, daß damals die Erosionsbasis höher gelegen habe, mit anderen Worten, daß das Meer während der Ausbildung der Peneplain Nieder-Belgien vollständig bedeckt hätte und daß später, als das Meer im Rückzug begriffen war, die Flüsse eingeschnitten hätten; aber das stimmt nicht zu der Tatsache, daß die Fastebene (wie auch von Cornet angenommen wird) sich unter der tertiären Bedeckung von Nieder-Belgien fortsetzt, und die Erosionsbasis zu jener Zeit also nördlicher gelegen hat. Auch ohne jetzt bereits untersuchen zu wollen, ob in ihren Folgerungen die Theorie mit den Tatsachen übereinstimmt, scheint mir die Cornetsche Theorie in dieser Hinsicht unlogisch zu sein.

§ 3.

Die Theorie von A. Briquet.

Eine andere Theorie über die Entstehung der Ardennentäler ist in kurzer Fassung von A. Briquet[1]) gegeben worden. Briquet setzt auseinander, wie die Morphologie der Ardennenhochfläche (welche ihre Fortsetzung findet in den schmalen Kämmen der Cuestalandschaft im NO. des Pariser Beckens und in den kleineren Kreidehochflächen, die das Boulonnais und die Bray begrenzen) sich durch das Auftreten einer fossilen, ziemlich rezenten Peneplain erklären läßt. (Für die jetzige Höhe gibt Briquet an: 540 m im O. der belgischen Ardennen, 350 bis 300 m in den jurassischen Cuestas, 200 m im Boulonnais, im Meeresniveau in Nord-Belgien, 100 bis 200 m unter dem Meeresniveau in den Niederlanden.) Die fossile Peneplain ist schräggestellt worden vor dem Anfang der Erosionszyklen, die das heutige Relief ausgearbeitet haben; denn der konkordante Charakter dieser Serie schließt die Möglichkeit jeder deformierenden Bewegung seit ihrem Anfange aus.

Die Peneplain wurde von einer mächtigen Sedimentdecke verhüllt und blieb bewahrt, bis sie nach deren Abtragung wieder zum Vorschein kam. Der Name „Sedimentdecke“ (épais manteau

[1]) A. Briquet: Sur l'existence d'une pénéplaine fossile d'âge récent dans la région gallo-belge et sur l'origine du réseau hydrographique actuel (Comptes Rendus des Séances de l'Acad. des Sciences. Paris 10 Oct. 1910).

de sédiments) könnte leicht zu einer falschen Auffassung der Briquetschen Theorie führen, indem sich dabei der Gedanke einer das Gebirge verhüllenden, marinen Sedimentation aufdrängt. Doch hat Briquet sich den Prozeß anders gedacht, wie aus den folgenden Sätzen[1]) hervorleuchtet. „Auf diesen noch erhaltenen Stücken (i. e. der Peneplain) finden sich Sedimentreste von einer charakteristischen Natur, die auf die lange Periode subaerischer Abtragung hinweist, in welcher die Peneplain sich ausbildete. Man könnte die Sedimente arm[2]) nennen, weil sie zusammengestellt sind aus denjenigen Gesteinen, die die Verwitterung überstanden haben, und den restierenden Bestandteilen derer, welche der Verwitterung anheimgefallen sind.“ In den beiden genannten Arbeiten hat Briquet verschiedene Anschauungen über die Entstehung des jetzigen Flußsystems niedergelegt. In der zuerst erschienenen: La Pénéplaine etc. (S. 220) weist er darauf hin, wie die Verbiegungen der Fastebene die Unabhängigkeit der Flüsse gegenüber dem tektonischen Aufbau des Bodens erklären, wie er verursacht ist durch Bewegungen, die älter sind als die Peneplain, und wie die Flüsse nicht entstanden sind auf einer Sedimentdecke, die unabhängig war von dem Aufbau des Grundgebirges, sondern auf einer topographischen Oberfläche, die eine ähnliche Unabhängigkeit zeigte wie die heutige, und wo die Flüsse nur deren Gefällsrichtung folgten. Die Flüsse seien, wo sie eben flossen, eingesunken ohne Rücksicht auf die Struktur des Bodens, und das Flußsystem sei noch immer die Widerspiegelung der primitiven, topographischen Oberfläche. — In seiner zweiten Arbeit: Sur l'existence etc. scheint es mir, daß Briquet mehr hinneigt zur Annahme eines epigenetischen Flußcharakters, epigenetisch in Bezug auf die Sedimentbedeckung, von der er annimmt, daß sie zugleich mit der Peneplain verbogen wurde. — Nicht nur in Bezug auf die Schrägstellung der Fastebene, welche Cornet leugnet, sondern auch in der

[1]) A. Briquet: La Pénéplaine du Nord de la France (Ann. de Géogr. T. XVII 1908, p. 206). Auf S. 221 dieser Arbeit gibt Briquet eine Übersicht über die noch erhalten gebliebenen Teile der Peneplain. Diese werden für die Ardennen gebildet von dem Gebiete zwischen den Quellen der Lesse und der Eau d'Heure. Die Nordgrenze läuft über Dinant, die Südgrenze über Mézières hinaus.

[2]) Vgl. den Ausdruck „verarmtes Geröll“ in Penck-Brückner: Die Alpen im Eiszeitalter. Leipzig 1909, S. 659.

Altersbestimmung der Peneplain laufen die Briquetsche und Cornetsche Theorien einander nicht parallel, weil Cornet sie als präkretazisch auffaßt, Briquet sie aber in das Oberpliozän stellt.

§ 4.

Die Theorie von Vidal de la Blache.[1])

Die Lothringer Maas ist ein Fluß subsequenten Charakters, d. h. in der Richtung des Schichtstreichens entwickelt. Sie hat sich nicht auf der großen, nach Westen gerichteten Pariser Abdachung eingetieft, sondern entlang der Richtung der Lothringer Schichtstufen, weil die belgische Erosionsbasis, als die tiefer gelegene, an Anziehungskraft derjenigen des Pariser Beckens überlegen war. Die Stromrichtung der Maas gegen die Ardennen zu ist ursprünglich, denn, wie könnte eine Maas, die nach dem Pariser Becken strömte, wo doch eine starke Denudation wirksam war, von einem Ardennenfluß mit träger Erosion angezapft worden sein? (Vgl. hierzu auch Fig. 1). Daß Maaszuflüsse an die Flüsse des Pariser Beckens und an das Rheinsystem verloren gingen, muß einer Verlangsamung der Erosion in den Ardennen zugeschrieben werden. — Die höchsten Fundorte der Maasgerölle in Lothringen liegen im Niveau von 300 m, also niedriger als die Ardennenoberfläche, deren nachträgliche Erhebung deshalb nicht bestritten werden darf. Stainier hat in der Hauptterrasse bei Namur, Lüttich und Visé jurassische und triassische Lothringer Gerölle gefunden. Die Maas ist ihrem jetzigen Lauf schon gefolgt, noch ehe sie in die paläozoischen Schichten eingeschnitten hatte. Vom hohen Lothringer Plateau floß sie gegen die Niederlande über die noch in niedrigerer Lage verharrenden Ardennen hinweg. Auch zeigen das Ardenner und das Lothringer Tal der Maas dieselben Alterskennzeichen: tiefen Einschnitt und Terrassen in entsprechenden Höhen.

Fußend auf der Cornetschen Theorie (vgl. § 2) nimmt Vidal an, daß die Ardennen von den Absätzen des Lias-, des Kreidemeeres und der tertiären Meere bedeckt gewesen sind und daß auf dieser Bedeckung die Maas als ursprünglicher Fluß (rivière originelle) entstanden ist. Im Gegensatz zu Cornet nimmt Vidal

[1]) J. Vidal de la Blache: Étude sur la vallée lorraine de la Meuse. Paris 1908.

also eine nachträgliche Hebung der Ardennen an und wendet sich gegen die Annahme einer Enthauptung der Lothringer Maas durch die Ardennen-Maas.

§ 5.

Bekämpfung der epigenetischen Erklärung für das Maastal.

Weder Cornet noch Briquet weisen auf die eingesenkten Mäander (méandres encaissées) hin, welche für die Maas, Semois, Untere Lesse usw. so charakteristisch sind. Es scheint mir, daß diese auch nicht zu erklären sind, wenn man, wie die beiden Autoren, annimmt, daß die Ardennenflüsse epigenetisch auf einer tertiären Bedeckung entstanden sind. (Nur mit der ersten Theorie Briquet's (vgl. S. 14) wären die Mäander in Einklang zu bringen).

Die Erklärung der Entstehung der Ardennentäler durch Epigenesis (also die Annahme einer zusammenhängenden tertiären Bedeckung der Ardennen), welche die Basis der Cornetschen Theorie bildet, scheint mir gar nicht sichergestellt zu sein. Denn der einzige von Cornet angeführte Beweis beruht auf dem sehr fraglichen Vorkommen von Tertiär auf der Hochfläche. Cornet behauptet, alles Tertiär sei hier marinen Ursprungs, aber einen Beweis für diese Behauptung führt er nicht an. Da nirgendwo marine Fossilien in diesem Tertiär aufgefunden sind, glaube ich eher, daß hier fluviatile, also terrestrische Tertiärbildungen vorliegen. — Auch wird die Küste des Diestienmeeres gewöhnlich weniger weit südlich angenommen, als von Cornet (vgl. S. 6) geschieht. So gibt Rutot [1]) in einer Skizze für das südlichste Vorkommen von Tongrien inférieur (Oligozän; nach Rutot stellt das Meer des Tongrien inférieur die größte, tertiäre Ardennentransgression dar) eine Bucht an etwas südlich von La Roche. — Auch Penck [2]) meint, daß seit der Kreideperiode Hoch-Belgien der Meeresbedeckung entrückt ist und also der Denudation ausgesetzt war, welche die verschiedenen mesozoischen Gebilde entfernte, welche auf dem Gebirgsrumpfe zur Ablagerung gelangt waren. Penck meint, daß darum in Hoch-Belgien ausschließlich

[1]) A. Rutot: Les origines du quaternaire de la Belgique (Bull. Soc. belge de géol. T. XI. 1897 p. 105 et 110).

[2]) A. Penck: Die Niederlande, Belgien und Luxemburg S. 532 (in A. Kirchhoffs Länderkunde von Europa. Bd. II 1889).

paläozoische Gesteine vorherrschen. — Auch auf der geologischen Karte von Dewalque kommt bei Hockai kein Miozän vor; nur Oberes Oligozän (Boldérien = O^4). — Dollfus[1]) ist derselben Meinung: Eine Anlage auf einer Decke mariner Ablagerungen im Zusammenhang mit einer von diesen zusammengesetzten Küstenebene sei für die Maas nicht anzunehmen, denn es gibt keinen einzigen Beweis dafür, daß das Gebiet, wo sie entstanden, von marinen Absätzen bedeckt gewesen ist.

Noch ein anderer wunder Punkt der Cornetschen Anschauung muß hier berührt werden. Nach seiner Theorie bietet ja die Maas von allen belgischen Flüssen das ausgeprägteste Beispiel der epigenetischen Talbildung (vgl. hierzu Fig. 2) und um diese zu erklären, zieht er zum Vergleich die Schelde bei Tournai heran. (Vgl. S. 11). Der morphologische Charakter einer Landschaft endet aber nicht an der Landesgrenze, und gerade diese von jedem anerkannte Tatsache bleibt von den meisten belgischen Geomorphologen unbeachtet. In der Einleitung wurde schon darauf hingewiesen, daß die Ardennen genetisch und geologisch einen Teil des Rheinischen Schiefergebirges bilden. Soll also das Durchbruchstal der Maas durch Epigenesis erklärt werden, dann muß diese Erklärung auch für die Durchbruchstäler des Rheines, der Lahn und der Mosel durch dasselbe Gebirge zutreffen. Hieraus würde sich ergeben, daß einst jenes in seiner ganzen Ausbreitung von Tertiär bedeckt gewesen sei und Oberrheinische Tiefebene wie Lothringer Hochfläche beide damals das Rheinische Schiefergebirge überragt haben; durch lokale Denudation müßte dann das jetzige gegenseitige Niveauverhältnis geschaffen worden sein; denn ohne tektonische Grenze, Verwerfung oder dergleichen, gehen die Ardennen in das Rheinische Schiefergebirge über. — Es bedarf keine weitere Auseinandersetzung, um zu zeigen, daß diese Schlußfolgerungen in ihren Ergebnissen nicht annehmbar sind.

Die logische und theoretisch sehr gut annehmbare Erklärung der Durchbruchstäler durch Epigenesis, deren Urheber F. von Richthofen ist, ist in der Natur für einen so großen Laufabschnitt eines Flusses noch nicht nachgewiesen worden. Zwar hat von Richthofen diese Theorie auf verschiedene Himalaya-

[1]) G. Dollfus: Relations entre la structure géologique du bassin de Paris et son hydrographie p. 331 (loc. c. S. 10).

flüsse und hat Emmons sie auf den Green-River, einen der Colorado-Quellflüsse, angewendet, aber diese Erklärungen sind später stark angegriffen worden und jene Flüsse gelten jetzt als antezedent;[1]) wenn auch der Green-River (nach Davis im Gegensatz zu Powell) nicht den Typus des antezedenten Flusses darstellt, da er nicht im Stande war, die Aufwölbung zu besiegen, sondern zuerst einen See gebildet hat, wie Seeabsätze oberhalb seines Canyons beweisen. Erst später hat, durch Überfließen des Sees, der Green-River wieder einen Ausweg in der alten Richtung gefunden.

Selbstverständlich schließt die Tatsache, daß bis jetzt die epigenetische Theorie noch nicht mit Erfolg auf größere Flußabschnitte angewendet worden ist, die Möglichkeit, daß dies später noch geschehen wird, nicht aus; aber jedenfalls kann die Erklärung des Ardennen-Maastals als eines epigenetischen Durchbruchstals uns nicht befriedigen.

Zweites Kapitel.

Aufbau einer Theorie.[2])

§ 6.

Die früheren Zyklen in der Entwicklung der Ardennenflüsse.

Auf Grund der in § 5 erwähnten Verhältnisse glaube ich annehmen zu müssen, daß die Ardennen als Ganzes betrachtet nicht von den tertiären Meeren bedeckt gewesen sind. Wohl aber bespülte in der Eozänzeit das Meer den Nord- und den Südabhang der Ardennen (vgl. hierzu Fig. 3); diese waren seit der Hennegauer Faltung (Rideme nt du Hainaut), welche die Devon- und Karbonschichten gefaltet[3]) und zu einem Gebirge aufgestaut hatte, schon ganz eingeebnet und das eozäne Meer

[1]) Vgl. K. Oestreich: Die Täler des nordwestlichen Himalaya. (Pet. Mitt. Erghft. No. 155 [1906] S. 104 u. ff.)

[2]) Ich hatte die im folgenden darzulegende Theorie schon aufgestellt, als mir weder die Briquetsche Arbeit: La pénéplaine du Nord de la France, noch die Abhandlung von Ch. Stevens: Remarque sur l'hydrographie du bassin de la Lesse (vgl. § 17) bekannt waren.

[3]) Unter dem Ausdruck „Faltung" sei hier auch die Erscheinung des Deckenbaus begriffen, die ja nach Fourmarier die Tektonik der Ardennen beherrscht. (Vgl. Bull. de la Séance extraordin. du 10 févr. 1913 de la Soc. géol. de Belgique. Ann. Soc. géol. de Belg. T. XL.)

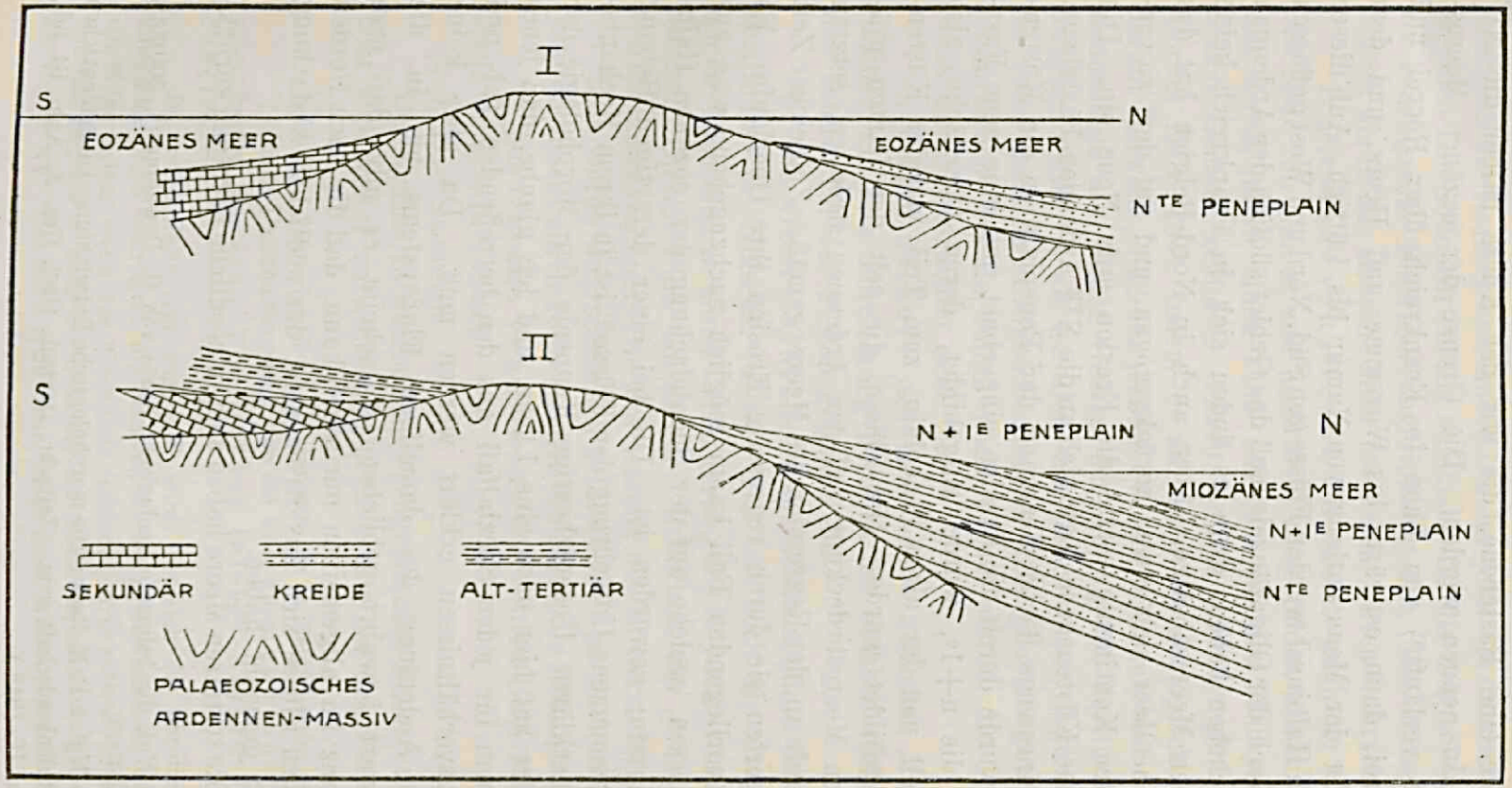


Fig. 3. I. Schematischer Durchschnitt durch die Ardennenhalbinsel zur Eozänzeit.
II. Schematischer Durchschnitt durch die Ardennen zur Miozänzeit.

umspülte eine Fastebene, die wir der Kürze halber die N^{TE} Peneplain nennen werden. Die Grenze der eozänen Meeresabsätze verläuft[1]) von Laon in Frankreich über Rocroi und Charleroi, dann ostwärts bis Waremme und Heers, und dem Nordufer der Maas entlang von Namur bis Lüttich. Auf dieser eozänen Halbinsel werden Flüsse gen Süd, Nord und West geflossen sein. Nach der Oligozänzeit muß das Gebiet südlich der Ardennen sich gehoben haben, denn es finden sich in Frankreich keine miozänen Meeresabsätze. Aber auch in Nord-Belgien hat das oligozäne Meer sich etwas zurückgezogen, und auf dem so vergrößerten Kontinente setzte die Erosion aufs Neue ein. Die nördliche Küstenebene fügte sich an die N^{TE} Ardennen-Fastebene. Der keineswegs flache Übergang der Peneplain in die Küstenebene wurde durch die Erosion eingeebnet und eine neue Fastebene, die $n+1^{e}$, wurde ausgebildet, deren Oberfläche also zum Teil von der alten Peneplain, zum Teil von der Küstenebene gebildet wurde. Die Flüsse, die seit der letzten prätertiären Meeresbedeckung auf den Ardennen strömten, setzten Unterläufe an, der Regression des Meeres gemäß. Zugleicher Zeit verlängerten sie durch regressive Erosion ihre Oberläufe. Es ist im vorliegenden Fall kaum möglich nachzugehen, was aus den Flüssen, welche auf der Südabdachung der eozänen Halbinsel flossen, geworden ist. Die bei einer derartigen Hebung oft angenommene Umkehrung der Flüsse[2]) ist in ihrem Mechanismus unerklärt. Unsere heutige Kenntnis der Morphologie der Flußtäler hat hier noch eine Lücke, und ich glaube, daß jenes Phänomen für jeden Spezialfall aus den betreffenden Tal- und Hebungsverhältnissen erklärt werden muß. Da aber keine einzige Andeutung des damaligen Flußsystems bis in die Gegenwart bewahrt geblieben ist, scheint es mir, daß man hier ganz im allgemeinen nur sagen kann, daß die nach Norden fließenden Flüsse sich das Stromgebiet der südlichen Abdachung tributär gemacht haben.

Die tertiären Meere haben sich in nördliche Richtung zurück-

---

[1]) Vgl. die belgische, geologische Karte von G. Dewalque (1 : 500 000; 2. Ausg. 1903).

[2]) Vgl. z. B. H. Reck: Die morphologische Entwicklung der süddeutschen Schichtstufenlandschaft usw. (Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges. A. Abh. 64 Bd., Heft I u. II, 1912.)

gezogen. (Rutot [1]) hat nachgewiesen, daß erst im oberen Pleistozän jener Teil der Nordsee entstanden ist, der jetzt die flämische Küste bespült.) Die Südnordrichtung stellt also für die belgischen Flüsse die konsequente Entwässerungsrichtung dar. Die konsequenten Flüsse, die in das miozäne Meer mündeten, waren wahrscheinlich:

1. Die Maas von Dinant. Sie strömte nach der Hesbaye. Das Knie von Namur war noch nicht ausgebildet, und ihr Unterlauf wurde durch einen Fluß aus dem jetzigen Flußsystem der beiden Geeten gebildet. Einen Beweis hierfür gibt Cornet (Cornet Ét. p. 434), indem er an Hand der geologischen Karte darauf hinweist, daß im Gebiet zwischen Namur und dem Zusammenfluß der beiden Geeten der Abtrag des Tertiärs weiter fortgeschritten ist als westlich und östlich dieser Gegend. Auch die von Lohest im heutigen Becken der Méhaigne nachgewiesenen, kambrischen Gerölle sollen nach Cornet durch die Hesbayer Maas dahin verfrachtet sein.

2. L'Eau d'Heure aus dem Lande zwischen Maas und Sambre, die ihre Fortsetzung nördlich der Sambre vielleicht in das untere Tal der Piéton gefunden hat.

3. Die Obere Ourthe vom Zusammenfluß der beiden Quellflüsse bis Noiseux. Dieser Teil hat noch die alte, konsequente Richtung, in deren Verlängerung der Hoyoux (von Modave) strömt. Dieser Fluß ist als der Unterlauf der jungtertiären Ourthe zu betrachten. Die Fortsetzung des Hoyouxtales nördlich der Maas wurde wahrscheinlich gebildet von dem Tale, in welchem jetzt obsequent ein linker Seitenfluß der Maas, die Méhaigne, strömt.

4. Die Ourthe von Esneux hatte ihren Unterlauf in der Maas unterhalb Lüttich.

5. Die Samson.

Der Zyklus, in welchem die obengenannten Flüsse entstanden oder sich weiter entwickelten, begann mit der Regression [2]) der

---

[1]) Rutot: Les origines du Quaternaire de la Belgique (loc. c. S. 16).

[2]) Meines Dafürhaltens muß man die allgemeine Transgression unterscheiden von einer Überflutung infolge Absinkens einer Scholle.

Im ersten Falle (vgl. Fig. 4, I) wird, obgleich der absolute Höhenunterschied sich verringert, die Senkung doch eine Neubelebung der Erosion zur Folge haben, wenn das überflutete Gelände ein so schwaches Gefälle hat, daß das Stück a' c' nach der Senkung ein stärkeres, mittleres Gefälle besitzt als vorher a c. Der Fluß wird dann nicht mehr wie vor der Senkung aus-

tertiären Meere und wurde begleitet von einer Schrägstellung des ganzen Gebietes, welche das Einschneiden der Flüsse zur Folge hatte. — Zu jenem konsequenten Entwässerungssystem entwickelten sich im Jungtertiär einige subsequenten Flüsse, u. a. die Semois, die Lesse unterhalb Éprave und der Bocq bis etwas östlich von Spontin. Das Lessetal zeigt ober- und unterhalb Éprave einen völlig verschiedenen Charakter. Nicht allein ist unterhalb Éprave die Hauptrichtung WNW-OSO und oberhalb Éprave im großen und ganzen S-N, sondern auch der

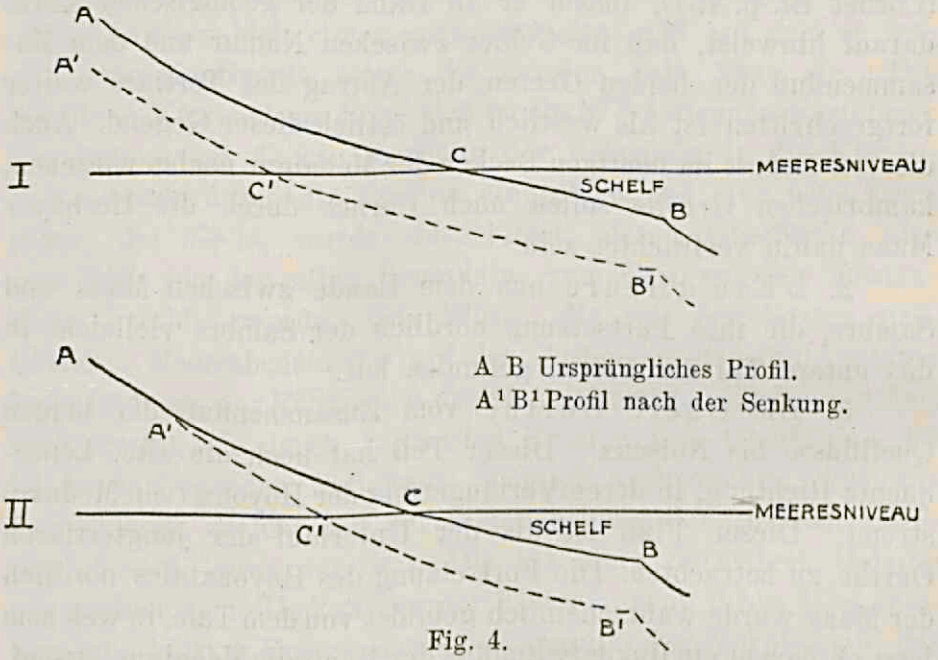


Fig. 4.

Talcharakter ändert sich an jener Stelle: stromabwärts große Mäander, stromaufwärts ein jugendlicher Fluß mit unregelmäßigen Krümmungen. Der subsequente Fluß aber, der die Verhältnisse des damaligen Flußsystems völlig änderte, ist die Sambre-Maas. Als subsequenter Seitenfluß der konsequenten Ourthe-Maas

geglichen sein, und er wird sich bestreben, eine neue zeitweilige Erosionsterminante zu erreichen. Nicht so, wenn a' c' ein gleiches oder sogar kleineres, mittleres Gefälle hat als a c; dann wird Akkumulation erfolgen.

Im zweiten Falle (vgl. Fig. 4, II) bei einem Absinken des Vorlandes wird die Tallänge verkürzt, während der Höhenunterschied sich gleichbleibt, demnach werden die Flüsse verjüngt und werden aufs Neue einzuschneiden anfangen.

Meiner Auffassung nach haben bei den Trans- und Regressionen der tertiären Meere die Bodenbewegungen sich auf Nieder- und Mittel-Belgien beschränkt, und so muß eine Transgression hier eine Steigerung der erosiven Arbeit bedingt haben.

(von Maastricht) entstanden, entwurzelte sie allmählich, durch in südwestlicher Richtung wirksame, rückschreitende Erosion, den Hoyoux (von Modave), die Samson, die Bocq, die Maas von Dinant und l'Eau d'Heure, deren Unterläufe auch weiter als selbständige Flüsse existierten, während ihre Oberläufe rechte Seitenflüsse der Sambre-Maas wurden. Einige linken Seitenflüsse derselben, so die untere Piéton und die Méhaigne, sind wahrscheinlich obsequent.

Cornet, der eine ähnliche Entstehung der Maas (Dinant-Namur-Lüttich) annimmt, weiß nicht zu erklären (Cornet Ét. p. 284), warum dennoch die Maas oberhalb Namur und die Maas unterhalb jener Stadt die gleichen Züge aufweisen: gleich großen Radius der Mäander und ähnliches Querprofil, während die Maas von Huy in dieser Hinsicht einen völlig verschiedenen Charakter besitzt als die Sambre. Ich glaube, daß die Erklärung in der Tatsache zu finden ist, daß die Beraubung der südnördlichen Maas durch die Sambre-Maas geschah, ehe die beiden Flüsse ihr Bett tiefer eingeschnitten hatten. Der Charakter des Querprofils aber wird erst während des Einschneidens und der endgültige Mäanderradius erst im Altertumsstadium des Zyklus festgelegt worden sein, der nun einsetzte und in welchem die Flüsse schließlich auf einer Fastebene strömten, mit welcher Fastebene, — wir werden es bald sehen, — dieser Zyklus endete. Da aber die Wassermenge der Maas von Dinant viel bedeutender war als jene der Sambre, wurde die Maas (Dinant-Huy-Lüttich) der Hauptstrom, und es kann daher nicht auffallen, daß Sambre und Maas von Huy trotz gleicher Entstehung keine Zusammengehörigkeit mehr aufweisen.

Das Relief der Berge wurde nun immer schwächer. Die Gebiete nachgiebiger Gesteine wurden zu Tiefländern abgetragen, und selbst die Zonen widerständigeren Gesteine blieben nur als flache Schwellen übrig. Es entstand eine fast formlose Ebene, welche über die verschiedenen Strukturen gleichmäßig dahinging: Eine Fastebene, die $n+2^e$, hatte sich ausgebildet. Auf dieser Peneplain strömte das oben beschriebene Flußsystem. In dem Maß, als das Relief sich abgeschwächt hatte, hatte sich auch die Regenmenge im Oberlauf verringert und damit die Wasserführung der Flüsse. Auch das Gefälle war klein geworden, und so hatte die Tiefenerosion sich fast völlig in laterale Erosion

abgeändert, von deren Energie der Stil der freien Mäander abhängt, denn beim Anprallen an ein Hindernis wird die Geschwindigkeit in eine seitwärts wirkende Kraft verwandelt. Unter gleichen Neigungsverhältnissen der Ebene haben zwei Flüsse die gleiche abwärts treibende, also durch das Anprallen an Hindernisse die gleiche, seitliche Geschwindigkeit. Nun ist aber jede lebendige Kraft proportional der Masse und dem Quadrat der Geschwindigkeit; unter gleichen Neigungsverhältnissen wird also die seitliche Kraft zweier Flüsse nur von der Masse des Wassers abhängen, d. h. also, je wasserreicher der Fluß, desto größer der Stil der freien Mäander.[1]) Es ist also ganz klar, daß alle obengenannten Flüsse auf der Peneplain, träge auf ihren eigenen Geröllablagerungen dahinfließend, große Mäander ausbildeten,[2]) die Maas (auch die Lothringer Maas), welche ja am wasserreichsten war, jedoch die schönsten und größten aufwies. Die Maas strömte damals auf einer Talsohle, die wahrscheinlich mehrere Kilometer breit war, und deren Reste uns jetzt in Terrassenform entgegentreten. X. Stainier[3]) hat die Maastalstrecke Dave-Engis untersucht und die Bruchstücke jenes durchsunkenen Talbodens in ± 120 bis 140 m über dem heutigen Flußniveau nachgewiesen. Sie werden bedeckt von den Geröllablagerungen von weißem Quarz mit verkieselten Oolithen, welche, wie de Lapparent bemerkt, aus den Vogesen oder von der Mosel zu stammen scheinen, was beweist, daß in jener Zeit das paläozoische Massiv der Ardennen im Verhältnis zu dem französischen Gebiete viel niedriger war als jetzt.

Im Zusammenhang mit dem Vorkommen ähnlicher Reste dieser ältesten Terrasse bei Flüssen außerhalb der Ardennen (vgl. § 9), war ich zuerst auch geneigt von dem zuletzt besprochenen Stadium des Flußlebens als von einer „pliozänen" Maas zu reden. Es bleibt jedoch immer gefährlich, einen solchen Namen zu benutzen, wenn das geologische Alter nicht ganz sicher begründet ist, und so erscheint es besser, den Ortsnamen einer prägnanten, lokalen Terrasse einzuführen, wie z. B.

---

[1]) Vgl. W. Behrmann: Die Oberflächengestaltung des Harzes. (Forsch. zur Deutsch. Landes- u. Volksk. Bd. 20, Heft 2 (1912) S. 191).

[2]) Gleiches trifft für den Unterlauf der Mosel zu.

[3]) X. Stainier: Le Cours de la Meuse depuis l'ère tertiaire. (Bull. Soc. belge de Géol. T. VIII. 1894.)

Oestreich [1]) von dem „Reitzenhainer Rhein“ spricht. Späteren Untersuchungen muß es dann vorbehalten bleiben, wenn möglich, einen auf das geologische Alter begründeten, allgemeinen Namen vorzuschlagen. Anstatt der pliozänen Maas möchte ich hier also den Namen „Argonnen-Maas“ einführen. (Vgl. § 9 über die Terrassen.)

§ 7.

Der heutige Zyklus.

Charakter der Ardennen: eine gehobene Fastebene.

Im Jungtertiär scheint in Deutschland, den Niederlanden und Belgien eine Regression des Meeres stattgefunden zu haben. Aus der Zusammenfassung, wie W. C. Klein [2]) sie über die Küstenlinien jener Zeit gibt, scheint hervorzugehen, daß im Mittelpliozän das Maastal sich ungefähr ebensoweit nach Norden erstreckt hat als heute. Nach dem Pliozän (im Amstélien) muß das Meer sich immer mehr nach Norden zurückgezogen haben, da im Altpleistozän England und der Kontinent vermutlich zusammenhingen und der Rhein über den östlichsten Teil Englands strömte. [3])

Im Jungtertiär scheint der Boden in Belgien, Frankreich und Deutschland eine Aufwölbung erfahren zu haben, welche sich besonders im Altpliozän und dann wieder nach der Pliozänzeit akzentuierte und die heutigen Mittelgebir geschuf; zugleich mit dieser Aufwölbung setzte ein neuer Erosionszyklus, der heutige, ein. Im Jungpleistozän war mit dieser Hebung eine Senkung des Vorlandes (des jetzigen Bodens der Nordsee) verbunden; das Meer fing wieder an nach Süden zu transgredieren, die Flüsse wurden verkürzt, das relative Gefälle aber vergrößerte sich, und diese Ursache zusammen mit der absoluten Hebung der Quellgebiete hatte eine Neubelebung der Erosion zufolge. Der Hebung gemäß wurde auch die Regenmenge größer. Die noch sehr strittigen Ursachen der allgemeinen Abkühlung, welche

[1]) K. Oestreich: Studien über die Oberflächengestalt des Rheinischen Schiefergebirges. (Pet. Mitt. 1909, S. 60.)

[2]) W. C. Klein: Tektonische und stratigraphische Beobachtungen am Südwestrande des Limburgischen Kohlenreviers. (Mededeel. v. d. Rijksopsporing v. Delfstoffen. No. 5. 'sGravenhage 1913.)

[3]) J. Lorié: Eene belangwekkende geologische excursie in Limburg. (Tijdschr. Kon. Nederl. Aardrijksk. Genootsch. 2e Serie, dl. XXXI, 1914, p 42.)

die Eiszeit im Pleistozän herbeiführte, möchte ich außer Betracht lassen, obgleich auch die Ardennen von den Folgen dieser Abkühlung betroffen worden sein mögen.

Eine derartige Aufwölbung einer Fastebene kann gewiß ein schon bestehendes Flußsystem vollständig umändern, wenn die neue Abdachungsrichtung nicht mit der alten übereinstimmt. Bei den Ardennen aber verläuft die Hebungsachse ungefähr OW., also fast senkrecht zu der Abdachung der n + 2en Peneplain. Infolgedessen behielten die Flüsse, die konsequent waren in Bezug auf die Abdachung der alten Fastebene und deren Quellregion nördlich der Hebungsachse lag, ihren Lauf bei und wurden auch konsequent in Bezug auf die Abdachung der verbogenen Peneplain. Von den Flüssen, die ihre Quellen südlich der Hebungsachse hatten, wird später noch die Rede sein. — Ein Fluß wird nun im Augenblick, wo seine Erosionskraft verjüngt wird, an der Stelle sein Bett einschneiden, wo er sich gerade befindet; so blieben die Mäander der Maas und der anderen Peneplainflüsse erhalten, wurden aber zu eingesenkten Mäandern (méandres encaissées). Das gleiche gilt für die untere Mosel. Eine zweite Folge der verjüngten Erosion war, daß die Flüsse durch regressive Erosion ihr Tal verlängerten, so z. B. die Samson, deren Quellflüsse wir in der Wimbe, der Lesse oberhalb Han, der Lomme oberhalb Jemelle, der Wamme oberhalb Hargimont zu sehen haben. (Fig. 5.)

Unsere Behauptung, daß diese Oberläufe in dieser Zeit und nicht in einer früheren Periode entstanden sind, stützt sich allerdings nur auf den schwachen Grund, daß sie im Gegensatz zu der unteren Lesse, Ourthe usw. keine regelmäßigen, großen Mäander besitzen und deshalb wahrscheinlich nicht auf der n + 2en Peneplain geflossen haben, aber doch konsequent sind zur Aufwölbung.

In diesem Erosionszyklus können drei Ruhepausen in der Hebung nachgewiesen werden, übereinstimmend mit den drei Terrassen, die entlang der Maas (auch in Frankreich und den Niederlanden), der Lesse, Lomme, Vesdre (Weser), Ourthe, Amblève usw. sich befinden. Sowie infolge Aussetzens der Hebung die Erosionskraft erlahmte, war die Last größer als die Schleppkraft. Die Flüsse akkumulierten, höhten ihre Talsohle mit Geröllen auf, so daß sie auf ihren eigenen Ablagerungen

flossen, und als dann die Ruhepause in der das Tiefereinschneiden bedingenden Kraft beendet war, schnitten sie aufs Neue ein, bis der bisherige, an der Oberfläche aus Flußablagerungen aufgebaute Talboden durchsunken war, und die von der Erosion ausgesparten

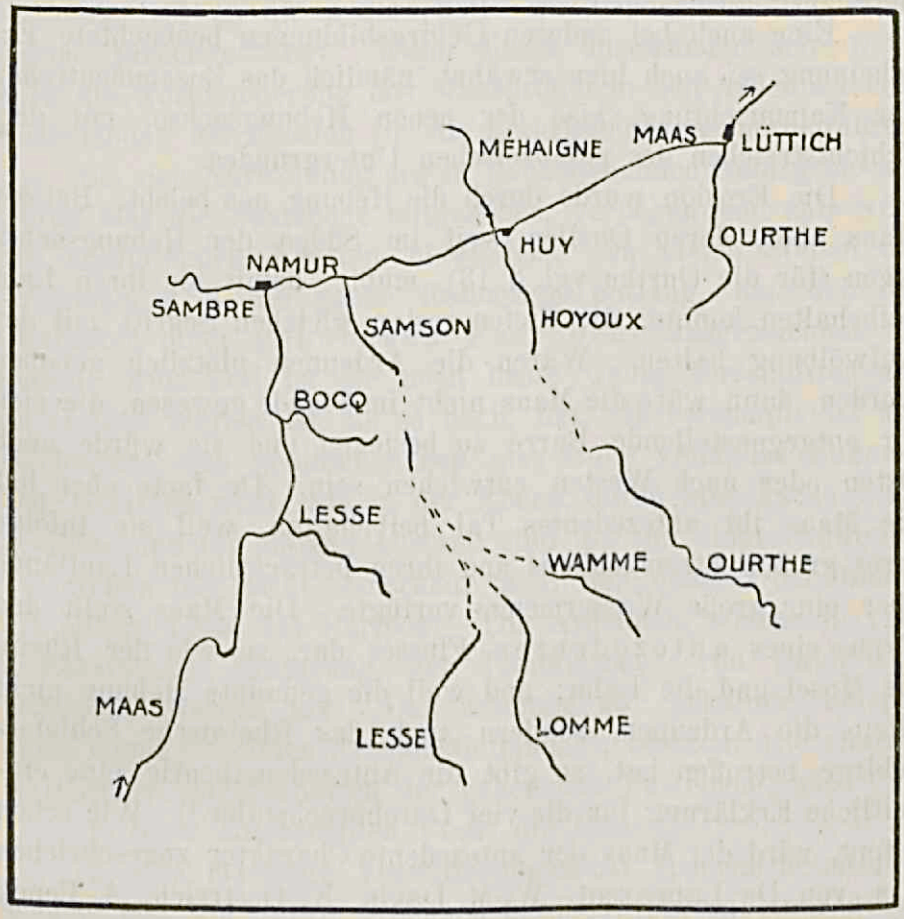


Fig. 5. Das Ardennen-Flußsystem auf der n + 2en Fastebene nach der Hebung.

Stücke als Terrassen übrig blieben. Zugleich fingen die Flüsse an in den felsigen Untergrund einzuschneiden, bis eine neue Ruhepause eintrat usw. Die drei Terrassen sind (vgl. § 9):

die Hauptterrasse (terrasse supérieure) bei der Lesse und der Maas ± 90 m über dem heutigen Flußniveau gelegen,

die Mittelterrasse (terrasse moyenne) bei der Lesse und der Maas ± 30 m über dem heutigen Flußniveau gelegen,

die Niederterrasse (terrasse inférieure) bei der Lesse und der Maas einige m über dem heutigen Flußniveau gelegen.

Zwischen der Bildung der Hauptterrasse und derjenigen der Mittelterrasse erfolgte die stärkste Hebung; eben diejenige, welche hauptsächlich die heutige Form des Rheinischen Schiefergebirges und der Ardennen bestimmt und die Durchbruchstäler verursacht hat.

Eine auch bei anderen Gebirgsbildungen beobachtete Erscheinung sei auch hier erwähnt, nämlich das Zusammentreffen der Kammrichtung, also der neuen Hebungsachse, mit dem Schichtstreichen des paläozoischen Untergrundes.

Die Erosion wurde durch die Hebung neu belebt. Bei der Maas aber, deren Quellen weit im Süden der Hebungsachse lagen (für die Ourthe vgl. § 13), mußte, damit sie ihren Lauf beibehalten konnte, die Tiefenerosion gleichen Schritt mit der Aufwölbung halten. Wären die Ardennen plötzlich gehoben worden, dann wäre die Maas nicht im Stande gewesen, die sich ihr entgegenstellende Barre zu besiegen und sie würde nach Osten oder nach Westen entwichen sein. De facto aber hat die Maas ihr antezedentes Tal beibehalten, weil sie infolge ihres großen Stromgebietes und ihrer beträchtlichen Lauflänge über eine große Wassermenge verfügte. Die Maas stellt den Typus eines antezedenten Flusses dar, so wie der Rhein, die Mosel und die Lahn; und weil die genannte Hebung nicht allein die Ardennen, sondern auch das Rheinische Schiefergebirge betroffen hat, so gibt die Antezedenztheorie eine einheitliche Erklärung für die vier Durchbruchstäler.[1]) Wie schon betont, wird der Maas der antezedente Charakter zugeschrieben u. a. von De Lapparent, W. M. Davis, K. Oestreich, A. Penck (Morphologie der Erdoberfläche. Stuttgart 1894. S. 104), wie auch in Davis-Rühl (Die erklärende Beschreibung der Landformen. Leipzig u. Berlin 1912. S. 261) diese Theorie verteidigt wird.

Das Längsprofil der Maas ist noch nicht normal, es zeigt unterhalb der Mündung der Semois einen Gefällsknick (vgl. hierzu Tafel 1); der Widerstand der paläozoischen Ardennenschichten tritt hier deutlich hervor. Von Bazeilles bis Charleville beträgt das Gefälle 22 cm pro km, von Monthermé bis

[1]) In A. Pencks „Die Bildung der Durchbruchtäler" (Schrift. Ver. Verbr. naturw. Kenntn. Wien XXVIII 1887/88) findet sich eine ausführliche, historische Übersicht der Entwicklung der verschiedenen Theorien bis 1888.

Givet 60 cm. Diese Gefällsänderung bei Monthermé, die heute fast an die Südseite des cambrischen Kerngebirges der Ardennen gerückt ist, muß früher an dessen Nordseite gelegen haben. Wie Vidal de la Blache bemerkt, hat die rückschreitende Erosion sie heute fast an die andere Seite des Hindernisses bis Monthermé zurückgedrängt. Wenn dieses überwunden sein wird, wird die Normalisierung des Maasprofils in den Ardennen eine Neubelebung der Erosion für die Lothringer Maas herbeiführen.

Bei der Aufwölbung des in Rede stehenden Gebirgsblockes wurde also die Fastebene mitgehoben, verbogen und aufs Neue den erodierenden Kräften überliefert. An vielen Stellen der Ardennen, z. B. die ganze Kammlinie entlang, hat sich der Charakter einer gehobenen Fastebene ausgezeichnet erhalten. Zum Teil ist sie noch heute wenig zerschnitten und an einigen Stellen ist sie so flach, daß sie versumpft ist und Hochmoore sich gebildet haben (das Hohe Venn, les Fagnes). Der Horizont wird, wie in der Ebene, durch eine flache Linie gebildet, und auf einigen Abstand sind die tief eingeschnittenen Talfurchen fast nicht bemerkbar (z. B. das Maastal bei Dinant, die untere Lesse bei Furfooz). Die Ardennen, welche in „Die beschreibende Erklärung der Landformen“ von Davis-Rühl bezeichnet werden als: „Das schönste mir bekannte Beispiel eines emporgewölbten Erosionstieflandes“, besitzen alle charakteristischen Eigenschaften der gehobenen Fastebene, wie:

1. einen antezedenten Fluß: die Maas;

2. eine mächtige Verwitterungsdecke (couche détritique), welche fast die ganze Ardennenoberfläche bedeckt (ein glücklicher Umstand für den Landbau!) und einen scharfen Gegensatz bildet zu den oft kahlen Felswänden der canyonartigen, tiefen Täler. Diese weisen auf ein jugendliches Stadium im heutigen Zyklus, während jene, die im Gefolge schlechter Entwässerung auftrat, übernommen ist von der alten Peneplain. — Eine beinahe ebene wenn auch gebogene Fläche stempelt an sich eine Oberfläche noch nicht zu einer gehobenen Fastebene; da auch ein gehobener alter Meeresboden eine ähnliche äußere Beschaffenheit aufweisen kann; in diesem Falle sind jedoch die Schichten horizontal gelagert. In den Ardennentälern dagegen, besonders in dem tief eingeschnittenen Maastale, drängt sich jedem Beschauer die verworrene Ansicht der stark gefaltenen

Schichten auf, die an der Oberseite wie mit einem Hobel abgescheuert erscheinen;

3. die großen, eingesenkten Mäander der Maas, Semois, unteren Lesse usw. Sie können keinesfalls durch die Erosionsarbeit des verhältnismäßig noch jungen, heutigen Zyklus geschaffen sein und sind von der alten Fastebene übernommen, da, wie Davis sagt, „die Mäander die Flüsse mit schwachem Gefälle charakterisieren".

Davis hat den Vorschlag gemacht, eine gehobene Fastebene ein „past-plain" zu nennen. Sie soll nach Davis nicht kurz eine „Peneplain" genannt werden, weil sie sich jetzt nicht mehr einer flachen Oberfläche nähert, sondern das Relief immer größer wird.[1]) Davis schreckt davor zurück, den Namen „past-peneplain" einzuführen. Jedoch glaube ich, daß dieser Name der einzig logische ist, da auch ein gehobener, flacher Meeresboden mit dem Namen past-plain bezeichnet werden kann. In der französischen Sprache könnte dieser Begriff mit „pénéplaine soulevée" wiedergegeben werden, während der deutsche Ausdruck „gehobene Fastebene" sich, wie ich meine, schon eingebürgert hat.

§ 8.

Anpassung.

Verschiedenen Beispielen der Anpassung begegnen wir in den Ardennen. So entwickelte sich, von der konsequenten Ourthe-Maas ausgehend, ein subsequenter Seitenfluß, der bei Noiseux die Ourthe-Hoyoux entwurzelte. Ein noch schöneres Beispiel bietet das Stromgebiet der Lesse. Der subsequente Charakter der Lesse unterhalb Éprave wurde schon betont. Im Verlaufe ihres Bestrebens durch rückschreitende Erosion ihr Tal zu verlängern, enthauptete sie zuerst die Wimbe (vgl. Fig. 5), dann die Lesse von Belvaux (einen ursprünglich konsequenten Fluß), deren Oberlauf sie sich tributär machte. Dann setzte sie ihre räuberische Arbeit weiter fort, aber in etwas anderer Richtung, nämlich SW.-NO., dem Schichtstreichen entsprechend, das westlich von Rochefort W.-O., östlich von Rochefort aber SW.-NO. gerichtet ist. So wurden nacheinander die konsequenten Flüsse

[1]) W. M. Davis: The rivers of Northern New Jersey. (1890. Geographical Essays.)

Lomme und Wamme (vgl. Fig. 6) enthauptet. Eine Zeitbestimmung für die obigen Anpassungen ist schwer zu geben. Wahrscheinlich müssen sie in den Anfang des jetzigen Zyklus angesetzt werden, noch vor der ersten Ruhepause, die mit dem Auftreten der Hauptterrasse verknüpft ist; denn diese Terrasse wird auch entlang der Wamme und Lomme beobachtet.

§ 9.

Die Terrassen.[1])

Die Theorien, die sich mit der Erklärung der Terrassen beschäftigen, laufen heutzutage noch sehr weit auseinander.[2]) Von einigen wird das Vorkommen von Terrassen der Einwirkung von Klimaänderungen, von anderen dem Einfluß von Niveauschwankungen der Erosionsbasis zugeschrieben. Was nun die Einwirkung von Klimaänderungen anlangt, so scheint man sich in der letzten Zeit darüber mehr und mehr klar zu werden, daß ein Nachweis des Zusammenhangs zwischen den Eiszeiten und den Terrassen außerhalb der vergletscherten

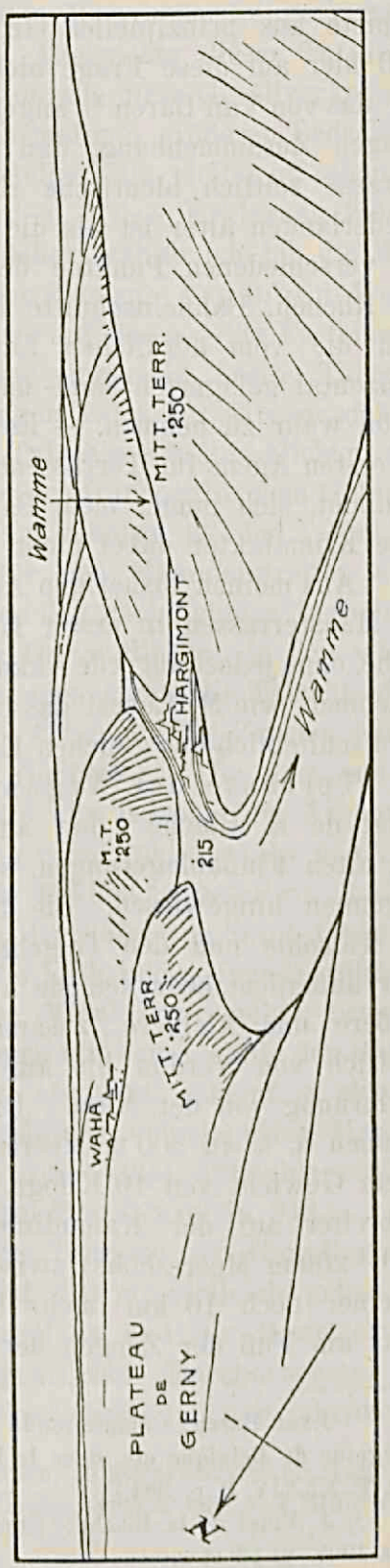


Fig. 6. Das Plateau de Gerny und das Ablenkungsknie der Wamme bei Hargimont.

[1]) Vgl. zu diesem Paragraph Tafel 1.

[2]) J. Lorié: À propos des terrasses fluviales. (Ann. Soc. géol. de Belg. T. XXXIX B. p. 377.)

Gebiete aus prinzipiellen Gründen nicht zu erwarten ist. Ich will hier auf diese Frage nicht weiter eingehen, verweise nur auf das von Van Baren [1]) angeführte Argument gegen einen derartigen Zusammenhang, daß nämlich die mit unserer Hauptterrasse zeitlich identische Hauptterrasse des Rheines in den Niederlanden älter ist als die große Skandinavische Vereisung. An verschiedenen Punkten der Veluwe (Arnheim, Grebbeberg bei Rhenen, Bahneinschnitte bei Maarn und bei Wezep usw.) sind die vom nördlichen Landeise aufgestauten, ursprünglich horizontal gelagerten Sand- und Kiesschichten der Hauptterrasse schön wahr zu nehmen. — Es scheint, daß die Theorie, welche als ersten Agens für Terrassenbildung orogenetische Bewegungen annimmt, sich immer mehr Bahn bricht, wenn auch der sekundäre Klimafaktor dabei nicht außer Betracht bleiben darf.

Aus meinen bisherigen Auseinandersetzungen folgt, daß ich die Maasterrassen in erster Linie durch Hebungen zu erklären suche, ohne jedoch für jede Akkumulationsperiode eine Senkung anzunehmen, wie M. Lohest das tut; eine Ruhepause in der Hebung wird schließlich den gleichen Effekt aufweisen, wie eine Senkung.

Terrasse der Argonnen-Maas. (? Pliozänterrasse). Vidal de la Blache [2]) hat auf das eigentümliche Vorkommen von alten Flußablagerungen, sog. Vogesenablagerungen, in den Argonnen hingewiesen. Sie finden sich selbstverständlich auf der Talsohle und den Talgehängen der Maas und der Mosel, aber außerdem bedecken sie auf den benachbarten Hochflächen größere und kleinere, zusammenhängende Flächen, so z. B. westlich von Verdun bis auf die Argonnen in 20 Kilometer Entfernung von der Maas. Unter diesen Vogesenablagerungen kommen u. a. in 300 m Meereshöhe große Blöcke vor (bis zu einem Gewicht von 10 Kilogr.). Diese Absätze sind besonders verbreitet auf der Kammlinie Montfaucon, Nantillois, Cunel (300—250 m Meereshöhe) zwischen der Aire und der Maas und in einer noch 10 km mehr betragenden Entfernung von der Maas am Fuß der Zeugen der Argonnencuesta. In Lothringen

---

[1]) J.van Baren: Compte rendu de la Session extraordinaire de la Société géologique de Belgique etc. dans le Limbourg hollandais. (Ann. Soc. géol. de Belg. T. XXXIV B. p. 384.)

[2]) J. Vidal de la Blache: Étude sur la vallée lorraine de la Meuse. Paris 1908. p. 16 et s.

finden sich Vogesengerölle in 300 m Meereshöhe in geringerem Abstande von der Maas überall. Angesichts dieser Tatsachen muß man sich die Frage vorlegen, ob alle diese Geröllvorkommen nicht vielleicht die Reste einer ehemaligen größeren Bedeckung mit fluviatilen Maasabsätzen darstellen, die vielleicht schon im Jungtertiär dahin verfrachtet wurden. Diese Erklärung scheint mir gut begründet zu sein und daher wählte ich für die Maas in jenem Stadium ihres Lebens den Namen: Argonnen-Maas. Die Argonnen-Maas hatte, indem sie auf der n + 2en Fastebene[1]) strömte, nach dieser Ansicht eine ungemein breite Talsohle, welche sich bis westlich des jetzigen Tales der Aire ausdehnte. Die Reste, welche uns von jener Talsohle erhalten blieben, sind später bei der allgemeinen Hebung des francogallischen Gebirgsblocks bis in eine Höhe von 300 m gehoben worden. Nun hat aber eine Breite von 20 km für den Mäanderstreifen eines Flusses, der auf einer Fastebene in den nachgiebigen Lothringer Gesteinen fließt, an sich nichts Erstaunliches; in den widerständigeren Ardennengesteinen dagegen mußte die Talsohle dementsprechend schmäler ausfallen. Als später die Erosion wieder einsetzte, lokalisierten sich die Flußbetten. Die Aire und die Biesme schnitten ihre Täler in die alte Talsohle der Argonnen-Maas ein. Durch diese Auffassung wird wohl auch die von Vidal angedeutete Schwierigkeit für die Erklärung beseitigt, daß im Tal der Aire, bei 200 m Höhe in der Nähe von Saint-Juvin und in 270 m Höhe bei Ippécourt, von der Lothringer-Maas herrührende Quarzgerölle gefunden sind. Da Vidal doch selber bemerkt, daß das Niveau dieser Ablagerungen mit dem Gefälle der Biesme und der Aire, also stromabwärts abnimmt, scheint es sich bei diesen Funden um von diesen Flüssen umgelagertes Material zu handeln. Bei Verdun sind von Vidal Flußablagerungen in 320 m Meereshöhe gefunden, bei Montfaucon in 342 m. Nun liegen die Reste der nächstjüngeren Terrasse, der Hauptterrasse, in dieser Gegend zwischen 300 und 250 m; vielleicht gehen hier also die Terrasse der Argonnen-Maas und die Hauptterrasse in einander über. Aus dem eigentlichen Durchbruchstal der Maas, der Talstrecke Mézières-Givet, habe ich nur sehr wenige

[1]) Es ist auf S. 20 versäumt worden, zu bemerken, daß die Ausdrucksweise NTE usw. Peneplain, meines Wissens, zuerst von F. P. Gulliver gebraucht wurde.

Daten über Terrassen gefunden. Briquet[1]) spricht von sehr reifen Tälern, welche den ältesten Zyklen der pleistozänen Entwicklung entsprechen. Es treten diese reifen Täler, durch die Verbiegung mitgehoben, bis in die höchsten Teile der Ardennen auf, und erscheinen uns jetzt als Hängetäler oder Taltorsi. Die Reste der ältesten Maasterrasse kommen nach seiner Angabe bei Revin in 350 m Meereshöhe vor, d. h. 230 m über dem heutigen Maasniveau. Der Höhe nach muß dieses Vorkommen also der Terrasse der Argonnen-Maas zugerechnet werden; petrographische Merkmale werden von Briquet leider nicht angeführt. Privatim sind mir von Dr. J. Lorié (Utrecht) zwei durch das Auftreten von weißen Geröllen gekennzeichnete Terrassenvorkommen mitgeteilt worden, beide auf der linken Seite der Maas; das eine bei Massinfour (unweit Joigny) in 366 m, d. h. 225 m über dem heutigen Flußniveau, das ich also als Rest der Terrasse der Argonnen-Maas ansehe, das zweite bei Foisches (SW von Givet) in 225 m, d. h. 120 m über dem Flußniveau, das ich der Hauptterrasse zurechne. Bei Anseremme (Fig. 7) befinden sich auf beiden Seiten der Maas bei der Mündung der Lesse Terrassen in 225 m (Flußniveau 90 m). Die Hauptterrasse liegt bei Dinant in ± 187 m; meiner Meinung nach, müssen also jene Terrassen bei Anseremme der ältesten Maasterrasse zugerechnet werden.

Stainier,[2]) der die Terrassen zwischen Dave und Engis untersucht hat, nennt diese, eine Breite von 4—10 km besitzende Terrasse, die Terrasse der tertiären Maas. Er bemerkt dabei, daß die betreffenden aus weißem Quarzgerölle bestehenden Schotter im Gelände einen Höhenzug darstellen, als ob der betreffende Fluß kein erhöhtes Ufer gehabt habe, wenigstens nicht an der Nordwestseite. Stainier sieht die Ursache darin, daß die Maas in jener Zeit ihr Bett in die oligozänen Sande einschnitt, welche später durch die Erosion fortgeschafft wurden, während die fluviatilen Geröllablagerungen der Denudation mehr Widerstand geboten haben. — Es ist vielleicht nicht nötig, hierfür Einpackung der Gerölle in Sanden von höherem Alter anzunehmen, da auch auf der klassischen Terrasse von Reitzenhain am Rhein die pliozänen Ablagerungen Hügel bilden, auf der vom verwitterten Grund-

[1]) A. Briquet: Sur l'existence d'une pénéplaine fossile (l. c. S. 13.)

[2]) X. Stainier: Le Cours de la Meuse etc. (l. c. S. 24).

gebirge gebildeten Fläche. — Stainier hat stromaufwärts seine Untersuchungen nur bis Lustin fortgesetzt. Er zieht aber aus dem Habitus der Grenzlinien jener tertiären Zone den Schluß, daß die tertiäre Maas absolut geradlinig (rectiligne) floß, d. h. daß sie damals den rechten Winkel bei Namur noch nicht zeigte, sondern aus dem Lande zwischen Sambre und Maas kam, aus der Gegend von Fosse und Walcourt, statt von Dinant. Diese Schlußfolgerung scheint mir nicht genügend motiviert. Die Grenzlinien jener tertiären Zone hätte Stainier auf der seiner Abhandlung hinzugefügten Karte mit ebensogutem Recht bei Namur umbiegen und sie also dem jetzigen Maaslaufe entsprechen lassen können. Auch weist er selber darauf hin, daß in diesem Punkte seine Theorie noch der Bestätigung durch die Feststellung des Vorkommens von tertiären Maasgeröllen im Lande zwischen Sambre und Maas bedarf. Als Meereshöhe dieser tertiären Terrasse gibt Stainier für die Umgebung von Namur 250—200 m, für die Talstrecke nordöstlich von Huy 205—175 m an.

Eine vorzügliche Arbeit über die Maasterrassen in der holländischen Provinz Limburg verdanken wir W. C.

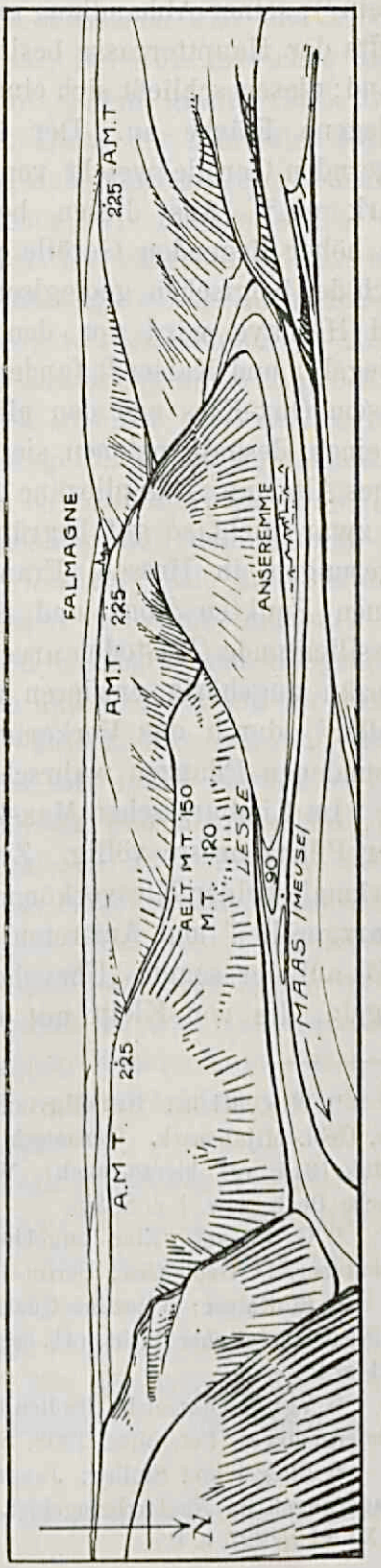


Fig. 7. Die Terrassen beim Zusammenfluß der Lesse und Maas bei Anseremme. A. M. T. = Terrasse der Argonnenmaas.

Klein[1]); seiner Abhandlung entnehme ich folgendes: „Das große Delta der Hauptterrasse besitzt in Limburg einen ausgeprägten Rand; diesem schließt sich eine in einem 50—60 m höheren Niveau gelegene Fläche an. Der Charakter der auf dieser Fläche lagernden Gerölle weicht von dem der Gerölle der Hauptterrasse stark ab.“ Aus diesen beiden Gründen nimmt Klein für die höher liegenden Gerölle pliozänes Alter an. Der Kies (Onx nach der belgischen geologischen Karte) der Plateaus von Herve und Hesbaye wird von den Belgiern als Oligozän betrachtet. Fliegel[2]) und Kaiser[3]) fanden große Übereinstimmung zwischen diesem Onx-Kies und den pliozänen Kieseloolithenschottern des Rheines, deshalb nehmen sie für die Onx-Kiese gleichfalls pliozänes Alter an. Das pliozäne Alter jener ältesten Rheinabsätze[4]) ist zwar nicht so gut begründet, wie das Alter ähnlicher Ablagerungen in Hessen, Franken und Thüringen, wo an einzelnen Punkten Tone und Sande der Talablagerungen durch Fossilienfunde (Mastodon arvernensis und Borsoni) als dem Oberpliozän zugehörig erwiesen worden sind: Doch wird es nach Stoller[5]) durch das Vorkommen von an ein wärmeres Klima gebundenen Pflanzen wahrscheinlich gemacht.

Im Limburgischen Maaskies aber fehlen ähnliche Knochen- oder Pflanzenreste völlig. Zwar stimmen die petrographischen Merkmale beider Kiesvorkommen gut überein: Vorherrschen von Quarzgeröllen und Auftreten der bezeichnenden Kieseloolithen, z. B. auf der sogen. „Übagsberg-Insel“, oder vielmehr den vier Hügeln, die von Klein mit diesem Namen bezeichnet werden.

---

[1]) W. C. Klein: Het diluvium langs de Limburgsche Maas. (Verhandel. v. h. Geol.-Mijnbouwk. Genootsch. voor Nederland en kolonien. Deel II, 1. Stuk 1914) vgl. hierzu auch: W. C. Klein: Tektonische und stratigraphische Beob. usw. l. c. S. 25).

[2]) G. Fliegel: Eine angebliche alte Mündung der Maas bei Bonn. (Monatsber. D. Geol. Ges., Berlin 1907, Nr. 10/11.)

[3]) E. Kaiser: Pliozäne Quarzschotter im Rheingebiet zwischen Mosel und Niederrheinischer Bucht. (Jb. der k. preuß. Geol. Landesanstalt, Bd. XXVIII S. 81 u. ff.)

[4]) Vgl. K. Oestreich: Studien über die Oberflächengestalt des Rheinischen Schiefergebirges (Pet. Mitt. 1908, S. 75).

[5]) Fliegel und Stoller: Jungtertiäre und altdiluviale pflanzenführende Ablagerungen im Niederrheingebiet. (Jahrb. der k. preuß. Geol. Landesanstalt. Bd. XXXI S. 227 u. ff.)

Die Schotter des Übagsbergs liegen zwischen 216 und 215 m, d. h. ± 170 m über dem Maasniveau. Bei Huls erreichen diese Schotter eine Mächtigkeit von 7 m. Klein glaubt, daß diese hochgelegene Fläche „eine Insel im Delta der diluvialen Maas" gebildet hat, gegen welche Auffassung sich jedoch gewisse Bedenken erheben. Es läßt sich schwer verstehen, wie im breiten Tal der diluvialen Maas, wo der Fluß sein Bett fortwährend verlegte, eine Insel, die aus Schottern auf einer Unterlage von tertiären Sanden bestand, von der Erosion ausgespart werden konnte. — Allerdings vermag auch ich eine bessere Erklärung nicht zu geben. — Auch auf der Heerlenschen Heide ist in einer großen Kiesgrube eine mächtige Ablagerung von Quarzgeröllen und Kieseloolithen aufgeschlossen. Ihre Lage in einem Niveau unterhalb demjenigen des weiter westlich gelegenen Miozäns muß dem Einfluß der Sandgewandstörung zugeschrieben werden. Alle diese ältesten Flußablagerungen in Limburg werden von Klein und auch von verschiedenen anderen holländischen Geologen und Geographen als pliozäne Absätze betrachtet. Da nun aber entlang der ganzen Maas in diesem Terrassenniveau, soweit mir bekannt, keine Fossilien gefunden sind, scheint es mir nicht erwünscht (vgl. den Schluß von § 6), nur auf Grund der petrographischen Übereinstimmung mit pliozänen Rheinkiesen auch für die älteste Maasterrasse das pliozäne Alter als sichergestellt anzunehmen, obgleich ich die Möglichkeit zugebe, daß später zureichende Gründe für die Zuweisung an das Pliozän geliefert werden könnten. Dagegen ist das im Vergleich zu den Hauptterrassenschottern höhere Alter der Argonnen-Maasterrasse durch das höhere Niveau und die abweichende, petrographische Beschaffenheit dieser letzteren erwiesen worden.

Die drei in niedrigerem Niveau gelegenen Terrassen: die Hauptterrasse (terrasse supérieure), die Mittelterrasse (terrasse moyenne) und die Niederterrasse (terrasse inférieure) sind in Frankreich, Belgien und den Niederlanden längs der Maas und längs mehrerer Seitenflüsse derselben nachgewiesen worden. Für Frankreich hat J. Vidal de la Blache[1]) einige Daten angegeben, für Belgien Du-

[1]) J. Vidal de la Blache: Étude sur la vallée lorraine de la Meuse. Paris 1908.

pont[1]) und Stainier,[2]) für die Niederlande J. Lorié und W. C. Klein.[3])

Die Hauptterrasse. In Frankreich wird die Geröllbedeckung der Hauptterrasse durch mehr oder weniger ausgedehnte Geröllablagerungen von verschiedener Mächtigkeit auf der Rückenhöhe der Hügelrücken vertreten. Bei Verdun liegen sie in ungefähr 300 m Meereshöhe (das Maasniveau liegt hier in 193 m). Auch unterhalb wie oberhalb Verdun kommen sie in ungefähr gleicher Höhenlage vor, und überall herrschen unter dem Schottermaterial die weißen Quarze und quarzige Sandsteine vor. Sie bedecken die Sporne der großen Maasmäander zwischen Pagny und Void, bei St. Mihiel usw. und diejenigen der abgeschnittenen Mäander bei Fontaines in der Nähe von Dun usw. Bis Mouzon sind sie von Vidal nachgewiesen worden. Zu diesem Niveau rechne ich auch die von J. Lorié (vgl. S. 34) bei Foisches (SW. von Givet) in 225 m Meereshöhe, d. h. 120 m über dem heutigen Flußniveau, nachgewiesene Terrasse. Bei Dinant liegt die Hauptterrasse, bezeichnet durch die Lage der Zitadelle, in ungefähr 187 m (Maasniveau 89 m); also ± 98 m über dem Flußniveau. Auch stromabwärts von Dinant finden sich im ungefähr gleichen Niveau schöne Terrassenreste, besonders am rechten Ufer. Schon Dupont hat von der französischen Grenze bis Dinant und auch stromabwärts von dieser Stadt an verschiedenen Punkten diese Terrasse erkannt, stets in ungefähr 90 m über dem Flußniveau. Dann hat Stainier die Fortsetzung dieser Hauptterrasse nachgewiesen; da er aber auf seiner Karte die Reste der Hauptterrasse zusammen mit denen der Mittelterrasse unter dem Namen „amas de gravier des terrasses supérieures“ einzeichnet, können seine Angaben nicht zur Trennung und Verfolgung der beiden Terrassenhorizonte verwandt werden. Von Forir und Lohest[4]) ist eine Terrasse angegeben worden, welche ebenfalls der Hauptterrasse zugerechnet

---

[1]) É. Dupont: Étude sur le terrain quaternaire des vallées de la Meuse et de la Lesse dans la province de Namur. (Bull. Acad. de Bruxelles. 2. Série. 1866. T. 21, p. 366).

[2]) X. Stainier: Le cours de la Meuse etc. (l. c. S. 8).

[3]) W. C. Klein: Het diluvium etc. (l. c. S. 36).

[4]) Zitiert von W. C. Klein nach Forir und Lohest (W. C. Klein: Het diluvium etc. Ibid.).

werden muß, nämlich die „Terrasse de Pontisse“, benannt nach dem Fort von Pontisse, nördlich von Herstal. Die Geröllbasis liegt hier in 120 m. In der niederländischen Provinz Limburg liegt die Basis der Hauptterrasse bei St. Pieter in 94 m, bei Cadier in 112—116 m, also ungefähr 70 m über dem Flußniveau. In der Nähe von Margraten liegt die Geröllbasis viel höher in ± 161 m. Diese auffällige Tatsache könnte uns auf den Gedanken bringen, hier eine Zweiteilung der Hauptterrasse vornehmen zu wollen, die scheinbar einheitliche Hauptterrasse nämlich in eine ältere und eine jüngere Terrassenstaffel zu zerlegen. Klein weist aber auf die Möglichkeit hin, daß der Niveauunterschied den in dieser Gegend weit verbreiteten, tektonischen Störungen zuzuschreiben sein könnte. Jedenfalls ist in Belgien eine Zweiteilung der Hauptterrasse noch nicht nachgewiesen worden.

Die Mittelterrasse. In Lothringen liegen die Reste der Mittelterrasse in 30 oder 40 m über dem heutigen Flußniveau, z. B. die Terrasse südlich von Belleray bei Verdun. Zwischen Pagny und Mouzon liegt eine Terrasse in ungefähr 240 m Meereshöhe. Bei Monthermé hat Gosselet auf Terrassen in 200 m Meereshöhe, 68 m über dem Fluß, Vogesengerölle nachgewiesen, während bei Fumay, in 223 m, 44 m diluviale Gerölle angebohrt worden sind. (Maasniveau in 114 m.)[1]) Diese Daten erscheinen mir zu unbestimmt, und die Vorkommen, auf welche sie Bezug haben, stehen zu vereinzelt, als daß sich auf Grund von ihnen feststellen ließe, ob wir es hier mit Resten der Mittelterrasse zu tun haben (wie Vidal für die Terrasse von Monthermé annimmt), oder ob wir in ihnen Fragmente einer Terrasse zwischen Haupt- und Mittelterrasse zu sehen haben, in 60 m relativer Höhe. Eine solche kommt auch bei der Lesse an manchen Stellen vor und ist von Dupont an der Maas allerdings nur bei dem Gehöfte Rond-Chêne auf dem linken Talabhang gegenüber Anseremme nachgewiesen worden. Meiner Meinung nach ist sie hier auch auf dem rechten Talabhang vertreten (vgl. Fig. 7). Auch beim Rhein ist man davon abgekommen, alle Terrassenreste zwischen Haupt- und Niederterrasse auf eine Terrasse zurückzuführen, und spricht jetzt von „Mittel-

[1]) Vgl. zu beiden Vorkommen: Vidal: Étude sur la vallée lorraine etc. p. 104.

terrassen". Von Dupont und auch von mir ist eine Mittelterrasse entlang der Maas an verschiedenen Stellen beobachtet worden; meist liegt sie 30 m über dem Flußniveau. Ein gutes Beispiel dieser Terrasse stellt das Bois de Hulle bei Profondeville dar. — In den Niederlanden liegt eine Mittelterrasse, z. B. bei Maastricht, mit einer Breite von 7 km in 10 bis 20 m über dem Flußniveau.

Die Niederterrasse. Die Niederterrasse wird von der heutigen Talsohle der Maas gebildet. In Frankreich liegt sie ungefähr 10 m über dem Flußbett und wird von zahlreichen quarzigen Geröllen bedeckt. In Belgien liegt die Oberfläche der Niederterrasse 3 bis 4 m über dem Flußniveau, und ebenso begleitet sie auch den ganzen Maaslauf in den Niederlanden.

Auch entlang verschiedener Nebenflüsse der Maas sind Terrassen festgestellt worden, so z. B. entlang der Lesse die Hauptterrasse in 90 m, eine Mittelterrasse in 30 m und längs des ganzen Lesselaufes die Niederterrasse. (Dupont l. c. S. 38; vgl. auch § 14 dieser Abhandlung.) Außerdem befindet sich bei der Lesse eine ältere Mittelterrasse („Terrasse entre moyenne et supérieure" nach Dupont) in 60 m über dem Flußniveau. — Entlang der Sambre hat Ch. Stevens[1]) außer der Niederterrasse noch eine Terrasse in 20 m festgestellt. Vielleicht muß diese Terrasse mit der Mittelterrasse der Maas in 30 m gleichgestellt werden. A. Renier[2]) hat im Tal der Vesdre (Weser) zwei Terrassenniveaus nachgewiesen, das eine in 40 m, das andere in 80 m über dem heutigen Flußniveau. Meiner Meinung nach, kommt die tiefer gelegene dieser Terrassen mit der älteren Mittelterrasse der Lesse in 60 m überein, die höher gelegene mit der Hauptterrasse. Die geringeren Werte für die relativen Höhen der Terrassen des Vesdretals im Vergleich zu den Terrassen der Lesse sind leicht verständlich, da die Vesdre eine Stelle so viel weiter talabwärts im System der Maasnebenflüsse einnimmt. Außerdem besitzt die Vesdre eine Niederterrasse, welche bei Hochwasser das Flußbett darstellt.

---

[1]) Ch. Stevens: Étude des terrasses de la Sambre. (Ann. Soc. géol. de Belgique. T. XLI. 1913.)

[2]) A. Renier: Terrasses de la vallée de la Vesdre. (Ebenda T. XXX B. p. 108—109, T. XXXII B. p. 73—75, T. XXXVI B. p. 255—258.)

Terrassenvorkommen längs der Maas.

Nachgewiesen von	Lage	Maasniveau	Absolute Höhe der Terrasse	Relative Höhe der Terrasse über dem Flußniveau
	Terrasse der Argonnen-Maas.			
Vidal de la Blache	Westl. von Verdun auf den Argonnen	± 190 m	300 m	110 m
	Montfaucon	± 179	342	163
	Nantillois, Cunel	± 175	300—250	125—75
	Verdun	192	320	128
Lorié	Massinfour bei Joigny	135	366	231
Briquet	Revin	119	350	231
Hol	Anseremme (Mündung Lesse)	90	225	135
Stainier	Wépion (südlich von Namur)	76	250—200	174—124
	Huy	68	205—175	137—107
Klein	Ubagsberg (nordöstlich von Maastricht)	44	215	171
	Hauptterrasse:			
Vidal de la Blache	Verdun	192	300	108
Lorié	Foisches (südwestl. v. Givet)	99	225	126
Dupont	Dinant	89	187	98
Forir-Lohest	Herstal (bei Lüttich)	53	120	67
Klein	Bei Maastricht	44	116	72
	Mittelterrasse:			
Vidal de la Blache	Verdun	192	240	48
Stainier	Belgien	—	—	± 30
Klein	Caberg (bei Maastricht)	44	± 55	± 10
	Niederterrasse:			
—	Frankreich	—	—	± 10
—	Belgien	—	—	± 4—3
—	Niederlande	—	—	4—2

Diesen Daten ist zu entnehmen, daß die relative Erhebung über das heutige Flußniveau sowohl für die Argonnenmaas-Terrasse wie für die Hauptterrasse in der Talstrecke Mézières-Givet ein Maximum aufweist (vgl. Tafel 1). Diese auf den ersten Blick unerwartete Feststellung scheint mir jedoch zugleich die beste Begründung für die Richtigkeit der Antezedenztheorie der Maas zu enthalten; wird doch eine derartige relative Heraushebung der Terrasse durch die in § 7 angenommene Aufwölbung der Ardennenfastebene (vgl. S. 26) geradezu gefordert.

In der Tatsache der relativen Heraushebung der beiden obersten Terrassen erblicke ich eben den Beweis für die Richtigkeit der Annahme einer großen Aufwölbung der Ardennen, die ich demnach in die Zeit nach der Bildung der Hauptterrasse gestellt habe. — Leider stehen mir gerade für das kritische Gebiet Mézières-Givet nur die einzelnen, obengenannten Terrassenangaben zur Verfügung, so daß der Beweis der Terrassenverbiegung nur schwach begründet ist. Möge das aber für andere eine Anleitung zum Terrassenstudium im Ardennengebiet sein!

So ist die älteste Terrasse zu erwarten: bei Monthermé in ± 370 m, bei Vireux in ± 320 m, bei Givet in 295 m, aber nur wirkliche Beobachtungen haben Wert und solche liegen nicht vor; denn gerade die älteren Terrassen sind der subaërischen Denudation am längsten ausgesetzt gewesen, und hier, wo die Hebung den größten Betrag erreicht hat, am stärksten. Die eben angeführten, vorläufigen Zahlen wurden nach Maßgabe der von Dumont[1]) angegebenen Kammrichtung der Ardennen aufgestellt: Rocroy-Croix-Scaille (504 m) — Signal eine Meile nordöstlich Bastogne; ich nehme an, daß diese Kammlinie mit der Aufwölbungsachse zusammenfällt.

Wie schon betont, muß das Durchbruchtal der Maas zugleich mit jenem des Rheins, der Mosel usw. durch eine einheitliche Theorie erklärt werden; unsere Hypothese der Verbiegung der Maasterrassen erhält also durch die sehr gut begründete Hypothese der Verbiegung der Rheinterrassen eine treffliche Stütze; und diese Verbiegung der Rheinterrassen liefert, wie ich meine, den besten Beweis für die Hebung des Rheinischen Schiefergebirges und die Antezedenz des Rheins von Bingen bis Bonn in Bezug auf diese Hebung.[2]) Die Verbiegung der Pliozänterrasse und besonders der Hauptterrasse ist auf dieser Talstrecke sehr schön zu verfolgen. Denn ein Längsprofil, wie hierneben dargestellt (Fig. 8), kann nicht einer normalen und höchstens gleichmäßig gehobenen, älteren Talsohle angehören. Durch nachträgliche, ungleichmäßige Hebung des Gebirges ist diese Form entstanden.

---

[1]) Dumont: Mémoire sur les terrains ardennais (mém. Acad. royale de Bruxelles. T. XX) p. 40.

[2]) K. Oestreich: Studien über die Oberflächengestalt des Rheinischen Schiefergebirges. (Pet. Mitteil. 1909.)

Einen weiteren Beweis für die Antezedenztheorie hat Engelmann[1]) geliefert, indem er nachwies, daß die beiden obersten[2]) Terrassen der Moldau-Elbe[3]) vor dem Eintritt in das Böhmische Mittelgebirge flußabwärts zu relativ und absolut beträchtlich ansteigen. Die dritte Terrasse von oben steigt

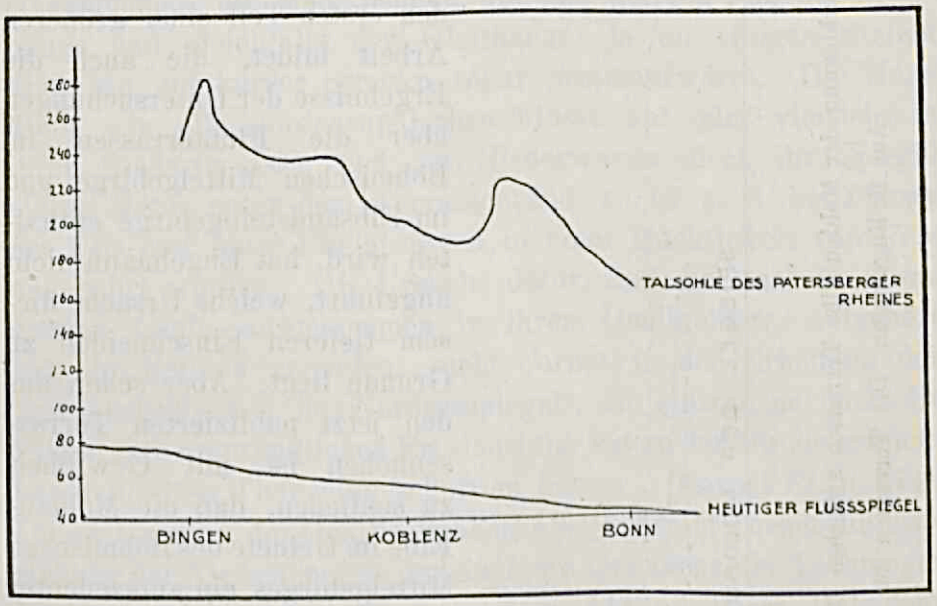


Fig. 8. Verbiegung der Hauptterrasse des Rheins.
(Aus K. Oestreich: Studien über die Oberflächengestaltung usw.)

relativ nur noch schwach an, die noch tieferen Terrassen dürften ungefähr parallel mit dem Flußspiegel verlaufen. Von der Ablagerung der obersten Moldau-Elbeschotter an hat, so schreibt Engelmann, „ein Gesamteinschneiden am oberen Ende des Gebietes bei Prag von 90 m, dann flußabwärts zunehmend am unteren Ende des Gebietes am Eingang des Elbtales in das

---

[1]) Richard Engelmann: Die Terrassen der Moldau-Elbe zwischen Prag und dem Böhmischen Mittelgebirge. (Geograph. Jahresbericht aus Österreich, IX. Jahrgang, Wien 1911, S. 38 u. ff.)

[2]) Engelmann nimmt 7 Terrassenniveaus an. Außerdem liegt auf der Hochfläche nördlich von Prag in noch höherem Niveau eine ältere Ablagerung (Quarzschotter); diese ist vielleicht eine älteste Moldauaufschüttung.

[3]) Engelmann weist darauf hin, daß genetisch die Moldau den Oberlauf der Elbe oberhalb Melnik darstellt.

Böhmische Mittelgebirge von 160 m stattgefunden". (Fig. 9).

Hier sind also die Terrassen um 70 m verbogen worden. Wahrscheinlich, weil die genannte Arbeit Engelmanns nur den ersten Teil einer größeren Arbeit bildet, die auch die Ergebnisse der Untersuchungen über die Flußterrassen im Böhmischen Mittelgebirge und im Elbsandsteingebirge enthalten wird, hat Engelmann nicht angeführt, welche Ursache diesem tieferen Einschneiden zu Grunde liegt. Aber schon aus den jetzt publizierten Terrassenhöhen ist mit Gewißheit zu schließen, daß die Moldau-Elbe im Gebiete des Böhmischen Mittelgebirges ein antezedenter Fluß ist. Durch die Hebung jenes Gebirges wurden die beiden Terrassen hier mit aufgehoben, also verbogen, und der Fluß zu stärkerem Einschneiden gezwungen.

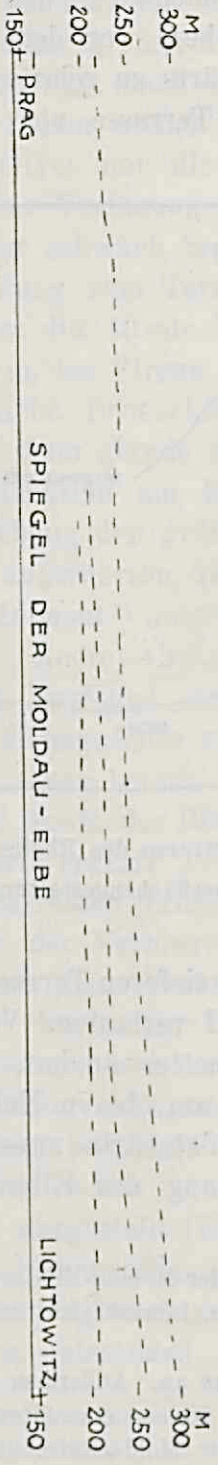


Fig. 9. Verbiegung der Moldau-Elbe Terrassen zwischen Prag und dem Böhmischen Mittelgebirge.
(Aus R. Engelmann: Die Terrassen der Moldau-Elbe usw. S. 63.)

§ 10.

Die Dekadenz der Maas.

Einen Beweis dafür, daß die Maas, die einst stark mäandrierend auf der Peneplain floß, nachmals verjüngt worden ist (nämlich durch die Hebung des gallo-belgischen Gebirgsblocks), erblickt Davis[1]) in dem Vor-

[1]) W. M. Davis: La Seine, la Meuse, et la Moselle. (Ann. de Géogr. 1895. T. V.)

kommen eines vollständig abgeschnittenen Mäanders der Maas bei Dun-sur-Meuse und in dem von zahlreichen anderen, fast durchschnittenen Mäandern. Jetzt aber fließt die Lothringer Maas, wie Davis sie schildert, als ein verarmter Fluß in Flachmäandern (beweglichen Mäandern auf der Talsohle). Die Talsohle wird hier fast überall von Wiesenland eingenommen, die Maas pendelt hin und her am Fuß der Prallhänge und gleichfalls der Gleithänge, ja an einigen Stellen fließt sie auf kurzer Strecke sogar stromaufwärts. Die Maas fließt wie alle nordeuropäischen Flüsse auf oder vielmehr in ihrer Niederterrasse, und bei Niederwasser liegt ihr Spiegel einige Meter unter dem Terrassenrand, so ist z. B. bei Fumay der Fels erst unter Flußabsätzen in einer Mächtigkeit von 15 m angebohrt worden. Die Ursache dafür, daß die Maas in ihrem ganzen Laufe, ausgenommen in ihrem Quellgebiete, aufgehört hat, ihr Bett zu vertiefen, sucht Cornet in der Erhöhung der Erosionsbasis, d. h. des Nordseespiegels, die eintrat, nachdem die Flüsse ihre ursprünglichen Erosionstäler bis zu der für sie erreichbaren größten Tiefe eingeschnitten hatten. (Cornet Ét. p. 374.) Dieser Ursache, der Gefällsabnahme also, schreibt Cornet die Entstehung der Niederterrasse und auch die Dekadenz der Lothringer Maas zu. Ich zitiere (Cornet Ét. p. 441): „Diese Dekadenz hatte zur Folge, und nicht als Ursache, den Verlust verschiedener wichtiger Nebenflüsse.“ Die Dekadenz eines Flusses ist aber nicht zu erklären allein durch Annahme einer Gefällsabnahme im Unterlauf. Nur die Gefällsabnahme kann an sich Dekadenz eines Flusses bewirken, die hervorgerufen wird durch Erniedrigung des Gebirges, die alsdann Verringerung des Regenfalls zur Folge hat. Cornet nimmt hier aber ein Aufsteigen der Region am Unterlauf an; die dadurch verursachte Gefällsabnahme verkleinert die Wassermasse nicht, wohl aber die Erosionskraft, und dadurch können Nebenflüsse so ungünstig gestellt werden, daß sie Flüssen eines anderen Systems zur Beute fallen; erst infolge dieses Verlustes an Stromgebiet und damit an Wasserführung tritt die Erscheinung der Dekadenz ein.

Im Gegensatz zu Cornet suche ich also die Ursache jener Dekadenz in der Tatsache, daß die Maas in ihrem Oberlaufe Nebenflüsse an die Mosel und die Seine verloren hat, was Davis, meiner Meinung nach, sehr logisch durch die Aufwölbung der

Ardennen erklärt: Als antezedenter Fluß hat die Maas um ihren Lauf beizubehalten gekämpft; sie hat den Sieg davongetragen, aber diesen durch den Verlust ihrer Nebenflüsse bezahlen müssen. Die widerstandsfähigen Gesteine der Ardennen stellen für die obere Maas eine lokale Erosionsbasis dar, welche der Seine und der Mosel gestatten, der Maas immer mehr von ihrem Stromgebiete zu entreißen, da die Seine und die Mosel ihren Seitenflüssen bessere Erosionsbedingungen darbieten als die Maas. Daß auch die Maas oberhalb Toul nicht mehr erodiert (ich möchte anstatt dieser von Davis gebrauchten Worte sagen „dekadent ist"), erklärt Davis durch die Annahme, daß die heutige Maas auch oberhalb Toul Nebenflüsse durch Beraubung verloren hat. Soviel über die Dekadenz.

Die Entstehung der Niederterrasse erkläre ich, wie aus dem vorigen Paragraph hervorgeht, nicht durch eine Hebung der Erosionsbasis,[1]) oder durch eine den gleichen Effekt bedingende Senkung des franko-belgischen Gebirgsblocks, sondern durch die Annahme eines zeitweiligen Aussetzens der Ursachen, welche im Jungtertiär und im Pleistozän die Erosion hervorriefen. — Die letzte Ruhepause in der Hebung (vgl. S. 26) dauert noch immer fort, außerdem hat die weitere Transgression der Nordsee nach Süden aufgehört. Die Erosion bedingenden Kräfte arbeiten nicht mehr, und infolgedessen akkumulieren die Flüsse.

§ 11.

Die Stainiersche Abhandlung über die Maasterrassen.

Stainier[2]) verteilt die fluviatilen Geröllabsätze des Quartärs in zwei verschiedenen Etagen. Die ältere, die Campinienetage umfaßt die Geröllablagerungen der Haupt- und Mittelterrassen

---

[1]) Außerdem glaube ich, daß die hier gemeinte Transgression der Nordsee (vgl. S. 25) nicht eine Abnahme, sondern eine Steigerung der erosiven Arbeit bedingt hat; denn diese Transgression bestand nicht in einer Hebung des Meeresspiegels bzw. in einer Senkung des ganzen Kontinents, sondern allein in einem Absinken des Vorlandes, in einem Absinken also des heutigen Nordseebodens, was nicht eine Akkumulation, wie Cornet annimmt, zur Folge hatte, sondern eine Neubelebung der Erosion (vgl. Anm. 2, S. 21).

[2]) X. Stainier: Le cours de la Meuse etc. (l. c. S. 8).

des Maastals, die jüngere, die Hesbayenetage[1]) wird von dem ununterbrochenen Geröllbette gebildet, das überall die Sohle des heutigen Maastals einnimmt. Schon früher wurde darauf hingewiesen, daß Stainier die Ablagerungen auf der Hauptterrasse (in ± 90 m über dem Flußniveau) und auf der Mittelterrasse (in ± 30m über dem Flußniveau) unter dem Namen „Ablagerungen der Campinien-Maas" zusammenfaßt. Nach Stainier weisen die Absätze der tertiären Maas und der Campinien-Maas Gefällsumkehrungen auf (Fig. 10) und Cornet stützt hiermit (vgl. S. 8) seine Erklärung der Entstehung der Sambre-Maas, die zutreffen könnte, wenn nur in einem Terrassenniveau

[1]) Ich nehme an, daß diese Einteilung nicht von Stainier herrührt, sondern die in Belgien gebräuchliche ist, denn auch auf der geologischen Karte (vgl. S. 54) werden die Terrassenablagerungen in dieser Weise gegliedert.

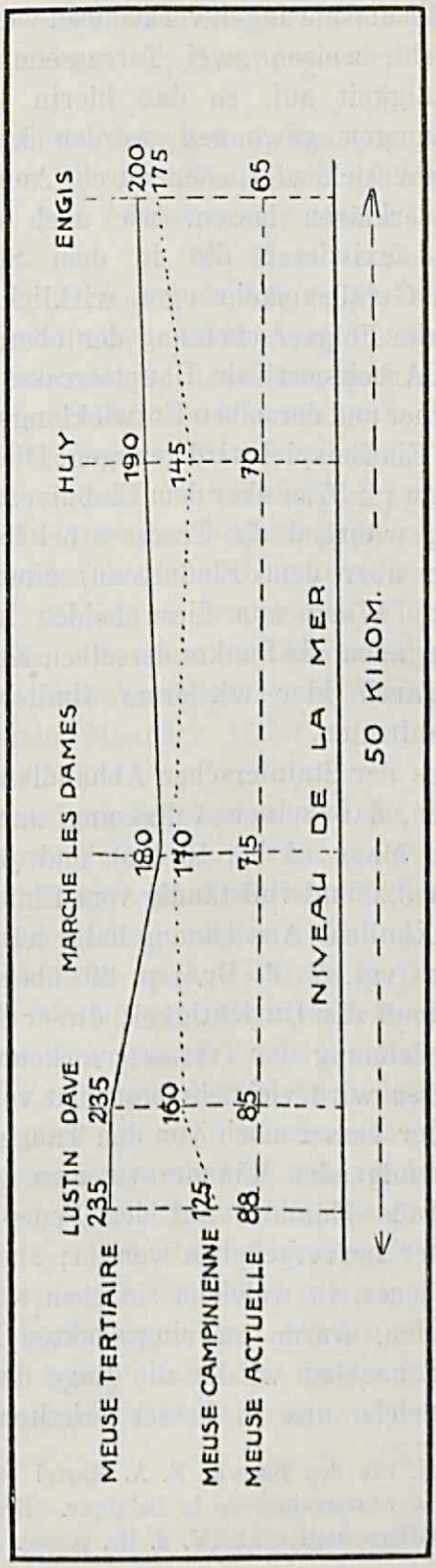


Fig. 10. Die Maasterrassen zwischen Lustin und Engis.
(Aus X. Stainier: Le cours de la Meuse depuis l'ère tertiaire p. 90.)

die Gefällsumkehrungen vorkommen würden. Wie aber aus Fig. 10 hervorgeht, weisen zwei Terrassenniveaus die genannte Unregelmäßigkeit auf, so daß hierin keine Stütze für Cornets Anschauungen gewonnen werden kann, und die Gefällsumkehrungen sich viel eher durch Annahme von Bodenschwankungen erklären lassen, wie auch durch Stainier geschieht. Aber — existieren die in dem Stainierschen Profil angegebenen Gefällsumkehrungen wirklich? Oder sind sie nur eine graphische Folgeerscheinung der obengenannten, wahrscheinlich falschen Arbeitsmethode, Hauptterrasse und Mittelterrasse als Ausdruck einer und derselben Entwicklungsstufe der Talbildung aufzufassen? Ein Beispiel wird genügen: Die Terrasse des Bois de Hulle bei Lustin (± 37 m über dem Flußniveau) rechne ich zu der Mittelterrasse, während die Terrasse bei Marche-les-Dames in 170 m (± 95 m über dem Flußniveau) einen Rest der Hauptterrasse darstellt. Wenn nun diese beiden nicht zusammengehörenden Höhenangaben als Punkte derselben Kurve eingezeichnet werden, müssen auch hier wiederum ähnliche Umkehrpunkte in der Kurve auftreten.

Aus der Stainierschen Abhandlung habe ich den Eindruck gewonnen, daß seiner Auffassung nach die breite Talsohle der tertiären Maas (4 bis 10 km) und jene der Campinien-Maas (800 bis 3200 m) vollständig vom Flußwasser ausgefüllt gewesen seien. Ähnliche Anschauung habe ich auch bei anderen Autoren gefunden (vgl. V. d. Br.[1]) p. 30 über das Plateau de Gerny) und es muß die Unrichtigkeit dieser Auffassung betont werden. Die Ausdehnung der Terrassenvorkommen in der Richtung quer zum Flusse wird vielmehr bestimmt von der Breite des Mäanderbelts, oder besser noch von den Tangenten an den zeitlich aufeinander folgenden Mäandersystemen. Daß gerade die „tertiäre" Maas große Mäander auf der Peneplain beschrieb, ist schon öfters hier hervorgehoben worden; aber nur das letzte Mäandersystem, jenes, in welchem sie eben strömte, als sie anfing einzuschneiden, wurde zu eingesenkten Mäandern und diese bestimmten nachher wieder die Lage der Absätze der Campinien-Maas, welche uns in besser erhaltener Form entgegentreten,

[1]) E. van den Broeck, E. A. Martel et Ed. Rahir: Les Cavernes et les rivières souterraines de la Belgique. Bruxelles 1910. Wird weiterhin im Text zitiert werden als (V. d. Br. p. —).

obgleich auch an diesen Campinien-Mäandern die Erosion nicht ohne Wirkung geblieben sein wird: Sporne wurden abgetragen und fortgeschafft usw.

Im Einklang mit dieser falschen Auffassung denkt sich Stainier die tertiäre Maas als geradlinig und erblickt so eine weitere Schwierigkeit in dem Auftreten der Maasmäander, von welchen er annimmt, daß sie von der Maas in den späteren Stadien ihrer Entwicklung allmählich in den widerstandsfähigen Ardennen-Gesteinen eingeschnitten seien. Von diesem Vorgang glaubt er, daß er vielleicht durch Annahme einer ehemaligen größeren Geschwindigkeit erklärt werden könne. — Nun wird im Gegenteil ein schnellströmender Fluß versuchen, schon bestehende Mäander abzuschneiden, um seinen Lauf zu verkürzen, aber er wird keine neuen Mäander bilden; denn regelmäßige, große Mäander wie jene der Maas (nicht zu verwechseln mit den kleinen „regellosen" Mäandern der jungen Flüsse) finden sich nur bei reifen Flüssen mit einem verhältnismäßig geringen Gefälle. Wohl aber kann ein schnellströmender Fluß gezwungen werden, schon existierende Mäander tiefer einzusenken, und dieser Fall liegt hier vor.

So ist auch die Stainier'sche Auffassung: die Maas habe ihr Bett immer mehr von Westen nach Osten verschoben — denn die Campinienablagerungen lägen östlich von den tertiären Absätzen und die Hesbayenabsätze wieder östlich von jenen — unrichtig. Gleiches trifft zwar nach Vidal de la Blache[1]) für die Lothringer Maas bei Verdun zu; hier trägt das linke Ufer in ungefähr 300 m Meereshöhe überall Reste der Hauptterrasse, während am rechten Ufer in gleicher Höhe keine Spur von Terrassenschottern zu finden ist. Sie können aber auch nicht durch die Erosion weggenommen worden sein, denn zwischen St. Mihiel und Dun beträgt die Rückenhöhe des rechten Ufers heute noch 400 m, was beweist, daß diese Höhen immer Gehänge oder Hochfläche, niemals Talsohle gewesen sind. Ich glaube aber, daß hier höchstens erklärt werden muß, warum die Argonnen-Maas und später auch die Campinien-Maas im Augenblick des Einschneidens gerade auf der rechten Seite der Talsohle flossen.

[1]) J. Vidal de la Blache: Étude sur la vallée lorraine etc. (l. c. S. 15) p. 23.

§ 12.

Die Theorie von Dollfus.[1])

Gegen die Anwendung der Antezedenztheorie auf die Maas wendet sich Dollfus. Er geht von der Vorstellung aus, daß die Lothringer Maas nach Westen floß, d. h. abgelenkt wurde, weil entweder die Ardennen eine nachträgliche Hebung oder der östliche Teil des Pariser Beckens eine nachträgliche Senkung erfuhr, wodurch die vorher nach Norden fließende Lothringer Maas nach Westen abgelenkt wurde. Die obere Maas wurde also zum Nebenfluß der Oise. Auf Kosten dieser Oise-

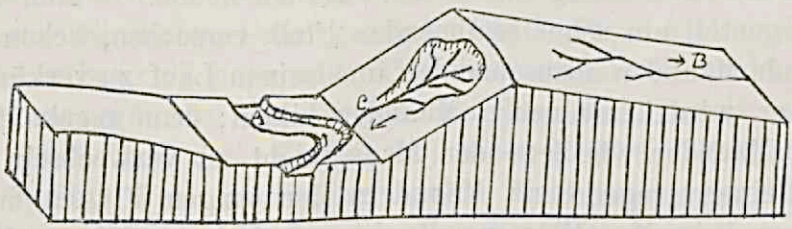


Fig. 11. Anzapfung eines höhergelegenen Flusses durch einen tiefergelegenen.

Maas wurde dann durch die Maas von Dinant eine Beraubung ausgeführt. Das Mittel dieser Beraubung war die rückschreitende Erosion, die zuerst die Semois und später die Lothringer Maas selbst für die Nordentwässerung eroberte.

Diese Erklärung der heutigen Hydrographie dehnt Dollfus auch auf das Rheintal im Rheinischen Schiefergebirge aus und er sagt, daß die Flußterrassen (in Wirklichkeit handelt es sich um durch Aufwölbung verbogene Terrassen!) mit widersinnigem Gefälle südlich des Siebengebirges den besten Beweis dafür liefern. Nun ist eine solche Beraubung eines ein niedrigeres Niveau einhaltenden Flusses durch einen in höherem Niveau strömenden gar nicht möglich. Wohl aber kann ein in tieferem Niveau gelegener Fluß A (vgl. Fig. 11) (in unserm Falle die Lothringer Maas) die Quellgehänge eines Flusses B (die Ardennen-Maas) unterschneiden und durch die starke, regressive Erosion seines Nebenflusses C den Fluß B an sich ziehen. Der Fluß B aber verfügt in seinem Quellgebiet nicht über die Kraft, sein Bett bis in die Tiefenlage des Flusses A einzuschneiden und

[1]) G. Dollfus: Relations entre la structure géologique du bassin de Paris et son hydrographie. (Ann. de Géogr. T. IX. 1900). Im besonderen S. 428.

erst, wenn dies gelungen wäre, würde er den Fluß A enthaupten können. Um die Auffassung zu bekämpfen, als ob die Maas ein antezedenter Fluß sei, hebt Dollfus hervor, daß Gleichmäßigkeit (nach Zeit und Größe) der Hebung der Ardennen und der Tiefenerosion der Maas (wie sie von der Antezedenztheorie ja gefordert wird) etwas Abnormales sein würde; was aber für die Maas angenommen werde, das müsse auch für die anderen Ardennenflüsse seine Gültigkeit haben, die alsdann gleichfalls in Durchbruchtälern die Ardennen durchqueren müßten. Über die Tatsache, daß Rhein, Mosel und Lahn das Rheinische Schiefergebirge, von dem die Ardennen doch nur einen Teil bilden, durchbrechen, schweigt Dollfus. Es ist hierauf zu erwidern, daß die Nebenflüsse im allgemeinen ungünstiger gestellt sind als der Hauptfluß und darum auch nicht die gleiche Länge und Erosionskraft besitzen, weshalb sie bei einem solchen Kampf um ihr Bestehen sehr leicht ins Hintertreffen geraten. Der Einwand ist aber in unserem Falle auch unnötig, da vor der Aufwölbung die Semois schon existierte und die Wasserscheide zwischen Semois und Lesse usw. vor und nach der Hebung sich in ungefähr gleicher Lage befunden haben wird. Die letzteren Flüsse können also gar nicht unter den Begriff: „antezedente Flüsse“ fallen. (Für die Ourthe vgl. § 13.)

Wie bereits Philippson[1]) bemerkte, findet man in dergleichen Aufwölbungsgebieten einen eigentümlichen Gegensatz in den Richtungen der größeren Ströme und der kleineren Zuflüsse ausgeprägt. Die ersteren verlaufen in der Richtung der früheren, längst verwischten Abdachung, während die kleineren dem heutigen Relief folgen. In ähnlicher Weise äußert sich auch W. M. Davis.[2]) — Als ein zweites Argument gegen die Antezedenz der Maas führt Dollfus folgendes an: Im Gebiet der Hebungsachse bei Fumay wird der Talboden von mächtigen Geröllablagerungen gebildet, so ist, wie bereits erwähnt, bei Saint-Pierre de Lionne, oberhalb Fumay, in 223 m Meereshöhe (Maasniveau ± 115 m) eine 44 m mächtige Geröllschicht angebohrt

[1]) A. Philippson: Studien über Wasserscheiden (Mitteil. Ver. f. Erdk. Leipzig 1885.) S. 282.

[2]) W. M. Davis: The rivers and valleys of Pennsylvania (Geographical Essays XIX, Boston etc. 1909, auch in National Geographic Magazine (1889), I. 183—253).

worden. Die Maas hat hier also akkumuliert, was nach Dollfus dagegen spricht, daß man es hier mit einem einen tektonischen Widerstand besiegenden Fluß zu tun hat. Aus der in § 9 gegebenen Erklärung der Niederterrasse folgt jedoch, daß diese Geröllablagerung weder gegen noch für eine Theorie spricht, welche das Durchbruchtal erklären will. Sie besagt nur, daß in der Erosionsarbeit der Maas in einem bestimmten Zeitabschnitt eine Ruhepause eingetreten ist. Es wäre aber möglich, daß gerade diese große Geröllmächtigkeit bei Fumay einen sprechenden Beweis für die Richtigkeit der Antezedenztheorie darstellen könnte; aber auch hier macht sich die geringe Anzahl der Beobachtungen, eine Tatsache, auf welche am Schluß von § 9 hingewiesen wurde, bemerkbar. Es ist ja eine logische Folgerung der Antezedenztheorie, daß wenn ein Gebirge quer zur Strömungsrichtung eines Flusses aufgewölbt wird, der Fluß, um seinen Lauf aufrechtzuerhalten, oberhalb der Hebungsachse akkumuliert, unterhalb derselben aber erodiert.

Noch sei bemerkt, daß Dollfus die Maas von Lüttich bis Maastricht als die Entwässerungsader eines Sees auffaßt, der eine geschlossene Synklinale erfüllt haben soll. Einen Beweis für die Richtigkeit dieser Erklärung scheint er in dem Auftreten hochgelegener Geröllterrassen zu sehen. Im Anschluß an die in den vorigen §§ auseinandergesetzte Theorie erscheint mir eine Bekämpfung dieser Anschauung unnötig.

§ 13.

Die Ourthe und die Luxemburgischen Flüsse.

Die beiden Quellarme der Ourthe, derjenige von Houffalize und derjenige von Ortheuville, vereinigen sich unter einem Winkel von fast 180°. Die Richtung der beiden, diametral einander entgegenfließenden Quellarme verläuft unmittelbar nördlich der Kammlinie der Ardennen, also parallel der Aufwölbungsachse. Es ist also nicht ausgeschlossen, daß die Aufwölbung der Ourthe ihren Oberlauf genommen hat, weil die Erosionskraft der Ourthe nicht groß genug war, um, wie im Falle der Maas, ihren Lauf beizubehalten. Ihr Unterlauf (Noiseux-Laroche), der konsequent zur $n + 2^{en}$ Peneplain war, blieb auch konsequent zu der neuen Abdachungsrichtung. Die Gefällsrichtung im Gebiet ihres Oberlaufes

aber wurde umgekehrt, und so fiel die obere Ourthe in irgendeiner Weise dem Stromgebiet der Sauer anheim, während das Verbindungsstück, wenn es nicht der Erosion zum Opfer gefallen ist, auf der Kammlinie zu suchen sein würde.

Auch bei der Betrachtung einer hydrographischen Karte von Luxemburg fallen eigentümliche Flußverhältnisse, nämlich solche, die durch Anpassung entstanden zu sein scheinen, auf. Der Hauptstrom von Luxemburg, die Sauer, zeigt keineswegs das Bild eines Flusses, der in einfacher, ununterbrochener Entwicklung entstanden ist. Hydrographisch zerfällt sie in zwei Abschnitte: die obere und die untere Sauer. Die obere Sauer, oberhalb der Mündung der Alzette, besitzt ein Gefälle von 2,72 m pro km[1]) und ist ein Gebirgsbach mit großen Extremen in seiner Wasserführung. Die untere Sauer, welche ein Gefälle von 1,05 m pro km aufweist, füllt bei gewöhnlichem Hochwasser ihre Talsohle gänzlich aus. Die mittlere Breite von 50 bis 60 m ist ziemlich konstant. Die Alzette hat ein Gefälle von 1,07 m pro km.

Durchgearbeitet ist dieses Problem noch nicht, aber es erscheint nicht unmöglich, daß die Sauer, welche in einigen Teilen ihres Laufes (von der belgischen Grenze bis an die Mündung des Clerf und von Ettelbrück bis Wallendorf) subsequenten Charakter besitzt, durch rückschreitende Erosion von der Mosel her die verschiedenen jetzigen Seitenflüsse an sich gezogen hat. Auch Asselbergs[2]) meint, daß Clerf, Our, Enz, Prüm, Nims und Kyll einmal von Süden gen Norden flossen und durch Anzapfung von der Sauer umgekehrt wurden, so daß ihre Oberläufe jetzt wenigstens teilweise obsequente Seitenflüsse der Sauer darstellen. (Über die Bedeutung des Begriffes „Umkehrung von Flüssen“ vgl. S. 20.)

§ 14.

Die Terrassen entlang der Lesse und ihrer Nebenflüsse.

Die Blätter der geologischen Karte von Belgien, („Carte géologique de la Belgique, dressée par ordre du gouvernement“), 1:40000, Nr. 177 Aye—Marche, Nr. 185 Houyet—Han-sur-Lesse,

[1]) Glaesener: Le Grand-Duché de Luxembourg. Diekirch 1885.

[2]) Étienne Asselbergs: Contribution à l'étude du dévonien inférieur du Grand-Duché de Luxembourg. (Ann. Soc. géol. de Belgique, T. 39. 1911/12. Mém. p. 104.)

Nr. 186 Rochefort—Nassogne, veröffentlicht 1900—1902, geben im Aufdruck durch Buchstaben das Vorkommen von Terrassenablagerungen an, die nach der „Légende“ folgendermaßen gegliedert werden:

Quaternaire inférieur ou diluvien.

Hesbayen (q3)
- q3o: cailloux, gravier, sable du fond des vallées principales.
- q3n: limon non stratifié, friable, homogène, jaune chamois.

Campinien (q2) q2m: cailloux ardennais et cailloux de silex des flancs supérieurs des grandes vallées.

Diese Einteilung scheidet also keineswegs die Ablagerungen der Hauptterrasse von denen der Mittelterrasse. Überhaupt fehlt, der Zeit der Aufnahme entsprechend, die morphologische Präzisierung der einzelnen Glieder des Diluvialprofils.

Als ich im Felde die Terrassen aufsuchte, wußte ich von diesen Einzeichnungen nichts. In der auf Seite 56 u. 57 folgenden Terrassenliste, die nur die von mir festgestellten Terrassenvorkommen enthält, habe ich aber den auf der geologischen Karte verzeichneten Terrassenvorkommen das betreffende Symbol beigefügt.

Schon von Dupont[1]) sind diese drei Terrassen entlang der Lesse für verschiedene Punkte der Karbonkalkzone, also von der Mündung der Lesse in die Maas bei Anseremme bis etwas östlich von Chaleux, angegeben worden; die „terrasse entre moyenne et supérieure“, oder die „ältere Mittelterrasse“, wie ich sie genannt habe, hat er jedoch nur bis zur „Domaine royale d'Ardenne“ bei Houyet verfolgt; er bemerkt aber, daß er das Lessetal bis Han durchwandert und dort ähnliche Terrassenverhältnisse gefunden habe. Wie aus der obigen Übersicht hervorgeht, kommen die genannten Terrassen auch entlang der Wamme und Lomme vor, wie auch entlang der Lesse oberhalb Han.

Ich habe die Terrassen alle im Felde festgestellt, obgleich es mir durch Mangel an Zeit nicht möglich war, sie alle zu betreten. Die meisten traten im Gelände ziemlich scharf hervor, einige waren besonders stark ausgeprägt. Die Niederterrasse

[1]) É. Dupont: Étude sur le terrain quaternaire etc. (l. c. S. 9)

habe ich nicht angegeben, da sie entlang der Maas, Lesse, Wamme und Lomme überall vorkommt. Da angenommen wurde, daß die untere Lesse auf der n + 2en Peneplain geflossen ist, wäre eine Terrasse aus dem Stadium der Argonnen-Maas auch entlang der unteren Lesse zu erwarten. Außer von Dupont sind die Terrassen im Stromgebiet der Lesse noch wenig untersucht worden; da diese Untersuchung für mich nicht den Zweck meiner Arbeit darstellte, sondern nur ein Mittel, um an die

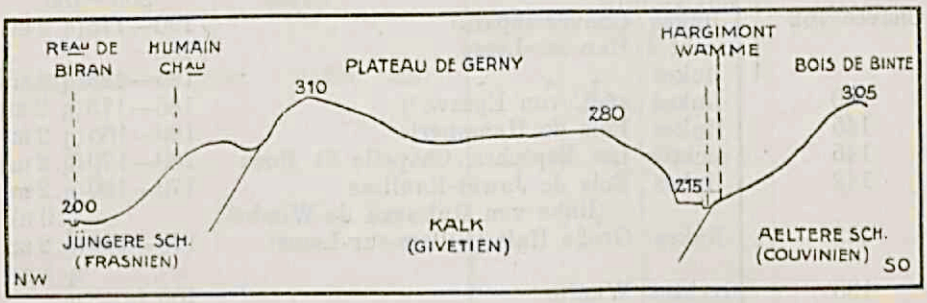


Fig. 12. Schematischer Querschnitt durch das Plateau de Gerny.
(8fache Überhöhung.)
SCH.-Schiefer.

im zweiten Teil dieser Abhandlung behandelte Frage über die Entstehung der Höhlen im belgischen Karst besser gerüstet herantreten zu können, konnte ich selber nur wenig Zeit auf dieses Terrassenstudium verwenden. Ich halte es aber nicht für ausgeschlossen, daß es künftigen Untersuchungen noch gelingen wird, jene älteste Terrasse auch entlang der unteren Lesse nachzuweisen. (An der Mündung der Lesse glaube ich diese Terrasse festgestellt zu haben; vgl. S. 34 und Fig. 7.) Außer den drei genannten Terrassenniveaus finden sich entlang der Lesse und ihrer Nebenflüsse öfters lokale Terrassen in anderem Niveau, so z. B. die 10 m-Terrasse, mit welcher das westöstlich streichende Trockental stufenartig in die Chavée mündet, die 15 m-Terrasse im Wammetal, welche die Kirche von On trägt, die einige Meter hohe Terrasse des Fond des Veaux (Plateau de Gerny) usw. — Die ältere Mittelterrasse scheint entlang der Maas nur bei Anseremme nachgewiesen zu sein. Für die Lesse, Wamme und Lomme aber muß ich eine durchlaufende, ältere

Niveau der	Mittelterrasse (terrasse moyenne)		
	Ufer	Lage	Terrassenhöhe
Lesse			
± 170	linkes	südl. von Belvaux	215—205
± 168	linkes	nördl. von Belvaux	210—185 (geneigt)
± 168	rechtes	„ „ „	198—185
	rechtes	Chavée gegenüber den Rochers de Faule	205—185
Chavée 162	linkes	Chavée (Sporn)	190—175 (q. 2 m)
	rechtes	Han-sur-Lesse	180
	linkes	„ „ „	195—175 (q. 2 m)
150	linkes	südl. von Éprave [1])	180—175 (q. 2 m)
145	linkes	Bois de Heronnerie	180—165 (q. 2 m)
145	rechtes	Les Espèches, Chapelle St. Roch	180—170 (q. 2 m)
142	linkes	Bois de Jawet-Raulisse (links von Ruisseau de Wimbe)	170—160 (q. 2 m, q. 3 n)
142	linkes	Große Haie (Villers-sur-Lesse)	170—165 (q. 2 m, q. 3 n)
130	rechtes	Wanlin	160 (q. 2 m)
130	linkes	Wanlin	155 (q. 2 m, q 3 n)
129			
120			
118	linkes	Lissoir	±150 (q.2m, q.3 n) geneigt, übergehend in
115	linkes	Houyet	155—140 geneigt (q. 2 m, q. 3 n)
105	linkes	Chaleux	135
100	rechtes	Walzin Château	130
Wamme			
± 220			
± 215	linkes	Hargimont	255—240 (q. 2 m), geneigt
± 215	rechtes	nordw. u. westl. vom Hargimont	255—245
Lomme			
± 210			
± 200	rechtes	nördl. von Forrières	245—235
± 180			
173	linkes	südöstl. von Rochefort	210—200

[1]) Sehr ausgeprägte Terrasse (vgl. Fig. 17 links unten).

Ältere Mittelterrasse (terrasse entre moyenne et supérieure)			Hauptterrasse (terrasse supérieure)		
Ufer	Lage	Terrassenhöhe	Ufer	Lage	Terrassenhöhe
rechtes	südl. von Belvaux	235—225			
rechtes	Bois Banal	240—230			
			rechtes	Hinterwand Chavée	255—245
linkes	Han-sur-Lesse	230—220			
linkes	Hour la Petite	185 (q. 2 m, q. 3 n)	linkes	Bois du Roi (südl. v. Houyet)	220—205
linkes	Lissoir	± 180 geneigt (q. 2 m, q. 3 n)			
rechtes	Montagne du Chalet et de la Fontaine (Furfooz)	160—175	linkes	Bois de Chaleux	195
			linkes	südöstl. vom Bois de l'Hôpital	326—310
			rechtes	südöstl. von Forrières	325—300, geneigt ± 286
			rechtes	nördl. von Forrières	
linkes	südwestl. von Jemelle	235—230			
linkes	Château de Beauregard, Chapelle de Lorette	235—225			

Mittelterrasse annehmen, weil sie zu oft vorkommt, als daß sie als eine lokale Erscheinung betrachtet werden könnte.

§ 15.

Das Plateau de Gerny.

Über dieses Plateau sagt v. d. Broeck (V. d. Br. p. 6): „Seine mittlere relative Höhe ist mehr als 80 m über dem Niveau der Wamme, durch deren Taleinschnitt es auf der Seite Jemelle-

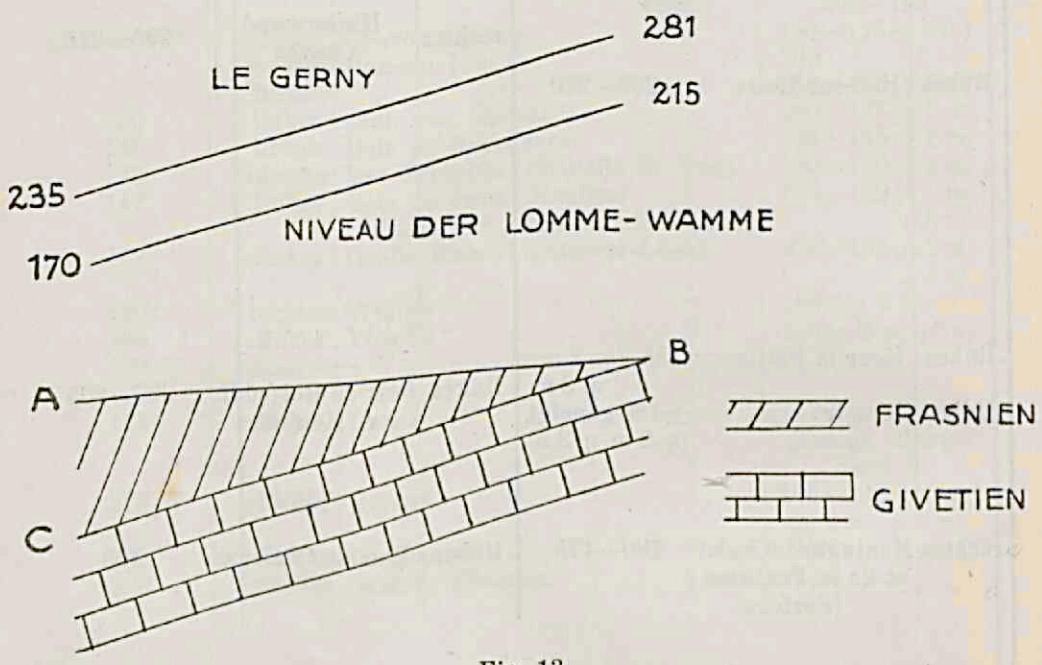


Fig. 13.

On begrenzt wird." Hiernach könnte man vielleicht den Eindruck gewinnen, als ob der Gerny eine 80 m-Terrasse wäre, was aber nicht richtig ist. Die höchste Erhebung des Plateau de Gerny (Fig. 12) beträgt 281 m, es senkt sich allmählich in südwestlicher Richtung, behält jedoch bis an die 235 m-Isohypse den Plateaucharakter, um erst dann nach Rochefort zu sich schroffer abzudachen. Das Niveau der Wamme bei Hargimont und das der Lomme bei Rochefort liegen in $\pm$ 215 m und $\pm$ 173 m. Wenn nun das Plateau de Gerny als einheitliche Terrasse aufgefaßt werden soll, müßte es die Flußebene eines spätreifen Flusses mit schwachem Gefälle darstellen. Eine solche kann aber nicht mit der Talsohle eines jungen oder jungreifen Flusses, wie der

heutigen Wamme-Lomme, parallel laufen (vgl. Fig. 13). Weil nun die Oberflächenneigung eine zu große ist, als daß wir das Plateau de Gerny als eine alte Talsohle betrachten könnten, so muß die Parallelität eine zufällige sein. Es gibt also zwei Möglichkeiten: entweder die alte Talsohle ist schiefgestellt worden, oder das Plateau de Gerny stellt gar nicht mehr eine einheitliche alte Talsohle dar. Nun ist es stets zu verwerfen, nur auf Utilitätsgründe hin tektonische Bewegungen zu Hilfe zu rufen; deshalb ist die Erklärung in der Richtung der zweiten Möglichkeit zu suchen. Der Gerny geht bei Humain in ein Gelände von ± 310 m Meereshöhe über. Dieses könnte ein Rest der Hauptterrasse sein, analog der Hauptterrasse des linken Ufers bei Hargimont. Dann wäre der Gerny vielleicht eine Abgleitungsterrasse, ein allmählicher Übergang der Hauptterrasse in die ältere Mittelterrasse und ein teilweiser Übergang der älteren Mittelterrasse in die jüngere. — Eine andere Erklärung wäre, daß hier die Erosion die Bedeckung mit Frasnienschiefern von dem unterlagernden Givetienkalk abgestreift hat (vgl. Fig. 13), daß also A B die ursprüngliche, C B die heutige Oberfläche darstellen würde. In diesem Fall würde die heutige Oberfläche noch viel weniger einer alten Talsohle entsprechen. Vorher wurde schon auf den subsequenten Charakter der unteren Lesse hingewiesen, welche zuerst die obere Lesse, dann die Lomme und Wamme enthauptet hat. Wir treffen auch hier auf die bekannte Erscheinung, daß ein Schichtfluß (Marche-Éprave) in einem nachgiebigen Gestein (Frasnien) eine sehr breite Talsohle erodiert hat. In unserem Fall fällt diese letztere in Bezug auf die Breitenausdehnung mit dem jetzigen Plateau de Gerny zusammen (vgl. hierzu auch das breite in den Frasnienschiefern erodierte Tal des Ruisseau de Biran, westlich vom Gerny); denn meiner Meinung nach war, bevor diese Erosion einsetzte, der Gerny mit Frasnien bedeckt, und jenes Gestein wurde erst später abgetragen, so daß nun im größten Teil des Gerny das Givetien das anstehende Gestein bildet. Beim Tiefereinschneiden hat die Wamme-Lomme ihr Bett dann so ziemlich im östlichsten Abschnitt der Talbreite (Fig. 14) lokalisiert und fließt jetzt in den Couvinienschichten; nur von Jemelle bis Rochefort und unterhalb Rochefort bis Éprave ist ihr Bett im Givetienkalk eingesunken.

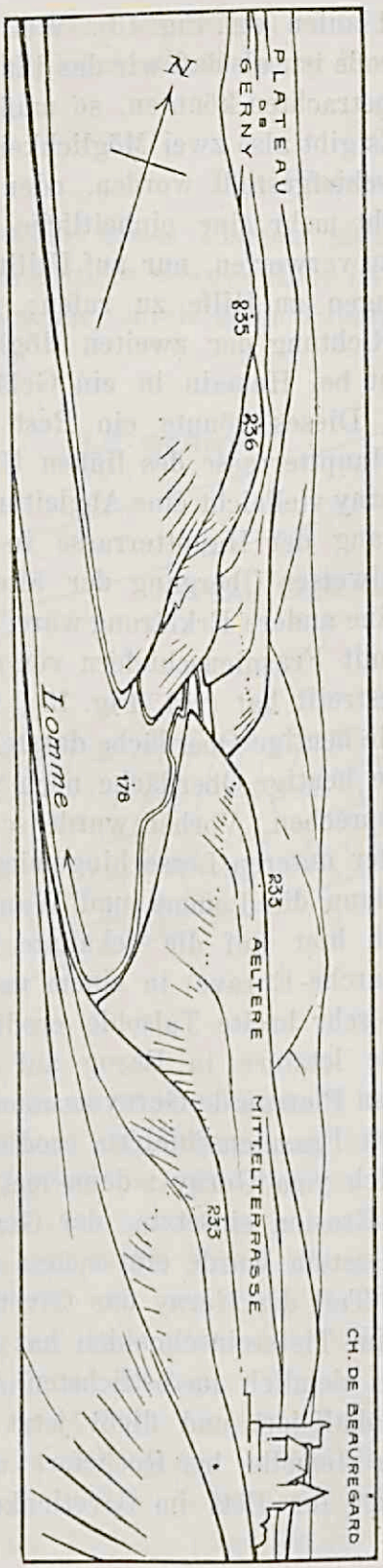


Fig. 14. Das Lommetal und die Terrasse von Beauregard oberhalb Rochefort.

Um zu beweisen, daß der Gerny eine alte Talsohle der Wamme-Lomme ist, führt v. d. Broeck das Vorkommen von Geröllen auf demselben an, („. . . les nombreux cailloux roulés dont il est parsemé", v. d. Br. p. 6). Da aber Dupont[1]) ungefähr dieselben Worte gebraucht und v. d. Broeck an einer anderen Stelle (V. d. Br. p. 30) für dasselbe Geröllvorkommen sich auf jenen Autor stützt, so glaube ich nicht, daß hier persönliche Beobachtungen von v. d. Broeck vorliegen. Ohne auch nur einigermaßen die Autorität Duponts bezweifeln zu wollen, muß ich doch hervorheben, daß es mir nicht gelungen ist, auf dem Gerny Gerölle zu finden.

Einen anderen Beweis dafür, daß die Wamme-Lomme ehemals mehr bedeutete als jetzt, erblicke ich in der Tatsache, daß die heutige Wasserscheide zwischen Wamme und Ourthe sehr wenig ausgeprägt ist. Sie liegt jetzt bei Marloie in ± 280 m

[1]) É. Dupont: Les phénomènes généraux des cavernes en terrains calcareux et la circulation souterraine des eaux dans la région Han-Rochefort. (Bull. Soc. belge de Géol. T. VII 1893, p. 243). Eine vorzügliche, grundlegende Arbeit über das betreffende Gebiet, auf welcher alle späteren Autoren sich gestützt haben.

Höhe, hat aber wahrscheinlich früher mehr nördlich gelegen, wie das eigentümlich verzweigte Flußsystem nördlich von Marloie noch heute andeutet. Es gehört jetzt zum Stromgebiete der Ourthe, aber die zahlreichen (Fig. 15), invers gerichteten

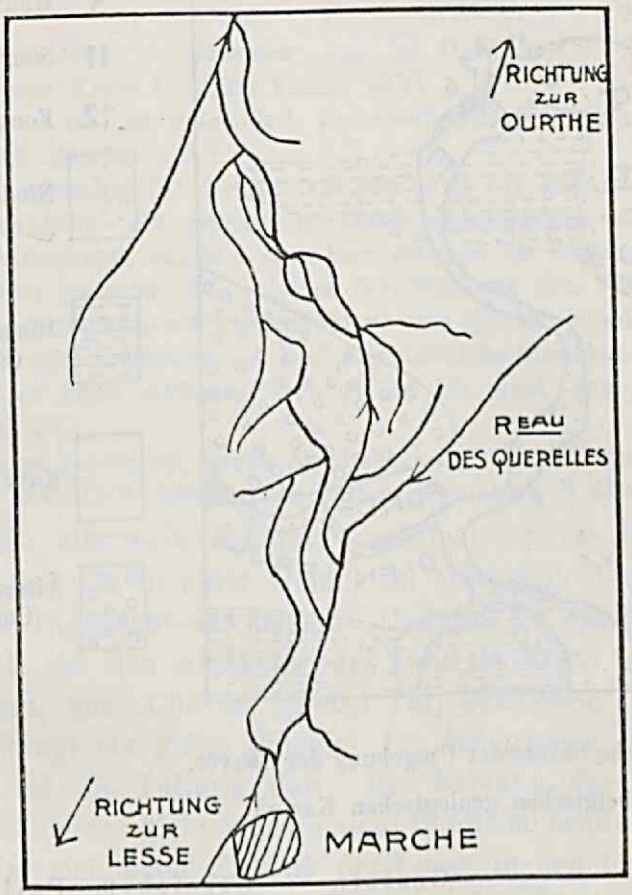


Fig. 15. Der Kampf um die Wasserscheide zwischen Ourthe und Lesse bei Marche.

Nebenflüßchen erwecken den Verdacht, daß dieses Gebiet einmal der Schauplatz eines heftigen Kampfes zwischen der Lesse und der Ourthe gewesen ist, in welchem schließlich die Ourthe den Sieg davon getragen hat, weil sie ihren Nebenflüssen eine tiefere Erosionsbasis darbot als die außerdem noch weiter entfernte Lesse. Der Name eines jener inversen Flüßchen: „Ruisseau des Querelles“ wird jedoch einer anderen Ursache als der morphologischen Einsicht der Anwohner zuzuschreiben sein.

§ 16.

Die Talstrecke Rochefort, Éprave, Han-sur-Lesse.[1])

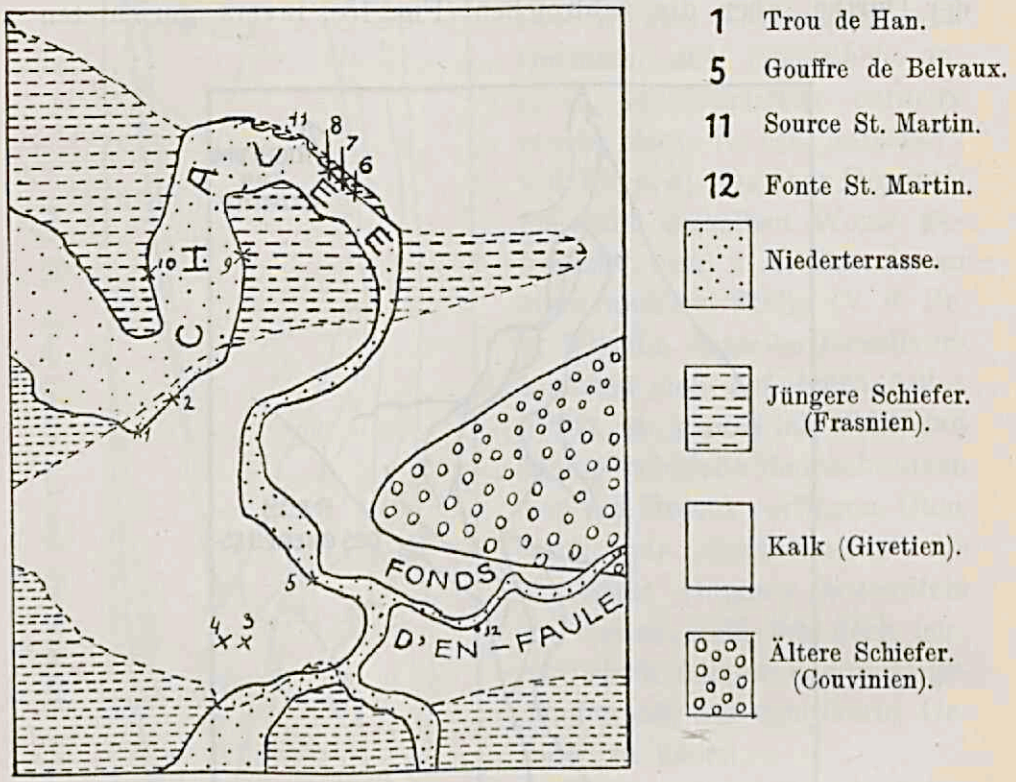


Fig. 16. Geologische Skizze der Umgebung der Chavée.
(Nach der belgischen geologischen Karte.)

Lage	Gestein	Streichen	Fallrichtung
Carrière Dasse, Rochefort	Givetien	S 72° W-N 72° O	43° nach S
Trou Marie Sac — Attrape	„	O-W	30°-50° „ S
Sortie de la Salle du Sabbath	„	O-W	68° „ S
Trou Lorette	„	O-W	50° „ S
Trou Nou-Moulin	„	W 10° N-O 10° S	42° „ S
Rechtes Ufer Chavée (10) (vgl. Fig. 16)	Frasnien	O-W	56° „ N
Linkes Ufer „ (9)	„	O-W	90°
Rechtes Ufer „ (6)	„	O-W	40° „ S
„ „ „ (7)	„	O-W	40° „ S
„ „ „ (8)	„	O-W	40° „ N

[1]) Auf der belgischen geologischen Karte ist weder das Schichtstreichen, noch die Fallrichtung angegeben, und so scheint es erwünscht, meine wenigen eigenen Beobachtungen hier vorzuführen. (vgl. Fig. 16).

Lage		Gestein	Streichen	Fallrichtung
Gouffre de Belvaux	(5)	Givetien	WNW-OSO	52° nach S
Trou de Han	(1)	„	O-W	43° „ N
„ „ „, neben	(1)	„	O-W	35° „ N
„ „ „	(2)	„	O-W	40° „ N
Trou Picot	(3)	„	O-W	30° „ S
Trou Sinsin	(4)	„	NW-SO	10° „ W
Südlich von Genimont		Frasnien	O-W	25° „ S

(bei B 25, Topogr. Karte 1:20,000 Feuille LIX).

Bei (2) ist für die Bahnanlage Han-Gouffre de Belvaux eine Schichtfläche künstlich entblößt.

In dem schmalen Tal der Ave auf dem Weg von Han nach Auffe ist am linken Talgehänge ein prachtvoller Sattel angeschnitten, den auch die Karte mit Felssignatur angibt; auch hier scheinen die Schichten O-W zu streichen. Leider gestattete die zwischen dem Weg und dem Fels strömende Ave nicht, eine Kompaßmessung auszuführen; eine photographische Aufnahme dieses Sattels wäre erwünscht. — Das eigentümliche Streichen beim Trou Sinsin kann ich nicht erklären; doch glaube ich nicht, daß meine Beobachtung falsch ist.

Im ganzen genommen, ist die Architektur in unserer Gegend eine sehr einfache: die etwa O-W streichenden Falten liegen nach N über.

So wie allgemein bekannt, verschwindet die Lesse beim Gouffre de Belvaux in einer Höhle, um erst beim Trou de Han wieder ans Tageslicht zu treten. Dadurch ist die Talstrecke, welche sich um den Ausläufer des Bois de Boine hinschlingt, trockengelegt, zur „Chavée“ (Totes Tal) geworden. Die Lesse stellt überhaupt ein gutes Beispiel für den großen Einfluß des Gesteines auf die Talform dar. Bei Belvaux durchfließt die Lesse die Schieferschichten (Frasnien) in einem breiten Tal (vgl. Fig. 20), das sich beim Eintritt der Lesse in den Givetienkalk sogleich verschmälert, während umgekehrt die Chavée beim Übergang vom Kalk in den Schiefer wieder breiter wird.

Im heutigen Zyklus hat die Talsohle südlich von Rochefort, welche die Fortsetzung der alten Talsohle des Gerny bildet, und ebenso bei Éprave und Villers-sur-Lesse bereits das Stadium der Reife erreicht, wie u. a. aus der Flußgabelung bei Éprave (vgl. Fig. 17) hervorgeht, ein Phänomen, das nur bei reifen Flüssen auftritt. Diese Spätreife kontrastiert stark mit dem schroffen Charakter der östlichen Talwand der Lomme, ebenso wie auch in geringer Entfernung von hier das Lessetal oberhalb Han noch im Jugendstadium verharrt. Dafür daß an diesen zwei Stellen das Tal bereits die Formen der Spätreife zeigt,

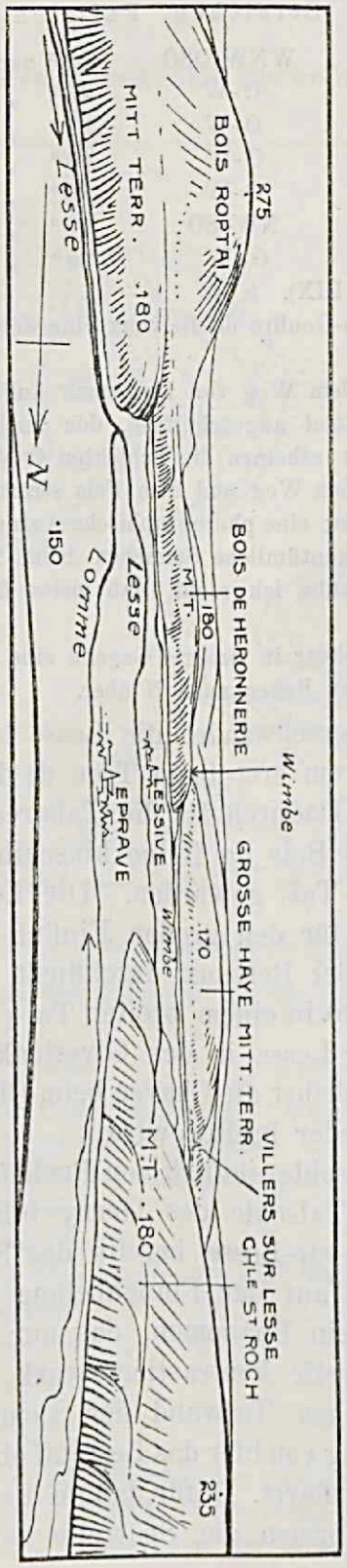


Fig. 17. Zusammenfluß der Lesse und Lomme in der Deduationsniederung von Éprave und Villers sur Lesse.

sind zwei Ursachen zu nennen: erstens die gesteigerte Erosionskraft beim Zusammenfluß der Lomme und der Lesse bei Éprave, zweitens die Nachgiebigkeit der Frasnienschiefer, welche im betreffenden Gebiete anstehen. Als Härtlinge in Bezug auf die Niederterrasse befinden sich hier die Aufragungen des Bois de Boine, in welchem sich die Höhlen von Han gebildet haben, des Bois Roptai, nordwestlich von Ave-et-Auffe, der Hügel des Bois de Waerimont und der Steilrand von Martouzin-Neuville. Sie bestehen alle aus dem widerständigeren Kalkgestein des Givetien und überragen die Denudationsniederung von Éprave und Villers-sur-Lesse.

Den auffallendsten topographischen Landschaftszug (Fig. 18) im Gebiete Han-Éprave bilden die breiten Schwellen, die sogen. „seuils“,[1]) welche Einsenkungen mit sanfter Böschung zwischen zwei Erhebungen darstellen. Die „seuils“ östlich von Éprave in 170—180 m Meereshöhe scheiden die Kuppen („buttes“) der Grotte d'Éprave (200 m), von Éprave (190 m) und viele andere, die keinen eigenen Namen besitzen. Diese Kuppen[2])

[1]) Der Ausdruck „Seuil“ wird von v. d. Broeck für diese Hohlform gebraucht.

[2]) Trotz ähnlicher Formen hat man es hier nicht mit „Hums“ im Sinne von Cvyić zu tun. (Cvyić: Bildung und Dislozierung der Dinarischen Rumpffläche. Pet. Mitt. 1909, S. 126.)

ebenso wie diejenigen des Rond-Tienne (185 m) und des Bois de Waerimont (225—190 m) werden von v. d. Broeck erklärt als Inseln, also als Aufragungen aus dem „Mittelniveau“ (niveau moyen V. d. Br. p. 43), als die Lesse und die Lomme sich hier inmitten dieser Inselwelt vereinigten. Die Seuils faßt er als Reste der Verzweigungen des alten Talwegs des Mittelniveaus auf. Ich glaube nicht, daß diese Erklärung zutrifft. Erstens liegt die Mittelterrasse hier in 180—185 m, und die Lage der Seuils ist also zu niedrig, als daß sie als Reste der Talsohle aus der Zeit der Mittelterrasse angesehen werden könnten (v. d. Br. setzt diese Terrasse in 20—25 m über das heutige Flußniveau an, was, nach meiner Meinung, zu wenig ist). Wenn wir den „ancien thalweg“ (vgl. Fig. 19), von welchem v. d. Br. auf S. 42 seiner Arbeit ein Bild vorführt, und der östlich um die Kuppe des Rond-Tienne herumführt, etwas genauer betrachten, so ergibt sich, daß hier jedenfalls die v. d. Broecksche Erklärung versagt, denn der betreffende Thalweg befindet sich nur einige wenige Meter über der Niederterrasse. Ganz ungezwungen läßt die Kuppe des Rond-Tienne sich aber als abgeschnittener Umlaufberg erklären. Vor geologisch gesprochen noch kurzer Zeit floß die Lomme um den Rond-Tienne hin. Sie schnitt die Gehänge bei A und B immer mehr zurück, bis schließlich der Umlaufsporn ganz abgeschnitten war und nun als Inselberg fortbesteht. Einen Beweis für die Richtigkeit dieser Erklärung, welche sich im Gelände sogleich dem Beschauer aufdrängt, erblicke ich in der auffallend geradlinigen Talstrecke

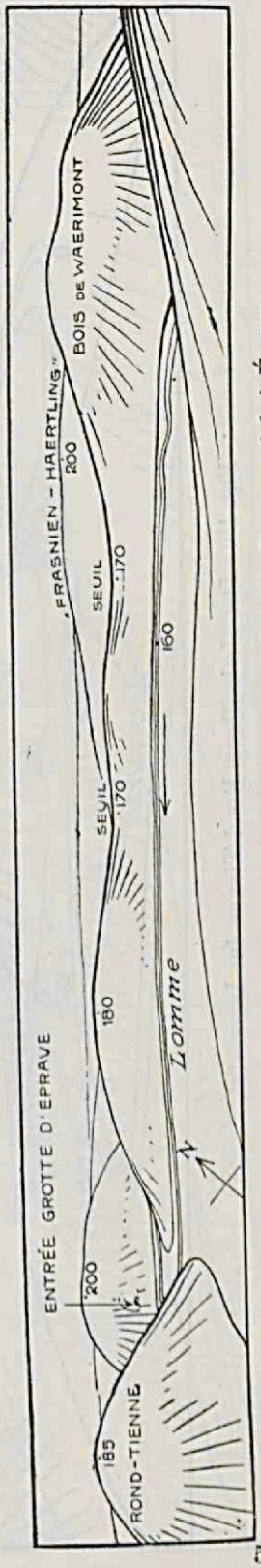


Fig. 18. Die Kuppen („buttes“) und Schwellen („seuils“) im Lommetal bei Éprave.

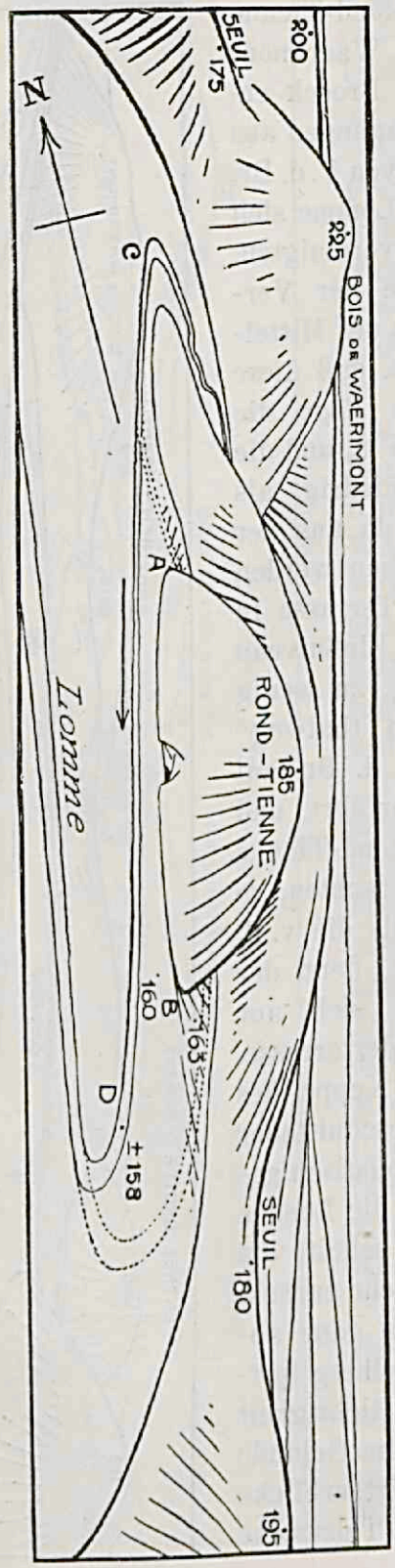


Fig. 19. Der Umlaufberg Rond-Tienne im Lommetal.

..... Früherer Lauf der Lomme.

C D —. Der eigentümlichste Seuil ist jener, der vom Rouge Croix (südöstlich von Éprave) nach Norden geht, nur durch das Tal der Lomme unterbrochen, und sich von da an in nordöstlicher Richtung bis oberhalb des Bois de Waerimont fortsetzt. Dieser Seuil wird an der Westseite durch eine Reihe von Kuppen in 185—205 m Höhe (eine derselben ist in Fig. 18 mit demNamen „Frasnien-Haertling“ angedeutet) begrenzt, von denen die einzelnen wieder durch sekundäre Seuils in ± 180 m Höhe mit einander verbunden sind. Ein Blick auf die geologische Karte macht das Auftreten dieser Serie von Kuppen unmittelbar verständlich: es deckt sich mit dem Auftreten eines schmalen Bandes von „calcaires stratifiés massifs ou noduleux“ (Fr lo auf der geologischen Karte), welche innerhalb der Schichtenserie des Frasnien ein widerständigeres Gestein darstellen. Diese Reihe von Aufragungen ist also geologisch bedingt. Eine bestimmte Erklärung für die sekundären Seuils weiß ich nicht zu geben, wahrscheinlich liegt hier nur das Resultat einer weitgehenden Denudation vor.

Eine ähnliche Frage erhebt sich bei dem breiten Seuil in 185 m, welchem südlich vom Bois de Boine der Weg Auffe-Belvaux folgt (Fig. 20). V. d. Broeck erklärt diesen wiederum als die Talsohle eines alten Lessearms („. . . la Lesse, dont un bras encore se ramifia jadis par là") im Mittelniveau. Leider kann ich auch dieser Erklärung nicht beipflichten, einmal auf Grund des oben schon erwähnten Höhenunterschiedes, dann aber muß, wenn die v. d. Broecksche Annahme richtig ist, für diesen Lessezweig doch ein Abflußweg nach Westen oder Norden bestanden haben, der sich an den genannten Seuil anschließt und unter oder höchstens in dem Niveau des letzteren liegt. Dies ist nicht der Fall. Nur das Tal des Reau d'Ave öffnet sich nach Norden, kann aber nicht die Fortsetzung jenes Seuils gebildet haben. Außerdem kann aus der v. d. Broeckschen Anschauung noch eine andere Folgerung gezogen werden. Wenn je ein Zweig der Lesse diesem breiten Seuil gefolgt wäre, so wäre es undenkbar, daß die Lesse dieses Bett verlassen hätte, um der schmalen

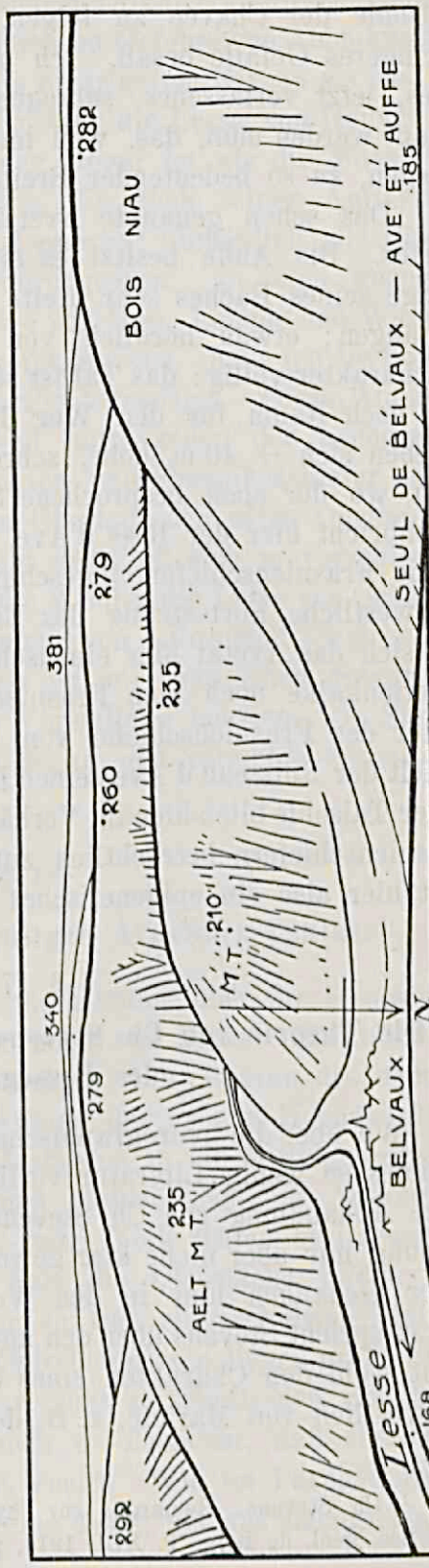


Fig. 20. Die Talweitung der Lesse in den Frasnienschiefern von Belvaux.

Talsohle der Chavée zu folgen, welche auch noch dazu ein geringeres Gefälle besaß. Ich glaube, daß jener Seuil als ein altes, jetzt verlassenes, subsequentes Seitental der Lesse aufgefaßt werden muß, das, weil im Streichen der Frasnienschiefer gelegen, zu so bedeutender Breite erodiert worden war.

Das schon genannte Avetal hat noch etwas bemerkenswertes. Bis Auffe besitzt es eine im Verhältnis zur Wassermenge seines Baches sehr breite Talsohle mit sanft geneigten Gehängen; etwas nördlich von Auffe aber ändert sich der Talcharakter völlig: das Tal ist sehr schmal geworden und bietet nur noch Raum für den Weg Han-Auffe. An der Westseite erheben sich ± 40 m hohe, schroffe Felswände. (Hier ist es auch, wo der oben besprochene Sattel angeschnitten ist.) Es durchbricht hier der Reau d'Ave, der weiter oberhalb sein Bett in die Frasnienschiefer eingeschnitten hat, eine Kalkaufragung, die westliche Fortsetzung des Bois de Boine. Wahrscheinlich hat sich das Avetal hier einzuschneiden begonnen, während die Givetienkalke noch vom Frasnienschiefer verhüllt waren. Als später der Frasnienschiefer von der Erosion abgetragen war, behielt der Ruisseau d'Ave seinen Lauf bei, aber die Verbreiterung seiner Talsohle blieb hier im Verhältnis zu jener in den weicheren Frasnienschiefern beträchtlich zurück. Nach dieser Auffassung liegt hier also ein epigenetisches Talstück vor.

§ 17.

Die Theorie von Ch. Stevens über die Hydrographie des Lessegebietes.

Wo über die hydrographische Entwicklung des betreffenden Gebietes so wenig Literatur vorliegt, meine ich auch auf eine kurze Abhandlung von Ch. Stevens [1]) hinweisen zu sollen, deren Meinung mir aber nicht klar geworden ist, so daß ich den Kern seiner Gedanken hier in den Worten des Autors niederlege. Zuerst spricht Stevens über den antiklinalen Charakter (er meint damit wohl den Charakter eines Schichtflusses?) der Flußtäler nordwestlich von Marloie, z. B. des Ruisseau des Vachaux und

---

[1]) Ch. Stevens: Remarque sur l'hydrographie du bassin de la Lesse. (Bull. Soc. géol. de Belg. T. XLI. 1914, p. 285 etc.).

der Eau du Pont. Die verschiedenen Talkniee in diesem Gebiete erklärt er als die Anzapfungsstellen im Gefolge von Ablenkungen, von der, seiner Meinung nach, in niedrigerem Niveau als das der Ourthe gelegenen Lesse aus. Er faßt die Lesse von Houyet als einen subsequenten Fluß auf, der jünger ist als die Maas (von Maastricht), Ourthe und Lomme, die nach seiner Auffassung konsequente Flüsse sind. Die Lesse hat allmählich alle Flüsse, welche das Famennegebiet durchqueren, an sich gezogen: Ruisseau des Vachaux, die Lesse von Han, Lomme und Wamme. „Der Deutlichkeit wegen", schreibt Stevens, „habe ich die Lomme als den Oberlauf der alten Ourthe betrachtet. Diese Annahme ist zu einfach. In Wirklichkeit hatte schon der nachgiebige Charakter der Zone der Famennien- und Frasnienschiefer seinen Einfluß auf die Talbildung im Oberlauf der alten Ourthe ausgeübt. Oberhalb Barvaux trennt der Fluß sich in verschiedene, divergierende Quelläste, u. a. die Wimbe, die Lesse von Ochamps, Daverdisse und Han, die Lomme von Libramont, welche alle enthauptet sind". Diese Theorie ist mir, wie schon gesagt, unklar, ich kann mir gar keine Vorstellung machen, wie Stevens sich diesen Entwicklungsgang denkt, und verzichte deshalb auf jede Kritik.

§ 18.

Das Stadium des heutigen Ardennen-Zyklus.

Am Schluß der Auseinandersetzung über die Genesis des Ardennenflußsystems sei hier noch ein kurzer Rückblick auf die Ardennen als Ganzes geworfen. Den Beginn des heutigen Zyklus haben wir mit dem Anfang der großen Hebung gleichgesetzt, welche die Ardennenfastebene in ein Mittelgebirge umgewandelt hat. Die Ardennen stehen noch im Anfang des Reifestadiums, sie sind jung-reif. Viele Täler besitzen steile Wände, an denen oft der Fels die Oberfläche bildet. Die Nebenflüsse haben ihre Täler so tief eingeschnitten, daß sie jetzt gleichsohlig münden. Zwischen diesen liegen große Stücke der welligen, wenig oder gar nicht zerschnittenen Hochfläche, welche an einigen Stellen noch so flach ist, daß sie Sümpfe trägt (Les Fagnes, das Hohe Venn). Wie im Paragraphen 16 betont wurde, sind aber einzelne Teile, als aus nachgiebigerem

Gestein (z. B. des Frasnien) aufgebaut, schon viel weiter zerschnitten und zu einem Hügellande abgetragen. (Éprave, Lavaux-St. Anne.) Diese Gebiete haben also in lokaler Ausdehnung schon das Reifestadium erreicht.

Auf S. 36 ist versäumt worden auf eine wichtige Arbeit von P. Tesch hinzuweisen: Der niederländische Boden und die Ablagerungen des Rheines und der Maas aus der jüngeren Tertiär- und der älteren Diluvialzeit (Mitt. Staatl. Bohrverw. i. d. Niederl. Nr. 1). Amsterdam 1908.

Zweiter Teil.[1])

Die Karstprobleme in den belgischen Ardennen

(besonders in der Umgebung von Han-sur-Lesse und Rochefort).

Drittes Kapitel.

Die unterirdische Hydrographie des belgischen Karstes.

§ 19.

Kurze Übersicht über die wichtigsten allgemeinen Theorien der Karsthydrographie.

Bis 1903 wurde die unterirdische Hydrographie des Karstes aufgefaßt als ein sehr verwickeltes System geschlossener Röhren und Reservoirs, durch welche die Wasserzirkulation sich flußartig vollzieht. Diese Röhren stellte man sich bisweilen heberförmig vor, und durch willkürliche Annahme gegenseitiger Zusammenhänge (z. B. von Röhren, die sich in sehr verschiedenem Niveau kreuzen), wurde versucht die hydrologischen Erscheinungen des Karstes (z. B. intermittierende und perennierende

[1]) Bei der vorliegenden Arbeit wurden die folgenden Karten zu Rate gezogen: Carte topographique de la Belgique à l'échelle du 20000e: feuille 44, planche 5 (Achène); f. 49 pl. 1 (Houyet); f. 53, pl. 8 (Dinant); f. 58, pl. 4 (Beauraing); f. 59, pl. 2 (Han-sur-Lesse); f. 59, pl. 3 (Rochefort). — Carte topographique de la Belgique publiée en couleurs à l'échelle de 1 pour 40000: Nr. 47 (Namur), 48 (Huy), 53 (Dinant), 54 (Marche), 55 (Durbuy), 58 (Beauraing), 59 (St. Hubert), 60 (Laroche), 65 (Neufchâteau). — H. Rauff: Höhenschichtenkarte der Eifel. Maßstab 1 : 200000. Bonn o. J. — G. Dewalque: Carte géologique de la Belgique et des provinces voisines. Échelle 1 : 500000. 2e éd. 1903. — Carte géologique de la Belgique, dressée par ordre du gouvernement. (Institut cartographique militaire). Échelle 1 : 40000. Nr. 176 (Achène-Leignon), 177 (Aye-Marche), 184 (Agimont-Beauraing), 185 (Houyet — Han-sur-Lesse), 186 (Rochefort-Nassogne) (ausgegeben in den Jahren 1897—1902).

Quellen usw.) zu erklären. — In jenem Jahre erschien die Arbeit von Alfred Grund,[1]) in welcher er seine Theorie über das Karstwasser und die Karstwasserschwankungen entwickelte. Schon früher hatten vereinzelte Forscher über einen zusammenhängenden Grundwasserspiegel im Karste[2]) geschrieben, aber Grund kommt das große Verdienst zu, auf diesem Prinzip eine konsequente Theorie aufgebaut und den neuen Begriff der großen Karstwasserschwankungen eingeführt zu haben.

Wie zu erwarten stand, hat das Erscheinen dieser Theorie zu einer lebhaften Diskussion Anlaß gegeben. Penck,[3]) Richter, Löwl und Krebs haben sich der Grundschen Theorie angeschlossen. Scharf verurteilt wurde sie von v. Knebel,[4]) Katzer,[5]) Martel[6]) u. a.

Im Jahre 1910 hat Grund in einer neuen, ein Karstgebiet behandelnden Arbeit,[7]) ein Kapitel (das den Titel: „Zur Karsthydrographie“ führt) der weiteren Ausarbeitung seiner Theorie gewidmet, bei welcher Gelegenheit er zugleich auch die Einwände seiner Gegner widerlegte. Unter andrem hatten manche Kritiker gemeint, Grund hätte in der zuerst genannten Arbeit das Dasein von Höhlenflüssen überhaupt geleugnet. In diesem zweiten Werke aber hat er gezeigt, daß dies nicht seine Absicht gewesen war.[8]) Es handelte sich bei ihm hauptsächlich um die Leugnung geschlossener Röhren (welche u. a. von Katzer

---

[1]) A. Grund: Die Karsthydrographie. Studien aus Westbosnien. (Pencks Geogr. Abh. Bd. VII. Heft 3. 1903.)

[2]) Auch Cvyić gebraucht oft den Begriff: Grundwasserschwankung; vgl. Jovan Cvyić: Das Karstphänomen. (Pencks Geogr. Abh. Bd. V. Heft 3. 1893.) S. 280.

[3]) A. Penck: Über das Karstphänomen. (Vorträge des Vereins zur Verbreitung naturwiss. Kenntnisse in Wien. XLIV. Jahrg. 1. Heft. Wien 1904.)

[4]) W. von Knebel: Höhlenkunde. Braunschweig 1906.

[5]) Fr. Katzer: Karst und Karsthydrographie. Sarajevo 1909.

[6]) Vgl. z. B. E. A. Martel: L'évolution souterraine. Paris 1908. S. 60 u. 112 und E. A. Martel: La Théorie de la „Grundwasser“ et les eaux souterraines du Karst. (La Géographie XXI, 1910. p. 126—130.)

[7]) A. Grund: Beiträge zur Morphologie des Dinarischen Gebirges. (Pencks Geogr. Abh. Bd. IX. Heft 3. 1910.) Vgl. auch A. Grund: Das Karstphänomen. (Geolog. Charakterbilder. Hrsg. v. H. Stille. 3. Heft. Berlin 1910.)

[8]) Vgl. hierzu auch: A. Grund: Zur Frage des Grundwassers im Karst. (Mitteil. k. k. Geogr. Ges. in Wien 1910. 53. Bd. S. 606—617.)

angenommen werden). Grund betrachtet den Höhlenfluß als einen Bestandteil des Karstwassers, als eine Karstwasserader, die sich nur einen breiteren Raum zum Fließen geschaffen hat. Grund glaubt natürlich im Gegensatz mit v. Knebels Anspruch, daß v. Knebels Auffassungen über die Grundwasserströme und Höhlenflüsse sich von seiner (Grunds) Grundwassertheorie nicht wesentlich unterscheiden. Weiter rektifiziert Grund in seiner zweiten Arbeit seine frühere Theorie in einigen unwichtigen Punkten.

Sehr klar hat Krebs[1]) den Unterschied zwischen der Grundschen Theorie und der seiner Gegner dargestellt: „Der Hauptunterschied in den Auffassungen liegt darin, daß Grund alle Fugen unter dem Karstwasserniveau sich mit Wasser gefüllt denkt, die darüber liegenden, vom Sickerwasser abgesehen, aber trocken sein läßt, während die Gegner meinen, daß sowohl übereinander als auch nebeneinander trockene und wasserführende Höhlen abwechseln können."

Noch immer stehen also die Anhänger der beiden strittigen Theorien (welche wir der Kürze wegen „Röhrentheorie" und „Grundwassertheorie" nennen wollen) einander scharf gegenüber. In diesem Falle ist ein Kompromiß auch völlig ausgeschlossen. Entweder — oder! Und doch ist die Lösung dieser Frage für die Trinkwasserversorgung in Kalkgebieten und für die Grundverbesserung in Poljengebieten ungemein wichtig und beansprucht also ein weit mehr als rein wissenschaftliches Interesse.

Wo noch im Jahre 1912 in einem der geologischen Praxis gewidmeten Werk Keilhack[2]) sich ganz auf den Standpunkt der Katzerschen Röhrentheorie stellte, da drängt sich den Anhängern der Grundwassertheorie immer deutlicher die Pflicht auf, durch zwingende Beobachtungen ihre Annahmen zu verteidigen. Destomehr — da Alfred Grund durch den nichts schonenden Krieg uns entrissen wurde. Er, der der Wissenschaft schon so viel geschenkt und für die Zukunft noch mehr versprochen hatte, fiel

---

[1]) Norbert Krebs: Offene Fragen der Karstkunde. (Geogr. Zeitschrift XVI. 1910.)

[2]) K. Keilhack: Lehrbuch der Grundwasser- und Quellenkunde. Berlin 1912.

am 12. November 1914, noch nicht 40 Jahre alt. Mit Trauer und doch mit dem Ausdruck der Dankbarkeit sei seiner hier gedacht!

§ 20.

Geologische Einleitung.

(Vgl. zu diesem Paragraphen und zu den folgenden Tafel III.)

Der Untergrund des Gebietes von Han-sur-Lesse—Rochefort, dem fast ausschließlich meine Untersuchungen galten, wird von Gesteinen der Devonformation gebildet, von der hier vier Stufen entwickelt sind, und zwar von Westen nach Osten:

Jüngere Schiefer. Oberes Oberdevon: die Famennien-Stufe.

Ältere Schiefer. Unteres Oberdevon: die Frasnien-Stufe (hie und da geschieferte Kalkmassen enthaltend).

Kalke. Oberes Mitteldevon: die Givetien-Stufe.

Älteste Schiefer. Unteres Mitteldevon: die Couvinien-Stufe.

Der Givetienkalk ist also eingeschlossen zwischen zwei Schiefermassen und bildet ein Kalkband, das ungefähr von Chimay bis Wavreille in etwa östlicher Richtung, dann bis Louveigné in nordöstlicher Richtung verläuft und sich dann nach Westen umbiegt. Dieses Kalkband stellt eines der Karstgebiete Belgiens dar.

Dieser Karst ist ein bedeckter, bestockter und seichter[1]) Karst, da die Couvinien-Schiefer, wie an mehreren Stellen zu bemerken ist, schon in geringerer Tiefe die Unterlage bilden.

Die Gesteine der Frasnien- und Couvinienstufe sind undurchlässig, wenigstens bereits in einer geringen Tiefe unter der Verwitterungsschicht (couche détritique), welche nur an den Talgehängen fehlt, wo der nackte Fels an die Oberfläche kommt. Der Givetienkalk aber, an sich völlig undurchlässig, ist infolge der zahlreichen Diaklase, die ihn wie alle stark gefalteten Kalkzonen auszeichnen, ein klüftiges Gestein; und eben auf Grund dieser Klüftigkeit stellt das Kalkgebiet ein in hohem Maße durchlässiges

[1]) Nach dem Ausdruck von Katzer (a. a. O.)

Terrain dar. Schon auf der topographischen Karte kann man die Kalkgebiete leicht erkennen, denn im Gegensatz zu den Zonen undurchlässiger Gesteine sind die Kalkzonen flußarm. Oberirdische Entwässerung fehlt ihnen fast völlig, und wenn ein Fluß in seinem Laufe auf das Kalkband trifft, verliert er hier bei Niederwasser in eine Unzahl von Löchern im Boden oder am Ufer seines Bettes sein Wasser oder verschwindet auf einmal in dem Kalk, so daß wenigstens bei niedrigem Wasserstand die im Kalk gelegene Talstrecke trocken daliegt. Die oberirdische Entwässerung wird hier also durch die unterirdische abgelöst.

In dem erwähnten Bande von Devonkalk ist eine Anzahl größerer und kleinerer Höhlen aufgeschlossen, so z. B. die Höhlen von Rochefort, Éprave, Han-sur-Lesse, und weiter nördlich jene von Remouchamps, Tilff usw.

§ 21.

Die Hydrologie der Höhle von Han-sur-Lesse.[1])

(Vgl. hierzu Tafel IV.)

Die nachfolgenden Untersuchungen und Studien stellen zum Teil eine erneute Prüfung der hydrologischen Verhältnisse der Höhlen von Han und Rochefort dar, die eine erste zusammenfassende Darstellung gefunden haben in dem schon angeführten Werke: „Les Cavernes et les rivières souterraines de la Belgique".[2])

Nachdem die Lesse aus den älteren Schiefern (Couvinien) in den Kalk eingetreten ist, fließt sie noch eine Strecke lang ungehindert auf der in den Kalk eingetieften Talsohle hin, aber beim Gouffre (Loch) de Belvaux stürzt sie sich auf einmal in die Höhle von Han, um erst wieder ans Tageslicht zu treten, wo die jüngeren Schiefer (Frasnien) beim „Trou de Han" an den Kalk angrenzen. Vom „Gouffre de Belvaux" bis an die „Place

---

[1]) An dieser Stelle möchte ich Herrn Ed. Baron de Pierpont, administrateur — délégué de la Société anonyme des Grottes de Han-sur-Lesse et de Rochefort, meinen besten Dank aussprechen für die Bereitwilligkeit, mit der er mir die Durchführung meiner Untersuchungen in den Höhlen von Rochefort und Han ermöglicht hat.

[2]) E. v. d. Broeck, E. A. Martel et Ed. Rahir: Les Cavernes et les rivières souterraines de la Belgique. Bruxelles 1910. Wird weiterhin im Text zitiert werden als (v. d. Br. p. —).

d'Armes" kennen wir den Lauf des unterirdischen Flusses[1]) nicht. Am letztgenannten Punkte kommt er wieder unter den Felsen zum Vorschein. Noch zweimal verschwindet er in den Felsen, so daß man seinen Lauf nicht weiter verfolgen kann, aber beim „Embarquement" zeigt er sich uns wiederum und zwar als eine breite Wasserfläche, welche die Nachen der Besucher bis an das Trou de Han trägt. — Außerdem findet sich noch Wasser in der „Salle des Draperies", das an seinem Nordende mit dem Wasser der unterirdischen Lesse in Verbindung steht. Auch einige „Puits" (Brunnen) sind mit Wasser gefüllt.

Der vornehmste Zweck, der den Untersuchungen,[2]) die ich in der zweiten Hälfte des Monats August 1913 in der Höhle von Han angestellt habe, zugrunde lag, war, Beobachtungsmaterial zu sammeln, um in einem konkreten Fall die Grundsche Theorie prüfen zu können.

Niveaumessungen der Wasserpunkte. Die verschiedenen Niveaus habe ich barometrisch gemessen. Dazu benutzte ich zwei Aneroidbarometer, Nr. 996 und Nr. 997, aus der Fabrik von Olland, Utrecht. Die Wasserniveaus in der Höhle habe ich immer mit dem Niveau der Lesse einige Meter außerhalb der „Sortie" verglichen, und zwar in der Weise, daß ich das Barometer auf einen daselbst in der Lesse liegenden Felsblock stellte, zu einer bestimmten Zeit den Barometerstand daselbst bestimmte und zu gleicher Zeit den Abstand zwischen dem Barometer und dem Lesseniveau maß. In gleicher Weise benutzte ich nachher das Barometer zu einer Höhenmessung innerhalb der Höhle. Der Unterschied der Barometerablesungen mit Berücksichtigung des Höhenunterschiedes infolge Verschiedenheit der Barometeraufstellung über dem Wasserniveau, ergab alsdann den Niveauunterschied. Da zwischen den beiden Beobachtungen

---

[1]) Ich gebrauche hier und im folgenden bis an Seite 90 den Ausdruck: „unterirdischer Fluß" und „unterirdische Lesse" nur um die Vorstellung zu fixieren, ohne ihm jedoch im Sinne strenger Morphologie und Hydrologie Bedeutung beimessen zu wollen.

[2]) Die für meine Untersuchungen benötigten Barometer und Thermometer wurden mir von dem Herrn Generaldirektor des Kgl. Niederländ. Meteorologischen Instituts in de Bilt, Prof. Dr. E. van Everdingen, freundlichst zur Verfügung gestellt.

immer eine gewisse Zeit (oft mehrere Stunden) verstrich, mußte das in dieser Weise gewonnene Resultat korrigiert werden für die Schwankungen des atmosphärischen Luftdruckes. Dazu hatte ich in meinem Gasthof zu Rochefort ein selbstregistrierendes Barometer aufgestellt. Es wäre besser gewesen, wenn auch diese Aufnahmen in Han vor sich gegangen wären, aber, da ich nicht immer am Morgen in Han war und doch an jedem Morgen ein neues Diagrammpapier um den rotierenden Zylinder gelegt werden mußte, wäre das zu unbequem gewesen. Es hat sich gezeigt, daß für meinen Zweck, nämlich das Messen von notwendigerweise kleinen Niveauunterschieden, die Ablesungen der gebrauchten Aneroidbarometer nicht genügend genau sind. v. d. Broeck sagt (v. d. Br. p. 100, Verweisung): „Sous terre d'ailleurs, il a été souvent constaté que le baromètre holostérique a, pour des causes encore non étudiées des caprices et des fantaisies tels qu'il faut jusqu'à nouvel ordre, renoncer à peu près à réclamer de cet instrument des indications réellement précises." Diese Meinung teile ich nicht. Eine Fehlerquelle liegt im Nachhinken der Instrumente. Doch diesen Fehler kann man vermeiden, indem man das Barometer vor jeder Ablesung einige Zeit an Ort und Stelle zur Ruhe kommen läßt. (Ich nahm hierzu immer eine halbe Stunde.) Diese Ruhezeit ist um so mehr nötig, wenn beim Transport das Barometer plötzlich große Niveauunterschiede erleidet, wie z. B. bei Bergmessungen. Um dem Nachhinken der Nadel vorzubeugen, wird vor der Ablesung einige Male aufs Glas geklopft. Wenn man, wie bei rohen Höhenbestimmungen, eine Genauigkeit nur bis in Meter verlangt, ist diese Methode, wie ich glaube, auch in Höhlen sehr brauchbar; man muß jedoch zuverlässige Instrumente zur Verfügung haben.

Beispiel einer Messung: Am 21. August 1913 war um 2 Uhr 30 p. m. der Barometerstand 40 cm über dem Wasserniveau im Gouffre de Belvaux 752,7 und um 6 Uhr p. m. 51 cm über dem Lesseniveau bei der „Sortie" ebenfalls 752,7. Das selbstregistrierende Barometer zeigte in diesem Zeitabschnitt eine Senkung von 0,1 mm an. Ohne diese Senkung würde also um 6 Uhr der Barometerstand bei der „Sortie" 752,8 gewesen sein. Der wahre Unterschied der zwei Barometerstände betrug also + 0,1 mm, d. h.: das Barometer bei der „Sortie" stand um 1 m niedriger als beim „Gouffre de Belvaux". Wenn nun noch der

Höhenunterschied von 11 cm infolge der Verschiedenheit der Aufstellung der Barometer über dem Wasser berücksichtigt wird, so ergibt diese Messung, daß das Niveau der Lesse bei der „Sortie“ um 100 cm + 11 cm = 111 cm niedriger liegt als beim „Gouffre de Belvaux“.

Eine Kontrollmaßregel, die ich sehr oft angewendet habe, besteht darin, daß zwei Barometer gebraucht werden. Auf dem Tische bei der „Sortie“ stellte ich das eine Barometer so ein, daß beide Barometer genau denselben Stand einnahmen. Das eine Barometer stellte ich auf den Felsblock bei der „Sortie“ und gebrauchte das andere zu Messungen innerhalb der Höhle. Nachher wurden beide Barometer auf den Tisch gestellt; stimmten nach einer halbstündigen Ruhepause die beiden Angaben völlig, dann konnten die gewonnenen Resultate als zuverlässig gelten. Gleiche Angaben fand ich in der Tat, wenn ich das eine Barometer nicht in ein beträchtlich höheres oder tieferes Niveau gebracht hatte, wie z. B. als ich mich vom „Trou de Han“ durch den Talboden der Chavée nach dem „Gouffre de Belvaux“ (und zurück) begeben hatte. Wenn ich aber den Weg durch die Höhlen wählte, der einmal ansteigt, dann sich wieder herabsenkt, stimmten nachher die Angaben der beiden Barometer nicht mehr völlig, sondern ergaben einen Unterschied von z. B. 0,1 mm. Dann ist es fraglich, in welcher Weise die Messung zu korrigieren ist. — Wie oben schon gesagt wurde, hätte ich gerne Instrumente gehabt, mit denen eine größere Genauigkeit zu erreichen gewesen wäre. Ungerechnet die eigenen Fehler der beiden Barometer und des selbstregistrierenden Barometers, stellten auch die Ablesungen selbst eine große Fehlerquelle dar. Der Abstand zwischen zwei Teilstrichen entsprach bei beiden Aneroidbarometern einem Luftdruckunterschied von 1 mm, d. h. einem Höhenunterschiede von 10 m. Nach einiger Übung ist es bei solchen Instrumenten möglich auf $^1/_{10}$ Skalenteil genau zu schätzen, so daß der Schätzungsfehler in maximo $^1/_{10}$ Skalenteil = 1 m betragen würde. Wenn nun im ungünstigsten Falle bei beiden Ablesungen der Maximalfehler auftritt und die Fehler entgegengesetzte Vorzeichen haben, tritt auf Grund dieser einen Fehlerquelle schon in der Höhenbestimmung ein Fehler von 2 m auf. — Durch den Vergleich mit den Angaben der beiden Aneroidbarometer habe ich festgestellt, daß die Maxima und Minima durch das selbstregistrierende Barometer

zu klein eingezeichnet wurden. Ich suche die Ursache in dem toten Gang des Instrumentes.

Die hierunter folgenden Höhenunterschiede sind in zwei Dezimalen angegeben. Man wird mir entgegenhalten, dies sei nicht erlaubt, weil in dieser Weise der Eindruck geweckt werde, die Genauigkeit sei eine größere, als diese Messungen beanspruchen können. Die Richtigkeit dieses Einwandes erkenne ich an, meine aber doch, jene Zahlen nicht abrunden zu dürfen, weil die betreffenden Zahlen aus dem barometrisch gemessenen Niveauunterschied und dem Unterschied in der Höhe der beiden Barometer über den Wasserniveaus resultieren, wobei die letztere Messung auf Zentimeter genau ist. Wenn ich also die Zahlen bis auf Meter abrundete, würde ich mich einer nicht erlaubten Vernachlässigung schuldig machen.

Da v. d. Broeck (v. d. Br. p. 49—67) eine sehr ausführliche Beschreibung der Höhle von Han gibt, wird es genügen, für die Situation der zu nennenden Punkte auf das Kärtchen auf Tafel IV zu verweisen.

Etwas nördlich von Belvaux stürzt sich die Lesse schäumend und brausend in den „Gouffre de Belvaux". Sobald aber ihre Wasser sich an dem Fels zerschlagen haben, hinterlassen sie da (wenigstens bei Niederwasser) ihren Schaum — und ängstlich finster, aber still, verschwinden sie im Loch. Ja, augenscheinlich würde man, wenn man aus einiger Entfernung beobachtet, erkennen wollen, daß diese horizontale Wasserfläche stagnierend ist. Für den Niveauunterschied dieser Wasserfläche und der Lesse bei der „Sortie" habe ich an verschiedenen Tagen gefunden: 0,94 m, 0,83 m, 0,41 m und 1,11 m; im Mittel 0,82 m. Einige Meter außerhalb der „Sortie" ist an der Felswand am rechten Lesseufer eine Kupferplatte angebracht, in welcher ein scharfer, horizontaler Strich das Niveau 156 m über dem Meer angibt. Diese Höhenmarke ist nur im Boote zu erreichen und liegt bei Niederwasser ungefähr 50 cm über dem Lesseniveau.

Die in der zweiten Kolumne der hier unten folgenden Liste als „absolut" (in Bezug auf die Höhenmarke) angegebenen Höhenangaben sind sensu stricto doch nur relativ, weil sie nur für Niederwasser in der zweiten Hälfte des August 1913 gelten und außerdem das Niederwasserniveau eine tägliche Schwankung zeigt.

Niveauunterschiede zwischen der Lesse bei der „Sortie“ und			Absolutes Niveau der hierneben genannten Wasserpunkte[1]) in m über d. Meeresniveau
— 0,82 m (im Mittel)	der Lesse bei dem	Gouffre de Belvaux	156,32
— 0,37		Mont dangereux	155,90
+ 0,07		Pont du Styx	155,46
— 0,44		Fond de la Grotte du Dôme	155,97
0,00		Trou de Han	155,50
+ 0,64	den „Puits“	Grande Fontaine	154,82
— 0,60		1er Gouffre du Labyrinthe	156,10
— 0,72		2nd Gouffre du Labyrinthe	156,22
— 0,98		de la Galerie des Aventuriers situé le plus à l'Est (Puits du Plan Pochet)	156,43
— 0,14		Celui situé le plus à l'ouest	155,59

Die ersten fünf Angaben haben also Bezug auf die Niveaus des Wassers, das ich vorläufig als Wasser der unterirdischen Lesse bezeichnete. Diese Zahlen lehren uns wenig, da der Niveauunterschied von ± 90 cm: „Gouffre de Belvaux“—„Trou de Han“ durch frühere Messungen schon längst bekannt war.

Durch die große Freundlichkeit des Herrn Ed. Baron de Pierpont, administrateur-délégué de la Société anonyme des Grottes de Han-sur-Lesse et de Rochefort, bin ich aber imstande die folgende, mir von Herrn de Pierpont mitgeteilte Tabelle zu veröffentlichen. Für z. T. dieselben Punkte sind hierin genauere Niveauhöhen des Wassers angegeben:

Gouffre de Belvaux .	156,23 m über dem Meeresniveau.
Salle d'Armes . . .	155,76
Styx	155,71
Salle du Dôme . .	155,48
Embarquement . .	155,35
Sortie	155,34.

Ich vermute, daß diese Messungen auf dieselbe Höhenmarke, die auch ich benutzt habe, bezogen sind; ich kann dies aber leider nicht mit Bestimmtheit sagen. Bei diesen Messungen hat man wahrscheinlich über Barometer verfügt, die eine größere Genauigkeit bei der Ablesung gestatteten, oder man hat ein sehr genaues Nivellement ausgeführt. Aus dieser Tabelle folgt,

[1]) Wenn man je den absoluten Wert einer negativen Zahl der ersten Kolumne von der betreffenden Zahl in der dritten Kolumne abzieht, so findet man das Lesseniveau beim Trou de Han; da aber diese Beobachtungsreihe sich über mehrere Tage erstreckt, so hat auch das Lesseniveau geschwankt und findet man für dieses aus den Zahlen der verschiedenen Reihen auch ungleiche Werte.

daß das Gefälle zwischen dem „Gouffre de Belvaux“ und dem „Trou de Han“ 89 cm beträgt, was auch mit den v. d. Broeckschen Resultaten (90 cm) stimmt.

Die Niveauhöhen der „Puits“, für welche ich nirgendwo Angaben gefunden habe, werden später zu wichtigen Folgerungen Anlaß geben.

Ich habe im Dorfe Han-sur-Lesse nur einen offenen Brunnen angetroffen, nämlich jenen im Hofe der Wwe. Lannois an der Ostseite des Dorfes. Er liegt im Frasnienschiefer; aber vollständigkeitshalber habe ich auch hier die Niveauhöhe des Wassers gemessen. Am 25. August 1913 lag das Niveau 51 cm unter dem Niveau der Lesse beim „Trou de Han“, also 154,93 m über dem Meere. Die Wassertiefe war 59 cm.

Temperaturmessungen.[1]) V. d. Broeck hat an all den genannten Punkten zahlreiche Messungen der Wasser- und Lufttemperaturen veranstaltet. Da sich mir die Gelegenheit bot, habe ich aber auch eigenes Beobachtungsmaterial gesammelt. Ich hatte ein sehr praktisches Wasserthermometer zur Verfügung, habe aber fast immer ein Luftthermometer gebraucht, weil dieses genauer war und eine direkte Ablesung bis auf $0^{0}.1$ gestattete.

Von mir wurden die folgenden Temperaturen gefunden:

18. Aug. 1913	Lesse bei der „Sortie“	$13^{0}.5$ (Luft 16^{0})
	Wasser Grande Fontaine	$9^{0}.0$ (Luft 10^{0})
19. Aug.	Wasser 1er Gouffre du Labyrinthe	$8^{0}.5$ (Luft $9^{0}.1$)
	„ 2nd „ „ „	$8^{0}.5$
	„ Salle des Draperies	$10^{0}.0$
	„ oberhalb der „Barrage“	$11^{0}.5$
	Lesse zwischen „Embarquement“ und „Sortie“	$14^{0}.0$
	„ bei der „Sortie“	$14^{0}.5$
20. Aug.	„ beim „Mont dangereux“	$14^{0}.5$
	„ beim „Pont du Styx“	$14^{0}.5$
	„ hinten in der „Grotte du Dôme“	$14^{0}.5$ (Luft $12^{0}.9$)
	„ bei der „Sortie“	$14^{0}.5$
21. Aug.	„ beim „Gouffre de Belvaux“	$17^{0}.2$ (2 U. 25 p. m.)
	„ beim „Mont dangereux“	$15^{0}.4$
	„ beim „Trou des canaux“	$15^{0}.6$

[1]) Alle Temperaturen sind in Celsiusgraden angegeben.

21. Aug.	Lesse bei der „Galerie des petites Fontaines“	15°.6 (5 U. 45 p. m.)
	„ beim Felsblock nächst dem Ufer der „Sortie“	15°.3 (6 U.)[1]
	Wasser beim Eintritt in die „Salle des Draperies“ (oberhalb der Barrage)	11°.8
	„ „Au pas du diable“ (unterhalb der „Barrage“)	11°.8
	„ etwas nördlich vom „Pas du diable“	15°.4
	„ beim „Trou des Canaux“	15°.6
	„ 1er Gouffre du Labyrinthe	8°.6
	„ 2nd „ „ „	8°.6
	„ Grande Fontaine	9°.2
22. Aug.	Lesse bei der „Sortie“	15°.5 (6 U. 45 p. m.)
	„ bei dem westlichsten „Puits“ der „Galerie des Aventuriers“	— (Luft 10°.0)
25. Aug.	„ beim „Mont dangereux“	16°.8
	„ beim „Trou des canaux“	16°.8
	„ bei der „Galerie des petites Fontaines“	16°.8
	„ bei der „Sortie“	16°.8
	Wasser beim Eintritt in die „Salle des Draperies“ (oberhalb d. „Barrage“)	12°
	„ „Au pas du diable“ (unterhalb der „Barrage“)	12°
	Sickerwasser in der „Voûte en fer de lance“	9°.75
26. Aug.	Lesse beim „Gouffre de Belvaux“	18°.0 (4 U. p. m.)
	„ bei der „Sortie“	16°.6 (5 U. p. m.)

Aus diesen Temperaturangaben können die gleichen Folgerungen gezogen werden, die sich auch für v. d. Broeck aus seinen Temperaturbeobachtungen ergeben haben, nämlich daß dem Wasser der unterirdischen Lesse (vgl. Verweisung S. 76) im Sommer eine viel höhere Temperatur entspricht als dem Wasser der „Puits“, deren Temperatur zu 8°.5 gefunden wurde. (Der Unterschied

[1]) Diese scheinbare Abweichung wird durch die Wahl der Beobachtungsstelle, nämlich eines Felsblocks nächst dem Ufer, verursacht. Ich versäumte an jenem Tage die Wassertemperatur bei der „Sortie“ mitten im Wasser, vom Boote aus, zu messen. An anderen Tagen habe ich aber konstatiert, daß der Temperaturunterschied bei der „Sortie“ mitten im Wasser und an der Seite bis 0°.6 betragen kann.

betrug bei den obigen Beobachtungen 6° bis 8°.) Ohne weiteres läßt sich der Umstand erklären, daß die Temperatur des Wassers in der „Grande Fontaine“ etwas höher war als die Wassertemperatur der „Puits“ (nämlich zu 9° und 9°.2): die „Galerie de la Grande Fontaine“ gibt der jedenfalls im Sommer wärmeren Außenluft einen direkten Zugang. Und wenn dieser Luftwechsel vielleicht an sich zu klein ist, um allein die Temperaturerhöhung zu erklären, so kann man noch eine zweite Wärmequelle dafür verantwortlich machen: die Sonnenstrahlung, welche den Felsen der „Grande Fontaine“, die hier nur eine geringe Mächtigkeit besitzen, durch Wärmeleitung eine höhere Temperatur mitteilen wird, als den Felsen im Inneren der Höhle, z. B. beim „Gouffre du Labyrinthe“.

Les Puits de la Galerie des Aventuriers. Es war mir leider unmöglich, die Temperaturen dieser beiden „Puits“ zu messen. Im Oktober 1898 hat v. d. Broeck zusammen mit einigen anderen eine wissenschaftliche Untersuchung dieser Galerie veranstaltet und die Temperatur des östlichen „Puits“ gemessen; das Thermometer blieb hier aber im Boden stecken, so daß die Temperatur des westlichen „Puits“ unbeobachtet blieb. Die Temperatur des erstgenannten „Puits“ fand v. d. Broeck zu 9°.5, und da diese Temperatur zu jener Zeit um 1°.5 die Temperatur der anderen „Puits“ übertraf, glaubte v. d. Broeck, daß, obgleich „cette eau n'est pas en communication très directe en étiage avec le courant souterrain permanent, la relation est toutefois possible“. Ich bin hiermit nicht einverstanden und hätte also sehr gern die beiden Temperaturen gemessen. Wie v. d. Broeck selber schon bemerkt hat, ist die „Galerie des Aventuriers“ auf dem Plan Pochet gar nicht richtig eingezeichnet, und es ist zu bedauern, daß v. d. Broeck, der bei der obengenannten Exkursion die nötigen Aufnahmen vorgenommen hat, die gefundenen Korrektionen nicht in das Kärtchen der Höhle von Han, das seiner mehrmals genannten Arbeit beigegeben ist, eingetragen hat; auch wenn er kein Längsprofil der Galerie hat zeichnen können (was er als Grund angibt). Wenn man die Galerie durchquert (oder besser gesagt, durchkriecht), bemerkt man sogleich verschiedene Ungenauigkeiten des alten „Plan Pochet“. Seit der v. d. Broeckschen Exkursion im Jahre 1898 ist bis auf meinen Besuch in 1913 meines Wissens die Galerie niemals mehr betreten worden; ich mußte somit auf Tafel IV die gleichen

Ungenauigkeiten wieder abdrucken lassen. Nur habe ich den östlichen „Puits“ in der Achse der Galerie eingezeichnet. (Auch v. d. Broeck hat auf diese Lage hingewiesen.) Das Wasserniveau dieses „Puits“ lag 6,57 m unterhalb des Fußbodens. Die Wand des „Puits“ hatte bis 3 m Tiefe eine Neigung von ungefähr 45° und fiel dann senkrecht herab. Ich brauchte diese Tiefenbestimmung, um den Abstand meines Barometers vom Wasserniveau zu ermitteln. Das Senkblei, das ich zu dieser Messung gebrauchte, und das ungefähr 0,5 Kilogramm wog, blieb dabei in dem Höhlenlehm stecken, und meine beiden Führer konnten es nicht herausziehen, sondern zerrissen nur das kräftige Seil. Wir haben dann die Tiefe mit einem improvisierten Senkblei gemessen; da wir aber kein Kletterseil bei uns hatten, um einen von uns in die Tiefe hinabzulassen, faßte ich den Entschluß, auf eine Temperaturmessung zu verzichten (wie sehr ich dies auch bedauerte), denn ich befürchtete für das nicht mir gehörende Thermometer ein gleiches Los als das des Senkbleies. — Der zweite „Puits“ (den v. d. Broeck auf seiner Karte „Double Point d'eau“ nennt, was ich aber nicht verstehe, denn ich sah nur einen „Puits“) befindet sich unterhalb einer Art Vorsprung, dessen Abstand vom Wasserniveau ich zu 4,66 m (Wassertiefe 0,90 m) bestimmte. (Senkrechte Wand.) Diese beiden Höhenzahlen 6,57 m und 4,66 m, welche ich zweimal ziemlich genau feststellte, stimmen gar nicht mit den v. d. Broeckschen Angaben, der bzw. 4,50 m (Wassertiefe 2 m) und 5,30 m (Wassertiefe 1 m) gefunden hat. Das Wasserniveau lag bei der v. d. Broeckschen Beobachtung und bei der meinigen gleich hoch, da für die Wassertiefe 1 m bzw. 0,90 m gefunden wurde, — wenn man wenigstens annehmen darf, daß die Höhenlage des Bodens des „Puits“ sich in diesen 15 Jahren nicht geändert habe. v. d. Broeck hat auch Barometermessungen ausgeführt, um das absolute Höhenniveau zu ermitteln; nachher zeigte sich aber, daß sein Beobachtungsmaterial infolge einer starken atmospherischen Depression nicht zu verwenden war. Ich hatte das Glück, daß im Zeitraum zwischen meinen Beobachtungen bei der Sortie und in der Galerie der Luftdruck sich gar nicht geändert hatte, wodurch eine Korrektion unnötig war und wir diese beiden Niveaubestimmungen für vertrauenswürdiger ansehen dürfen, als in anderen Fällen gestattet ist. — Aus dem zweiten „Puits“ stieg ein ziemlich starker Luftstrom

hervor, dessen Temperatur 10° betrug, und welcher unsere Kerzen auslöschte. Grund[1]) gibt verschiedene Beispiele derartiger Ventilation in Höhlengängen an, und ich glaube, wie auch Grund andeutet, daß dieser Vorgang eines der stärksten Argumente gegen die Annahme[2]) Katzers darstellt: „Die Fortbewegung des Wassers unterliegt dem statischen Gesetze der kommunizierenden Röhren"; denn diese Behauptung setzt die Existenz geschlossener, luftleerer Röhren voraus. Da im Vergleich mit dem anstrengenden und schwierigen Kriechen in der „Galerie des Aventuriers" ein Durchdringen in die „Galerie du Cocyte" noch größere Schwierigkeiten mit sich bringt, wurde mir von einem jeden davon abgeraten. So habe ich kein Beobachtungsmaterial über die drei kleinen „Puits", welche v. d. Broeck am Ende dieser Galerie antraf, und deren Temperatur er zu 8°.5 bestimmte.

Färbungsversuche. Die naheliegende Aufgabe wäre gewesen: durch Färbung den Grundwassercharakter der „Puits" zu entscheiden.[3]) Bei einer Untersuchung an Ort und Stelle wurde mir aber klar, daß diese Versuche keine Resultate geben könnten, und so faßte ich den Entschluß, nochmals die Zeit zu messen, welche die Gewässer der Lesse brauchen, um vom „Gouffre de Belvaux" bis an das „Trou de Han" zu gelangen. v. d. Broeck hat den gleichen Versuch gemacht und fand, daß „die Gewässer in ihrem normalen Regime vom August 1893, 24 Stunden brauchten, um diesen Weg zu machen". (v. d. Broeck p. 52.) Am 18. September 1898 hat sich herausgestellt, daß vom „Gouffre de Belvaux" bis an den „Pont du Styx" die Färbung 20 Stunden brauchte und noch vier weitere Stunden von da bis an die „Sortie".[4]) v. d. Broeck nimmt für den Abstand der beiden

[1]) A. Grund: Beiträge zur Morphologie etc. (l. c. S. 72) S. 141.

[2]) Fr. Katzer: Karst und Karsthydrographie (l. c. S. 72) S. 43.

[3]) Wenn sodann die Färbung sich nachher stromabwärts, innerhalb oder außerhalb der Höhlen, den Gewässern der Lesse mitgeteilt hätte, wäre ein fernerer Beweis für die Richtigkeit der Annahme, daß das Wasser der „Puits" Grundwasser sei, geliefert worden. Zu diesem Zweck hätte, um eine stärkere Strömung zu erzeugen, das Niveau der „Puits" durch Wasserzufuhr künstlich erhöht werden müssen. Der praktischen Durchführung dieser Idee stellten sich aber zu große Schwierigkeiten entgegen.

[4]) Für die ausführliche Darlegung vgl. E. v. d. Broeck et E. A. Martel: Nouvelles recherches et constatations à Han-sur-Lesse. (Bull. Soc. belge de géol. T. XII. p. 173.)

zuletzt genannten Punkte 400 m an und berechnet also für die Lauflänge vom „Gouffre de Belvaux“ bis an den „Pont du Styx“ 2 km. (v. d. Broeck p. 91.)

Am 24. August 1913 habe ich um 4 U. 50 p. m. ein Kilogramm Fluorescin in das Wasser der Lesse im „Gouffre de Belvaux“ geworfen. Weil ich kein Kolorimeter besaß und also auf das Beobachten der sichtbaren Färbung des Wassers angewiesen war, um die Anwesenheit des Fluorescins zu bestimmen, habe ich auf der Brücke beobachtet, welche 96 m außerhalb der „Sortie“ über die Lesse führt, denn die „Sortie“ selber lag im Schatten, weshalb hier die Färbung schwerer zu sehen war als im grellen Sonnenschein bei der Brücke. Am 25. August war um 10 Uhr 50 a. m. die Färbung bei der Brücke gut wahrzunehmen. Hieraus folgt, daß die Färbung weniger als 18 Stunden gebraucht hat, um vom „Gouffre de Belvaux“ bis an das „Trou de Han“ zu gelangen, denn die für das Fortschreiten der Färbung bis zur Brücke festgestellte Zeit war 18 Stunden, aber das Wasser, das hier sehr langsam strömt, hat auch eine gewisse Zeit nötig gehabt, um die 96 m von der „Sortie“ bis an die Brücke zurückzulegen, und außerdem wird die Färbungsspitze („tête de coloration“), welche mit dem Auge nicht wahrzunehmen ist, schon eher an die Brücke angelangt sein. Am Nachmittag war die Lesse sehr intensiv gefärbt, und die märchenhaft grüne Fluorescenz des Wassers bildete, vom Abhang des „Bois de Boine“ über dem „Trou de Han“ gesehen, einen scharfen Kontrast mit dem grünen Schimmer der Baumblätter. Weil ich den Zeitpunkt nicht bestimmt hatte, an welchem die Färbung bei dem „Pont du Styx“ angekommen war, habe ich die Zeit, welche das Wasser braucht, um von dem „Pont du Styx“ an die Brücke außerhalb der „Sortie“ zu gelangen, noch einmal besonders gegemessen. Zu diesem Zwecke habe ich am 26. August um 9 U. 45 a. m. $\pm$ 0,5 Kilogramm Fluorescin bei dem „Pont du Styx“ ins Wasser geworfen. Um 12 U. 45 p. m., also 3 Stunden später war die Färbung bei der Brücke außerhalb der „Sortie“ wahrzunehmen. Stellen wir für den Abstand vom „Pont du Styx“ bis an die „Sortie“ die von v. d. Broeck genannte Zahl in die Rechnung ein, nämlich 400 m, dann ergibt sich für den Abstand vom „Pont du Styx“ bis an die Brücke 496 m. Die ganze Länge des unterirdischen Wasserweges, vom „Gouffre de

Belvaux“ bis an das „Trou de Han“, würde dann betragen:

$$\left(\frac{18}{3} \times 496 \text{ m}\right) - 96 \text{ m} = 2880 \text{ m} = \pm 2{,}9 \text{ km}.$$

Obgleich die beiden Färbungsversuche an verschiedenen Tagen stattgefunden haben, dürfen ihre Ergebnisse doch miteinander verglichen werden, da es seit längerer Zeit nicht geregnet hatte und der Flußspiegel der Lesse bei Han an den beiden obengenannten Daten nur ein um 2 cm verschiedenes Niveau aufwies. Demnach darf die Geschwindigkeit der Lesse an beiden Tagen als annähernd gleich betrachtet werden. — Außerdem kann diese Abstandsbestimmung keineswegs auf große Genauigkeit Anspruch machen, weil die Abflußmöglichkeit und infolgedessen auch die Geschwindigkeit der unterirdischen Lesse sich in den verschiedenen Teilen der Höhlen ändert.

Die v. d. Broeckschen Zeitmessungen und die meinigen haben also ein sehr verschiedenes Resultat geliefert: 24 und 18 Stunden. Es versteht sich, daß die Durchströmungsgeschwindigkeit unter übrigens gleichen Umständen sehr von der Größe der Wassermenge abhängig ist, welche sich in den „Gouffre de Belvaux“ stürzt. Nun hat v. d. Broeck zwar angegeben, daß am 18. September 1898 das Wasserniveau sehr niedrig war („les eaux étaient fort basses“), aber im August 1893 spricht er bei einer gleichen Durchströmungszeit von 24 Stunden über das „régime normal“. Außerdem meine ich, daß die Niveauhöhen des Wassers am 18. September 1898 und am 25. August 1913 (an welchen Daten v. d. Broeck bzw. die Verfasserin die Färbungsversuche veranstalteten), praktisch gleich waren, wie die folgende Berechnung ausweist.

v. d. Broeck hat alle seine Höhenmessungen auf eine andere Höhenmarke als die auf S. 79 angegebene bezogen, nämlich auf eine Höhenmarke, die von ihm an dem Fels (der, wie ich glaube, jetzt nicht mehr besteht) zwischen dem „Chalet du débarquement“ (jenes Chalet ist seitdem fortgeräumt worden) und dem Eingang in die „Grotte de la grande Fontaine“ angebracht wurde. Dieser Punkt gab eine Seehöhe von 160 m an, d. h. 2 m über dem Niederwasser der Lesse (v. d. Broeck p. 104, Note). Die Höhenmarke, auf welche meine Beobachtungen bezogen sind, liegt, wie gesagt in 156 m Seehöhe, $^1/_2$ m über dem Niederwasser der Lesse. Demnach werden sonst gleiche Höhenangaben von v. d. Broeck

immer $2^1/_2$ m größer sein als die meinigen. Wählen wir nun zum Vergleich das Niveau der Lesse in der „Salle du Dôme". Hierfür gibt v. d. Broeck auf seinem Kärtchen für 18—20. September 1898 an: 158 m (v. d. Broeck p. 77), d. h. auf meine Höhenmarke bezogen 155,50 m. Am 25. August 1913 lag das Niveau bei der Sortie in 155,44 m (dieses Niveau auf $^1/_2$ cm genau), d. h. 10 cm höher als bei den Beobachtungen von Herrn de Pierpont.[1]) Cum grano salis war demnach das Lesseniveau in der „Salle du Dôme" (vgl. die de Pierpontschen Angaben auf S. 80), 155,48 m + 0,10 m = 155,58 m. Das ergibt also für die Wasserniveaus in der „Salle du Dôme" an beiden Daten einen Höhenunterschied von 8 cm, was jedoch eine an 6 Stunden kürzere Durchströmungsdauer nicht erklären kann. Es müßte derselbe Versuch unter möglichst verschiedenen Umständen (Sommer, Winter, Niederwasser, Hochwasser usw.) durchgeführt werden, ehe man berechtigt wäre, aus dem gewonnenen Beobachtungsmaterial Folgerungen zu ziehen. Es geschieht denn auch mit der größten Reserve, daß ich auf später zu ziehenden Folgerungen in diesem Zusammenhang vorausgreifend die Frage stelle: Könnte diese größere Geschwindigkeit bei gleichem Flußniveau auch darauf hindeuten, daß in diesen 15 Jahren (1898 bis 1913) das Hindurchströmen der Lesse durch die Erosion erleichtert worden ist?

Schlußfolgerungen. Die Färbungsversuche beweisen, daß Lessewasser, das sich beim „Gouffre de Belvaux" in die Höhlen stürzt, beim „Trou de Han" wieder ans Tageslicht tritt; obgleich aus diesen Versuchen an sich noch nicht folgt, daß alles Wasser, das beim „Gouffre" eintritt, hier wieder zum Vorschein kommt, oder daß dieses Wasser sich nicht gemischt hätte mit Wasser anderer Herkunft.

Diejenigen, die auf dem Standpunkt stehen, auf welchen v. Knebel ohne Berechtigung Grund stellt (vgl. S. 72), nämlich, daß in allen Fällen der in dem Ponor (hier Gouffre de Belvaux) verschwindende Fluß in das Grundwasser übergeht, das an einer

[1]) Weil diese Beobachtungen nicht zu gleicher Zeit wie die meinigen stattgefunden haben, so wird ein Fehler gemacht, wenn die beiden im Zusammenhang gebraucht werden; weil aber die Genauigkeit der de Pierpontschen Beobachtungen größer ist als die der meinigen, so glaubte ich doch auf diese Weise ein besseres Resultat zu erhalten.

anderen Stelle (hier Trou de Han) in einer Vauclusequelle wieder zum Vorschein kommt, würden wahrscheinlich behaupten: das in den „Gouffre de Belvaux“ geschüttete Fluorescin habe alles Grundwasser in diesem Gebiete gefärbt, demnach müsse auch dem „Trou de Han“, das als Ausfluß jenes Grundwassers fungiert, gefärbtes Grundwasser entströmen.[1])

Im Gegensatz hierzu würden die Vertreter der Katzerschen Röhrentheorie diese Versuche als Beweis für geschlossene, kommunizierende, unterirdische Kanäle auffassen können, so daß dieser Versuch, an sich betrachtet, nur besagt: zwischen dem „Gouffre de Belvaux“ und dem „Trou de Han“ besteht eine direkte Wasserverbindung.

Den Beweis eines zusammenhängenden Grundwasserspiegels in den Höhlen von Han finde ich in der Tatsache, daß innerhalb der Genauigkeitsgrenze der Beobachtungen die Wasserniveaus der „Puits“ gleiche Höhen untereinander zeigten. Ich glaube, daß diese Erscheinung nur erklärt werden kann durch die Annahme, daß die „Puits“ Punkte des Grundwassers sind, welche also (ungeachtet des Grundwassergefälles, das aber in den Höhlen von Han infolge der stauenden Wirkung der Frasnienschichten sehr gering ist) à fortiori gleiches Niveau untereinander aufweisen müssen. Ein Beweis auch, daß das Wasser der „Puits“ kein Sickerwasser ist, liegt in der konstanten Wassertemperatur von $8^0.5$ (die vermutliche Ursache der Temperaturabweichung der „Grande Fontaine“ wurde schon besprochen), während das Wasser in der „Voûte en fer de lance“, dessen Niveau einige Meter höher liegt als jenes der „Puits“, und das also kein Grundwasser, sondern Sickerwasser ist, eine Temperatur von $9^0.75$ aufwies. Ähnliche „réliquats d'eau stagnante“[2]) findet man an mehreren Punkten der Höhlen in ungleicher Höhe. Ich wählte für meine Beobachtungen aber das Wasser der „Voûte en fer de lance“, weil es die größte

[1]) Diese Auseinandersetzung ist ganz im allgemeinen gehalten. In unserem Spezialfall muß alles Grundwasser, das dem Kalkmassiv des „Bois de Boine“ entströmt, durch das „Trou de Han“ austreten, weil dieses, insoweit bekannt, die einzige Austrittsstelle bildet.

[2]) Andere Punkte von stagnierendem Wasser werden von v. d. Broeck als „réliquats de crue“ aufgefaßt, was aber nicht zutrifft. Bekanntlich wird die Rolle, welche das Sickerwasser spielt, oft zu groß angenommen, sogar wird von manchen Autoren die Bildung der Höhlen nur allein darauf zurückgeführt.

Menge Sickerwasser darstellte, welche ich hier überhaupt angetroffen habe.

Es ist mir nicht klar geworden, auf welchen Standpunkt sich die Verfasser des v. d. Broeckschen Höhlenwerks in bezug auf die Frage der Wasserniveaus in den Höhlen von Han stellen. Auf S. 82, 88 und 89 ihrer Arbeit sprechen sie von den „Puits" als von „Resten stagnierender Gewässer, den Spuren der winterlichen Hochwässer", während sie auf S. 101 das Niveau der „Puits" in der „Galerie des Aventuriers" als das hydrostatische[1]) Niveau des Niederwassers in denjenigen Teilen der Höhlen ansehen, welche zwischen dem „Gouffre de Belvaux" und der Sortie ständig mit Wasser gefüllt sind, „le véritable niveau du réseau aquifère anastomosé". Über den zweiten „Puits" dieser Galerie wird gesagt: „C'est encore là un œil double ouvert sur le niveau piézometrique[1]) général de la Grotte de Han", während von dem ersten gesprochen wird als von „le point d'amenée du trop plein des eaux inférieures". Auch in den Profilen auf S. 95 wird für das Niederwasser in den Höhlen ein zusammenhängendes Niveau angenommen. — Auf S. 110 wird erwähnt, daß durch Ingenieure aus Lausanne eine Verringerung der Wasserführung der oberirdischen Lesse stromabwärts des „Trou Picot" festgestellt worden ist, und aus dieser Tatsache wird auf die Existenz eines unterirdischen Wasserstromes geschlossen, welcher sich innerhalb des Massivs von Han mit dem unterirdischen Lesselauf zwischen dem „Gouffre de Belvaux" und dem „Trou de Han" vereinigt. Die Annahme dieses unterirdischen Nebenflusses der Lesse scheint mir rein hypothetisch zu sein; mit ebensovielem Recht könnte man sagen, daß jenes Wasser in das Grundwasser übergeht. Was nun die flußartigen Wasserpartien in der Höhle anlangt (die ich bis jetzt der Kürze wegen, aber ohne innere Berechtigung als „unterirdische Lesse" angedeutet habe), so sahen wir schon, daß die Fluorescinversuche

[1]) v. d. Broeck definiert in folgender Weise: „Das hydrostatische Niveau ist das Gleichgewichtsniveau einer freien Wassermenge, welche der Schwerewirkung unterliegt. Das piezometrische Niveau ist das Gleichgewichtsniveau einer ‚gezwungenen' Wassermenge oder eines Reservoirs unter Druck." Wie diese zwei völlig verschiedenen Begriffe auf das Wasserniveau einer und derselben Höhle angewendet werden können, verstehe ich nicht. Möglicherweise kommen hier die verschiedenen Auffassungen der Autoren zum Ausdruck.

beweisen, daß es sich hier um eine zusammenhängende, unterirdische Wassermasse handelt. Einen Beweis aber für den wirklichen Flußcharakter der unterirdischen Lesse erblicke ich in ihrer Temperatur, welche, wie aus den Tabellen auf S. 81, 82 klar hervorgeht, von Tag zu Tag wechselt und im Sommer mehrere Grade über der Temperatur der „Puits“ liegt. Diese aber bleibt sich das ganze Jahr hindurch ungefähr gleich, wie die v. d. Broeckschen Beobachtungen zu verschiedenen Monaten beweisen. Die durch die Färbung in Mitleidenschaft gezogenen Wasserpartien müssen also nicht als Grundwasser, sondern als Flußwasser aufgefaßt werden. Vom „Gouffre de Belvaux“ bis an das „Trou de Han“ besitzt die Lesse ein unterirdisches Bett; aber in mancher Hinsicht kann sie mit einem oberirdischen Fluß verglichen werden. Wenn wir neben den Niveautabellen der unterirdischen Lesse jene der „Puits“ betrachten (vgl. S. 82), dann folgt hieraus: Die unterirdische Lesse strömt im Grundwasserniveau. Dieses Ergebnis ist meiner Meinung nach von allgemeiner Bedeutung; ich fasse dieses hydrologische Verhältnis nicht als eine gewissermaßen zufällige Besonderheit der Höhle von Han auf, sondern als eine charakteristische Eigenschaft aller unterirdischen Karstflüsse. Dieser Übergang in das Grundwasserniveau erklärt auch, warum die Lesse bei dem „Gouffre de Belvaux“ sich aus ihrer oberirdischen Talsohle in eine kleine, seeartige Wasseransammlung scheinbar stagnierenden Charakters hinunterstürzt. (Ponorcascaden.) Welch eine Täuschung dieses augenscheinliche Stagnieren des Wassers innerhalb dem Gouffre bedeutet, zeigte sich am deutlichsten beim Einwerfen des Fluorescins: nach 20 Minuten war keine Spur der sehr intensiven Färbung mehr wahrzunehmen, wie dies bei der kataraktartigen Strömung der Lesse auch nicht anders zu erwarten war. Sobald diese Anfangsgeschwindigkeit der oberirdischen Lesse durch Fehlen eines beträchtlicheren Gefälles und durch Mischung mit dem Grundwasser austönt, erhält die unterirdische Lesse Gefälle und Stromgeschwindigkeit des Grundwassers; wie klein diese beiden bei Niederwasser sind, geht hervor aus der langen Zeit, welche die Färbung brauchte, um die unterirdische Flußstrecke abzulegen. Nicht nur das Wasser der oberirdischen Lesse kommt aus dem „Trou de Han“ zum Vorschein, sondern auch das atmosphärische Wasser, das durch das Kalkmassiv des Bois de Boine absorbiert wird und außerdem das

Grundwasser des Kalkbandes östlich vom „Gouffre de Belvaux", insoweit dieses nicht in die „Fontaine St. Martin" ausströmt; und vielleicht tritt hier auch ein Teil des in der Chavée gefallenen und nicht oberirdisch abfließenden Wassers hervor.

Hier sei auch betont, daß unter den verschiedenen „Puits" die „Grande Fontaine" der einzige ist, dessen Niveau unterhalb des Lesseniveaus bei der „Sortie" gefunden ist. Obgleich auch hier die früher erwähnte Ungenauigkeit der Niveaumessungen ihre Kraft beibehält, könnte dieses negative Resultat doch auch damit zu erklären sein, daß die Lesse bei Niederwasser über dem Grundwasserniveau austritt;[1]) und diese Vermutung wird zur Gewißheit, wenn wir erfahren, daß alljährlich im Sommer die vom Gras verhüllten Löcher (Gehängeponore vgl. S. 126) im linken Lesseufer bei der Brücke außerhalb der Sortie gedichtet werden müssen, weil sonst die Lesse im Sommer an die Löcher (d. h. an das Grundwasser) soviel Wasser verliert, daß die Kähne, welche die Besucher aus der Höhle tragen, auf das Trockne laufen. Als Erklärung für diese scheinbar anomalen Niveauverhältnisse ist aber auf eine künstliche Veränderung der natürlichen Verhältnisse hinzuweisen. Schon vor Jahren ist nämlich nach Schätzung 130 m außerhalb der Sortie in dem Lessebett eine Talwegsperre gebaut worden, die dazu dient, das Wasser bei der Sortie für Kähne befahrbar zu halten. Am 20. August 1913 war der Niveauunterschied oberhalb und unterhalb dieser Sperre 58 cm; auch die Stromgeschwindigkeit der Lesse in den Höhlen muß durch diese Sperre beeinflußt werden, weil dadurch das an sich schon so kleine Gefälle noch um $\pm$ 1/2 m verringert wird. Wenn man das Gefälle oder die Stromgeschwindigkeit der unterirdischen Lesse mit denselben Daten anderer Höhlenflüsse vergleichen will, darf dieser Umstand nicht außer acht gelassen werden.

Ich möchte an dieser Stelle auch auf eine Äußerung v. d. Broecks hinweisen, der gegenüber mir ein gewisser Vorbehalt angebracht erscheint. Er schreibt auf S. 70: „Unter dem Fels verschwindet der Fluß (nämlich beim Gouffre de Belvaux) unter die Erde durch einen Siphon, in welchem wir eine Tiefe

[1]) Und zwar um so eher, da bei dieser Messung nicht für Luftdruckänderung korrigiert zu werden brauchte, weil zwischen den Ablesungen bei der Sortie und bei der Grande Fontaine eine Zeitfrist von nur 2 Minuten lag.

von 6,50 m bis 8 m erkannt haben.“ Die Existenz dieses Siphons bezweifle ich, denn von dem weitesten innerhalb des Ponors gelegenen, zugänglichen Punkte aus ist gar nichts davon zu sehen. v. d. Broeck schreibt denn auch auf S. 51: „Der Boden dieses Schlundes ist ein Geheimnis, dessen Enthüllung bis jetzt keinem gelungen ist“,[1]) und weiter: „Durch diese Tatsache wird festgestellt, daß gleich bei ihrem Eintritt in die Höhle die Lesse zu einem niedrigeren Niveau herabgelangt, als sie bei ihrem Austritt beim „Trou de Han“ hat.“ Da aber das Wasserniveau hier nur um ± 1 m tiefer liegt als beim „Gouffre de Belvaux“, könnte man diesen Aussprüchen entnehmen, daß v. d. Broeck meint: die Lesse stürze sich beim „Gouffre“ in einen heberförmigen Kanal. Es mag sein, daß v. d. Broeck dieser Meinung ist, weil er in diesem Zusammenhang auch den Ausdruck „Siphon“ gebraucht. Ich kann ihm hierin aber nicht beipflichten. Selber habe ich auch versucht, die Wassertiefe im „Gouffre de Belvaux“ zu messen, da mir aber ein Senkblei von genügender Schwere fehlte, konnte ich nur konstatieren, daß in der Tat hier eine Tiefe von 6 bis 8 m nicht unwahrscheinlich ist. Die v. d. Broecksche Auffassung, daß die Lesse hier bis zu einem niedrigeren Niveau hinabsteigt, als sie beim „Trou de Han“ besitzt, scheint mir aber falsch zu sein; es handelt sich hier nur um eine lokale, durch Strudelwirkung verursachte Vertiefung des Flußbettes. Die Existenz von Siphons im unterirdischen Lesselauf ist aber für andere Stellen nachgewiesen worden; zu ihrer Erklärung braucht aber nicht die Röhrentheorie zur Hilfe herbeigezogen zu werden; denn im Lichte der Grundwassertheorie besagt diese Tatsache nur: Obgleich die Lesse sich im Grundwasser schon einen soviel breiteren Raum zum Fließen geschaffen hat, daß sie einen Karstwasserstrang, einen zusammenhängenden, unterirdischen Fluß darstellt, ist ihre erodierende Wirksamkeit doch noch nicht überall gleich weit vorgeschritten, so daß ihrem Strömen sich noch viele Hindernisse entgegenstellen.[2])

---

[1]) Ich glaube also nicht, daß v. d. Broeck hier Beobachtungen in einem Kahn veranstaltet hat. Er spricht darüber auch gar nicht, zeichnet aber dennoch den Siphon (v. d. Broeck p. 73).

[2]) Nach schwerem Gewitterregen oder Schneeschmelze werden die Höhlen von Han durch plötzliche Überschwemmung ganz oder wenigstens zum Teil unzugänglich, so im Winter 1913/1914 mehr als sechsmal.

Aus den Temperaturtabellen folgt ferner, daß die Lesse bei dem Durchströmen der Höhlen wenig abkühlt.[1]) Man muß aber darauf achten, daß die z. B. am 21. August (vgl. S. 82) beim „Gouffre de Belvaux" beobachtete Temperatur von 17°.2 erst nach ± 18 Stunden (wenn das Wasser sich gar nicht abkühlte) beim „Trou de Han" zu erwarten ist, und demnach Temperaturen, die innerhalb weniger Stunden an diesen beiden Punkten gemessen wurden, nicht auf dasselbe Wasser Bezug haben und also nicht zu vergleichen sind. v. d. Broeck macht öfters diesen Fehler, z. B. auf S. 80 und 83. So habe ich z. B. am 21. August beim „Gouffre de Belvaux" um 2 U. 30 p. m. eine Wassertemperatur von 17°.2 gemessen, während die Temperatur der unterirdischen Lesse um 5 U. 30 p. m. 15°.6 war. Diesen Temperaturen ist aber nicht zu entnehmen, daß sich das Wasser beim Durchgang der Höhle um 1°.6 abgekühlt habe, denn zwischen beiden Messungen lag nur ein Zeitraum von 3 Stunden. Der 21. August war ein warmer Tag mit starker Sonnenstrahlung, was die hohe Lessetemperatur beim „Gouffre de Belvaux" völlig erklärt. Das Wasser aber, das sich um 5 U. 30 p. m. bei der „Galerie des petites Fontaines" befand, hatte sich ± 17 Stunden früher, d. h. nachts um 12 U. 30 a. m. in den „Gouffre de Belvaux" gestürzt. Außerdem war der vorige Tag kühler und ohne Sonnenschein gewesen. — Man müßte die Temperatur beim „Gouffre de Belvaux" messen, wenn das Fluorescin hineingeworfen wird, und beim „Trou de Han", wenn die Färbung diese Stelle erreicht hat. Meines Wissens hat v. d. Broeck nicht in dieser Weise beobachtet, und ich bedauere sehr, selber auch zu spät hierauf geachtet zu haben.

Noch eine Frage soll im Zusammenhange mit meinen Temperaturmessungen hier erörtert werden, nämlich die Erklärung der Wassertemperaturen in der „Salle des Draperies". v. d. Broeck hat beobachtet (v. d. Broeck p. 87), daß das Wasser zwischen dem „Trou des Canaux" und dem „Pas du Diable" die gleiche Temperatur aufwies als die Lesse beim „Embarquement",

---

[1]) Ich unterschreibe aber nicht gerne den v. d. Broeckschen Ausspruch: „La température de la rivière — ce que nous eûmes l'occasion de vérifier à plusieurs réprises — ne varie pas sensiblement de plus d'un degré centigrade par suite de passage au sein du massif" (v. d. Broeck p. 53).

nämlich 16°.5; während die Wasserpartien der „Salle des Draperies“ alle 6° kälter waren (10°.5). Hieraus schließt er, daß beim „Pas du Diable“ sich eine Sperre befindet: „barrage, ou seuil de partage des eaux“, welche, außer bei Hochwasser, die Gewässer der Lesse von den isolierten Wasserpartien der „Salle des Draperies“ trennt. Die letzteren faßt er als „stagnierendes Wasser, das von den temporären Hochwässern in diesen Vertiefungen hinterlassen wurde“, auf. Auf seinem Kärtchen auf S. 77 trägt er diese wasserscheidende Sperre ein. Es handelt sich hier also nicht nur um die Temperaturfrage, sondern auch um den Charakter des Wassers in der „Salle des Draperies“: entweder Grundwasser oder, wie v. d. Broeck annimmt, Überschwemmungswasser, das nicht abfließen konnte, und das im gleichen Niveau liegt, wie die Lesse in der „Salle du Dôme“. (Nach der v. d. Broeckschen Auffassung müßte also die Gleichheit dieser beiden Niveauhöhen wohl eine zufällige sein). — Meine Temperaturmessungen ergaben ein den v. d. Broeckschen Beobachtungen gerade entgegengesetztes Resultat. Am 21. August 1913 zeigte mein sehr genau angebendes Thermometer oberhalb (d. h. an der Südseite) und unterhalb der „Barrage“ genau dieselbe Temperatur an, nämlich 11°.8; die Temperatur nahm in der Richtung der Lesse zu (vgl. Tabelle S. 81, 82), nämlich etwas nördlich der „Barrage“ war sie 15°.4 und am „Trou des Canaux“ bei der Lesse 15°.6. Am 25. August war an der letzteren Stelle die Temperatur 16°.8, und nun wurde die Temperatur unterhalb der „Barrage“ gleichfalls etwas höher gefunden, nämlich zu 12°.0, während die Temperatur oberhalb der „Barrage“ auch 12°.0 betrug. Ich habe diese Beobachtungen mit der größten Sorgfalt ausgeführt und glaube also zu dem Schluß berechtigt zu sein, daß eine „Barrage des eaux“, in dem Sinne v. d. Broecks, hier nicht besteht. Die hochaufgetürmte, meist aus großen Blöcken bestehende Masse von Felstrümmern bildet keine Wasserscheide, und ich fasse das Wasser der „Salle des Draperies“ einfach als Grundwasser auf, das bei dem „Trou des Canaux“, wo es in direkter Verbindung mit der unterirdischen Lesse steht, die Temperatur der Lesse übernommen hat, eine Temperatur, welche mit der Entfernung von der Lesse sehr schnell abnimmt, aber nicht von den Felstrümmern beeinflußt wird, da von diesen der Zusammenhang des Wassers nicht unterbrochen wird. Am 19. August

war die Temperatur der Wasserpartie am südöstlichsten Ende der „Salle des Draperies“ 10°, jene der Grundwasserpunkte in den anderen Teilen der Höhle 8°.5. v. d. Broeck hat, wie gesagt, einen ähnlichen Temperaturunterschied gefunden und erklärt die größere Wärme des Wassers in der „Salle des Draperies“ aus folgenden Ursachen (v. d. Broeck p. 88): „diese Gewässer werden nicht allein durch die großen winterlichen Überschwemmungen (mit kaltem Wasser), deren Reste die „puits stagnants“ zu 8°.5 sind, sondern auch durch die zufälligen Wasseranschwellungen genährt, welche im Laufe des Sommers oder infolge von Gewittern diese Gewässer erwärmen“. Ich brauche hier nicht mehr den Grundwassercharakter der „Puits“ zu betonen, der hier wiederum von v. d. Broeck geleugnet wird. Die Erklärung jener größeren Wärme durch Überschwemmungen kann ich nicht billigen; eine derartige temporäre Erwärmung würde bald durch den Wärmewechsel zwischen dem Wasser und der Felswand verschwinden. Ich suche die Ursache 1° in der Wärmeleitung des Wassers, das ja beim „Trou des Canaux“ in direkter Verbindung mit der (wenigstens im Sommer) viel wärmeren Lesse steht, und 2°. in dem auch von v. d. Broeck genannten Faktor der direkten Verbindung der Luft in der „Salle des Draperies“ mit jener in dem hohen Wasserkanal der Sortie; einer Verbindung, welche bei den anderen Grundwasserpunkten sehr dürftig ist.

v. d. Broeck hat sehr deutlich bewiesen, daß das Wasser in der „Salle des Draperies“ nicht (wie vorher allgemein angenommen wurde) die Mündung eines selbständigen Lessezweiges ist, der gleichfalls vom „Gouffre de Belvaux“ her in langem, noch unbekanntem, unterirdischem Lauf hier anlange. Ich bin hiermit vollständig einverstanden und kam zum gleichen Resultat aus folgenden Gründen: 1. den schon besprochenen Temperaturmessungen; 2. bei dem auf S. 85 erwähnten Fluorescinversuch war bei dem Wasser der „Salle des Draperies“ keine Färbung wahrzunehmen; 3. am 25. August gab es hier keine Strömung in der Richtung der Lesse. Oberhalb und unterhalb der „Barrage“ hatte ich nämlich Schwimmer ins Wasser gesetzt, und nach einigen Stunden waren beide Schwimmer ein wenig nach der „Barrage“ zu gerückt, also in einander entgegengesetzter Richtung.

Zur Zeit meines Aufenthaltes in den Höhlen von Han war die Strömung der unterirdischen Lesse so gering, daß an den meisten Punkten hiervon nichts zu hören und ohne weiteres auch nichts zu sehen war. Nur bei dem „Pont du Styx“ sieht man die Strömung und hört man das Rauschen des Wassers (wahrscheinlich verursacht durch ein lokales, größeres Gefälle). Auf beiden Seiten der Brücke fließt das Wasser ohne Geräusch; auch bei den Siphons sieht man keine Bewegung; scheinbar stagnierend berührt das Wasser den Fels.

Zusammenfassung der Resultate. In den Höhlen von Han-sur-Lesse besteht ein zusammenhängender Grundwasserspiegel.

Die Wasserpunkte der Höhle können in drei verschiedene Kategorien eingeteilt werden:

1. Die Wasserpartien, welche die zugänglichen Teile der unterirdischen Lesse darstellen.

2. Die sichtbaren Punkte des Grundwassers („Les Gouffres“, „la Grande Fontaine“, die „Puits“ der „Galerie des Aventuriers“, das Wasser in der „Salle des Draperies“ usw.).

3. Das Sickerwasser in beliebigem Niveau.

Die Lesse strömt in den Höhlen im Grundwasserniveau.

Der Austritt der Lesse aus der Höhle über dem Grundwasserniveau (wenigstens im Sommer) ist durch den Eingriff des Menschen bedingt.

Bestimmung der Mengen gelöster Substanz in Wasserproben. Die obigen Resultate erhalten ihre Bestätigung durch die Bestimmung des Gehaltes verschiedener Wasserproben aus den Höhlen von Han an gelöster Substanz. Das elektrische Leitvermögen von Lösungen ändert sich mit dem Prozentgehalte der gelösten Substanz. Umgekehrt kann aus dem Leitvermögen einer verdünnten Lösung eine genäherte Durchschnittsvorstellung über die Menge der gelösten Stoffe gewonnen werden. Wenn Wasser über oder durch Kalkgesteine fließt und also keine Wahrscheinlichkeit besteht, daß andere Stoffe gelöst werden, kann approximativ aus der Zunahme des Gehaltes an gelöster Substanz auf eine proportionelle Zunahme des Kalkgehaltes geschlossen werden. Nach einer Trockenperiode habe ich an folgenden Stellen Wasserproben je zu ± 200 gr geschöpft: am 21. August 1913: Gouffre de Belvaux, Mont dangereux, Entrée

de la Salle des Draperies, unterhalb der „Barrage“ in der „Salle des Draperies“, westlicher „Puits du Labyrinthe“ (Gouffre), Grande Fontaine; am 22. August: Trou de Han; am 25. August: Voûte en fer de lance (Sickerwasser), oberhalb der „Barrage“ in der „Salle des Draperies“; am 29. August: Lesse beim „Trou des Nutons“ (Furfooz), Puits des Veaux (Furfooz), Lesse bei der Mündung des „Fonds des Veaux“ (Furfooz).

Mit dem Apparate von F. Kohlrausch (vgl. E. Wiedemann und H. Ebert: Physikalisches Praktikum, 5. Aufl., Braunschweig 1904, S. 429) ist von diesen Wasserproben das elektrische Leitvermögen bestimmt worden.[1]) Das Leitvermögen $\varkappa$ bei Zimmertemperatur (d. h. $\varkappa_{18}$) gibt, mit 10 000 multipliziert, ungefähr die im Liter gelöste Anzahl von Milligrammäquivalenten.[2]) Die Praxis hat gelehrt, daß für die bei Quell- und Flußwasser in Rede stehenden Salze 75 als Mittelwert der Äquivalentgewichte angenommen werden kann,[3]) besonders wenn man das Resultat mit dem Verdampfungsrückstand (Salze + organischer Stoff) vergleichen will. In der dritten Kolumne der hier unten folgenden Tabelle sind also die betreffenden Zahlen durch Multiplikation von $\varkappa_{18}$ mit 0.75×10^6 abgeleitet worden.

	Herkunft der Wasserprobe	$\varkappa_{18} \times 10^6$	Menge der gelösten Substanz in mgr pro Liter
I.	Lesse, Gouffre de Belvaux	106	79.5
II.	„ Mont dangereux	99	75
III.	„ Trou de Han	138	103.5
IV.	„ Trou des Nutons (Furfooz)	227	170
V.	„ Mündung des „Fonds des Veaux“ (Furfooz)	228	171
VI.	Salle des Draperies, Südseite	185	139
VII.	„ „ „ oberh. d. Barrage	187	140
VIII.	„ „ „ unterh. d. Barrage	193	144

[1]) Bei dieser Untersuchung habe ich mich der freundlichen Unterstützung des Herrn Dr. P. A. Meerburg, afdeelingchef van 's Rijks Centraal-Laboratorium t. b. v. het Staatstoezicht op de Volksgezondheid te Utrecht, zu erfreuen gehabt, in dessen Institut auch die betreffenden Bestimmungen ausgeführt wurden, wofür ich ihm hier nochmals meinen besten Dank sage.

[2]) F. Kohlrausch und L. Holborn: Das Leitvermögen der Elektrolyte. Leipzig 1898. S. 131.

[3]) vgl. hierzu auch: J. D. van der Plaats: Over het geleidingsvermogen voor electriciteit van wateren. (Chemisch Weekblad. Orgaan v. d. Nederl. Chem. Ver. Jaarg. 13. p. 569.)

Herkunft der Wasserprobe	$\varkappa_{18} \times 10^6$	Menge der gelösten Substanz in mgr pro Liter
IX. Westlicher „Puits du Labyrinthe“ (Gouffre)	330	247
X. Grande Fontaine	375	281
XI. Sickerwasser, Voûte en fer de lance	434	325
XII. Puits des Veaux (Furfooz)	256	192

Wenn wir die einzelnen Werte für den Substanzgehalt der Wasserproben aus der Höhle von Han vergleichen, so sehen wir, daß sie der Größe nach in vier Gruppen zu ordnen sind: das Flußwasser, das Wasser der „Salle des Draperies“, das Wasser der „Puits“ und das Infiltrationswasser, was sich mit den obigen Auseinandersetzungen völlig deckt, daß wir nämlich die flußartigen Wasserpartien als einen zusammenhängenden Fluß betrachten müssen, und daß das Wasser der „Puits“ (Labyrinthe, Grande Fontaine) kein Infiltrationswasser ist (denn dieses weist einen beträchtlich höheren Substanzgehalt auf) und auch keineswegs zu dem Flußwasser gerechnet werden darf.

Weiter ist den obigen Zahlen folgendes zu entnehmen: Das Lessewasser nimmt bei dem Durchströmen der Höhle an Kalkgehalt zu. I und II sind praktisch gleich, man würde also für II eine größere Zahl erwarten; wahrscheinlich wird hier irgendeine lokale Ursache zugrunde liegen, die ich nicht anzugeben vermag. Die Stromlänge zwischen I und III beträgt nach meiner Darstellung $\pm$ 2,9 km, aber das Wasser braucht, um diese Strecke zurückzulegen, 18 Stunden. Der Abstand von III bis IV beträgt dem Fluß entlang $\pm$ 37 km, aber die Zunahme des Salzgehaltes darf hier nicht allein auf Rechnung des Kalkes geschrieben werden, denn dort, wo der Fluß aus der Höhle von Han tritt, verläßt er zugleich den Kalk und fließt im Schiefer (zuerst Frasnien, dann Famennien) weiter; die Punkte IV, V und XII liegen im Kohlenkalk. IV und V sind praktisch gleich, aber die Stromlänge zwischen beiden Punkten beträgt nur 1 km. — Aus der ansteigenden Reihe von VI, VII und VIII dürfen keine Folgerungen gezogen werden, da auch diese Zahlen praktisch nicht verschieden sind. Der Substanzgehalt ist hier größer als beim Flußwasser, was sich leicht aus dem Grundwassercharakter erklärt. Allerdings besteht für dieses Wasser bei Anschwellungen öfters ein Kontakt mit Wasser geringeren Salzgehaltes (vgl. S. 95); dieser Faktor, dessen Einwirkung ich für die Temperaturerhöhung

nicht anerkannte, scheint mir hier sehr einflußreich zu sein, und auch die Berührung mit dem Lessewasser durch Konvektion kann zu einem geringeren Gehalt an gelöster Substanz führen. Diese beiden Umstände erklären, weshalb ein anderer Punkt des Grundwassers, nämlich der „Puits du Labyrinthe“ (IX), einen soviel höheren Substanzgehalt aufweist; dieses Grundwasser wird außerdem gerade durch Sickerwasser gespeist, das selbstverständlich viel Kalk in Lösung enthält. A priori würde man auch bei der „Grande Fontaine“ (X) einen ebenso großen Gehalt an gelöster Substanz erwarten. Dieser ist von gleicher Größenordnung, aber doch bedeutend größer als IX. Vielleicht kann man denselben durch die geringe Entfernung der „Grande Fontaine“ (2 Minuten) von der Luft im Freien erklären und durch den breiten Verbindungsgang, denn in dieser Weise kann dem Wasser der „Grande Fontaine“ immer neue Kohlensäure zugeführt werden und dadurch die Fähigkeit mehr und mehr Kalk zu lösen. — Der große Unterschied im Substanzgehalt zwischen XI und IX beweist, daß IX und auch X nicht als Infiltrationswasser zu deuten sind: ein neuer Beweis also für ihren Grundwassercharakter. Das Grundwasser ist aber weiter gegen die Sättigung hin vorgeschritten als das Wasser des unterirdischen Flusses, weil es länger steht und außerdem auch von Infiltrationswasser genährt wird. — Das Wasser des „Puits des Veaux“ fasse ich auch als Grundwasser auf; daß dennoch sein Substanzgehalt bedeutend gegen den von IX zurücksteht, erklärt sich sehr einfach durch die völlig andere Situation dieses „Puits“, welcher viel direktes Niederschlagswasser erhält (vgl. S. 115).

So bestätigen diese Erörterungen die oben abgeleitete Theorie. Bestimmungen des elektrischen Leitvermögens können nur dann für sich allein maßgebend sein, wenn sie mit den speziell hierzu eingerichteten, tragbaren Instrumenten in loco veranstaltet werden, denn nur unter diesen Umständen ist es möglich, eine große Anzahl Beobachtungen anzustellen. Es wäre erwünscht, daß solche Untersuchungen stattfänden bei trocknem Wetter, nach Regengüssen, bei verschiedenen Wasserhöhen usw., dann aber werden sie bei dem Studium hydrologischer Fragen gute Resultate ergeben, besonders durch die große Genauigkeit, welche sie gestatten. Erhebt sich z. B. die Frage, ob es sich bei einer Wasserpartie in einer Höhle um Grund-

oder um Flußwasser handelt, so können sie besser zur Entscheidung führen als Temperaturmessungen. — Erst längere Zeit, nachdem ich die oben beschriebenen Versuche veranstaltet hatte, kam mir eine Arbeit von E. Rahir und J. du Fief[1]) in die Hand, welche chemische Analysen vom Wasser aus dem „Gouffre de Belvaux" und dem „Trou de Han" (was die Höhle von Han anlangt) ausgeführt haben. Sie weisen auf die Tatsache hin, daß der Verdampfungsrückstand (résidu fixe) der Lesse in der warmen Jahreszeit um 50 % größer ist als in der kalten. Sie fanden für das Lessewasser:

	im April 1900	am 17. Aug. 1900	
beim „Gouffre de Belvaux"	38 mgr	80 mgr	(Wassertemperatur 19°)
beim „Trou de Han"	46 „	100 „	(„ 18°)

± 13 Jahre später fand ich am 21. August 1913:

beim „Gouffre de Belvaux"	79½ mgr	(Wassertemperatur 17°)
beim „Trou de Han"	103½ „	(„ 15°.5)

Es ist eigentümlich, daß diese Zahlen so genau übereinstimmen, da die Temperaturen nicht die gleichen waren, und vielleicht auch die chemische Beschaffenheit des Flußwassers in beiden Versuchsperioden eine verschiedene war infolge ungleicher meteorologischer Verhältnisse.

Auch von der Lesse beim „Trou des Nutons" (Furfooz) und vom „Puits des Veaux" (Furfooz) haben R. und du F. am 19. Juli 1900 Wasserproben analysiert. Die Resultate für den Verdampfungsrückstand waren:

Lesse, Trou des Nutons	92 mgr	(Wassertemperatur 24°)
Puits des Veaux	170 „	(„ 11°.5)

Am 29. August 1913 wurde von mir gefunden:

Lesse, Trou des Nutons	170¼ mgr	(Wassertemperatur 18°)
Puits des Veaux	192 „	(„ 11°.2)

Ich glaube auf diese Resultate nicht weiter eingehen zu müssen, weil die Umstände allzu verschieden waren, um einen Vergleich möglich zu machen.

---

[1]) E. Rahir et J. du Fief: De l'action chimique des eaux courantes dans les cavernes ou dans les grands canaux souterrains. (Bull. Soc. belge de Géol. T. XV. 1901.)

Es gibt aber noch andere Wege, um die große Streitfrage der Höhlenhydrologie für die Höhle von Han zu lösen, die für mich aber während meines zweiwöchigen, dortigen Aufenthalts ungangbar waren. So kann man z. B. an der Felswand der „Puits“ Höhenmarken anbringen und während längerer Zeit die verschiedenen Niveauhöhen des Wassers mit diesen vergleichen. Gleiche Niveauunterschiede an gleichen Tagen (beides im großen und ganzen genommen) würden dann auf einen zusammenhängenden Grundwasserspiegel deuten. — Auch Beobachtungen, auf welche Weise das Wasser in den Höhlen nach starker Schneeschmelze oder nach Gewitterregen ansteigt, würden wertvolles Material liefern können. In den Höhlen von Han würde dies aber schwierig sein; denn in sehr kurzer Zeit werden die Höhlen überflutet und sind dann z. T. oder völlig unzugänglich. Vor einigen Jahren ist der sehr enge Durchgang „La Brèche“ (v. d. Broeck, p. 92 et 93) durch Sprengung zu einer tunnelartigen Galerie erweitert worden, die von der „Place d'Armes“ in „La Tamise“ führt und dem Wasser der Lesse in der „Place d'Armes“einen bequemeren Zugang in die „Salle des Draperies“ darbietet; dadurch ist die Höhe der Überschwemmungen etwas herabgesetzt worden.

§ 22.

Die Hydrologie der Höhlen von Rochefort.

Dasselbe Band des Givetien-Kalkes, in welchem die Höhlen von Han sich ausgebildet haben, setzt sich auch nördlich von Rochefort nach NO fort und bildet dort, wie wir in § 15 sahen, die Oberfläche des Plateau de Gerny, das an der Südostseite von der Wamme (Hargimont-Jemelle) tangiert wird. Von Jemelle bis Éprave fließt die Lomme auf großen Strecken im Kalke, und an den Ufern und in der Talsohle sowohl der Wamme wie der Lomme befinden sich viele „aiguigeois“,[1]) wodurch sie Wasser verlieren. Am linken Lommeufer oberhalb Rochefort befinden sich die Höhlen von Rochefort. In hydrologischer Hin-

[1]) Aiguigeois ist ebenso wie chantoir, bétoire etc. ein belgischer Ausdruck, um den Punkt anzudeuten, wo im Kalkboden Wasser verschwindet. Er hat eine ähnliche Bedeutung als Ponor oder Flußschwinde.

sicht sind sie nicht so interessant wie die Höhlen von Han, weil sie nur an wenigen Stellen Wasser aufweisen. Zwar gibt es an verschiedenen Punkten der Höhle stagnierendes Infiltrationswasser, das als solches durch seine Lage hoch über den tiefsten Höhlengängen zu erkennen ist, so z. B. in der „Galerie du Sabbat" (Wassertemperatur 8°.5),[1]) in der „Petite Grotte de Fontaine" in 192,5 m Höhe. Die Wassertemperatur war hier 6°.5, die Lufttemperatur 9°.8. In der „Salle des Merveilles" hatte das stagnierende Wasser eine Temperatur von 7°.5 (Lufttemperatur 10°.2); während in der großen „Salle du Sabbat", ungefähr in halber Höhe dieses Saales, die Temperatur des Wasserpunktes „Le Bénitier" zu 8°.5 gefunden wurde. Ich habe leider versäumt, hier die Lufttemperatur zu notieren, doch kann man ruhig annehmen, daß in dieser relativ großen Höhe auch die Lufttemperatur höher sein wird als in den niedrigeren Teilen der Höhlen. Aus diesen Temperaturen folgt also, daß die Unterschiede der Sickerwassertemperaturen sich leicht aus ihrer Abhängigkeit von den Lufttemperaturen erklären lassen.

Im Tiefsten der Höhle befindet sich mit vielem Geräusch strömendes Wasser, dessen Niveau ich an zwei Stellen, nämlich an beiden Seiten des „Passage du Lac" gemessen und zu 171,9 m gefunden habe, d. h. 54,6 m unterhalb der „Entrée";[2]) während das Lommeniveau beim „Trou du Nou-Moulin" in 173,50 m liegt (v. d. Broeck, Pl. II). Die Temperatur dieses strömenden Wassers war an beiden Punkten 10°.5 (Lufttemperatur 11°.2), während die Temperatur der Lomme beim „Trou du Nou-Moulin" an jener Zeit 16°.5 war. — Wir begegnen hier also drei verschiedenen

---

[1]) Die Beobachtungen in dieser Höhle habe ich alle am 20. August 1913 angestellt.

[2]) Ich hatte hier keine Höhenmarke zur Verfügung und wählte als Ausgangspunkt einen Punkt in der Nähe des Einganges der Höhle (l'Entrée), der nach Angabe der topographischen Karte (1 : 20 000 F. 59, Pl. 3) in 226,5 m Höhe lag. Beim Höhlenbesuch der „Société belge de géologie", (vgl. J. Willems: Compte Rendu. Bull. Soc. belge de Géol. T. VII, 1893, p. 312) hat eine rohe Bestimmung ergeben, daß das Niveau des fließenden Wassers 53 m unter dem Beginn der Treppe der „Entrée" liegt. Dieser Punkt liegt aber einige Meter (wahrscheinlich 2 oder 3) unter meinem Vergleichspunkt, so daß meine Messung, auf dieses Niveau bezogen, eine Tiefe von 52 bis 53 m ergeben würde. v. d. Broeck gibt für das Niveau des fließenden Wassers eine Höhe von 168 m an (v. d. Broeck, p. 31).

Wassertemperaturen: jener des oberirdischen Flusses, jener des unterirdischen Stromes und jenen der Infiltrationswässer. Die in den tiefsten Punkten der Höhlen sich befindenden Wässer der sog. „Rivière souterraine“ besitzen trotzdem eine höhere Temperatur als das in höherem Niveau gelegene Infiltrationswasser, was für den Flußcharakter dieser Gewässer sprechen dürfte, ebenso wie die starke Strömung. Die Niveauhöhe weist wieder darauf hin, daß dieses Wasser im Grundwasserniveau strömt; die Beantwortung der Frage, ob es sich hier noch um Grundwasserströmung oder schon um eine selbständig in eigenem Bette fließende Karstwasserader handelt, scheint mir kaum möglich und gar nicht wichtig (vgl. die ausführliche Darlegung im 5. Kapitel); denn die beiden Auffassungen haben nur Bezug auf eine verschiedene Entwicklungsphase: der unterirdische Fluß ist nach meiner Meinung nur ein Grundwasserstrom, eine Karstwasserader also, die sich einen breiteren Raum zum Fließen geschaffen hat. Der große Temperaturunterschied (6°) zwischen diesem Wasser und dem Wasser der oberirdischen Lomme weist jedoch darauf hin, daß hier die Bildung eines unterirdischen Flußbettes, d. h. die Enstehung eines zusammenhängenden Wasserstranges, noch nicht soweit vorgeschritten ist wie in der Höhle von Han und wir also mit geringerem Rechte von einem unterirdischen Fluß reden dürfen. Zum Teil kann diese niedrigere Temperatur auch erklärt werden durch den Zufluß von Grundwasser aus NO.

Nach der vom Ingenieur Ed. Houba gezeichneten Karte, welche der v. d. Broeckschen Arbeit beigefügt ist, scheint sich noch an drei anderen Stellen der Höhlen fließendes Wasser zu befinden; es ist auf dieser Karte eingezeichnet als „rivière souterraine“, die in NNWlicher Richtung nach dem Trou du Nou-Molin strömt (vgl. Fig. 21). Das letztere ist eine weit geöffnete Höhle, ein Loch (aiguigeois) im linken Lommeufer. Der Boden dieser Höhle liegt etwas unter dem heutigen Lommeniveau und die Höhle wird durch einen Deich gegen das Flußwasser geschützt. An zwei Stellen in diesem „Trou“ hört man Wasser rauschen, sehr wahrscheinlich Lommewasser, das unter dem Deiche durchgesickert ist. Von diesem Wasser sagt v. d. Broeck auf S. 23: „Wir bezweifeln keineswegs das Konvergieren dieses Wassers nach den Tiefen der Höhle von Rochefort“, und auf seiner Skizze

des „Trou du Nou-Moulin“ (v. d. Broeck, p. 24) deutet er die Stromrichtung dieses Wassers auch als nach SSO an; während auf der Houbaschen Karte, welche v. d. Broeck doch in seine Arbeit aufgenommen hat, die „Rivière souterraine“ gerade um-

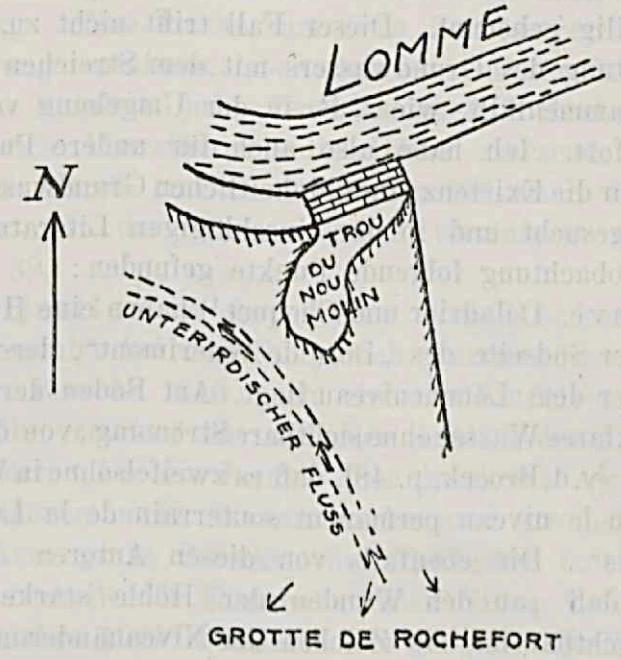


Fig. 21. Der „unterirdische Fluß“ in der Nähe des „Trou du Nou-Molin“.
Nach v. d. Broeck (v. d. Br. Pl. II).

gekehrt von den Höhlen von Rochefort in die Richtung auf das Nou Moulin zu, nach NNW also, fließt. Diese Auffassung, welcher ich selber beipflichte, unterstützt außerdem v. d. Broeck selber durch die Bemerkung (v. d. Broeck, p. 39): es sei nicht unmöglich, daß die temporären Quellen des „Thier des Falises“ (im SW. des „Trou du Nou-Moulin“) vom Wasser des Nou-Moulin genährt werden.

§ 23.

Hydrologische Beobachtungen in der Umgebung von Rochefort.

Die in § 21 abgeleitete Theorie über die Hydrologie der Höhle von Han läßt sich infolge der sehr speziellen dortigen,

geologischen Verhältnisse nicht ohne weiteres auf das gesamte belgische Karstgebiet übertragen. Weil die Gefällsrichtung des Wassers in jener Höhle ungefähr senkrecht auf der Längsrichtung des in dieser Gegend sehr schmalen Kalkbandes steht, wird das Grundwasser von den undurchlässigen Frasnienschichten aufgestaut; dadurch wird die Grundwasserströmung sehr verringert, ja fast völlig gehemmt. Dieser Fall trifft nicht zu, wenn die Gefällsrichtung des Grundwassers mit dem Streichen des Kalkbandes zusammenfällt, wie z. B. in der Umgebung von Éprave und Rochefort. Ich habe also auch für andere Punkte nach Beweisen für die Existenz eines einheitlichen Grundwasserspiegels im Kalke gesucht und in der einschlägigen Literatur und aus eigener Beobachtung folgende Punkte gefunden:

Éprave. Deladrier und Choquet[1]) haben eine Höhle untersucht an der Südseite des „Bois de Waerimont", deren Eingang ± 40 m über dem Lommeniveau liegt. Am Boden der Höhle befindet sich klares Wasser ohne sichtbare Strömung; von diesem sagt v. d. Broeck (v. d. Broeck, p. 48), daß es zweifelsohne in Verbindung stehe „avec le niveau permanent souterrain de la Lomme dans ces parages". Die ebenfalls von diesen Autoren angegebene Tatsache, daß „an den Wänden der Höhle starke Erosionswirkung sichtbar ist, ein Zeichen der Niveauänderungen dieser unterirdischen Wassermenge," erwähnt v. d. Broeck nicht. — Dieselben Forscher fanden auch Wasser am Boden eines Schlotes am Abhang des Hügels, in welchem die Höhle von Éprave sich befindet. Die Wassertiefe war hier 2 m, 14 Tage später nur 0,70 m. In der Höhle von Éprave befindet sich strömendes Wasser, das von v. d. Broeck wieder „un ruisseau souterrain" genannt wird.

Grotte du Thier des Falises. Unterhalb Rochefort am Fuße der Hügel „Thier des Falises" befindet sich ein Punkt, wo — wie die Einwohner bestätigen — bei starkem Wachstum der Lomme oder nach Gewitterregen Wasser aus den Felsen entspringt. Dieses Wasser strömt alsdann in einem kleinen Tal parallel der Landstraße und stürzt sich in die Höhle des „Thier des Falises". Bei meinem Besuch war das Tal ganz trocken.

---

[1]) Ém. Deladrier: Recherches souterraines aux environs d'Éprave. (Bull. Soc. belge de Géol. T. 18, 1904. Pr. Verb., p. 117.)

In der Höhle befindet sich an der Westseite ein kleiner permanenter See, welcher am 22. August 1913 eine Wassertiefe von ± 4 m aufwies. Die Wassertemperatur war hier 11°.5, während die Temperatur der Lomme 17°.5 war (im Sonnenschein). Ich habe versucht das Niveau dieses Sees zu bestimmen und fand, daß es ± 8 m unter dem Niveau der Lomme beim „Thier des Falises" lag. Eine starke, um diese Zeit eingetretene Luftdruckänderung entnimmt aber dem aus dieser Beobachtung geschöpften Resultat jede Zuverlässigkeit. Houba berichtet von dem sich bisweilen in die Höhle stürzenden Wasser, daß es sich durch eine Kluft in der Felswand hinter dem See wieder mit dem Lommewasser vereinigen muß. (v. d. Broeck, p. 39.)

Die Quellen in der Nähe von Rochefort. Am linken Lommeufer bei dem Steinbruch (Carrière Dasse) bestand bei meinem Besuche 1910 noch eine im Flußniveau aufsprudelnde Quelle; seitdem hat sich der Anblick des Flusses hier völlig geändert. Da die Lomme hier durch die Aiguigeois im Talboden immer mehr Wasser verlor und stromabwärts im Sommer öfters große Strecken des Flußbettes trocken lagen, hat man oberhalb der Eisenbahnbrücke einen Teil des Talbodens im Jahre 1911 betoniert. Die genannte Quelle ist durch eine eiserne Platte zum größten Teil abgeschlossen, und man sagte mir, daß nur nach stärkeren Regengüssen im Sommer noch Wasser herauskäme. Im August 1913 ergab die Quelle kein Wasser, was durch die absolut gleiche Temperatur des Flusses und des Quellpunktes und durch die Abwesenheit jeglicher Strömung erwiesen wurde. Man erzählte mir, daß jetzt oberhalb der betonierten Flußstrecke die Aiguigeois im Flußbette sich so sehr vermehrten und vergrößerten, daß man sie bei niedrigem Wasserstande sehen könne.

Etwas mehr talabwärts befindet sich gleichfalls an der rechten Talseite im Wiesenland eine andere Quelle, der Dewoïn genannt (wie der gleichnamige Flecken). Das Wasser dieser, nach Schätzung in einer Entfernung von 200 m von der Lomme auftretenden Quelle, stürzt sich in einen Graben, in welchem es ein Mühlrad treibt, zur Lomme. Auch diese Quelle lieferte im August 1913 kein Wasser und ebensowenig die etwas mehr westlich (gegenüber dem Landhaus Le Courbois) in einer Wiese

gelegene Quelle. Die Eigentümer des Dewoïn behaupteten, daß, seitdem stromaufwärts bei Jemeppe (östlich von Hargimont) das Wammebett betoniert war, wodurch die Wamme weniger Wasser verlor, auch der Dewoïn eine geringere Wasserführung hatte. In einer Entfernung von vielleicht 20 m vom Dewoïn befindet sich ein offener Brunnen, dessen Niveau am 15. August 1913 4,60 m unter dem Erdboden lag, während die Wassertiefe 1,20 m betrug. Jenes Niveau gibt jedoch, wie ich vermute, nicht den Karstwasserspiegel, sondern den Grundwasserstand in der Niederterrasse der Lomme an.

§ 24.

Einige Erörterungen über die Hydrologie anderer belgischen Karstgebiete.

Es versteht sich, daß, wo die Trinkwasserversorgung dort für Hochbelgien solch eine Lebensfrage darstellt, auch in der Société belge de Géologie die Streitfrage, ob im Kalke ein zusammenhängender Grundwasserspiegel existiert, oder ob (nach der Dupontschen Auffassung) das Wasser in einem Röhrensystem von beliebiger Form und in beliebigen Dimensionen zirkuliert und also kein Grundwasserspiegel besteht, oft den Gegenstand der Diskussion gebildet hat. In den „Bulletins" dieser Gesellschaft sind sehr lesenswerte Artikel über diese Frage abgedruckt, so in den Jahrgängen 1894 und 1895. U. a. bemerkt X. Stainier,[1]) daß viele Bergwerksunternehmungen (er nennt einige deren) uns gelehrt haben, daß die Kalke besonders in der Tiefe sehr wasserführend sind. François[2]) führt an, daß in den fast horizontal lagernden Kalken von Tournai ein einheitlicher Grundwasserspiegel besteht, der durch Flächen von gleicher Niveauhöhe abgebildet werden kann. Für horizontal lagernde Kalke wird, wie ich meine, dieses kaum von jemand bezweifelt werden. Anders steht es jedoch mit den stark gefalteten Kalken. Um auch für diese die Existenz eines zusammenhängenden Grundwasserspiegels zu

---

[1]) X. Stainier: Les calcaires sont-ils aquifères en profondeur? (Bull. Soc. belge de Géol. 1894, p. 178.)

[2]) Ch. François: Régime hydrologique et puits du calcaire (ibid. 1894, p. 247).

beweisen, führt François das Beispiel mehrerer Brunnen im Kohlenkalkboden in Dinant und in dessen nächster Umgebung an. Leider gibt er keine Wasserniveaus an. Auch in Hastières gibt es im Kalkboden mehrere Brunnen, deren Wasserniveaus den Niveauschwankungen der Maas folgen.

Über Brunnen im Kohlenkalk von Purnode berichtet Willems.[1]) Es gibt hier drei Brunnen: „Le Puits de la Ferme", „le Puits de la Brasserie" und „le Puits communal", deren Wasserniveaus am 3. August 1893 in 223,18 m, 223,72 m und 224 m lagen, während die Oberflächenhöhen 239,28 m, 232,02 m und 230,04 m sind. Am 10. November 1893 waren die Wasserniveaus der beiden ersten Brunnen um 2,21 m, bz. um 2,20 m erniedrigt. Das Gefälle des Grundwasserspiegels ist also der Abdachung der Oberfläche entgegengesetzt; die Erklärung liegt in dem Umstand, daß das Gefälle nach der Maas zu gerichtet ist, die in ungefähr 4 km Entfernung von Purnode das Kalkband durchquert. — In Spontin findet man eine große Menge Quellen auch in den Kellern, was beweist, daß der Untergrund in der Tiefe überall sehr wasserführend ist. Durch Profile beweist Willems, daß die Wasserniveaus der Brunnen langsam mit der Entfernung vom Fluße, Le Bocq, ansteigen, aber in geringerem Maße als die Oberfläche.

Verstraeten[2]) macht darauf aufmerksam, daß die Bauern im Condroz ihre Brunnen lieber in den Quarzschieferzonen anbohren als in den naheliegenden Kalkbanden; denn im Kalk wird meistens erst in 40, 50 oder sogar 60 m Tiefe auf Wasser gestoßen, während in den Schiefergesteinen immer nahe der Oberfläche Wasser angebohrt wird. Herr Constant Meurice, Ingenieur in Rochefort, erzählte mir, daß er in Belgien immer gefunden habe, daß auf den Kalkplatten nur in größerer Tiefe Wasser gefunden wird, meistens ungefähr im Niveau des Haupttales; daß also der Grundwasserspiegel im Kalk ein geringes Gefälle hat. — Für die Stromgebiete des Hoyoux und des Bocq erklärt Verstraeten,[2]) daß die Existenz eines zusammenhängenden Grundwasserspiegels für jedes Kalkband durch Beobachtungen der

---

[1]) J. Willems: Compte rendu (ibid. 1893, p. 354).

[2]) Th. Verstraeten: Hydrologie des Bassins rocheux de Belgique (ibid. 1895, p. 241).

Quellen, der Talgewässer, der Steinbrüche und der Brunnen erwiesen ist.

Rome[1]) erwähnt in einem sehr interessanten Aufsatz, daß in den Kalken des Condroz und der „Entre Sambre et Meuse“ sich Hunderte von Brunnen befinden. Auch zitiert er kurz die Äußerungen verschiedener belgischer Gelehrten, die alle die Existenz eines Grundwasserspiegels im Kalke annehmen. Zu meiner Überraschung fand ich bei Rome dieselben Auffassungen über die Hydrologie der Höhle von Han, welchen ich selber huldige, indem er betont: Man könne eine Höhle, die von einem Fluß durchströmt wird, wie ein wirkliches Tal auffassen, das je nach den Niederschlagsverhältnissen der Jahreszeit mehr oder weniger mit Wasser angefüllt sei.[2])

Meurice schreibt in einer noch nicht erschienenen Arbeit (welche er die große Freundlichkeit hatte mir zur Einsichtnahme zu leihen): „Die Bohrung des Eisenbahntunnels von Pondrôme in einem Kalkmassiv zwischen Hoyet und Gedinne . . . hat mir Gelegenheit gegeben, die Existenz einer ähnlichen „courbe d'eau“, wie wir sie für die nicht klüftigen Gesteine nachgewiesen haben, auch im Kalk festzustellen“.

§ 25.

Schlußfolgerungen.

Alle in den vorigen Paragraphen erwähnten Tatsachen haben mich davon überzeugt, daß im belgischen Karst zusammenhängende Grundwasserspiegel bestehen, sowohl

---

[1]) Th. Rome: De l'hydrographie souterraine dans les terrains calcaires (ibid. 1895, p. 324).

[2]) Wie auch durch den Bergbau das Karstwasserniveau angeschnitten wird, dafür bringt derselbe Autor einen interessanten Beleg, indem er an ein durch Moulan in seiner Arbeit: Le Hoyoux et les Sources de Modave, niedergelegtes historisches Ereignis erinnert: Die Grube von Vedrin in der Umgebung von Namur hatte einen Entwässerungsstollen mit Tiefdrainierung angelegt, worauf der Houyoux kein Wasser mehr führte, auch die große Quelle in Saint-Marc versiegte, und die Wasserniveaus in den Brunnen der Umgebung senkten sich. Als man nach einem Prozeß die Tiefdrainierung außer Wirksamkeit gesetzt hatte, trat die gewöhnliche Wasserführung der Quelle, des Flusses und der Brunnen wieder ein.

im Kohlenkalk, als im Devonkalk. Wenn auch Katzer[1]) für den seichten Karst die Möglichkeit einer zusammenhängenden Grundwassermasse zugibt, so glaube ich doch die Existenz einer solchen im belgischen Karst scharf betonen zu müssen, weil viele belgische Gelehrte in ihren Abhandlungen die Röhrentheorie auch auf den belgischen Karst anwenden, vielleicht durch den unterirdischen Lauf der Lesse in den Höhlen von Han dazu veranlaßt. Außerdem sehe ich keinen prinzipiellen Unterschied in der Hydrologie des seichten und des tiefen Karstes, weil ich annehme, daß die Tiefe des eigentlichen Verkarstungsvorganges (Höhlenbildung, Vergrößerung der Klüfte usw.) durch das Niveau des Haupttaleinschnittes bestimmt wird, und daß der Verkarstungsprozeß nur bis wenige Meter unter das Niveau der Talsohle herab wirken kann. (Für die Begründung dieser Behauptung verweise ich auf Kapitel V dieser Arbeit.) Somit übernehmen im seichten Karst die unterlagernden, undurchlässigen Schichten die Rolle der unverkarsteten Kalkmasse im tiefen Karst, und kann eine einheitliche Theorie für beide Gebiete aufgestellt werden.

Wie kann nun im Lichte der Grundwassertheorie erklärt werden, daß an verschiedenen Punkten stagnierendes Wasser anstatt strömendem gefunden wird, denn auch das Grundwasser soll ein Gefälle aufweisen; — das ist richtig, aber in diesen Gebieten ist das Gefälle nicht groß genug, um eine sichtbare Strömung ins Leben zu rufen. (Ingenieure nehmen aus praktischen Gründen im belgischen Karst meistens ein Grundwassergefälle von 1 bis $1^1/_2$ ‰ an.) Daß gerade in den größeren Höhlen, wie in jenen von Rochefort und Éprave, eine Strömung wahrzunehmen ist, können wir, wenn wir nicht die Genesis, sondern nur den heutigen Zustand ins Auge fassen, erklären durch den größeren Raum, welcher hier dem Grundwasser zum Fließen geboten wird; und auch dadurch, daß der Verkarstungsprozeß hier bis zur größten Tiefe fortgeschritten ist (auch hier verweise ich auf Kapitel V), so daß hier eine drainierende Wirkung auf das Grundwasser ausgeübt wird.

Die Röhrentheorie behauptet: im Kalke wird man nur dann auf Wasser stoßen, wenn eben ein Kanal angebohrt wird;

---

[1]) Fr. Katzer: Karst und Karsthydrographie (l. c. S. 72) S. 43.

die Kanäle aber können im allgemeinen in verschiedenem Niveau gelegen sein. Wie können dann die Wasserhöhen der Brunnen gleich sein (nach Maßgabe des Gefälles), wie bei Purnode, in der Umgebung des Bocq und im Condroz? Wie erklären sich auf diese Weise die Niveauschwankungen jener Brunnen oder Höhlenwasser, welche der Niveauschwankung des benachbarten Flusses parallel gehen, wie bei Dinant?

Im Lichte der Grundwassertheorie verwandeln alle diese Widersprüche sich in logische Konsequenzen. Die Hydrologie der Umgebung von Rochefort und Han-sur-Lesse wird mit einem Male klar: Alle die genannten unterirdischen Gewässer sind alsdann zu deuten als Punkte des Grundwassers, das hier ein süd-westliches Gefälle in der Längsrichtung des Kalkbandes besitzt. In den niedrigsten Punkten der Oberfläche, wo der Kalk die undurchlässigen Frasnien-Schiefer berührt, befinden sich die Quellen. So befördern der Dewoïn, die Quelle bei der „Carrière Dasse“ und die Quelle gegenüber dem Landhaus „Le Courbois“ das spülende Wasser des Gerny und das von der Lomme und der Wamme an das Grundwasser verlorene Wasser z. T. wieder ans Tageslicht (und so könnte vielleicht die Behauptung der Eigentümer des Dewoïn, daß nämlich der Rückzug der Wasserführung dieser Quelle durch Betonierung der Wamme verursacht war, das Richtige treffen). Teilweise aber strömt jenes Grundwasser durch das Kalkband nach SW, zu dem „Trou du Rond-Tienne“ und der „Source de la Grotte d'Éprave“, wo auch das Wasser, das die Lomme unterhalb Rochefort verloren hat, zum Vorschein kommt. Diese beiden Quellen bilden auch die Wasseraustrittspunkte des Kalkstreifens Éprave—Mont de la Justice, insoweit dieses Gebiet nicht durch die „Source St. Martin“ in der Hinterbucht der Chavée (nicht zu verwechseln mit der „Fontaine“ St. Martin in dem Fonds d'Enfaule“) entwässert wird.

Die wichtigste Quelle aber, die ich noch nicht erwähnte, ist die „Source de la Tridaine“ am Westabhang des Plateaus von Gerny, die zu einem Teile künstlich gefaßt ist für die Wasserversorgung von Rochefort. Sie liegt in weit höherem Niveau als der Dewoïn (v. d. Broeck gibt an 40 m über demselben) und führt immer Wasser — wahrscheinlich bildet sie die alleinige oder hauptsächlichste Austrittsstelle der Westhälfte des Gerny. Eine gewisse Schwierigkeit bietet die Er-

klärung ihrer hohen Lage, und ohne die Annahme spezieller stauender Wirkung der undurchlässigen, unterlagernden Schichten vermag ich das Vorkommen dieser Quelle nicht zu verstehen. Es genügt dazu anzunehmen, daß die den Gerny unterlagernden Couvinienschiefer sich ungefähr in der Mitte des Gerny etwas erheben und so das nach SW abfließende Grundwasser in eine westliche und östliche Hälfte teilen; die letztere wird dann entwässert durch den Dewoïn usw. am tiefsten Punkte der Grenze zwischen dem Kalk und den Schiefern, und die erstere durch die Tridaine, welche gleichfalls, was die Westhälfte anlangt, im tiefsten Punkt der Begrenzung liegt. Gewöhnlich enthalten die Flußtäler, weil sie die tiefsten Einschnitte darstellen, die Quellpunkte; wenn aber wie hier durchlässige und undurchlässige Schichten am Gehänge ausstreichen, treten die Quellen auch am Talabhange auf. Die Quelle der Tridaine gibt uns ein Beispiel etwas verwickelterer hydrologischer Verhältnisse, die nur durch eingehende Untersuchung der Geologie des Untergrundes zu erklären sind.[1])

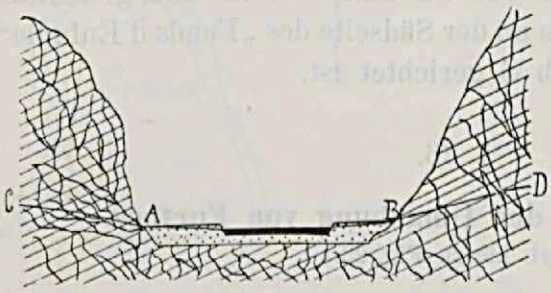


Fig. 22. C A B D = Grundwasserniveau.

Auf eine Besonderheit in der geologischen Lage der Quellen, die im belgischen Karst öfters festgestellt worden ist, machte mich der Ingenieur Meurice aufmerksam: Häufig liegen die Quellen widersinnig im Sinne des Schichtenfalls (vgl. Fig. 22), so daß das Wasser „à travers bancs“ hervortritt, also bei A, während viele

[1]) Denn nicht immer liegen die hydrologischen Verhältnisse so einfach wie in der Schwäbischen Alb, wo die Karstquellen streng nach Höhengürteln angeordnet sind. Es ist erwiesen, daß diese Quellfläche nicht auf undurchlässige Schichten zurückzuführen ist. Die Gradmannsche Arbeit, der ich diese Tatsache entnehme, stellt überhaupt, wie ich meine, eine der besten Begründungen der Grundwassertheorie dar. Besonders die der Arbeit beigefügte Karte des Gebietes, in welcher Gradmann die Linien gleicher wahrscheinlicher Karstwasserhöhe eingezeichnet hat, ist sehr wertvoll. (Vgl. hierzu: Beschreibung des Oberamts Münsingen, hrsg. vom K. Statist. Landesamt. 2. Bearb. Stuttgart 1912. Allg. Teil I. Geographische Verhältnisse von R. Gradmann. S. 77 u. ff.).

geneigt sind bei B eine Quelle zu erwarten. Die Schichtfugen aber sind immer mehr oder weniger verschmiert und also nicht wasserführend. Die Diaklase aber, welche ursprünglich annähernd vertikal gestellt waren, haben bei stark gefalteten Schichten ungefähr horizontale Lagerung angenommen, und diese sind eben die Wasserführer. Meurice war durch Beobachtungen in der Natur zu dieser Theorie gekommen. Er hat nachgewiesen, daß die Quellen in den Tälern des Bocq, des Hoyoux, der Molignée und des „Ruisseau des Fonds de Leffe“ bei Dinant, alle „à travers bancs“ ihr Wasser empfangen. Ich war in der Gelegenheit, im letzten Tale dieselbe Tatsache zu konstatieren und gleichfalls bei der Fontaine St. Martin an der Südseite des „Fonds d'Enfaule“, wo der Schichtenfall nach S gerichtet ist.

§ 26.

Die Hydrologie der Umgebung von Furfooz.

(Vgl. hierzu Fig. 23.)

Obgleich ich diesem Gebiete (an der Lesse ± 37 km unterhalb von Han) nur einen sehr flüchtigen Besuch[1]) habe widmen können, so kann ich doch die dortigen Verhältnisse nicht unbesprochen lassen, da sie geeignet sind, ein neues Licht auf die Theorie zu werfen, welche wir uns aus der Hydrologie der Höhlen von Han gebildet haben. Dieses wird mir ermöglicht durch die sehr ausführliche Darlegung der v. d. Broeckschen Beobachtungen auf S. 812—833 seines Werkes.

In hydrologischer Hinsicht sind die wichtigsten Punkte dieses Gebietes: „Le Chantoir des Nutons“, „le Puits des Veaux“, „le Chantoir des Sources“ und „le Trou de la Loutre“. „Le Chantoir des Nutons“ befindet sich am rechten Lesseufer am Ende eines ungefähr 10 m langen Grabens, in welchen sich nur bei einem Ansteigen der Lesse um 1,50 m über normalen Wasserstand Wasser stürzt. (Dies geschieht drei- oder viermal jährlich.) Vor dem „Chantoir des Nutons“ besitzt die Lesse eine ungewöhnliche Tiefe: 2,5 bis 3 m, was wahrscheinlich auf einen Aiguigeois im Flußbett (Talwegponor) hinweist. „Le Puits

[1]) Dieser Besuch wurde noch dazu durch ein schweres Gewitter, das auch meine barometrischen Messungen wertlos machte, vorzeitig abgebrochen.

des Veaux“ liegt an der Nordseite des Tales, das früher das Plateau von Furfooz entwässerte. Bei meinem Besuche im August 1913 rieselte nur ein kleiner Wasserfaden talabwärts, der sich unter Gras und Steinen fortbewegte und besser zu hören als zu sehen war. Nach v. d. Broeck liegt dieses Tal meist trocken. Einige Meter über der Talsohle erhebt sich eine kleine Terrasse, an deren Nordseite sich der „Puits des Veaux“ befindet. Dieser „Gouffre“ ist ungefähr 30 m tief. An der

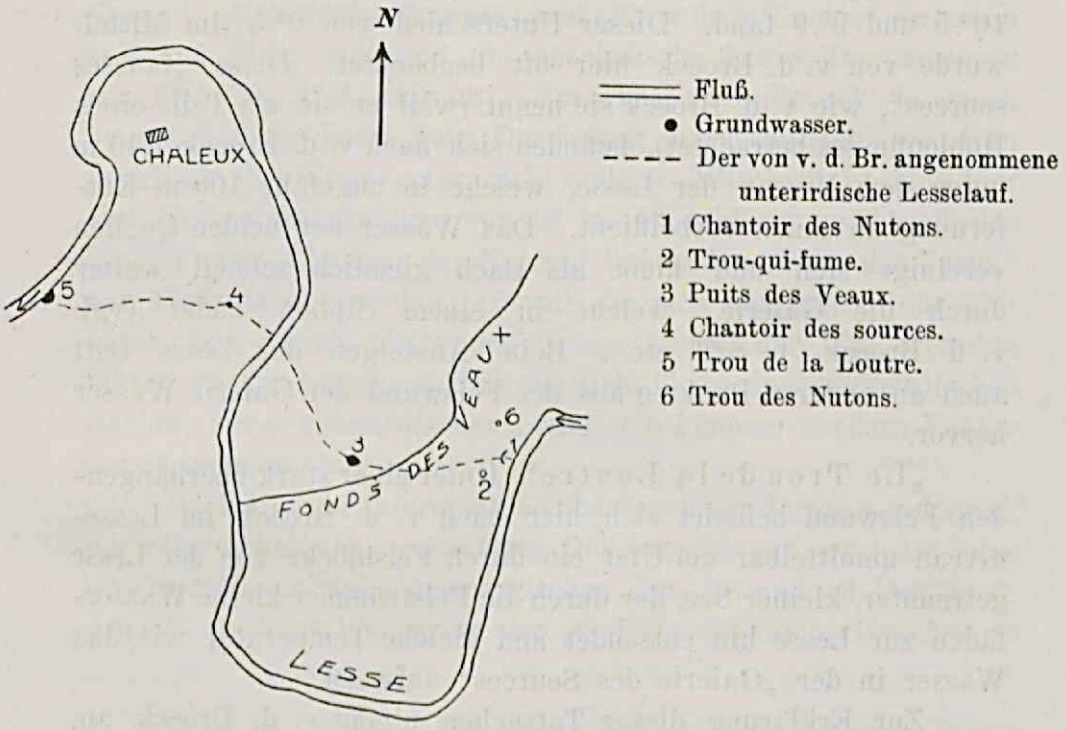


Fig. 23. Die hydrologischen Verhältnisse bei Furfooz.

ziemlich steilen Südwand hinabgehend, gelangt man zu einem kleinen See, der zum größten Teil unter der senkrechten, ja sogar überhängenden Felswand, die den Nordabhang bildet, gelegen ist. Das Niveau dieses Sees liegt nach v. d. Broeck (v. d. Broeck, p. 819) 20 cm über der Furt beim „Chantoir des Sources“ und 3,80 m unter dem „Chantoir des Nutons“. Die Wassertemperatur des „Puits des Veaux“ war am 29. August 1913 11°.2 und die Lufttemperatur ganz nahe dem Wasser 14°, während im Trockental des Veaux die Lufttemperatur 22° betrug (Temperatur des Lessewassers 18°). Der See hat eine Tiefe

von 5 bis 6 m. In verschiedenen Jahreszeiten hat v. d. Broeck die Wassertemperatur des Sees gemessen und nachgewiesen, daß im Hochsommer ein Maximum von 11° auftritt, die Wintertemperatur aber bei normalem Wasserstand der Lesse unveränderlich 9°.5 beträgt. — Innerhalb des zweiten Lessemäanders befindet sich eine Höhle: „Chantoir et Galerie des Sources". Bei Niederwasser ist diese 25 m lange Galerie zu begehen, alsdann sieht man zwei Wasseraustrittsstellen in ungefähr 4 m Entfernung voneinander, deren Temperaturen v. d. Broeck zu 10°.5 und 9°.9 fand. Dieser Unterschied von 0°.5 (im Mittel) wurde von v. d. Broeck hier oft beobachtet. Diese „fausses sources", wie v. d. Broeck sie nennt (weil er sie als Teile eines Höhlenflusses betrachtet), befinden sich nach v. d. Broeck 1,40 m unter dem Niveau der Lesse, welche in ungefähr 100 m Entfernung an ihnen vorbeifließt. Das Wasser der beiden Quellen vereinigt sich und fließt als Bach ziemlich schnell weiter durch die Galerie, welche in einem Siphon endet (vgl. v. d. Broeck, p. 822 etc.). Beim Ansteigen der Lesse tritt auch an anderen Punkten aus der Felswand der Galerie Wasser hervor.

„Le Trou de la Loutre". Unter einer stark überhängenden Felswand befindet sich hier nach v. d. Broeck im Lesseniveau unmittelbar am Ufer ein durch Felsblöcke von der Lesse getrennter, kleiner See, der durch die Felstrümmer kleine Wasserfäden zur Lesse hin entsendet und gleiche Temperatur wie das Wasser in der „Galerie des Sources" aufweist.

Zur Erklärung dieser Tatsachen nimmt v. d. Broeck an, daß das Wasser des „Puits des Veaux" und jenes der „Galerie des Sources" die sichtbaren Punkte eines unterirdischen Baches darstellen, der das von der Lesse in der Umgebung des „Chantoir des Nutons" an die Aiguigeois verlorene Wasser unter dem oberirdischen Bette der Lesse fortführt und beim „Trou de la Loutre" („la résurgence finale") wieder ans Tageslicht befördert. Zu dieser Behauptung wurde v. d. Broeck besonders durch die gleiche Temperatur der drei genannten Wasserpunkte geführt, welche außerdem sehr stark von der Temperatur der oberirdischen Lesse abweicht, und hieraus schließt er auch, daß die Gewässer in der „Galerie des Sources" von weit her kommen („proviennent de loin"). Ich stimme dem gerne zu, aber in anderem Sinne als

v. d. Broeck meint; zum Teil werden diese Wasser sogar einen größeren Weg zurückgelegt haben als die 68 m Entfernung, welche die „Galerie des Sources" vom „Chantoir des Nutons" trennen. Von v. d. Broeck veranstaltete Färbungsversuche haben ergeben, daß das Wasser bei Hochwasser der Lesse 63 Stunden[1]) braucht, um diese Strecke unterirdisch zu durchmessen, d. h. ± 3 mal so lang als die Lesse von Belvaux bis Han braucht. Während dieses Färbungsversuchs in der zweiten Hälfte des Dezember 1902 lagen die Wassertemperaturen des „Puits des Veaux", „Galerie des Sources" und „Trou de la Loutre" zwischen 9°.6 und 8°.9; während die oberirdische Lesse Temperaturen von 6°.5 bis 4°.4 aufwies. Nun hat v. d. Broeck ja stark betont, daß die Lesse beim Durchgang durch die Höhle von Han praktisch ihre Temperatur nicht ändert. Wie kann er dann hier eine Temperaturzunahme von 3° bis 5° erklären, während das Wasser vom „Chantoir des Nutons" bis an den „Puits des Veaux" nur 17 Stunden brauchte? Gerade die sich das ganze Jahr hindurch fast gleich bleibenden Temperaturen der Wasserpunkte führen zu der Annahme, daß sie nicht Teile eines unterirdischen Baches, einer unterirdischen Lesse sein können, sondern Punkte des Grundwassers.[2])

Noch ein sehr interessantes Phänomen wurde von v. d. Broeck bei diesem Versuch beobachtet: Das Lesseniveau erreichte seine größte Höhe in der Nacht zwischen dem 18. und 19. Dezember. Am 18. war das Wasser in der „Galerie des Sources" schon so

---

[1]) Am 18. Dezember 1902, als die Lesse infolge andauernden Regens stark angeschwollen war und Wasser an das „Chantoir des Nutons" verlor, hat v. d. Broeck hier Fluorescin eingeworfen. Die Färbung war nach 17 Stunden im „Puits des Veaux" und nach abermals 46 Stunden im „Chantoir des Sources" wahrzunehmen. Aus den Resultaten eines früheren Versuches folgt, daß zum Fortschreiten der Färbung vom „Chantoir des Sources" bis zum „Trou de la Loutre" 7 Stunden nötig sind.

[2]) v. d. Broeck bemerkt: „Die Tatsache, daß die Wassertemperaturen der Lesse im Winter und Sommer um 20° variieren, während jene des „Chantoir des Sources" nur eine Schwankung von 0.5° aufweisen, schließt völlig jeden Gedanken eines näheren Zusammenhanges aus." Ich glaube, daß v. d. Broeck mit diesem „näheren Zusammenhang" nur die 100 m meint, welche Lesse und „Chantoir des Sources" trennen, die 680 m Entfernung bis an die Lesse beim „Chantoir des Nutons" (bzw. 280 m für den „Puits des Veaux") hält er für genügend, um dieses Temperaturgleichgewicht zu erklären.

hoch gestiegen, daß der Zutritt zur Galerie unmöglich war. Am 20. aber sank das Wasser der Lesse und gleichfalls jenes im „Chantoir des Sources“ und als am 21. die Färbung hier sichtbar wurde, hatte das Wasser sich schon stark gesenkt. Während des Durchganges des Fluorescins hat sich die Senkung des Wasserspiegels regelmäßig fortgesetzt, und keinerlei Steigen wurde wahrgenommen. Hieraus schließt v. d. Broeck, daß der temporäre Zufluß, welcher vom „Chantoir des Nutons“ herrührt, nur einen kleinen Beitrag zu der Wassermenge der permanenten, unterirdischen Lesse liefert. v. d. Broeck meint also, daß die permanente, unterirdische Lesse von den verschiedenen Flußschwinden der Lesse in der Umgebung der Felse von Furfooz genährt wird, die durch ihre gesteigerte Wasserführung das Ansteigen des Wasserniveaus im „Chantoir des Nutons“ verursachen würden; daß aber das gefärbte, vom „Chantoir des Nutons“ absorbierte Wasser einen so kleinen Teil der vorigen Wassermenge bildet, daß dieses keine Steigung herbeiführen kann. Wenn es sich aber um einen unterirdischen Kanal handelt, dann muß doch, wenn eine an sich nicht unbeträchtliche Wassermenge auf einmal zugeführt wird, auch im Falle einer andauernden Niveausenkung der Betrag der Senkung in der Zeiteinheit verringert werden (der Durchgang dieser Wassermenge im „Chantoir des Sources“ wurde durch das Auftreten der Färbung zeitlich bestimmt); was nach den v. d. Broeckschen Erörterungen nicht zutrifft.

Die Annahme eines zusammenhängenden Grundwasserniveaus löst aber all diese scheinbaren Widersprüche auf. Wir sahen schon, wie die Temperaturfrage sich in dieser Weise löst: Die wahrgenommenen, annähernd konstanten Temperaturen (konstant auch während des Ansteigens) geben die Temperatur des Grundwassers an, d. h. annähernd die mittlere Jahrestemperatur dieser Gegend, korrigiert für die Wärmezunahme mit der Tiefe. Allerdings wird das Grundwasser auch von dem Wasser gespeist, das die Lesse in Flußschwinden verliert und das in den verschiedenen Jahreszeiten sehr abweichende Temperaturen besitzt; aber bei einer größeren Grundwassermenge, welche sich außerdem über eine größere Fläche ausbreitet, wird dieser Einfluß kaum merkbar sein, besonders durch die Erwärmung bzw. Erkältung der Felsen, in deren Klüften das Grundwasser seiner langsamen Strömung halber längere Zeit hindurch verweilt. Weil das Gefälle

des Grundwasserspiegels nach dem „Trou de la Loutre“ hin gerichtet ist, wird auch das Fluorescin in jener Richtung transportiert. Die Stromgeschwindigkeit ist aber gering, was auch die langsame Fortpflanzung der Färbung erklärt. Gerade die lange Durchströmungsdauer und die Temperaturen beweisen, daß es sich hier noch um reine Grundwasserströmung handelt und nicht, wie bei der Höhle von Han, schon um einen im Grundwasserniveau fließenden unterirdischen Fluß. Das Auftreten der Färbung in dem „Trou de la Loutre“ weist nur auf eine ununterbrochene Wasserverbindung, nicht auf einen unterirdischen Fluß; wenn man an anderen Stellen nördlich oder südlich des „Puits des Veaux“ Wasser angebohrt hätte, würde dieses ebensogut auch außerhalb des hypothetischen Laufes der „Lesse souterraine“, gefärbt gewesen sein, wie Oestreich[1]) in seiner Besprechung der v. d. Broeckschen Arbeit seine Zweifel an der Richtigkeit der v. d. Broeckschen Deutung der Verhältnisse bei Furfooz mit den Worten ausspricht: „Sind die Färbeversuche wirklich zwingend? In positivem Sinne gewiß: sie beweisen, daß eine bestimmte Quelle mit einer bestimmten Schwinde in Verbindung steht. Aber sind stets auch die benachbarten Quellen untersucht worden?“

Wenn man die Existenz einer zusammenhängenden Grundwassermasse verneint, dann müssen zur Erklärung der Tatsachen die sonderbarsten Hypothesen herangezogen werden; so nimmt v. d. Broeck in bezug auf dasselbe Ansteigen der Wassermasse vom 18. Dezember 1902, um zu erklären, daß, obgleich das Lessewasser einen großen Schlammgehalt hatte, doch das Wasser des „Puits des Veaux“ transparent blieb, an: In diesem unterirdischen Flußlauf würden wahre Klärungsbecken existieren, welche die Geschwindigkeit des Stromes verringern und den Absatz der schwebenden Schlammbestandteile befördern (v. d. Broeck, p. 829).

Die Tatsache, daß das Wasser des „Puits des Veaux“ einen größeren Gehalt an gelöster Substanz besitzt als die Lesse (vgl. S. 98, 99) gibt v. d. Broeck Anlaß zur Bemerkung, daß schon in den 300 Metern, welche der „unterirdische Fluß“ vom „Chan-

[1]) K. Oestreich: Zur unterirdischen Hydrographie der belgischen Ardennen. Pet. Geogr. Mitt. 1912. I., S. 146.

toir des Nutons“ an zurückgelegt hat, die Wirkung der chemischen Erosion zur Geltung gekommen sei. Eine Verweisung nach dem auf S. 100 Besprochenen wird genügen, um die Behauptung zu begründen, daß dieser größere Substanzgehalt mit ebenso vielem Rechte darauf zurückzuführen ist, daß das Wasser des „Puits des Veaux“ Grundwasser ist.

Le Trou qui fume (v. d. Broeck, pag. 814—817). Noch eine Eigentümlichkeit dieses Gebiets soll hier erörtert werden. Ungefähr 50 m südwestlich des „Chantoir des Nutons“, in 58 m Höhe über dem Lesseniveau befindet sich eine Art von natürlichem Schornstein: „Le Trou qui fume“. Der Name rührt vom Wasserdampf her, der aus dem Schlote im Winter oft so dicht aufsteigt, daß er aus der Ferne einer Rauchsäule gleicht. Im Hochsommer dagegen findet starke Luftansaugung statt. (Vgl. v. d. Broeck, pag. 815). Der im Winter aufsteigende Luftstrom ist wärmer als die freie Luft, wie die v. d. Broeckschen Beobachtungen, die ich in der folgenden Tabelle zusammengefaßt habe, ergeben:

	Temperatur des Luftstroms	Temperatur der freien Luft	Temperatur der unterirdischen Wasserpunkte (Puits des Veaux etc.)	Wassertemperatur der Lesse
12. Okt. 1901	13°.5	5°.7	—	10°.2
21. Dez. 1902	11°.1	7°.6	9° bis 10°	6°.5
31. Dez. 1902	11°	4°.5		4°.2
18. Jan. 1903	10°.9	0°.0	9°.5	0°.7

(Jahresmittel der Lufttemperatur in dieser Gegend: 9°.5.)

v. d. Broeck bemerkt, daß die Temperatur der Luft, welche im Massiv unter dem „Trou qui fume“ zirkuliert, höher ist als die mittlere Jahrestemperatur, deshalb stellt v. d. Broeck die Frage, ob unter dem Massiv nicht vielleicht ein Wasserreservoir von solcher Ausdehnung und Tiefe besteht, daß die winterliche Abkühlung durch die geothermische Erwärmung überwunden wird. Wenn wir diese Hypothese etwas genauer betrachten, ergibt sich also, daß die unteren Wasserschichten jenes Reservoirs eine derartige Wärme besitzen müssen, daß sie aufsteigen und die Wasseroberfläche, die z. B. im „Puits des Veaux“ eine Temperatur von 9°.5 besitzt, bis auf 11°, also um 1°.5 erwärmen kann. Wenn wir die geothermische Tiefenstufe zu 33 m annehmen, würde also das Reservoir eine Tiefe von wenigstens 50 m besitzen müssen. Ich glaube, damit ist dieser Hypothese jede

Wahrscheinlichkeit entzogen; man könnte noch dazu bemerken, daß Luft, welche über eine Wasserfläche von jedenfalls mäßiger Ausdehnung hinstreicht, nicht sogleich deren Temperatur annehmen wird. Die Luft müßte also durch das Wasser hin emporquellen — oder das Wasser sollte eine noch höhere Temperatur besitzen! Die zweite von v. d. Broeck angegebene Hypothese: die Annahme einer Warmwasserquelle (source thermale) im Innern des Massivs ist zu wenig diskutierbar.

Als einzig logische Hypothese erscheint mir die Annahme, daß die wärmere Luft, welche aus dem „Trou qui fume" in ± 165 m aufsteigt, aus denjenigen Teilen des Massivs im Norden herrührt, welche in demselben Niveau um 2° oder mehr wärmer sind, dadurch daß sie um etwa viermal den Betrag der geothermischen Tiefenstufe relativ tiefer zu der hier in ± 290 m liegenden Oberfläche gelegen sind.

In bezug auf die Luftverhältnisse bei den Ventarolen (Windlöcher) hat Schwalbe[1]) darauf hingewiesen, daß jene Luftströmungen auch mit den Wetterzügen gewisser Bergwerke verglichen werden, bei denen aus den mit dem Schacht in Verbindung stehenden Stollen im Sommer kalte Luft ausströmt, während im Winter oben warme Luft austritt und unten kalte von außen nachdringt.

Viertes Kapitel.

Dolinen.

§ 27.

Die Entstehung der Dolinen.

Unter Dolinen versteht man die trichter- oder schüsselförmigen Einsenkungen, welche in Karstgebieten wie West-Bosnien oft in so großer Anzahl vorkommen, daß sie einen bedeutenden Teil der Landoberfläche ausmachen. Früher erklärte man alle Dolinen als Einsturzdolinen, d. h. Dolinen, welche durch Einsturz der Decke unterirdischer Hohlräume entstanden sind. Später

[1]) B. Schwalbe: Über Eishöhlen und Eislöcher (Festschrift zur fünfzigjährigen Jubelfeier des Dorotheenstädtischen Real-Gymnasiums zu Berlin. Berlin 1886) S. 12 und ff.

erkannte man die echten[1]) Dolinen oder Zersetzungsdolinen als eine Folge der chemischen Erosion (oft Korrosion genannt); sie bilden die typische Oberflächenform der Kalksteingebiete, auch wenn hier keine Höhlen angetroffen werden. Es versteht sich aber, daß das Vorhandensein großer Höhlen Anlaß zur Bildung von Einsturzdolinen geben kann; daß also die beiden Faktoren: Korrosion und Einsturz vereinigt wirken können. Auch wurde die alte Einsturztheorie, einigermaßen modifiziert, von Kraus[2]) wieder hergestellt. Dann hat Cvyić in seiner ausführlichen Darstellung: „Das Karstphänomen" (l. c. S. 72) eine kurze Übersicht über die Argumente gegeben, welche von einer großen Anzahl von Forschern für oder gegen die beiden Theorien angeführt worden sind. Cvyić selber ist Anhänger der Korrosionstheorie; er stützt sich unter anderm auf die angeschnittenen Dolinen, die er in einem Eisenbahneinschnitte südlich von Unterloitsch in Krain beobachtet hat. Unterhalb dieser Dolinen kommen keine Höhlen vor; von dem Dolinenboden aber setzen sich zahlreiche Klüfte durch eine Zone verwitterten Kalksteines fort und sind bis in das frisch aussehende, wenig zersetzte Gestein, welches die Unterlage bildet, zu verfolgen. Auch v. Mojsisovics hat mitgeteilt, daß Ingenieure, welche beim Bau der Südbahn auf der Strecke Adelsberg—Nabresina beteiligt waren, ähnliche Beobachtungen gemacht haben. Zwar gibt Cvyić auch die Möglichkeit von Dolinenbildung durch Einsturz der Höhlendecke zu; glaubt aber, daß dieser Fall nur sehr selten auftreten wird. Dem gegenüber sucht v. Knebel[3]) die verschiedenen Gründe zu widerlegen, die Cvyić gegen die Einsturztheorie der Dolinen geltend gemacht hat. Auch weist er darauf hin, daß in historischer Zeit z. B. im Schwäbischen[4]) und auch im Fränkischen Jura

---

[1]) Die bei vielen Autoren gebräuchlichen Gleichungen echte Dolinen — Korrosionsdolinen und unechte Dolinen — Einsturzdolinen, werden von Kraus, S. 129 seiner Höhlenkunde, in umgekehrtem Sinne gebraucht. — Ein jeder wird natürlich den Namen echte Dolinen anwenden für diejenigen Dolinen, welche er für den normalen und meist verbreiteten Typus betrachtet.

[2]) Fr. Kraus: Höhlenkunde. Wien 1894.

[3]) W. v. Knebel: Höhlenkunde. Braunschweig 1906. S. 144 ff.

[4]) Auch R. Gradmann beschreibt die Entstehung einer Doline durch Einsturz in „Beschreibung des Oberamts Münsingen" (loc. c. S. 113) in folgender Weise: „Im Jahre 1902 ist auf Sontheimer Markung im Gewann Barwender-

eine Reihe von Dolinen sich durch plötzliche Einstürze gebildet haben; und daß weiter die Anhäufung der mit Dolinen in Verbindung stehenden Schuttmassen (ein Beispiel gibt v. Knebel auf S. 146 seiner Arbeit) auf keine andere Ursache zurückgeführt werden kann als auf Einstürze der Decke einzelner Höhlenteile. Daneben schreibt v. Knebel den Ursprung mancher Dolinen der Korrosion zu.

Katzer[1]) leugnet nicht die Möglichkeit, daß Dolinen durch Einsturz oder durch subaërische, chemische Erosion entstehen; aber er betrachtet diese Fälle als Ausnahmevorkommnisse. Seiner Meinung nach versagen diese Erklärungen bei der Anwendung auf die ungeheure Menge von Dolinen der weiten Karstgebiete. Er sucht den Ursprung der so zahlreichen Dolinen in Bosnien, Herzegowina, Montenegro und Albanien in einer allgemeinen Ursache: in der großen diluvialen Vergletscherung dieser Gebiete. Die Dolinen seien, so meint er, durch die mechanische Tätigkeit des Gletscherschmelzwassers ausgehöhlt worden. Als direkten Beweis für diese Theorie betrachtet er die Dolinen gleichenden Trichter, welche in der vergletschert gewesenen Vratnica planina und deren Vorlande in Mittelbosnien auf nicht verkarstungsfähigen Gesteinen angetroffen werden. Diese Theorie kann hier aber außer Betracht bleiben, weil sie auf nicht vergletscherte Gebiete keine Rücksicht nimmt und deshalb gerade des ihr von Katzer zugeschriebenen universellen Charakters entbehrt.

Typische Dolinen sind z. B. sehr verbreitet im subtropischen Gunung Sewu auf Java, welcher ebenso wie die Ardennen niemals vergletschert gewesen ist.

Die von einigen Autoren erwähnte reihenweise Anordnung der Dolinen in bestimmten Gebieten (was aber von anderen, u. a. Katzer, bekämpft wird) würde auf Einsturzdolinen hinweisen, auf Einbrüche längs eines gestreckten Höhlensystems;

---

steig plötzlich ein Erdfall entstanden von etwa 5 m Tiefe. Beim Nachgraben fand man unten einen Hohlraum. Zunächst öffnete sich nur eine etwa 50 cm weite Kluft; durch diese ging es weitere 5 m hinab, dann folgte eine kesselartige Erweiterung mit einem Gang in östlicher Richtung, etwa 4 m lang, oberwärts mit kaminartigen Klüften, in denen sich Tropfsteine zeigten. Das Ganze wurde dann wieder zugeschüttet und eingeebnet."

[1]) Katzer: Karst u. Karsthydrogr. S. 27 (loc. c. S. 72).

für Korrosionsdolinen aber auf Lage in einer Zerklüftungszone oder langer Spalte.[1])

Da meine lokale Kenntnis von Karstgebieten sich leider nur auf einen Teil der Ardennen beschränkt, wo Dolinen außerdem nur spärlich vorkommen, hat das Studium der obengenannten Theorien mich zu der folgenden Annahme über die Ursachen der Dolinenbildung geführt: Die ungeheure Menge allgemein verbreiteter Dolinen, wie im Westbosnischen Karst, sind der Korrosion zuzuschreiben; denn ein ähnliches Regelmaß wäre bei Bildung durch Einsturz nicht zu erwarten. Das besagt aber nicht, daß die Einsturztheorie gänzlich zurückgewiesen werden darf; denn für Gebiete, wo Dolinen mehr spärlich auftreten, scheint mir der Knebelsche Standpunkt richtig zu sein, daß nämlich die Dolinenbildung entweder der Korrosion oder dem Einsturz oder der Gesamtarbeit beider Agentien zuzuschreiben ist. In jedem Spezialfall ist zu untersuchen, welche Ursache vorliegt, und wenn eine Entscheidung überhaupt unmöglich ist, muß die Frage eben unbeantwortet bleiben.

Die Diaklase, Spalten und Klüfte (bisweilen auch die Schichtfugen), welche für stark gefaltete Kalkschichten so charakteristisch sind, bilden den Ausgangspunkt jeglicher Höhlenbildung. Das atmosphärische, Kohlensäure enthaltende Wasser fällt auf den Kalk, dringt zusammen mit der Regenspülung als Sickerwasser in die Spalten und Klüfte und erweitert diese durch chemische Erosion. In einem späteren Stadium setzt auch die mechanische Erosion des Sickerwassers ein, besonders nach Regengüssen und Schneeschmelze, während auch das Grundwasser, speziell beim Ansteigen, seine erodierende und korrodierende Wirkung ausübt. In analoger Weise entstehen im Kalke in den Flußbetten die Aiguigeois[2]) (Flußschwinden), durch welche die Flüsse bei niedrigem Grundwasserstand einen Teil ihres Wassers an das Grundwasser abgeben.

Korrosionsdolinen. Zu den echten Dolinen rechne ich an erster Stelle die Dolinen, welche durch subaërische, chemische

---

[1]) Vgl. W. Gümbel: Geognostische Beschreibung der fränkischen Alb. Kassel 1891.

[2]) In der belgischen Literatur wird das Wort „Aiguigeois" auch gebraucht, um eine Einsenkung im Kalke, also auch Dolinen, anzudeuten.

Erosion entstanden sind, also die Korrosionsdolinen. Die Spalte, welche für die nächste Umgebung als Absorptionspunkt des Regen- und Oberflächenwassers fungiert, erleidet den ersten Angriff der chemischen Erosion, während von hier aus die Zersetzung der Gesteine durch Korrosion und später durch mechanische Erosion sich weiter verbreitet. Die Lage der Spalte (oder Spalten) ist maßgebend für die Form der sich bildenden Doline. Wenn die Korrosion sich gleichmäßig nach allen Seiten ausbreitet, wird eine kreisförmige Doline entstehen; während zwei oder mehrere in einer Reihe gelegene Spalten eine elliptische Doline bedingen. Manche Dolinen werden an einer Seite von einer mehr oder weniger steilen Felswand begrenzt, an deren Fuß öfters Absorptionspunkte zu erkennen sind. Diese Abweichung vom normalen Profil erklärt sich gewöhnlich durch die Situation: den Abdachungsverhältnissen oder anderen lokalen Ursachen zufolge[1]) sind die Schlundfugen hier nicht allseitig in gleichem Maße von Oberflächenwasser gespeist worden, und so kam es hier zu ungleichmäßig wirkender Korrosion und mechanischer Erosion. In solchen Fällen wird die letztere eine größere Rolle spielen als sonst.

Einsturzdolinen. Meines Dafürhaltens können auch die Einsturzdolinen, obwohl sie nicht so verbreitet sind wie die Korrosionsdolinen, zu den echten Dolinen gerechnet werden.

Dolinen, die als Korrosionsdolinen angelegt waren, ihre hauptsächliche Ausgestaltung aber durch mechanische Flußerosion erhalten haben. Ein neuer Faktor im Prozeß der Dolinenbildung tritt auf, wenn das Wasser eines oberirdischen Flusses sich in die Doline stürzt; alsdann entstehen unechte Dolinen, deren Bildung nur im Anfang oder in einem späteren Stadium derjenigen der Korrosionsdolinen ähnlich ist, meistens aber werden diese Gebilde besser als Schlundlöcher (aiguigeois) bezeichnet. Diese Aiguigeois können als „Talwegponore“[2]) (aiguigeois de fond) auftreten; wenn der Fluß aber sein Bett lokalisiert und tiefer einschneidend

---

[1]) Die ungleiche Böschung kann z. B. verursacht sein durch ungleiche Verwitterung (gegen die Sonne steile, gegen Norden flache Böschung).

[2]) Gavazzi bezeichnet diese als Sohlenponore (A. Gavazzi: Die Seen des Karstes I. Abh. k. k. Geogr. Ges. Wien, V. Bd. 1903/4).

verengt, so werden sie in einem späteren Stadium des Flußlebens zu „Plateauponoren“ (aiguigeois de plateaux). (Vgl. Fig. 26.)

Einige Aiguigeois, die heute noch einen Plateaubach aufschlucken, müssen allerdings als unechte Plateauponore betrachtet und in Wirklichkeit zu den echten Dolinen (Korrosions- oder Einsturzdolinen) gerechnet werden; sie sind nicht durch die Wirkung eines schon bestehenden Baches primär entstanden, sondern umgekehrt: eine z. B. durch Korrosion entstandene Doline, die für das Spülungswasser eine lokale Erosionsbasis darstellte, hat dadurch, daß das hereinstürzende, lokalisierte Regenwasser sich rückwärts einschneidend eine Rinne geschaffen hat, das Aussehen einer Flußschwinde erhalten. (Bei dem Trou de la Laide Fosse (vgl. S. 130) werden wir einen solchen Bach erwähnen, der noch im ersten Stadium seiner Entwicklung ist.) Eine derartige Doline würde man eine „aufgesuchte Doline“ nennen können. Die echten Plateauponore stehen meist in Verbindung mit Höhlen; wenn die Verbindungsröhren so breit sind, daß sie dem Tageslicht Zutritt in die Höhle geben, nennt man sie Lichtlöcher (light-holes). — Eine andere Art Schlundlöcher, die „Gehängeponore“ (aiguigeois de rive), finden sich in geringerer oder größerer Höhe an den Talgehängen; auch diese Aiguigeois sind durch die korrosive und erosive Wirksamkeit des Flußwassers gebildet worden. Der Fluß traf auf eine Spalte in der Felswand, verlor dadurch Wasser ans Grundwasser und vergrößerte diese Spalte zu einem Aiguigeois. Beim Tiefereinschneiden des Flusses kommen diese Gehängeponore in größerer Höhe über der Talsohle zu liegen, und in einem späteren Stadium findet man sie als aufgehängte Löcher (trous suspendus) hoch über dem Flußniveau. — Wie oben schon betont wurde, ist die Bildung der Aiguigeois völlig verschieden von der der Dolinen. Cvyić[1]) aber rechnet die verlassenen Ponore unter die Dolinen. Zwischen den verlassenen Ponoren und den Talwegponoren besteht aber nur ein chronologischer, nicht ein genetischer Unterschied, und deshalb rechnete ich alle Aiguigeois, auch die jetzigen Flußschwinden, zu den unechten Dolinen. Außerdem schien es mir erwünscht, alle dolinenartigen Gebilde unter einem allgemeinen Namen zusammenzufassen,

[1]) J. Cvyić: Das Karstphänomen S. 62 (l. c. S. 72).

weil öfters beim ersten Anblick die Schlundlöcher den Dolinen sehr ähneln, und es in Einzelfällen schwer zu entscheiden ist, welchem Typus eine solche Form angehört (vgl. z. B. das Trou Sinsin S. 132). In den folgenden Paragraphen werden Beispiele der verschiedenen Dolinentypen erwähnt werden.

§ 28.

Die Dolinen der Umgebung von Rochefort und Han-sur-Lesse.

Wie schon betont wurde, liegen die Höhlen von Rochefort unter der älteren Mittelterrasse des „Plateau de Beauregard“ (vgl. Fig. 14) am linken Lommeufer oberhalb von Rochefort. In diesem „Plateau“ in der Umgebung der „Chapelle de Lorette“ befinden sich in 235 bis 225 m Höhe die vier Trichter, welche mit den Höhlen in Verbindung stehen. Drei von diesen: die „Sortie de la Salle du Sabbat“ (der heutige Ausgang für die Höhlenbesucher), das „Trou de Marie Sac-Attrape“ (der frühere Ausgang) und die „Entrée principale“, welche in die „Salle du Val d'Enfer“ mündet und so den Eintritt in die Höhle gestattet, stehen in offener Verbindung mit den Höhlen und sind auch durch Treppen zugänglich gemacht. Es sind schiefe, beinahe senkrechte Gänge, die in ihren schroffen Felswänden den Charakter von echten Flußschwinden tragen. Der höchste Teil von „La Sortie“ soll aber der Bequemlichkeit wegen erweitert worden sein; während auch der in die dortige Topographie nicht passende Fußpfad, der in der Doline der „Entrée principale“ zu dem eigentlichen Höhleneingang führt, von Menschenhänden gegraben worden ist. — Das vierte Aiguigeois, das „Trou Lorette“, trägt mehr den echten Dolinencharakter; es ist viel größer als die drei obengenannten und wird an der Südostseite von einer steilen Felswand begrenzt (vgl. Fig. 24); im übrigen ist die Böschung der Wände ziemlich sanft, besonders an der Nordwestseite. Hier steigt die Wand unter einem Winkel von $\pm 45^0$ hinauf, sie geht dann in eine fast horizontale Terrasse über, welche schließlich wieder von einer sanft geneigten Wand überragt wird. Der Entstehung der benachbarten Dolinen gemäß

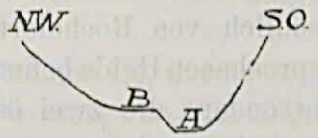


Fig. 24. Schematischer Durchschnitt durch das „Trou Lorette“.

könnte auch hier ein Plateauponor den Ausgangspunkt gebildet haben, obgleich für die spätere Ausgestaltung die Korrosion maßgebend gewesen sein muß. Nach v. d. Broeck muß am Fuße der Steilwand, wo jetzt Felstrümmer sich befinden, ursprünglich eine Verbindung mit der „Salle du Val d'Enfer" bestanden haben. Die Einsenkung A (vgl. Fig. 24) in der Terrasse B ist vielleicht einem ohne Datumangabe in den „Nouv. Mém. de l'Acad. Roy. de Brux. 1822" zitierten Einsturz zuzuschreiben. Den Beweis für die Richtigkeit dieser Annahme erblickt v. d. Broeck in den Felstrümmern des „Val d'Enfer".

In der nördlichen Abdachung des „Plateau de Beauregard" zur Lomme befinden sich zwei Gehängeponore, beide durch einen Deich gegen das Lommewasser geschützt. Das östlichere, „Le Pré-au-Tonneau", ist eine große Öffnung in der Felswand, die den Eingang zu der kleinen „Grotte du Pré-au-Tonneau" bildet. v. d. Broeck gibt an, daß das höchste Stockwerk dieser Höhle bis an das „Plateau de Beauregard" heranreicht, und so könnte dieser Höhlengang den „Stiel" eines Plateauponors darstellen. Stromabwärts sehen wir den zweiten Gehängeponor, das schon öfters erwähnte „Trou du Nou-Moulin"; über diesem befindet sich eine zweite Flußschwinde, ungefähr 25 m über dem heutigen Flußniveau, welche also einem früheren Stadium des Taleinschnittes als der untere Ponor angehören muß.

La Montagne du Thier des Falises (im Kalkband südlich von Rochefort). Östlich der gleichnamigen, schon besprochenen Höhle befinden sich drei Dolinen (vgl. Fig. 25), von denen besonders die zwei östlichen große Dimensionen besitzen. Die östlichste wird an der Ostseite von einer hohen, schroffen Felswand begrenzt, besitzt aber im übrigen, wie auch die beiden westlichen, durch dammähnliche Aufwölbungen voneinander getrennten Dolinen, mäßig geböschte Wände. D-D im obigen Profil stellt den parallel der Landstraße Rochefort—Han s. Lesse verlaufenden Kanal dar, durch welchen sich (nach v. d. Broeck) das Wasser, das bisweilen aus den Felstrümmern bei A hervortritt, in die Höhle ergießt. Bei Niederwasser liegt dieser Kanal trocken. Die Öffnung der Höhle ist nach Süden gerichtet; das Schichtstreichen ist hier N 80° O, während der Schichtfall ungefähr 45° nach N beträgt. Ein geneigter Gang, der allmählich nied-

riger wird, führt in die ziemlich hohe Höhle, an deren Westseite sich der auf S. 107 erwähnte See befindet. Der Gang in der Südost-Ecke der Höhle war im August 1913 so sehr mit Höhlenlehm gefüllt, das ein Weitervordringen unmöglich war; auch in der Höhle selbst sank man einige dm in den Lehm hinein. Einige Zeit vorher war auch jener Gang zugänglich, und man erzählte mir, daß, wenn man daselbst etwas laut sprach, die Stimmen oben im Walde gehört wurden; ein Beweis, wie sehr diese Gegend von Höhlen und Gängen untergraben ist.

Die Lage des Höhleneinganges läßt die Auffassung, daß dieser Höhlengang früher Gehängeponor der Lomme war, nicht aufkommen, obgleich die Bildung dieser Höhle mit der Nach-

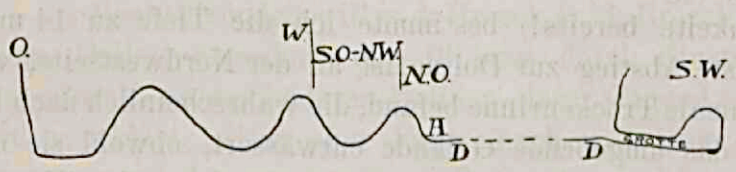


Fig. 25. Schematisches Profil durch die Dolinen und die Grotte des „Thier des Falises".

barschaft der Lomme in engem Zusammenhang stehen wird. Auch hat die Lomme, welche hier im Givetienkalk fließt, hier durch Schlundlöcher das Grundwasser gespeist, bis vor kurzem durch das Betonieren ihres dortigen Bettes der Wasserverlust aufgehört hat.

Die Anlage der drei obengenannten Dolinen ist, meiner Meinung nach, in erster Linie durch die Verwerfung, welche in der unmittelbaren Nähe dieser Dolinen oder sogar über sie hinweg vom „Croix St. Jean" bis an das andere Lommeufer verläuft, bestimmt worden (vgl. Tafel III). Denn durch die infolge der Verwerfung bestehende Lockerung des Gesteines wurden hier der Erosion des spülenden Wassers gute Angriffspunkte geboten. So erklärt sich die dicht aneinander gedrängte Lage und reihenförmige Anordnung der Dolinen, für welche eine nachträgliche Vergrößerung durch Einsturz nicht ausgeschlossen scheint; die Nachbarschaft der Lomme aber wird auf die Entstehung der Dolinen keinen Einfluß gehabt haben. Vielleicht ist das Talstück D-D durch Zusammenbruch eines Höhlenganges entstanden.

Le Trou de la laide Fosse. Diese Doline liegt an der Westseite der Landstraße Han-sur-Lesse—Hamerenne in ± 270 m Meereshöhe auf der Grenze der Couvinienschiefer und des Givetienkalkbandes, in welchem sich die Dolinen des „Thier des Falises" befinden. Auf der belgischen, topographischen Karte (1:20000) ist diese Doline angedeutet, irgendeine Beschreibung habe ich nicht gefunden. Sie ist, wie überhaupt die meisten Dolinen und Trockentäler dieser Gegend, stark bewachsen und liegt in einem nach dem Lessetal (Chavée) zu sanft geneigten Gelände, dessen Begrenzungslinie in 245 m den Rand der Hauptterrasse bildet. Die nächste Umgebung der Doline, welche eine nahezu kreisförmige Begrenzung von ± 100 m Länge hat, zeigt nicht die geringste Spur einer nach der Doline zu gerichteten Einsenkung („golfe"). Durch eine sehr rohe barometrische Messung (es dunkelte bereits!) bestimmte ich die Tiefe zu 14 m. Der bequemste Abstieg zur Doline ist an der Nordwestseite, wo sich eine schmale Trockenrinne befand, die wahrscheinlich nach Regengüssen das umgebende Gelände entwässert, obwohl sie nur bis an den Rand der Doline reicht. Die Böschung der Wände (und gleichfalls des Trockentälchens) ist steil, besonders an der Südseite, wo sich eine fast senkrechte Felswand erhebt, an deren Fuß früher ein zu Höhlen führender Eingang gewesen sein soll.[1]) Zur Zeit ist dieser Eingang, welcher das durch das Tälchen eventuell anzuführende Wasser in die Tiefe befördert, von Sand und Felstrümmern versperrt. Es scheint mir nicht möglich, diese Doline als alten Talwegponor der Lesse zu erklären, da sie ungefähr 20 m über der Hauptterrasse, in ziemlich großer Entfernung der Lesse gelegen ist. Ebensowenig kann sie dieser Lage nach einen früheren Gehängeponor darstellen, weil in diesem Falle auch die steile Felswand, an deren Fuß sich die Absorptionspunkte befinden, an der nördlichen, also der von der Lesse entfernteren Seite liegen müßte. Das „Trou de la laide Fosse", dessen Form ungeachtet der Steilheit der Wände jener des Trou

[1]) Man erzählte mir: einer der ältesten Bewohner dieser Gegend sei hier in Höhlen, welche seiner Angabe nach sich mehrere hundert Meter weit erstreckten, bis in die Nähe von Han vorgedrungen. Es sollen sich hier sogar beträchtliche Hohlräume befinden, welche aus Furcht vor Konkurrenzunternehmungen noch nicht weiter untersucht sein sollen.

Lorette sehr ähnlich ist, stellt vielleicht eine Zersetzungsdoline dar, obwohl auch hier nicht zu entscheiden ist, ob eine nachträgliche Vergrößerung durch Einsturz eingetreten ist: Die Lage der senkrechten Felswand an der Südseite ist durch die nördsüdliche Abdachung des Terrains bedingt, weil dadurch die stärkste Wirkung der Erosion und Korrosion an der Nordseite stattgefunden hat. So ist auch gerade an der Nordseite das Tälchen eingeschnitten worden, und die Doline befindet sich im ersten Stadium der Entwicklung einer „aufgesuchten Doline".

Wenn wir uns nun der Betrachtung des Bois de Boine, in welchem sich die Höhlen von Han befinden, zuwenden, so treffen wir am Süd- und Ostabhang desselben drei Dolinen an.[1]) An der Ostseite liegt das „Trou Madame" (in 238 m Meereshöhe), das eine sehr regelmäßige Form und sanft geneigte Wände besitzt; aus diesen Gründen will v. d. Broeck (v. d. Broeck, p. 113) für diese Doline ausnahmsweise Bildung durch Einsturz annehmen, obwohl er die anderen Dolinen dieser Gegend als Flußschwinden erklärt. Hier aber kann (nach v. d. Broeck) diese Erklärung wegen des regelmäßigen Baues der Doline und des Fehlens jeder Zugangsniederung (Talweg d'accès) in der nächsten Umgebung nicht zutreffen. Dieser letzte Beweisgrund scheint mir nicht ausschlaggebend, denn die letzte Bedingung ist auch bei den Plateauponoren von Beauregard nicht erfüllt und wird auch im allgemeinen nicht erfüllt sein, wenn die Dolinen in einem früheren Stadium Talwegponore waren. v. d. Broeck glaubt, daß das Trou Madame mit einem Raum der Höhlen von Han, „la Salle d'Antiparos", in Verbindung stehe, wofür er als Beweise die Felstrümmer, den versperrten Kamin und die um einen Grad (9°.5 C. anstatt 8°.5 C.) höhere Lufttemperatur in der obersten Partie dieser Salle anführt. Die Doline selbst erklärt er als eine durch die korrodierende Wirkung des Sickerwassers erweiterte Spalte, welche später durch Einstürze die heutige Form erhalten hat. Über den Anteil, der diesem letzten Bildungsfaktor an dem Entstehen der Doline zukommt, habe ich

[1]) Die Höhenangaben für diese Dolinen habe ich dem v. d. Broeckschen Werke entnommen; denn meine eigenen diesbezüglichen Messungen sind wertlos, da eines kleinen Defektes wegen mein selbstregistrierendes Barometer in meiner Abwesenheit nicht gearbeitet hatte.

kein Urteil. Immerhin besteht die Möglichkeit, die Doline als eine Korrosionsdoline, welche sich an der Oberfläche fortgebildet hat, während in einem tieferen Niveau das Lessewasser und das Grundwasser die Höhlen unter ihr ausbildeten, zu erklären.

Trou Sinsin.[1]) Am Südabhang des Bois de Boine befindet sich in 230 m das Trou Sinsin, eine sehr große Doppeldoline. Die östlichste Wand erhebt sich schroff, und hier ist der einzige Punkt des Trous, wo der nackte Fels an die Oberfläche tritt, und wo ein paar kleine Öffnungen vorkommen. v. d. Broeck erklärt diese Doline als „une capture du niveau supérieur", also eine alte Flußschwinde, und die Einmuldung des Geländes, die sich vor der Doline befindet, als wahrscheinlichen Rest des Talwegs, welcher das Flußwasser in die Doline führte. Auf der Karte zeigen die Höhenlinien eine derartige Einbiegung; in der Natur aber wird dieser Eindruck nicht geweckt, und ich glaube also nicht, daß das Trou Sinsin je als Flußschwinde fungiert hat. Wenn v. d. Broecks Annahme richtig wäre, so würden zwei Bildungsmöglichkeiten vorliegen: das Trou Sinsin könnte entweder ein Talwegponor oder ein Gehängeponor gewesen sein. Ich glaube, aus der Erwähnung einer Einmuldung schließen zu müssen, daß v. d. Broeck das Trou Sinsin als einen Gehängeponor auffaßt; Gehängeponore öffnen sich aber direkt gegen das Tal zu (Gouffre de Belvaux, Trou Picot, Trou des Nutons bei Furfooz usw.), was hier nicht zutrifft; die westlichste der beiden Dolinen besitzt sogar ringsum sanft geneigte, regelmäßige Wände. — Gegen eine Entstehung als Talwegponor scheint ihre enorme Größe zu sprechen; diese könnte allerdings durch nachträgliche Korrosionswirkung zu erklären sein. Ein anderer Umstand scheint mir aber einer derartigen Erklärung zu widersprechen. Die Doppeldoline müßte alsdann auf einer Lesseterrasse liegen (ebenso wie die drei Aiguigeois der Lomme). Es scheint, daß eine Terrasse dort nicht vorhanden ist, und nur um eine Hypothese zu stützen, sollte man nicht, wie v. d. Broeck tut, an einer bestimmten Stelle, wo keine

[1]) Auf der belgischen, topographischen Karte (1:20,000 feuille 59, pl. 2, 1908) fehlt die Einzeichnung der Dolinen des Bois de Boine, obwohl z. B. das Trou Sinsin mehr als 100 m Durchmesser besitzt.

Zeugen einer Terrasse sichtbar sind, einen alten Flußlauf rekonstruieren wollen. Meines Erachtens scheint sogar die Topographie hier gegen die Annahme eines alten Talwegponors zu sprechen. — Ich möchte also das Trou Sinsin als echte Korrosionsdoline erklären.

Trou Picot. Gleichfalls am Südabhang des Bois de Boine, südöstlich des Trou Sinsin, in 235 m Höhe liegt das Trou Picot, welches ein ganz anderes Aussehen als die beiden zuvorgenannten Dolinen aufweist. Als tiefer Einschnitt (v. d. Broeck gibt eine Tiefe von 30 m an) liegt es an der Talwand, und man kann es sowohl durch seine Lage wie durch seine Form sogleich als einen alten Gehängeponor erkennen. Über die Gesteinstrümmer hin kann man eine kleine Strecke in den Ponor hinuntersteigen, und die sich in der Tiefe verengende Schlucht legt Zeugnis davon ab, daß die mechanische Erosion des Flußwassers hier wirksam gewesen ist. Wahrscheinlich wird die Schlucht mit unbekannten Teilen der Höhlen in Verbindung stehen und kann also zum Teil verglichen werden mit den drei Aiguigeois der Höhle von Rochefort. Nur sind die letzteren alte Talwegponore, während das Trou Picot einen alten Gehängeponor darstellt.

Im Lessetal stromabwärts des „Gouffre de Belvaux" befinden sich noch zwei alte Gehängeponore: das „Trou d'Enfaule" und das „Trou du Salpêtre", deren im nächsten Kapitel Erwähnung getan werden soll.

Zwischen dem „Gouffre de Belvaux" und dem „Trou d'Enfaule" habe ich eine kleine Randdoline sehr rezenter Bildung untersucht, für welche ich die Entstehung durch Einsturz bedingungslos annehme. Sie befindet sich etwas nördlich vom „Gouffre de Belvaux" $\pm$ 9 m über dem Boden der Chavée am linken Talabhang und hat einen Durchmesser von 1 bis 2 m. In 1912 ist diese Doline plötzlich entstanden. Das Aufsteigen von Zigarrenrauch aus der Seitenhöhle des „Gouffre de Belvaux" (in welchem sich die zwei höher gelegenen Flußschwinden befinden) hat bewiesen, daß diese Doline mit jener Höhle in direkter Verbindung steht; das Loch war damals einige Meter tief. Als ich diese Doline einige Monate später besuchte, war sie in eine kreisförmige Doline mit sanft geneigten Wänden und geringerer Tiefe verwandelt worden. Da die Böschung der Talwände dort ziemlich stark ist, hatten wahrscheinlich die Regen im Winter und im

Frühjahr das Loch zum Teil wieder mit abgespültem Material zugeschüttet.

Ein paar Dolinen im „Fond des Veaux“ (Gerny) werden später im Zusammenhang mit diesem Tale erwähnt werden, während ich auf die v. d. Broecksche Auffassung über Dolinenbildung wie über seine Höhlenbildungstheorie im nächsten Kapitel eingehen möchte.

§ 29.

Einteilung der Dolinen.

Aus einer Bemerkung von Knebels[1]) über die Cvyićsche[2]) Einteilung der Dolinen, würde man schließen können, daß Cvyić nur eine morphologische Einteilung gegeben hat. Neben der morphologischen hat Cvyić aber die Dolinen auch genetisch eingeteilt und weist selber darauf hin, daß morphologische und genetische Typen sich nicht decken.

v. Knebel teilt die Dolinen ein in: 1. Dolinen, welche dem Wasser nur mittelbar ihre Entstehung verdanken (Einsturzdolinen), 2. Dolinen, welche unmittelbar vom Wasser gebildet sind. Obgleich ich mich, was die Genesis der Dolinen anlangt, im großen und ganzen auf den v. Knebelschen Standpunkt stelle, scheint mir doch die zweite Rubrik allzu verschiedenartige Typen zusammenzufassen, und so möchte ich hier eine eigene Einteilung der Dolinen geben und einige Beispiele aus meinem Arbeitsgebiet hinzufügen.

A. Echte Dolinen.
   I. Korrosionsdolinen. (Die drei Dolinen des „Thier des Falises“, Trou Madame, Trou Sinsin.)
   II. Einsturzdolinen. (Randdoline nördlich vom Gouffre de Belvaux.)
   III. Korrosionsdolinen, welche durch nachträglichen Einsturz vergrößert worden sind.
   IV. Aufgesuchte Dolinen. (Trou de la Laide Fosse.)

B. Unechte Dolinen. (Schlundlöcher.)
   I. Talwegponore. (Die Flußschwinden im Bett der Lomme oberhalb und unterhalb Rochefort und in der Chavée.)
      Diese werden in einem späteren Stadium des Flußlebens:

[1]) W. v. Knebel: Höhlenkunde, S. 142 (loc. c. S. 72).
[2]) J. Cvyić: Das Karstphänomen, S. 61 (loc. c. S. 72).

II. Plateauponore. (Sortie de la Salle du Sabbat, Trou de Marie Sac-Attrape, Entrée principale de la Grotte de Rochefort).

III. Gehängeponore:

a) im Niveau der Talsohle. (Unteres „Trou du Nou-Moulin", Gouffre de Belvaux, Chantoir des Nutons).

b) Hoch über dem Niveau der Talsohle. (Oberes „Trou du Nou-Moulin, Trou Picot, Trou d'Enfaule, Trou du Salpêtre, die zwei Löcher über dem jetzt funktionierenden Ponor des „Gouffre de Belvaux", Entrée de la Grotte d'Éprave.)

Wie wir im vorigen Paragraphen bereits sahen, kann eine genetische Einteilung immerhin nur sehr mangelhaft sein, da in der Natur meist Kombinationen der verschiedenen Typen auftreten. So entspricht das „Trou de la Laide Fosse", das ich als „aufgesuchte Doline" bezeichnet habe, einem Typus, der genetisch den echten Dolinen und morphologisch den unechten Dolinen anzugehören scheint.

Fünftes Kapitel.

Die Genesis der Höhlen von Rochefort und Han-sur-Lesse.

§ 30.

Höhlenbildung im allgemeinen.

Der auf S. 124 angedeutete Prozeß der Dolinenbildung durch Korrosion und mechanische Erosion der spülenden Gewässer verläuft im Anfang parallel mit der Bildungsweise der vertikalen Höhlengänge, deren weitere Ausbildung aber hauptsächlich durch den indirekten Einfluß des Grundwassers bedingt wird, indem dieses die Fortschaffung der Zersetzungsprodukte erleichtert und eine Art dränierender Wirkung ausübt. Wenn aber die vertikale Erweiterung der Spalten durch das schnelle Einschneiden des die Höhe des Grundwasserspiegels bedingenden Flusses oder durch andere lokale Umstände mit der Tieferlegung des Grundwasserspiegels keinen gleichen Schritt halten kann, wandelt die vertikale Entwicklung sich in eine mehr oberirdische, horizontale um, und so entsteht die Oberflächenform der Doline.

Für die Höhlenbildung ist die Strömungsgeschwindigkeit des Grundwassers maßgebend, diese aber wird durch das An-

schwellen der Wassermenge infolge der Zuführung von Flußwasser beträchtlich gesteigert, und größere Höhlen werden also nur in der Nähe von Flüssen vorkommen und besonders da, wo das Flußwasser auch mechanische Erosion ausüben kann. So drängt sich die Frage auf, in welcher Weise der Fluß die Höhlenbildung beeinflußt.

Bei der Beantwortung dieser Frage hat v. d. Broeck (v. d. Broeck, p. 28) das Gesetz (mit dem ich völlig einverstanden bin, das ich aber nachher noch erweitern werde) aufgestellt: „Das Einschneiden der Täler und die Bildung der anstoßenden Höhlen laufen parallel und ohne daß der eine Prozeß einen wesentlichen Vorsprung vor dem anderen erreicht." (An einzelnen Stellen aber sprechen die v. d. Broeckschen Erklärungsversuche gegen diesen von ihm selbst aufgestellten Satz, so auf S. 118, wo er von den Höhlen von Han sagt: „es ist nicht unmöglich, daß die Anlage der im tiefsten Niveau gelegenen Galerien in einer weit zurückliegenden Zeit, etwa zu Beginn der Höhlenbildung, anzusetzen ist".) Einen einfachen Beweis für die Richtigkeit dieses Prinzips liefert die Tatsache, daß kein Punkt der Höhle,[1]) soweit bekannt, tiefer liegt als der Boden des Styx in 150,50 m (v. d. Broeck, p. 95) oder auf meine Höhenmarke bezogen 148 m. Die Tiefe des Flußbettes unterhalb des Staues beim Höhlenausgang liegt in ± 154,5 m; an einem anderen Punkte wird das Lessebett wahrscheinlich wieder eine andere Tiefe aufweisen; wenn aber 148 m wirklich die größte Tiefe der Aushöhlung darstellt, liegt diese also in 6,5 m unter dem Talboden des oberirdischen Flusses. Aber auch unter diesem Niveau wird selbstverständlich der Kalk durchklüftet und mit Grundwasser ausgefüllt sein.

Nennenswerte Höhlenbildung unter dem Niveau des Flußbettes halte ich also für ausgeschlossen, denn wenn die Höhlen sich unterhalb dieses Niveaus noch weiter entwickelt hätten, zu einer Zeit, die der Talbildung voraufging, dann müßte man in der so schön aufgeschlossenen Höhle von Han dieses Phänomen doch wahrnehmen können.

---

[1]) Bei der „Galerie des Petites Fontaines" habe ich die absolute Tiefe des Talbodens der unterirdischen Lesse auf 151,68 m bestimmt. (Wassertiefe am 25. August 1913: 3,76 m.)

Wenn man aber im Karst einen zusammenhängenden Grundwasserspiegel annimmt, so muß doch in einer gewissen Tiefe unter dem Grundwasserspiegel die Grundwasserströmung austönen; das Wasser wird also fast stagnieren und mit Kalk gesättigt sein, und infolgedessen wird die Wirkung der chemischen Erosion aufhören. Die Arbeit der mechanischen Erosion kann hier selbstverständlich ganz außer Betracht bleiben.

So wird die Höhe des Grundwasserspiegels oder in erster Anlage die dieselbe bedingende Tiefe des Flußbettes für die vertikale Höhlenbildung eine untere Grenze darstellen. Um den Entwicklungsgang einer Höhle zu erklären, muß man also erst die Art und Weise kennen, in welcher der den Grundwasserstand dieser Höhle regulierende Fluß sein Bett eingetieft hat. Dieser Gedanke war die Veranlassung zur Entstehung des ersten Teiles dieser Abhandlung. Als Ergebnis des ersten Teiles und der letzten Ausführungen möchte ich also folgendes Prinzip in den Vordergrund stellen:

Die Aufwölbung der Ardennen, welche die Lesse und ihre Seitenflüsse zum Einschneiden zwang, stellt die Hauptursache der vertikalen Ausbildung der Höhlen in der Umgebung von Rochefort und Han-sur-Lesse dar. Und das Tempo dieses Einschneidens bestimmte das Tempo der Höhlenentwicklung in der Vertikalen.

Außerdem spielen, wie aus den folgenden Seiten hervorleuchten wird, die Karsterscheinungen (Ponore usw.) in der nächsten Umgebung der Höhle, in deren Entwicklung eine große Rolle, und deshalb habe ich das vorige Kapitel den Dolinen gewidmet.

§ 31.

Die Höhlen von Rochefort.

Die früheste Entwicklung der zur Bildung dieser Höhle führenden Ponore muß in die Zeit, als der Grundwasserspiegel, also auch das Flußbett der Lomme in ungefähr 235 m Meereshöhe lag, und die Lomme also auf der älteren Mittelterrasse floß, angesetzt werden, denn in diesem Niveau liegen die Plateauponore des „Plateau de Beauregard“: „Entrée“ und „Sortie de la Grotte de Rochefort“ und das „Trou Marie-Sac-Attrape“. Ich

glaube, daß diese jetzigen Plateauponore Talwegponore der Lomme darstellten, als diese noch auf der Talsohle, deren Reste uns heute als ältere Mittelterrasse (vgl. Fig. 14) entgegentreten, floß. Auf dieser breiten Talsohle verlegte der mäandrierende Fluß immer sein Bett, und so wurden die genannten Ponore trockengelegt. (Vgl. Fig. 26.)

In gleichem Schritt mit dem Einschneiden der Lomme[1]) entwickelten sich auch die Ponore in vertikaler Richtung: wenn das Flußbett tiefergelegt wird, sinkt auch der Grundwasserspiegel. Allmählich werden die über diesem Niveau gelegenen Ponorhöhlengänge trockengelegt; die korrodierende und mechanisch-erodierende Tätigkeit des Grundwassers hört auf, während

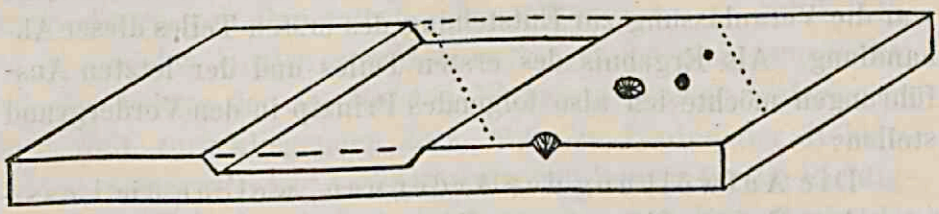


Fig. 26.
(Die punktierten Linien stellen die Begrenzung des alten Flußbettes dar.)

jene des spülenden Wassers um so stärker einsetzt und besonders in vertikaler Richtung wirkt. Auch werden nunmehr die Umstände für Vergrößerung der Höhlengänge durch Einsturz immer günstiger, denn hier in der Nähe des Flußbettes wird wohl die dränierende und verfrachtende Wirkung des Grundwassers infolge größeren Gefälles am stärksten sein; dadurch erklärt sich auch, warum die Nachbarschaft eines Flusses die Hauptbedingung für die Ausbildung größerer Höhlen bildet. Während im Vorgang des Einschneidens eine Ruhepause eintrat und die Lomme die Talsohle der Mittelterrasse aufhöhte, wurde auch die vertikale Ausbildung der betreffenden Höhlengänge nach unten gehemmt. Zwar erweiterten auch die vertikalen oder geneigten Gänge sich, aber die Höhlenbildung in horizontaler Richtung, also die Erweiterung der horizontal gestellten Klüfte und Spalten war das Hauptergebnis dieser Periode. Besonders

[1]) Die Ursachen für das Einschneiden und die Terrassenbildung der Lesse, Lomme usw. wurden im ersten Teil dieser Abhandlung eingehend besprochen.

wenn das Grundwasser ansteigt und die Gänge völlig ausfüllt, können unter dem Druck des Wassers Deckenpartien einstürzen, deren Trümmer aber allmählich durch das Grundwasser zum größten Teil wohl in Lösung fortgeschafft werden können. Während die Talsohle der Mittelterrasse aufgeschüttet wurde, haben sich in dieser Weise die „Salle du Sabbat", das „Palais de Bagdad" und das „Val d'Enfer" — wenigstens in den höheren Teilen — und außerdem einige der in ungefähr 30 m über dem heutigen Flußniveau gelegenen, annähernd horizontal gestellten Höhlengänge ausgebildet.

Als die Ruhepause in der Hebung zu Ende war und die Lomme ihr Tal wieder eintiefte, trat aufs neue vertikale Höhlenbildung ein, und die tiefer gelegenen, vertikalen Gänge bildeten sich aus. Während der Aufschüttung der Talsohle der Niederterrasse wurden die in deren Niveau liegenden Spalten in Höhlengänge umgewandelt, und wahrscheinlich befindet sich die Höhlenentwicklung auch jetzt noch in diesem Stadium. Natürlich wird auch das Wasser, das die Lomme im Sommer an die Talweg- und Gehängeponore verliert (z. B. an das „Pré-au-Tonneau" und das „Nou-Moulin"), bei der Höhlenbildung in ähnlicher Weise wie das Grundwasser mitbeteiligt gewesen sein.

Scharfumgrenzte Ganghorizonte weisen zwar die Höhlen von Rochefort nicht auf, doch meine ich, daß in dem oben angegebenen Entwicklungsgange das Bild der Talentwicklung sich im großen und ganzen widerspiegelt.

v. d. Broeck hat das Einschneiden des Flusses in bezug auf die Niveauhöhen der verschiedenen Ponore in fünf Phasen zerlegt. Was das obere Niveau anlangt, glaubt er, daß die damalige Lomme sich in die obere Höhle des „Pré-au-Tonneau" und in die vier Höhlengänge, die zu den Höhlen von Rochefort führen, ergossen[1]) hat (. . . s'est engloutie . . .); die anderen Phasen werden nach v. d. Broeck durch das Abstürzen des Wassers („engouffrement") in die oberen und unteren Ponore des „Nou-Moulin" und des „Pré-au-Tonneau" charakterisiert. — Auf diese

[1]) Ich nehme, wie ich hier nochmals scharf betonen will, nicht an, daß jemals die Lomme völlig von einem dieser Aiguigeois verschluckt worden ist, wohl aber kann die Lomme Wasser an die damals als Talwegponore fungierenden Aiguigeois verloren haben.

v. d. Broecksche Einteilung in Phasen werde ich im folgenden Paragraphen näher eingehen.

In bezug auf die Höhlenbildung sagt v. d. Broeck (v. d. Broeck, p. 30): „Die Plateauponore sind im allgemeinen keine Einstürze, die von unten nach oben fortgeschritten sind, und die durch die nach der Höhlenbildung auftretende Wirkung der unterirdischen Flüsse und durch Deckeneinstürze verursacht wurden, sondern sie stellen in den meisten Fällen Absorptionspunkte, welche ursprünglich von oben nach unten gegraben wurden, oder die als Ausgangspunkte der Höhlenbildung fungiert haben, dar. Nur unter sehr speziellen Verhältnissen werden sie nachträglich durch von unten nach oben fortschreitende Einstürze vergrößert worden sein." Wie aus meiner in den vorigen Seiten gegebenen Auseinandersetzung folgt, ist auch meine Theorie in Zusammenklang mit der v. d. Broeckschen; nur scheint mir die von v. d. Broeck gemachte praktische Anwendung derselben irrig zu sein. Einer Auffassung der Plateauponore als Absorptionspunkte des spülenden Wassers stimme ich gern bei; in jedem Spezialfall muß dann untersucht werden, ob der betreffende Ponor in einem älteren Stadium Talweg- oder Gehängeponor war. v. d. Broeck scheint aber anderer Meinung zu sein, da er öfters das Wort „engouffrement" und gleichwertige Ausdrücke gebraucht, wie: „capture de la Lomme, la Lomme d'alors s'est engloutie, elle s'est complètement engloutie dans ce porche (d. h. du Pré-au-Tonneau), p. 115: un orifice d'ancienne capture aveuglé, une antique entrée de la Lesse". Hieraus ist wohl der Schluß erlaubt, daß v. d. Broeck annimmt: der ganze Fluß sei von diesen Ponoren verschluckt worden, so wie die Lesse von dem Gouffre de Belvaux; denn auch als Kennzeichnung der vierten Phase gibt er, ohne sich auf den Standpunkt der Grundwassertheorie zu stellen, an: „das allmähliche Verlassen der Höhlengänge". Wenn aber die Lomme einmal völlig von einem derartigen Ponor verschluckt worden wäre, in welcher Weise ist es dann zu erklären, daß sie jetzt wieder oberirdisch strömt? Denn Talbildung durch Deckeneinsturz eines unterirdischen Kanals kann hier nicht vorliegen.

An einem anderen Orte (v. d. Broeck, p. 33) werden die Dolinen des „Plateau de Beauregard" von v. d. Broeck als Talwegponore der Lomme „im oberen Niveau der Lomme" aufgefaßt;

wie bereits betont, bin auch ich dieser Meinung. Als die Lomme auf der Talsohle der heutigen, älteren Mittelterrasse in 235 m Meereshöhe floß, herrschten dort ähnliche Verhältnisse, wie sie noch vor einigen Jahren, ehe das Lommebett betoniert war, oberhalb Rochefort im Lommebett anzutreffen waren: Bei Niederwasser trocknete das Flußbett aus, denn die Talwegponore, welche die Verbindung zwischen dem oberirdischen Flußwasser und dem Grundwasser vermittelten, führten das Flußwasser dem Grundwasser zu. Bei Hochwasser aber wurden diese Ponore außer Wirkung gestellt, da durch den erhöhten Grundwasserstand alle Ponore mit Wasser ausgefüllt waren und überhaupt von einer ansaugenden Wirkung der Ponore nicht mehr die Rede sein konnte. Als nun aber die Erosion wieder neu belebt wurde, und die Lomme ihr Bett lokalisierte, also anfing in der breiten Talsohle der älteren Mittelterrasse eine Rinne einzugraben, wurde die Talsohle zur Terrasse (das „Plateau de Beauregard"), und die seitlich der Rinne sich befindenden Talwegponore wurden trockengelegt. Das gleiche wird stattgehabt haben, als die in Mäandern strömende Lomme ihr Bett verlegte (wie in Fig. 26 angedeutet wurde). Nunmehr werden die Ponore allein das spülende Wasser an sich gezogen haben, während in ihren unteren Partien das Grundwasser noch seine erodierende Tätigkeit ausüben konnte. Die Erweiterung der Ponorgänge in größerer Tiefe darf nicht der Einwirkung des Flußwassers, wohl aber des spülenden Wassers und des Grundwassers zugeschrieben werden. Mitunter wird das an den stromaufwärts gelegenen Gehängeponoren (Petit Nou-Moulin usw.) verloren gegangene Flußwasser, besonders bei der Aushöhlung der horizontalen Gänge, eine Rolle gespielt haben.

Wie auch v. d. Broeck bemerkte, besitzen alle horizontalen Gänge die Zeichen kräftiger Erosion, welche durch die von der Nähe der Lomme bedingte, schnellere Grundwasserströmung zu erklären sind.

§ 32

Die Höhlen von Han-sur-Lesse.

(Vgl. hierzu Fig. 27.)

Wie in § 16 erörtert wurde, stürzt sich die Lesse, nachdem sie nördlich von Belvaux eine kleine Strecke im Kalk zurückgelegt hat, in 159 m Meereshöhe in den „Gouffre de Belvaux",

um erst beim „Trou de Han“, wo die Frasnienschiefer den Kalk berühren, wieder ans Tageslicht zu treten. Ihr totes Tal (la Chavée 170—160 m) schlingt sich um das Kalkmassiv des „Bois de Boine“ hin, und gerade dieser fast kreisförmige Mäander stellte die Hauptbedingung für das Aufschlucken der Lesse dar, denn indem die Lesse durch ihren Übergang in das Grundwasser diese Bucht unterirdisch abschnitt, folgte sie der Richtung des größten Gefälles. Stromabwärts des „Gouffre de Belvaux“ befindet sich am linken Lommeufer zuerst das „Trou d'Enfaule“ (163 m), das bis 1857 den Ausgang für die Höhlenbesucher bildete, und weiter das „Trou du Salpêtre“ (175 m), der heutige Eingang der Höhlen.

Bei dem Versuch, die Entwicklung dieser Höhlen[1]) in Zusammenhang mit der Terrassenbildung der Lesse zu bringen, ergeben sich weit größere Schwierigkeiten als bei den Höhlen von Rochefort. Auch für die Lesse wird der Anfang ihrer Höhlenbildung in die Zeit angesetzt werden müssen, als der Fluß auf der Talsohle der älteren Mittelterrasse, in ungefähr 230 m Meereshöhe strömte. Das Trou Picot (230 m) stellte damals einen Gehängeponor dar. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß das Trou Picot mit uns unbekannten Höhlenräumen unter dem südlichen Teil des „Bois de Boine“ in Verbindung steht. v. d. Broeck meint, daß die obersten Aiguigeois wie das Trou Picot und das Trou Sinsin in den „Grand Dôme“ einmünden. Diese Auffassung halte ich für unrichtig; in gewissem Sinne kommunizieren zwar alle Klüfte und Höhlen desselben Kalkmassivs; aber für eine direkte „Einmündung“ sensu stricto ist die Entfernung des Trou Picot von dem „Dôme“ (600 m in der Luftlinie) doch zu groß.

Wahrscheinlich muß die Bildung der geneigten Kamine der „Salle d'Antiparos“ und des „Dôme“, dessen höchster Punkt in 223 m liegt, in die zwischen dem Durchsinken der älteren und der Aufschüttung der jüngeren Mittelterrasse gelegene Periode angesetzt werden. Der „Dôme“ aber wird seine riesigen Dimensionen erst durch nachträgliche Einstürze, deren kolossale

---

[1]) Grund betont (Beiträge zur Morphologie usw. S. 142), daß für Höhlengänge gewöhnlich verschiedene Richtungszüge nachzuweisen sind. Cum grano salis trifft dies auch für die Höhlen von Han zu; die eine Richtung verläuft im Schichtstreichen (Schichtfugen); die andere steht senkrecht darauf (Diaklase).

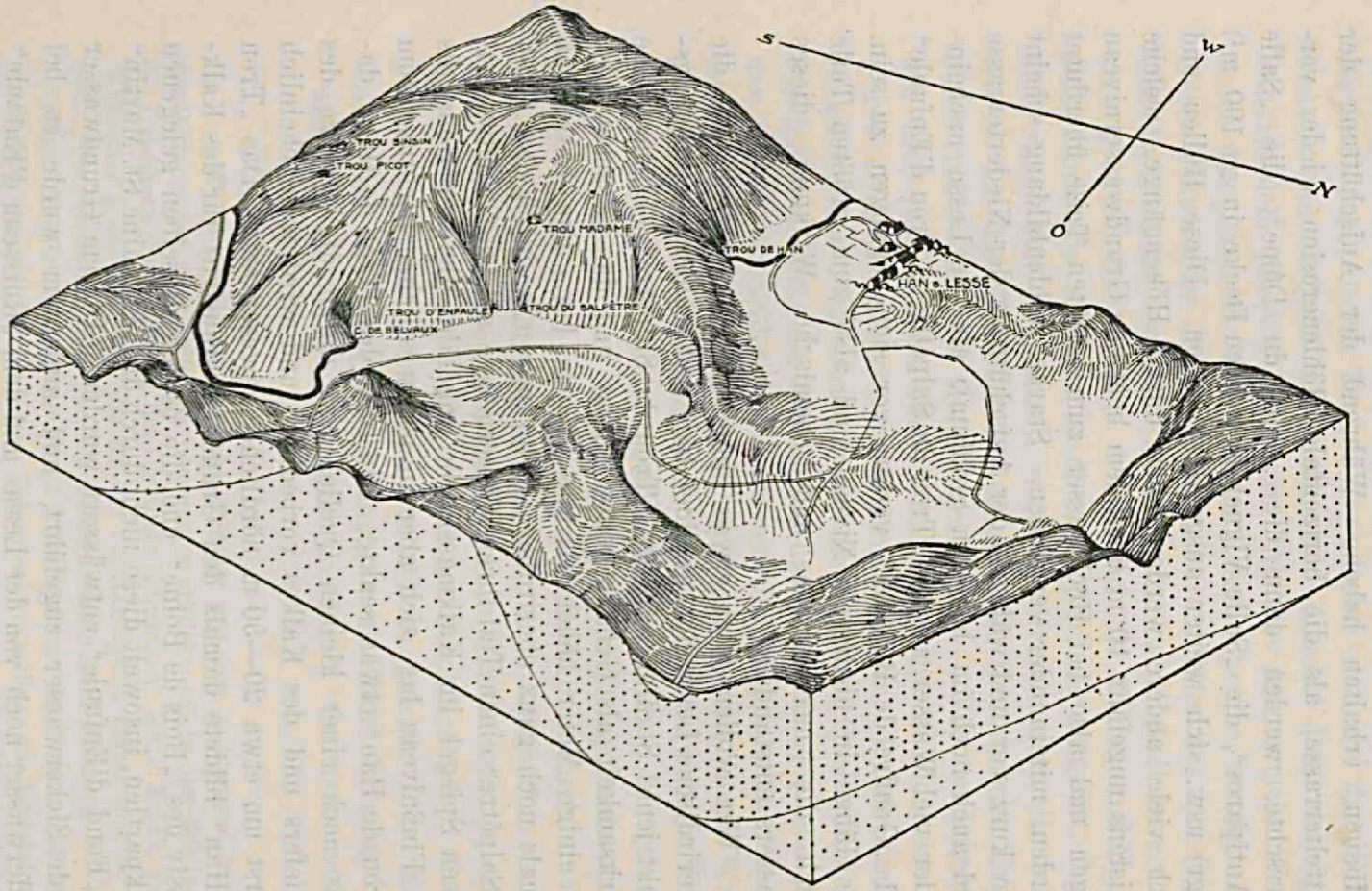


Fig. 27. Der verlassene Lesse-Mäander „la Chavée".
(Für die geologische Signatur, vgl. Pl. III.)

Trümmermengen den stark geneigten Boden des „Grand Dôme“ aufbauen, erhalten haben. Während der Aufschüttung der Mittelterrasse, als die horizontale Höhlenerosion wieder vorherrschte, werden dann die „Salle du Dôme“, die „Salle d'Antiparos“, die „Salle Vigneron“ (deren Decke in ± 190 m[1]) liegt) usw. sich weiter ausgebildet haben. Diese Hallen und noch viele andere werden aber durch Höhengänge, welche meistens ungefähr 10 m über dem heutigen Grundwasserniveau liegen und also bei Hochwasser zum größten Teile überflutet werden, miteinander verbunden. Starke Höhlenbildung scheint also kurz vor und während der Aufschüttung der Niederterrasse (und auch noch im heutigen Stadium), als die Lesse nacheinander viel Wasser an das „Trou du Salpêtre“, „Trou d'Enfaule“ und „Gouffre de Belvaux“ verlor, vor sich gegangen zu sein. Die Gänge in niedrigem Niveau sind also zum größten Teile durch die mechanische und chemische Wirkung dieses Wassers entstanden.

Wir wollen jetzt etwas eingehender betrachten, wie die unterirdische Lesse sich gebildet hat, und wählen als Ausgangspunkt jenes Stadium, als das „Trou du Salpêtre“ (175 m) seine Wirksamkeit als Gehängeponor antrat und das Lessebett also um einige Meter höher als die Chavée lag. Die Lesse floß damals noch ganz oberirdisch, verlor nur u. a. durch das „Trou du Salpêtre“ einen Teil ihrer Wassermenge an das Grundwasser, dessen Spiegel im Kalkmassiv in ungefähr gleicher Höhe als das Flußniveau lag, sich aber in nordwestlicher Richtung zum „Trou de Han“ etwas senkte. Die Lage des „Trou de Han“, damals noch einer kleinen Quelle, war durch die Grenze des Schiefers und des Kalkes vorbedingt und wird wahrscheinlich zuerst um etwa 20—50 m nördlicher gewesen sein. Das „Trou de Han“ bildete damals den Grundwasseraustritt für das Kalkmassiv des „Bois de Boine“ und die östlich desselben gelegenen Kalkpartien, insoweit diese nicht durch die „Fontaine St. Martin“ im „Fond d'Enfaule“ entwässert wurden. Diesem Grundwasser wurde Sickerwasser zugeführt, und außerdem wurde es bei Niederwasser noch von der Lesse und dem „Ruisseau d'Enfaule“ durch Talweg- und Gehängeponore (besonders durch das „Trou

[1]) All diese Zahlen sind der v. d. Broeckschen Arbeit entnommen.

du Salpêtre") gespeist. Von einem Höhlenfluß konnte noch nicht die Rede sein; dieses Flußwasser mischte sich mit dem Grundwasser und strömte zusammen mit diesem dem niedrigsten Punkte: dem „Trou de Han", zu. Als aber immer mehr Wasser durch das „Trou du Salpêtre" der Lesse entzogen wurde, staute dieses Flußwasser in der unmittelbaren Nähe des Ponors das Grundwasser auf, weil die Strömungsgeschwindigkeit des ersteren eine größere war, und so wurde auf die Klüfte und Spalten beim Ponor eine stärkere, erodierende Wirkung ausgeübt. Außerdem wurde hier im Sommer, wenn das Grundwasser ein tieferes Niveau als das Flußwasser einnimmt, die mechanische Erosion durch das so bedingte Gefälle gesteigert. — Viel wichtiger für den hier vorliegenden Prozeß aber war die Erosion des dem „Trou de Han" entströmenden Grundwassers. Durch eine Art rückschreitender Erosion wurden die zu dieser Quelle führenden Spalten erweitert. Als allmählich das durch Erosion und durch das Tiefereinschneiden der Lesse vergrößerte „Trou du Salpêtre" mehr und mehr Flußwasser an sich zog, begann dieses Wasser zusammen mit dem Grundwasser sich in dem verwirrten Klüfte- und Spaltensystem seinen eigenen Weg zu bahnen, indem es diejenigen Klüfte wählte, welche den größten Durchmesser und das größte Gefälle boten. So wurde ganz allmählich durch eine von dem Ponor aus vordringende und mehr noch durch eine von der Quelle aus rückschreitende Erosion ein im Grundwasser gelegener, anfänglich noch enger und schwer zu durchfließender, direkter Flußweg gebildet. Und erst von da an konnte diese Karstwasserader, welche ganz abhängig vom Kluftnetz ausgebildet wurde, als Höhlenfluß bezeichnet werden.[1]) So hatte nun die

[1]) Einen Beweis für die Richtigkeit der von mir gegebenen Erklärung der Bildung des unterirdischen Lesselaufes erblicke ich in der Schilderung, die Gradmann (Beschreibung des Oberamts Münsingen, loc. c. S. 113) von der Wimsemer Höhle gibt, und die ich der Vollständigkeit halber hier hersetzen will: „Die Wimsemer Höhle ist die merkwürdigste Höhlenbildung des Gebiets zwischen Lauchert und Lauter (linke Albseitenflüsse der Donau). Sie ist eine Quellhöhle, aus welcher in einem Felsentor kristallklar die Zwiefalter Ach hervorquellt. Die Höhle ist im Nachen befahrbar. Das Mundloch ist vom Wasserspiegel gemessen 3 m hoch und etwa ebenso breit. Die Höhlendecke senkt sich dann bald bis zu 1 m über dem Wasserspiegel herab; sofort erweitert sich die Höhle aber zu einer 4 m hohen, 8—10 m breiten und 20

Lesse ein unterirdisches und in diesem Stadium auch noch ein oberirdisches Bett. Wahrscheinlich wird im Anfang die unterirdische Lesse sehr verzweigt gewesen sein. In bezug auf die Niveauhöhe des „Trou du Salpêtre“ kann das „Trou de Han“ ursprünglich eine aufsteigende Quelle unter dem Flußniveau gewesen sein, so wie es früher die Quelle im Lommetal bei der „Carrière Dasse“ oberhalb Rochefort gewesen ist, und vielleicht ist das „Trou de Han“ durch das Tiefereinschneiden der Lesse ins Flußniveau gelangt, indem Deckenteile abbröckelten oder einstürzten. Auf einen ähnlichen Vorgang scheint noch die kleine dem Trou zugewandte Bucht des Talgehänges hinzuweisen.

Als die Lesse ihr Bett mehr und mehr vertiefte, wurde das „Trou du Salpêtre“ über die Talsohle erhoben und nur noch bei Hochwasser von den Gewässern der Lesse aufgesucht, in einem späteren Stadium aber gar nicht mehr benutzt. Beim Tiefereinschneiden hat dann die Lesse einen anderen Diaklas, welcher zu einem Aiguigeois, dem „Trou d'Enfaule“, erweitert wurde, angeschnitten. Dieser Ponor hat alsdann einen ähnlichen Entwicklungsgang als das „Trou du Salpêtre“ durchlaufen; er liegt im Niveau der Chavée, und wahrscheinlich wird er schon bald nach seiner Entstehung eine große Menge Lessewassers, bei Niederwasser vielleicht sogar die ganze Lesse aufgeschluckt haben, denn Talvertiefung unter das Niveau dieses Ponors hat nicht stattgefunden. Da wurde also zum ersten Male der Lessemäander zur „Chavée“. Nun verstehen wir auch, weshalb die größte Höhlenentwicklung gerade in

---

bis 25 m langen Halle. Das Wasser erreicht hier seine größte Tiefe mit 3 m. Am Ende der Halle verengt sich die Höhle schlauchförmig zu einer Breite von $2^1/_2$—$4^1/_2$ m bei einer Höhe von $1^1/_2$—$2^1/_2$ m über dem Wasserspiegel und setzt sich immer in nordwestlicher Hauptrichtung bis zum Endpunkt der Höhle fort, der in einer Entfernung von 70 m vom Eingang erreicht wird. Dort sieht man die Höhle sich nach oben erweitern und zugleich in mehrere enge Klüfte spalten; in einer dieser Klüfte ist Herr Topograph Haug noch ungefähr 7 m durchgedrungen, bis ein weiteres Vordringen unmöglich war durch die Herabsenkung der Höhlendecke auf etwa 0,7 m über den Wasserspiegel. Der Höhlenfluß ist also 77 m lang und rinnt aus ruhig fließenden Kluftwassern zusammen.“ Wahrscheinlich bildet diese Karstquelle den vornehmsten Austrittspunkt des Grundwassers im Gebiete westlich der Lauter.

diesem Niveau stattgefunden hat; denn, wie schon betont, spielt bei der Höhlenbildung das an das Grundwasser verloren gegangene Flußwasser eine viel bedeutendere Rolle als das eigentliche Grundwasser. Selbstverständlich sind die Gänge, welche die Verbindung zwischen dem Capitole, „Place d'armes" und „Trou du Salpêtre" darstellen, besonders der Erosionswirkung des an das „Trou du Salpêtre" verloren gegangenen Flußwassers zu verdanken. Die Zeit der Ausbildung der zu dem „Trou d'Enfaule" führenden Höhlengänge muß in die Wirkungsperiode dieses Ponors angesetzt werden. Die mehr westlich gelegenen Gänge rühren jedoch von der Erosionswirkung der von beiden Ponoren verschluckten Gewässer her.

In einem späteren Stadium des Taleinschneidens hat der „Gouffre de Belvaux" seine Wirksamkeit angetreten, das „Trou d'Enfaule" aber wurde verlassen und wird nur noch bei Hochwasser, wenn auch die Chavée wieder aus ihrem Todesschlaf erwacht, von dem Lessewasser benutzt. Noch ehe der heutzutage funktionierende Ponor des „Gouffre de Belvaux" das Lessewasser fortführte, werden die zwei, in der rechts im Gouffre gelegenen kleinen Höhle, einige Meter über dem heutigen Ponor befindlichen Löcher als Flußschwinden fungiert haben; unter den heutigen Verhältnissen werden sie bei Hochwasser früher als das „Trou d'Enfaule" benutzt. Das Aussehen der Lesse beim „Gouffre de Belvaux" beweist, daß dieser Ponor nach geologischem Zeitmaßstab erst vor kurzem seine Wirksamkeit angetreten hat und deshalb das von dem Lessewasser benutzte Spaltensystem vom „Gouffre de Belvaux" bis an die „Place d'Armes" noch im Jugendstadium seiner Entwicklung beharrt: denn schäumend und brausend stürzt sich die hier Ponorkaskaden[1]) bildende Lesse in den Ponor und überwindet so den Niveauunterschied ihres Talwegs zwischen Belvaux und Han; denn das Gefälle des Grundwassers beträgt auf dieser Strecke nur 1 m. Auch zwischen dem Dorfe Belvaux und dem gleichnamigen Gouffre zeigt der Fluß Stromschnellen, die durch rückschreitende Erosion immer mehr stromaufwärts verschoben werden, bis die Lesse in dieser Laufstrecke ein gleichmäßiges Gefälle erreicht haben wird. Nun erklärt sich auch der so sehr verschiedene Anblick des breiten, schiffbaren Wasserweges im

[1]) Vgl. J. Cvyić: Das Karstphänomen. S. 65.

„Trou de Han“ und der engen Klüfte, in welche das Lessewasser im „Gouffre de Belvaux“ verschwindet; als das „Trou d'Enfaule“ und das „Trou du Salpêtre“ als Flußschwinden fungierten, existierte schon das „Trou de Han“. Hier hat also die Erosion, die außerdem bei der Quelle unendlich kräftiger wirkt als beim Ponor, schon seit bedeutend längeren Perioden Arbeit leisten können als beim „Gouffre de Belvaux“.

Durch das Aufschlucken der Lesse, zuerst durch das „Trou d'Enfaule“ und nachher durch das „Gouffre de Belvaux“, ist der Mäander des „Bois de Boine“ unterirdisch abgeschnitten, also trockengelegt und zum „Toten Tal“ geworden. Hier wird der Talboden von den noch nicht durchsunkenen Niederterrasse-ablagerungen gebildet, während oberhalb des „Gouffre de Belvaux“ und unterhalb des „Trou de Han“ die Lesse eine Rinne in der Niederterrasse eingeschnitten hat. Nur bei starkem Ansteigen der Lesse (gewöhnlich ein paarmal im Jahre), wird die Chavée wieder vom Lessewasser überflutet; die ganze Talsohle ist dann ausgefüllt, aber infolge der zahlreichen Talwegponore versickert hier viel Wasser. So befinden sich in der Chavée, in der Nähe der auf der Karte mit Felssignatur angegebenen Felse, nördlich des „Gouffre de Belvaux“ zwei 10 bis 15 m lange, ungefähr 2 m breite und $^1/_2$ bis 1 m tiefe Talwegponore nebeneinander (die „Entonnois“ von Dupont), etwas mehr talabwärts liegen am rechten Ufer nahe an der Talwand zahlreiche kleinere Flußschwinden, während man in der Mitte der Chavéekrümmung auf einen typischen, ganz mit Geröllen verschiedener Größe (die größten bis $\pm$ 20 cm lang, breit und hoch) aufgefüllten Talwegponor stößt. Diese Einsenkung, in welcher sich wieder zwei kleinere, kreisförmige Ponore mit einem Durchmesser von ungefähr $1^1/_2$ m befinden, wird etwa 7 m breit und zweimal so lang sein. Aus einer Betrachtung der geologischen Karte scheint hervorzugehen, daß der nördliche Teil der Chavée ganz in Frasnienschiefer eingeschnitten ist; obwohl man durch die Bedeckung mit Flußablagerungen in der Natur ohne weiteres hierüber nicht urteilen kann, glaube ich aus der Anwesenheit der genannten Ponore doch schließen zu können, daß die Lesse in der Chavée ihr Bett bis in die das Frasnien unterlagernden Kalke eingeschnitten hat. Ich habe die Chavée ein paarmal durchstreift; zum größten Teil konnte ich dabei Fuß-

pfaden folgen, teilweise aber mußte ich einen Weg durch die fast die ganze Chavée bedeckenden Wiesen suchen. Im östlichen Teil der Chavéebucht fiel mir eine damals anscheinend trockenliegende, mit Gebüsch bewachsene, nur an einer Stelle sumpfige Rinne, welche nach Westen nicht zu verfolgen war, auf.

An der Nordseite der Chavée, an der Ostseite des in einem Trockental zum Plateau ansteigenden Fußpfades befindet sich auf der Grenze des Schiefers und des Kalkes eine Stauquelle (vgl. Fig. 28), die „Source St. Martin“ (Fig. 16, Punkt 11). Das Wasser der „Source“ durchströmt auch im Sommer in zahlreichen, verzweigten, winzigen Rinnen, die eine Tiefe von 0,5 m oder mehr besitzen, den westlichen Teil der Chavée. Einzelne Partien dieser Rinnen sind sumpfig, während hie und da Teile des aus diesen Gerinnen stammenden Baches, der gleich unterhalb des „Trou de Han“ mit einer ungefähr 2 m breiten und 0,5 m tiefen Rinne in die Lesse mündet, trocken liegen.

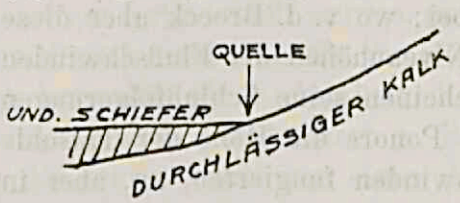


Fig. 28.

Ebenso wie bei den Höhlen von Rochefort zerlegt auch hier v. d. Broeck die Entwicklung der Höhlen von Han und des Lessetales in Phasen, welche Bezug haben auf die Niveauhöhen der Ponore (v. d. Broeck, p. 115—116). Das obere Niveau (niveau supérieur) stellt er in ungefähr 230 m (Trou Picot, Trou Sinsin); während er als Mittelniveau der Lesse die Höhe des auf S. 67 besprochenen „Seuil Belvaux-Auffe“ in 185 m, also ungefähr 15 m über dem heutigen Lesseniveau, annimmt. Da v. d. Broeck auf Terrassenhöhen gar keine Rücksicht nimmt, versteht es sich, daß seine Höhenangaben für das obere und mittlere Lesseniveau nicht mit den von Dupont und von mir angenommenen Niveaus der Haupt- und Mittelterrasse übereinstimmen. Dieser Widerspruch könnte auf eine Ungleichheit in der Benennung zurückzuführen sein, wenn v. d. Broeck nicht auf S. 116 seiner Arbeit die Entstehung des oberen Niveaus in 230 m (was also mit meiner älteren Mittelterrasse übereinstimmt) in eine „Zeit“ stellte, „welche wir nicht genau angeben können, die aber wahrscheinlich in das Pliozän, wenn nicht in das Ende des Miozäns anzusetzen

wäre". Obwohl ich nicht glaube, daß in diesem Abschnitt des Lessetals eine Pliozänterrasse sich ausgebildet hat, so müßte eine solche doch immerhin mehr als 100 m über dem heutigen Lesseniveau liegen und wäre also keinesfalls mit dem 230 Meterniveau, in welchem das Trou Picot usw. liegen, zu identifizieren. Der Anfang der Höhlenentwicklung, soweit er heute festzustellen ist, scheint mir also jünger als das Pliozän zu sein.

Der Richtigkeit des auf S. 136 erörterten v. d. Broeckschen Satzes über den Parallelismus der Höhlenentwicklung und Talbildung stimme ich also gerne bei; wo v. d. Broeck aber diese Entwicklung in nur durch die Niveauhöhen der Flußschwinden bestimmten Phasen verteilt, erscheinen seine Schlußfolgerungen mir unrichtig. Zwar geben die Ponore die Höhe der Talsohle in der Zeit, als sie wie Flußschwinden fungierten, an, aber in der Talbildung stellen sie keinen so wirksamen Faktor dar, daß man berechtigt wäre, nur ihrer Niveauhöhe gemäß die Perioden im Taleinschnitt zu bestimmen. Für diese ist das Auftreten von Terrassen maßgebend, und man muß also versuchen einen Zusammenhang zwischen den Höhlen- und den Terrassenniveaus festzustellen. In dieser Weise kann die Altersbestimmung der Terrassen auch zur Altersbestimmung der angrenzenden Höhlen führen, wenn auch der von G. Strömpl[1]) aufgestellte Satz: „Das Höhlenniveau und die Flußterrassen sind gleichzeitige Bildungen und deshalb sind bei einer morphologischen Nivellierung die in den Ablagerungen des einen oder anderen gefundenen Fossilien zur Altersbestimmung beider Formationen verwendbar", vielleicht etwas zuviel besagt, da die Auffassung, daß die Absätze in den Höhlen und die Flußablagerungen außerhalb der Höhlen gleiches Alter aufweisen, nicht mehr allgemein angenommen wird.[2])

Ich glaube, daß bei künftiger Höhlenforschung, mehr als dies bisher der Fall war, der Genesis der Höhlen systematisch nachgeforscht werden muß, und daß dieses Problem nur dann

---

[1]) G. Strömpl: Das Homoród-Almáser Höhlensystem und seine Ausbildung. (Barlangkutatás 1913. I. Band, 3. Heft.)

[2]) Vgl. hierzu M. E. v. d. Broeck: Quelques observations relatives à l'étude de M. Flamache sur la formation des grottes et des vallées souterraines. (Bull. Soc. belge de géol. T. IX. Pr. verb. 163. 1895.)

zu lösen ist, wenn man zu gleicher Zeit die Entwicklung der betreffenden Flußtäler ins Auge faßt.

Es sei hier noch kurz auf die Stainiersche[1]) Theorie über Höhlenbildung hingewiesen. Er bekämpft die Auffassung von Flamache,[2]) der die Höhlenbildung ganz auf Rechnung der mechanischen Erosion setzt. Weiter behauptet Stainier, daß unter den heutigen Verhältnissen keine Höhlenbildung auftreten kann, weil durch die Schlammzufuhr der oberirdischen Gewässer die Höhlen aufgefüllt werden. Als Beispiel zitiert er die Höhle von Han, wo jeden Frühling bedeutende Schlammengen von den Arbeitern fortgeschafft werden, und er schließt hieraus, daß, wenn der Mensch nicht eingriffe, die Höhle allmählich ausgefüllt würde. Ich bezweifle die Richtigkeit dieser Behauptung, denn in der „Galerie des Aventuriers" z. B., welche bei meinem Besuch in 15 Jahren nicht von einem Menschen betreten worden war, sind zwar alle Wände mit Schlamm bedeckt, aber meistens nur in geringer Mächtigkeit. Einen weiteren Beweis, daß die Korrosion heute noch tätig ist, erblicke ich in der Zunahme des Gehaltes an gelöster Substanz, welche die Lesse bei der Durchströmung der Höhlen von Han zeigt. Kleine Höhlen, welche dem Wasser eines Flusses oder Baches, wenn auch nur zeitweise, leichten Zutritt gestatten, in denen aber der Abfluß schwieriger ist, werden z. T. oder ganz vom Höhlenlehm zugeschüttet werden können, so die „Grotte du Thier des Falises". — Auch glaubt Stainier, daß nur eine größere Wassermenge, wie er für die Diluvialzeit annimmt, imstande sei, die ursprünglichen Klüfte zu erweitern, und daß, wenn die Wassermenge sich verringert, die Höhlen mit Schlamm zugeschmiert werden. — Selbstverständlich wird die Größe der Wasserführung im Prozeß der Höhlenbildung eine große Rolle spielen; viel wichtiger aber ist der oben angegebene Faktor der Talvertiefung.

---

[1]) X. Stainier. De la formation des cavernes. (Bull. Soc. belge de géol. T. XI, p. 251, 1897.)

[2]) A. Flamache. Sur la formation des Grottes et des vallées souterraines. (Bull. Soc. belge de géol. T. IX. p. 355, 1895.)

Sechstes Kapitel.

Trockentäler im Kalke.

Infolge des Wasserverlustes durch die Ponore kann bei Niederwasser das Flußbett trockengelegt werden. Bei einigen Flüssen, wie bei der Lomme vor der Betonierung, geschieht es nur im Sommer auf kleinere Laufstrecken; bei anderen aber liegt der Grundwasserspiegel so tief, daß nur bei starkem Anschwellen des Wassers das Trockental wieder mit Wasser gefüllt wird. Noch andere Täler, welche in Kalkgebieten weit verbreitet sind, liegen das ganze Jahr hindurch ohne Wasser, und hier muß man wieder die in ihrer ganzen Länge trockenliegenden Täler unterscheiden von denen, welche in ihren oberen Partien noch Wasser führen, das aber auch beim Anschwellen von den Ponoren völlig verschluckt wird. Natürlich kann jedoch nach starken Regengüssen das von den Talwänden herabgespülte Wasser zeitweise ein kleines Rinnsal im Trockental bilden.

Das Niveau der völlig trockenliegenden Täler wird so hoch über dem Grundwasserspiegel liegen, daß es selbst von den stärksten Karstwasserschwankungen nicht erreicht wird. Bei den kleineren Seitenflüssen wird dieses Phänomen am ersten auftreten, da die das Grundwasserniveau regulierenden Hauptflüsse tiefer und schneller einschneiden können als die Nebenflüsse.

Ein sehr schönes Beispiel eines in seinem Unterlaufe trockengelegten Flusses bildet der „Ruisseau d'Enfaule", dessen Tal ungefähr gegenüber dem „Gouffre de Belvaux" in das Lessetal mündet. Etwas östlich der Landstraße nach Wavreille befinden sich in diesem Trockental mehrere Talwegponore, sehr charakteristische Flußschwinden, welche beim Ansteigen des Flusses nacheinander in Wirkung treten und den Bach völlig aufschlucken, so daß unterhalb der Ponore die Talsohle von üppigen Wiesen eingenommen wird.[1]) Am linken Ufer befindet sich die für die Wasserversorgung von Han-sur-Lesse z. T. gefaßte Quelle: „Fontaine St. Martin" (Tafel III, Punkt 6).

---

[1]) Die Wiesen der Trockentäler werden hier nicht für Viehzucht benutzt. (Es gibt überhaupt wenig Vieh in dieser Gegend.) Im „Fonds d'Enfaule," wie auch in der Chavée wechseln die Wiesen an einigen Stellen mit Ackerland ab.

Talabwärts des „Gouffre de Belvaux“ öffnen sich in der rechten Talwand der Chavée noch zwei Trockentäler, in welchen Pfade zum Plateau ansteigen. Das erste mündet mit einer vom Wege durchschnittenen Terrasse in ± 10 m relativer Höhe in der Chavée. In bezug auf dieses Trockental ist die Chavée also übertieft, das obere Talstück liegt im Givetienkalke, das untere im Frasnienschiefer. — In der Hinterwand der Chavée öffnet sich das zweite, stark geneigte, ganz im Kalke gelegene Trockental.

Golette de Lorette. In der Nähe der „Entrée de la Grotte de Rochefort“ und der „Chapelle de Lorette“ führt aus dem Lommetal in südlicher Richtung ein Trockental zu einem „Seuil“ in 220 m Meereshöhe (also ± 45 m über dem heutigen Lommeniveau). Diese sogen. „Golette de Lorette“ steigt an der Westseite des „Seuils“ wieder zu der Hauptstraße von Rochefort herab. Dieser „Seuil“ trennt die ältere Mittelterrasse von einer nur einige Meter höher als der „Seuil“ gelegenen Kuppe. v. d. Broeck nimmt an, daß dieser „Seuil“ für die im 220 m-Niveau strömende Lomme einen engen Durchgang dargestellt hat. Mir scheint aber diese Kuppe ein im Anfangsstadium ihrer Entwicklung zu einem Umlaufberg stehengebliebener Mäandersporn zu sein.

Fond des Veaux. Das schönste Trockental der Umgebung von Rochefort stellt der „Fond des Veaux“ dar. Er verläuft ungefähr in der Längsrichtung des „Plateau de Gerny“ und bildet die größte Einsenkung desselben. Nach dem Lommetal zu ist er stark eingeschnitten und zeigt an einzelnen Stellen stark geneigte, nackte Felswände. Dieses Tal ist also in einem jüngeren Stadium des Zyklus, als in welchem die Gerny-Oberfläche sich ausbildete, eingeschnitten worden. In der Talsohle des „Fond des Veaux“ ist wieder eine 1 bis 2 m tiefe Rinne eingeschnitten, welche bei der Vereinigung der zwei Ursprungtäler aufhört. Das rechte Ursprungtal mündet auf dieser alten Talsohle und war also schon trockengelegt, ehe die Rinne von der Erosion gegraben wurde. Wahrscheinlich ist gerade an dieser Stelle das Wasser der Rinne in einem jetzt von der Vegetation verhüllten Talwegponor verschwunden, denn die mit Gebüsch bewachsene Rinne hört hier auf und ist auch talabwärts nicht mehr zu verfolgen. Noch ein eigentümliches Phänomen tritt hier an der sanft geneigten, terrassenähnlichen, linken Talwand

auf. In ungefähr 7 m über der Talsohle befindet sich hier ein Aiguigeois, 7 bis 8 m tief, mit senkrechten Wänden, an dessen Westseite in sehr geringer Entfernung eine Reihe kleinere Aiguigeois von geringerer Tiefe liegen. Einige stehen durch eine schmale, sich nach oben verengende Klamm miteinander in Verbindung. — Etwas talabwärts des „Four à chaux“ öffnet sich am linken Ufer des „Fond des Veaux“ ein schöner Gehängeponor: das „Trou Coblet“. 3 bis 4 m über der Talsohle befindet sich ein Fußpfad, der durch eine niedrige Öffnung in eine ziemlich große, absteigende Höhle führt: das „Trou Coblet“. Die Arbeiter des benachbarten Steinbruches hatten aus dieser Höhle und von dem Fußpfade, der früher den Talweg für die sich in den Ponor stürzenden Flußwasser darstellte, eine große Menge Sand fortgeschafft. Dieser Sand hatte den Pfad und die Höhle völlig ausgefüllt und muß vom Flußwasser hereingeschwemmt worden sein.

Schlußbemerkungen.

Die Ardennen sind eine gehobene Fastebene, deren Entwicklung im heutigen Zyklus das Stadium der Jungreife erreicht hat.

Das Maastal ist antezedent in bezug auf die Aufwölbung der Ardennenfastebene.

Entlang der Maas sind vier durchlaufende Terrassen nachzuweisen: die Argonnenmaasterrasse, die Hauptterrasse, die Mittelterrasse und die Niederterrasse. Neben den drei letztgenannten kommt längs der Lesse, Lomme und Wamme noch eine ältere Mittelterrasse vor.

Wahrscheinlich sind die Argonnenmaasterrasse und die Hauptterrasse durch die Aufwölbung der Ardennen mitverbogen.

Im belgischen Karst besteht für die einzelnen Gebiete ein zusammenhängender Grundwasserspiegel.

Die sogenannten Höhlenflüsse strömen im Grundwasserniveau.

Ihrem Entwicklungsstadium gemäß, müssen sie entweder als Karstwasseradern oder als unterirdische Flüsse betrachtet werden.

Höhlenbildung kann nur bis wenige Meter unter dem Grundwasserspiegel stattfinden. Die Tiefe, bis zu welcher der den

Grundwasserstand in einer Höhle regulierende Fluß sein Bett eingetieft hat, ist also eine untere Grenze für die Vertiefung der betreffenden Höhle.

Die Ursache der vertikalen Höhlenbildung im belgischen Karst ist in der Aufwölbung des francogallischen Gebirgsblocks zu suchen, denn dadurch vertieften die Flüsse ihre Täler und senkten damit den Grundwasserstand. Die Ruhepausen in der Hebung führten zur Terrassenaufschüttung und zur Bildung der horizontalen Höhlengänge.

Die räumliche Beschränkung des Karstphänomens in den belgischen Ardennen hat zur Folge, daß die Entwicklung der allochthonen Flüsse der Landschaft den Stempel aufgedrückt hat und diese nicht zur reinen Korrosionslandschaft geworden ist. Die auf die Korrosionsdoline begründete Beurteilung des Zyklus im Karst, wie sie Grund[1]) gibt, ist in diesem Gebiet, wo, wie in den meisten bedeckten Karsten, das Vorkommen der Korrosionsdoline ein beschränktes ist, nicht anwendbar. Die Entwicklung der Höhlen oder die Art und Weise, wie die unterirdische Entwässerung sich vollzieht, ist an den verschiedenen Stellen verschieden weit vorgeschritten und kann daher hier nicht als Leitform für die Altersbestimmung eines allgemeinen Karstzyklus verwandt werden.

---

[1]) A. Grund: Der geographische Zyklus im Karst. (Z. Ges. f. Erdk. Berlin 1914. S. 621 u. ff.)

Es sei mir gestattet, auch an dieser Stelle meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. K. Oestreich, für die Anregung zu dieser Arbeit und die mir bei der Ausführung derselben allezeit gewährte freundliche Unterstützung meinen herzlichsten Dank auszusprechen.

Die Figuren 6, 7, 14, 17, 18, 19 und 20 wurden nach Originalskizzen der Verfasserin von Herrn A. van der Zweep, Zeichner am Geographischen Institut der Reichsuniversität zu Utrecht, der auch Fig. 27 angefertigt hat, gezeichnet.

Verzeichnis der Figuren und Tafeln.

		Seite
Figur 1.	Maas und Oise in ihrem heutigen Verhältnis	10
„ 2.	Schema der Talbildung durch Epigenese	11
„ 3.	I. Schematischer Durchschnitt durch die Ardennenhalbinsel zur Eozänzeit . . . . . II. Schematischer Durchschnitt durch die Ardennen zur Miozänzeit	19
„ 4.	. . . . .	22
„ 5.	Das Ardennen-Flußsystem auf der n+2en Fastebene nach der Hebung	27
„ 6.	Das Plateau de Gerny und das Ablenkungsknie der Wamme bei Hargimont	31
„ 7.	Die Terrassen beim Zusammenfluß der Lesse und Maas bei Anseremme	35
„ 8.	Verbiegung der Hauptterrasse des Rheins	43
„ 9.	Verbiegung der Moldau-Elbe Terrassen zwischen Prag und dem böhmischen Mittelgebirge.	44
„ 10.	Die Maasterrassen zwischen Lustin und Engis	47
„ 11.	Anzapfung eines höhergelegenen Flußes durch einen tiefergelegenen	50
„ 12.	Schematischer Querschnitt durch das Plateau de Gerny . .	55
„ 13.	. . . . .	58
„ 14.	Das Lommetal und die Terrasse von Beauregard oberhalb Rochefort	60
„ 15.	Der Kampf um die Wasserscheide zwischen Ourthe und Lesse bei Marche	61
„ 16.	Geologische Skizze der Umgebung der Chavée	62
„ 17.	Zusammenfluß der Lesse und Lomme in der Denudationsniederung von Éprave und Villers sur Lesse	64
„ 18.	Die Kuppen und Schwellen im Lommetal bei Éprave . . .	65
„ 19.	Der Umlaufberg Rond-Tienne im Lommetal	66
„ 20.	Die Talweitung der Lesse in den Frasnienschiefern von Belvaux	67
„ 21.	Der „unterirdische Fluß“ in der Nähe des „Trou du Nou Molin“ nach v. d. Broeck	105
„ 22.	. . . . .	113
„ 23.	Die hydrologischen Verhältnisse bei Furfooz	115
„ 24.	Schematischer Durchschnitt durch das Trou Lorette . . .	127

Seite

Figur 25. Schematisches Profil durch die Dolinen und die Grotte des „Thier des Falises“ 129
„ 26. 138
„ 27. Der verlassene Lessemäander „la Chavée“ 143
„ 28. 149

Tafel I. Längsprofil der Maas mit Eintragung der Terrassenprofile.
„ II. Übersichtskarte der in der Arbeit erwähnten Flüsse und Ortschaften.
„ III. Geologisches Übersichtskärtchen der Gegend Rochefort-Han-sur-Lesse.
„ IV. Grundriß der Höhlen von Han-sur-Lesse.

Inhaltsangabe.

Erster Teil.

Die Genesis des Ardennen-Flußsystems.

Seite

Einleitung 5

I. Bisherige Theorien.

1. Die Theorie von J. Cornet 6
2. Theorien über die Entstehung des Durchbruchtales der Maas . 8
3. Die Theorie von A. Briquet 13
4. Die Theorie von Vidal de la Blache 15
5. Bekämpfung der epigenetischen Erklärung für das Maastal . . 16

II. Aufbau einer Theorie.

6. Die früheren Zyklen in der Entwicklung der Ardennenflüsse . 18
7. Der heutige Zyklus. Charakter der Ardennen: eine gehobene Fastebene 25
8. Anpassung 30
9. Die Terrassen 31

   Allgemeines S. 31, Terrasse der Argonnenmaas S. 32, die Hauptterrasse S. 38, die Mittelterrasse S. 39, die Niederterrasse S. 40, Terrassenvorkommen längs der Maas S. 41, Verbiegung der Terrassen S. 41.

10. Die Dekadenz der Maas 44
11. Die Stainiersche Abhandlung über die Maasterrassen 46
12. Die Theorie von Dollfus 50
13. Die Ourthe und die Luxemburgischen Flüsse 52
14. Die Terrassen entlang der Lesse und ihrer Nebenflüsse . . . 53

    Allgemeines S. 53, Terrassenvorkommen S. 56/57.

15. Das Plateau de Gerny 58
16. Die Talstrecke Rochefort, Éprave, Han-sur-Lesse 62
17. Die Theorie von Ch. Stevens über die Hydrographie des Lessegebietes 68
18. Das Stadium des heutigen Ardennen-Zyklus 69

Zweiter Teil.

Die Karstprobleme in den belgischen Ardennen

(besonders in der Umgebung von Han-sur-Lesse und Rochefort).

III. Die unterirdische Hydrographie des belgischen Karstes.

19. Kurze Übersicht über die wichtigsten allgemeinen Theorien der Karsthydrographie 71
20. Geologische Einleitung 74

Seite

21. Die Hydrologie der Höhle von Han-sur-Lesse 75
Orientierung S. 75, Niveaumessungen der Wasserpunkte S. 76, Temperaturmessungen S. 81, Färbungsversuche S. 85, Schlußfolgerungen S. 88, Zusammenfassung der Resultate S. 97, Bestimmung der Mengen gelöster Substanz in Wasserproben S. 97.
22. Die Hydrologie der Höhlen von Rochefort 102
23. Hydrologische Beobachtungen in der Umgebung von Rochefort 105
24. Einige Erörterungen über die Hydrologie anderer belgischer Karstgebiete 108
25. Schlußfolgerungen 110
26. Die Hydrologie der Umgebung von Furfooz 114
„Le chantoir des Nutons S. 114, „Le Puits des Veaux" S. 115, „Chantoir et Galerie des Sources" S. 116, „Le Trou de la Loutre" S. 116, „Fluß- oder Grundwassercharakter der Wasserpunkte", S. 116, „Le Trou-qui-fume" S. 120.

IV. Dolinen.

27. Die Entstehung der Dolinen 121
Theorien S. 121, Korrosionsdolinen S. 124, Einsturzdolinen S. 125, Schlundlöcher (Aiguigeois) S. 125.
28. Die Dolinen der Umgebung von Rochefort und Han-sur-Lesse 127
Die Dolinen des „Plateau de Beauregard" S. 127, La Montagne du Thier des Falises S. 128, Le Trou de la laide Fosse S. 130, Trou Madame S. 131, Trou Sinsin S. 132, Trou Picot S. 133, Randdoline S. 133.
29. Einteilung der Dolinen 134

V. Die Genesis der Höhlen von Rochefort und Han-sur-Lesse.

30. Höhlenbildung im allgemeinen 135
31. Die Höhlen von Rochefort 137
Bildung der einzelnen Höhlengänge S. 137, Die v. d. Broecksche Theorie S. 139.
32. Die Höhlen von Han-sur-Lesse 141
Bildung der einzelnen Höhlengänge S. 142, Bildung der unterirdischen Lesse S. 144, Die „Chavée" S. 148, Parallelismus der Höhlenentwicklung und Talbildung S. 150, Die Stainiersche Theorie der Höhlenbildung S. 151.

VI. Trockentäler im Kalke 152

Schlußbemerkungen 154

Verzeichnis der Figuren und Tafeln 157

Inhaltsangabe 159

fg996

STELLINGEN.

I.

Het is te betreuren, dat FORSYTH in zijn werk »A treatise on differential equations« bij het behandelen van de vergelijkingen van den vorm $Mdx + Ndy = 0$ niet een meer systematische behandeling gegeven heeft van de oplossingsmethode door middel van den integreerenden factor.

II.

Het door LOBATTO geleverde bewijs voor het Theorema van d'Alembert is onbevredigend.

LOBATTO's Lessen over de Hoogere Algebra. 6e druk. § 68.

III.

De verklaring van KEILHACK voor het ontstaan der stuwmoreenen in Midden-Nederland is logischer dan die in het werk »Niederlande« (Handb. Reg. Geol.

Bd. I, 3, 1913, S. 60.) door MOLENGRAAFF en v. WATERSCHOOT V. D. GRACHT gegeven wordt, maar zij houdt niet zooals de theorie van HUFFNAGEL rekening met den invloed van het preglaciale bodemrelief.

K. KEILHACK. Das glaziale Diluvium der mittleren Niederlande. (Jahrb. K. PREUSS. Geol. Landesanst. 1915. Bd. XXXVI T. I.)

P. HUFFNAGEL. Eindmoraines in Centraal-Nederland. (Handel. v, h. XV^de Ned. Nat. en Gen. Congres blz. 483 e.v.)

IV.

Het verschil in opvatting tusschen VAN BAREN, die sommige gedeelten der Veluwe als »hoogterras« (hoofdterras) aanduidt, en KEILHACK, welke deze gedeelten als eindmoreenen verklaart, is niet zoo groot als uit de uitspraak van KEILHACK, dat »in Nederland ten Noorden van den Rijn het hoofdterras geheel ontbreekt«, zou volgen.

J. VAN BAREN: De morphologische bouw van het diluvium ten W. v. d. IJsel. (Tijdschr. Kon. Ned. Aardr. Gen. 2^e Ser. dl. XXIV, 1907, blz. 129—166.)

K. KEILHACK: Das glaziale Diluvium u. s. w. S. 473 u. 491.

V.

De toepassing der kansrekening is niet mogelijk, wanneer psychische factoren op het verloop van een verschijnsel invloed uitoefenen.

VI.

De golfbewegingstheorie van v. HELMHOLTZ is door BASCHIN ten onrechte toegepast, om het ontstaan der riviermeanders te verklaren.

O. BASCHIN: Die Entstehung der Fluszmäander. (Pet. Mitteil. 1916. S. 16.)

VII.

De ligging en de topographie van Antarctica kunnen wel de er heerschende lage zomertemperaturen, niet het ontbreken van een duidelijk temperatuurminimum des winters verklaren.

VIII.

Er bestaan alsnog geen afdoende redenen, om aan te nemen, dat het oudste Maasgrint in Zuid-Limburg (Ubagsberg etc.) in het plioceen afgezet werd.

IX.

Voor de theorie van WEGENER over het ontstaan der continenten pleit, dat zij voor verschillende verschijnselen een betere verklaring geeft dan tot nu toe geschied is.

A. WEGENER: Die Entstehung der Kontinente und Ozeane. Braunschweig 1915.

X.

De gelijkluidende theorieën van PHILIPP en KOCH over de gletsjerbeweging steunen nog niet op een voldoend feitenmateriaal.

J. P. KOCH: Vorläufiger Bericht über die wichtigsten glaziologischen Beobachtungen auf der dänischen Forschungsreise quer durch Nordgrönland 1912/13. (Zeitschr. f. Gletscherk. Bd. X. S. 1.)

H. PHILIPP: Untersuchungen über Gletscherstruktur und Gletscherbewegung. (Geol. Rundschau 5. 1915. S. 234.)

XI.

PASSARGE beweert in zijn polemiek tegen DAVIS ten onrechte, dat de benaming van de ontwikkelingsstadia der oppervlaktevormen niet op den tijd gegrond mag worden.

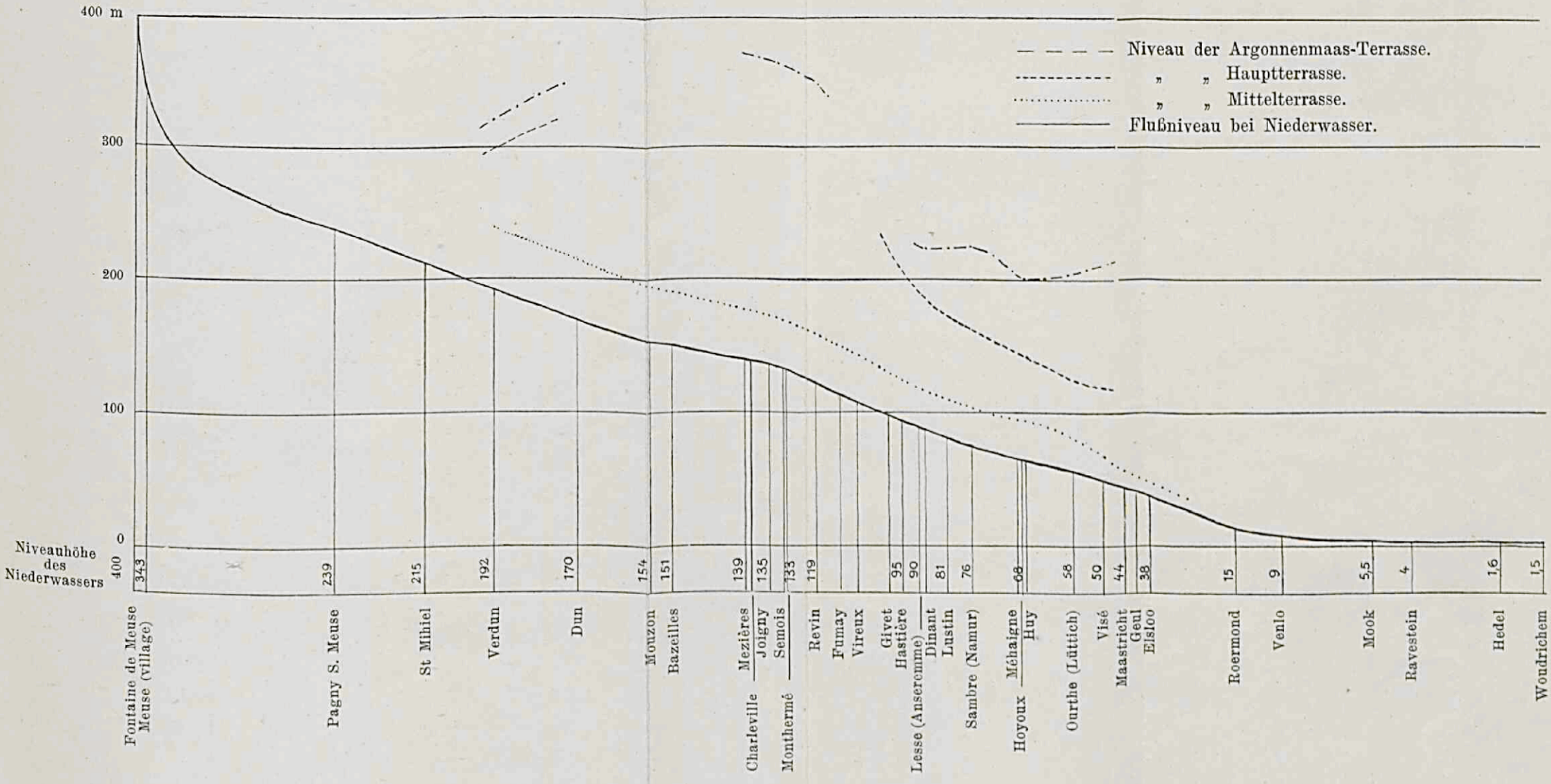
S. PASSARGE: Physiologische Morphologie. (Mitt. Geogr. Ges Hamburg. Bd. XXVI. S. 133 ff.)

XII.

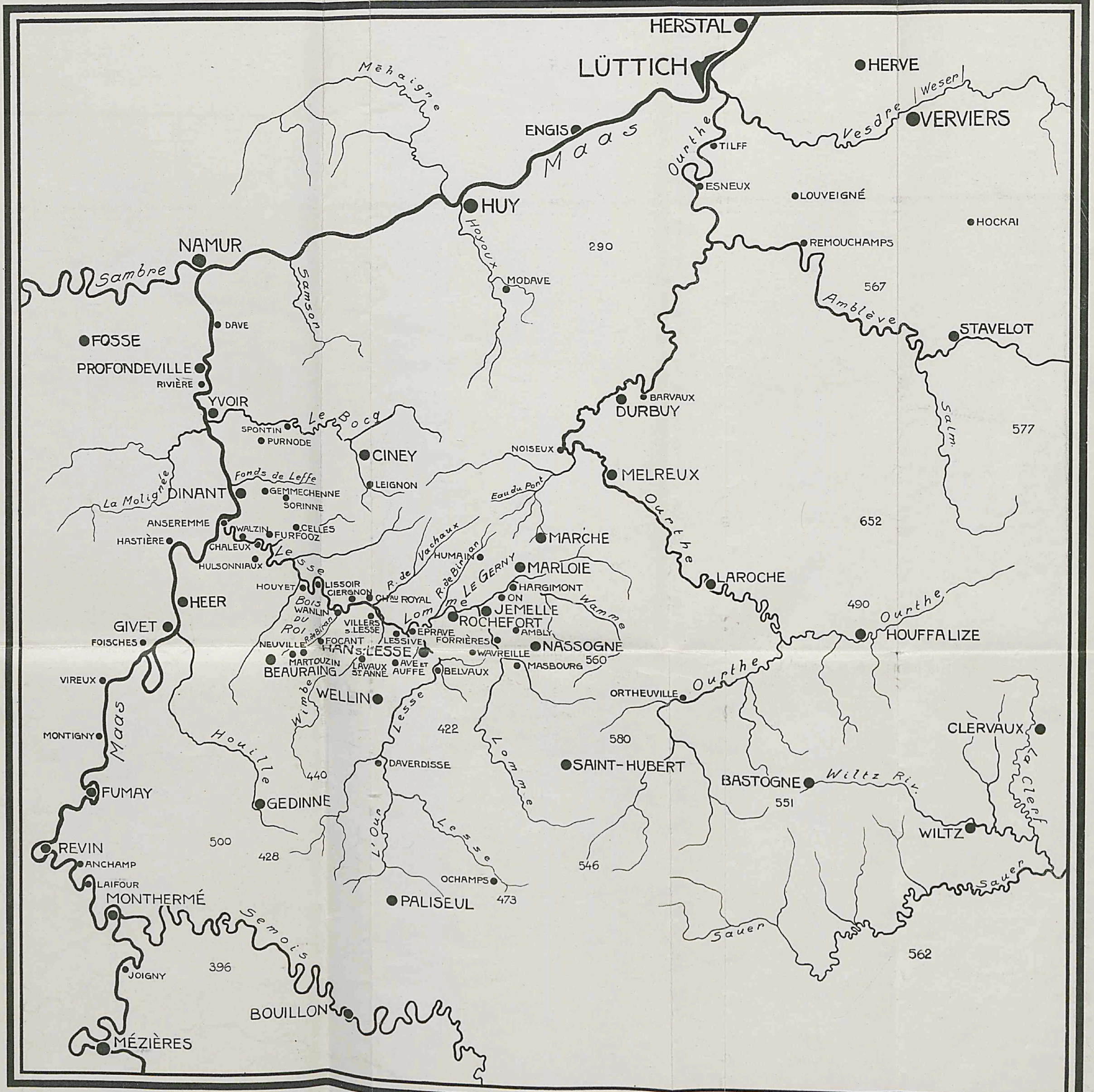
In tegenstelling met de gebruikelijke, ook onlangs nog door GRAVELIUS gehuldigde opvatting, dat bij een negatieve strandverschuiving de riviererosie in het betrokken gebied steeds versterkt wordt, moet opgemerkt worden, dat er zich gevallen kunnen voordoen, waarbij in tegendeel afzetting (accumulatie) plaats vindt.

H. GRAVELIUS: Fluszkunde. Berlin u. Leipzig 1914. S. 57.

TAFEL I



Längsprofil der Maas nach J. A. Pierrot (Bassin de la Meuse, Pl. 2, Gand 1891) mit eigener Eintragung der Terrassenprofile. (Stark überhöht.)



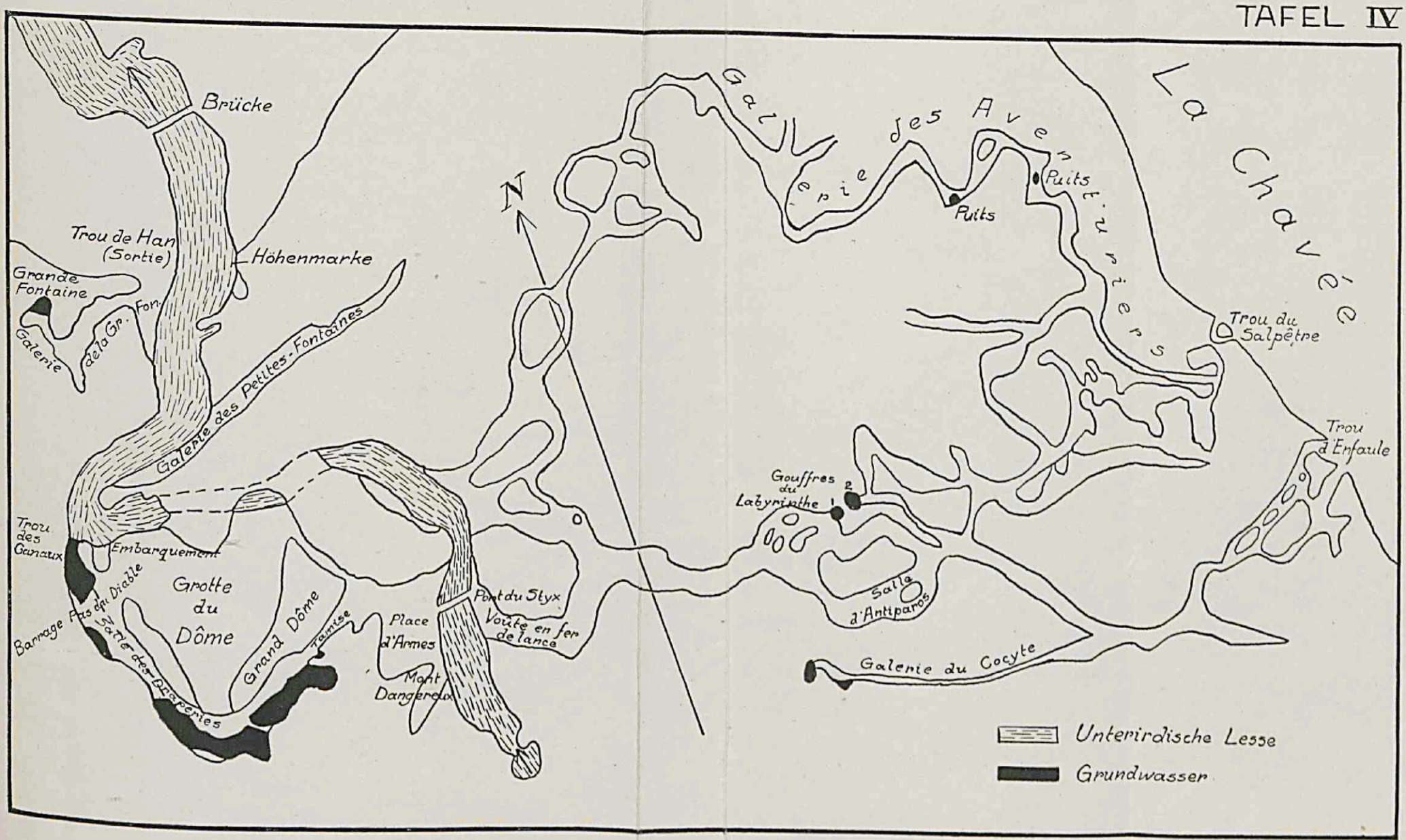
Übersichtskarte der in der Arbeit erwähnten Flüsse und Ortschaften. (Maßstab 1 : 320 000.)

1 TROU DE HAN
2 COUFFRE DE BELVAUX
3 TROU PICOT
4 TROU SINSIN
5 TROU MADAME
6 FONTE ST. MARTIN
7 AIGUIGEOIS
8 TROU D'ENFAULE
9 TROU DU SALPÊTRE
10 SOURCE ST. MARTIN
11 TROU DE LA LAIDE FOSSE
12 KALKSATTEL
13 TROU DU ROND – TIENNE
14 GROTTE D'EPRAVE
15 GROTTE DU THIER DES FALISES
16 DOLINEN DES THIER DES FALISES
17 ENTRÉE PRINCIPALE
18 TROU LORETTE
19 TROU MARIE – SAC – ATTRAPE
20 SORTIE DE LA SALLE DE SABBAT

LANDSTRASSE
FLUSS
VERWERFUNG
TALSOHLE. IN DEN HAUPT. TÄLERN NIEDERTERRASSE.
JÜNGERE SCHIEFER FAMENNIEN. OB. DEVON.
ÄLTERE SCHIEFER FRASNIEN OB. DEVON.
KALKEINLAGEN IN DEN ÄLTEREN SCHIEFERN. FRASNIEN.
ÄLTERER KALK GIVETIEN. MITT. DEVON.
ÄLTESTE SCHIEFER COUVINIEN. MITT. DEVON.

SOURCE DE LA TRIDAINE
RUISSEAU DE BIRAN
LE GERNY
DEWOIN
CARRIÈRE DASSE
LOMME
ROCHEFORT
THIER DES FALISES
BOIS DE WAER-MONT
MONT DE LA JUSTICE
ÉPRAVE
LESSIVE
LA ROUGE CROIX
BOIS DE HERONNERIE
LESSE
LA CHALEE
HAN SUR L.
WAVREILLE
FOND D'ENFAULE
AUFFE
D'AVE
BELVAUX

Geologisches Übersichtskärtchen der Gegend Rochefort—Han-sur-Lesse.
(Nach der belgischen geologischen Karte mit eigenen Terrasseneintragungen.)
Terrassebegrenzung: ----------
Maßstab 1 : 40 000.



Grundriß der Höhlen von Han-sur-Lesse.
(Nach E. v. d. Broeck, E. A. Martel et E. Rahir; Cavernes etc. Pl. III.)