



ILLUSTRIRTE WOCHENSCHRIFT ÜBER DIE FORTSCHRITTE IN GEWERBE, INDUSTRIE UND WISSENSCHAFT

Durch alle Buchhandlungen und Postanstalten zu beziehen.

herausgegeben von

DR. OTTO N. WITT.

Preis vierteljährlich
3 Mark.

Verlag von Rudolf Mückenberger, Berlin.
Dessauerstrasse 13.

N^o 91.

Alle Rechte vorbehalten.

Jahrg. II. 39. 1891.

Die Causses der Cevennen und ihre Höhlen.

Von Dr. E. Goebeler.

(Schluss.)

V. Die Entstehung der Causse-Formation, ihrer Höhlen und Cañons.

So merkwürdig die geschilderten Naturwunder sind, die Felsenstädte und dolomitischen Mauerzimmer, die Höhlen, die Naturschächte, die Cañons, so ist ihre Entstehung noch merkwürdiger, da sie im Wesentlichen der Arbeit eines höchst unscheinbaren Agens, des Sickerwassers, zuzuschreiben ist.

Die Formation der Causses ist eine echte Karstlandschaft. Im Karstgebiete, welches sich vom Isonzo längs der Ostküste der Adria durch Krain, Istrien, Dalmatien und weiter hinab bis nach Griechenland hinein erstreckt, sind alle charakteristischen Eigenschaften dieser Landschaft am typischsten entwickelt und am längsten bekannt, weshalb man den Namen „Karstlandschaft“ zu einen geographischen Gattungsnamen für alle Gebiete von gleicher physischer Beschaffenheit gewählt hat. Der Karst besteht, ebenso wie die Causses, aus öden Kalksteinplateaus, welche der Quellen und der oberflächlichen Wassercirculation fast gänzlich entbehren. Zahllose Klüfte, trichterförmige Einsenkungen, die genannten „Dolinen“, thoirförmige

Höhlenöffnungen und senkrecht hinabfallende, schachtförmige Löcher, die sogenannten Ponore, bedecken seine Oberfläche und nehmen die atmosphärischen Wasser schnell auf. In der Tiefe sammeln sich dieselben zu unterirdischen Bächen und Flüssen, deren eine grosse Zahl, zum Theil von bedeutender Grösse, durch gewaltige Höhlensysteme dahineilen. Ein unregelmässiger Wechsel von Höhlenstrecken und von oberirdischen Wasserstrecken in tiefen Schluchten, oder in weit ausgedehnten, flachen Kesselthälern ist die Regel für die Flussläufe des Karstes. So führt z. B., wie langjährige Untersuchungen österreichischer Gelehrten ergeben haben, durch ganz Innerkrain ein und dasselbe Flusssystem, das der Laibach, und verbindet nach einander die grossen Kesselthäler von Laas-Altenmarkt, Zirknitz, Adelsberg-Planina und des Laibacher Moores. Dieselben bilden eine treppenförmige, auf einander folgende Reihe, mit abnehmenden Meereshöhen und werden durch ziemlich bedeutende Höhenrücken von einander getrennt, in deren Innerem aber grosse Höhlensysteme, von einem zusammengesetzten Flussgeäder durchzogen, eine Verbindung herstellen. Dahin gehören die berühmten Höhlen von Adelsberg, Planina, die Poikhöhle und viele andere, welche ebenso wie die Höhlen der Causses, aber noch grossartiger gebaut sind: eine mannigfache Reihen-

folge von Galerien, Klammen und gewaltigen domförmigen Sälen, neben und über einander, voll der wunderbarsten Tropfsteingebilde, zum Theil von ungangbaren Trümmeranhäufungen erfüllt. In den tiefsten Niveaus brausen unterirdische Wasser dahin, bald durch enge Klammen, über Wasserfälle und Stromschnellen, dann wieder zu glatten Seen erweitert. An der Oberfläche der trennenden Höhenrücken deuten zahllose Naturschächte und mit wüstem Felsgetrümmer erfüllte Karsttrichter (Dolinen) den Lauf der Höhlen an; durch grosse Einstürze sind stellenweise tiefe Schluchten entstanden, in denen die Wasserläufe auf grössere Entfernung hin, manchmal mehrere Kilometer weit, freiliegen. Die grossen Kesselthäler dienen zuweilen als Regulatoren des Wasserabflusses, indem sie bei Hochwasser mit grosser Schnelligkeit überschwemmt werden und dann wieder unterirdisch ablaufen, wie z. B. der schon lange berühmte und befabelte Zirknitzer See. Ihr Zusammenhang mit den Höhlen ist zwar schon lange behauptet, aber erst in neuester Zeit wirklich nachgewiesen worden, zumal die Abflussöffnungen der einzelnen Kesselthäler meist unter Schutt und Gerölle tief verborgen liegen. Die freiliegenden Strecken des Flusssystemes haben deshalb von früher her ganz verschiedene Namen. Das Laas-Altenmarkter Kesselthal durchfliesst der Gross-Oberch; im Zirknitzer Gebiet heisst er Seebach. Dieser geht dann durch den östlichen Arm der Kleinhäuselhöhle, fliesst als Unz durch das Thal von Planina, und erscheint dann wieder in der Laibacher Moorebene als Laibach. Aus dem Adelsberger Kessel kommt ein Nebenfluss, der Poik, der die berühmten Adelsberger- und Poikhöhlen durchfliesst und durch den westlichen Arm der Kleinhäuselhöhle nach Planina hinab-eilt, um sich in der Tiefe mit den Zirknitzer Wassern zum Unz zu vereinigen. Dieselbe Natur, wie das Gebiet der Laibach, zeigt das gesammte Karstgebiet.

Auch in England und im Jura finden wir echte, an Höhlen und deren Begleiterscheinungen sehr reiche Karstgebiete. In England haben namentlich die Höhlen in Yorkshire (Ingleborough, die Long Churn Cavern) in den Mendips (Goatchurchhöhle), in Derbyshire und Wales, mit ihren zahlreichen Grotten, Etagen, Naturschächten und tobenden Wildbächen als Objecte eingehender Untersuchungen gedient. Im Jura liegen die von Alters her berühmten Gailenreuther und Muggendorfer und viele andere Höhlen. Schon Saussure erzählt uns im Jahre 1779, dass die untere Orbe ihren Ursprung im Lac de Joux habe, einem kleinen, abflusslosen See, der von der oberen Orbe und mehreren kleinen Bächen viel mehr Wasser erhält, als verdunsten kann, also offenbar unterirdische Abflüsse durch die Klüfte des Jurakalkes haben muss. In seiner

Nähe befinden sich ausserdem mehrere, 15 bis 20 Fuss tiefe, brunnenförmige „Entonnoirs“, in welche bei hohem Wasserstande das Wasser mit grosser Gewalt hineinstürzt, um dann zu verschwinden. „Man glaubt allgemein und mit vollem Rechte, dass die von diesen Entonnoirs aufgenommenen Wasser, wieder zu Tage tretend, die Quelle der Orbe bilden,“ welche eine halbe Meile davon entfernt und, 210 m unter dem Seenniveau gelegen, als 5 m breiter und 1,2 m tiefer Bach dem Felsen enteilt. Im Jahre 1776 wurde der directe Beweis dafür geliefert, indem nach Abdämmung des Hauptschachtes ein plötzlicher Durchbruch des Sees die Fluten der unteren Orbe alsbald schlammig und trübe machte. Was von der Orbe gilt, trifft ohne Zweifel für viele andere Wasserläufe des in dieser Hinsicht bis jetzt noch wenig erforschten Juras zu.

Wir könnten diese Aufzählung noch beträchtlich vermehren, was aber wegen der ungemainen Verbreitung der Höhlen und ihrer mehr oder minder stets gleichbleibenden Haupteigenthümlichkeiten ermüden würde. Ueberall finden wir Galerien und weitere Hohlräume, in buntem Wechsel neben und über einander, unterirdische Wasserläufe und jene trichter- und schachtförmigen Bildungen, welche die charakteristischen Begleiter der Höhlen sind.

Es ist nun eine bemerkenswerthe Erscheinung, dass die Höhlen fast ausschliesslich an Kalkstein gebunden sind, dass überhaupt allenthalben in Kalken, sobald dieselben durch ihre Structur zur Bildung von Hohlräumen geeignet sind, grössere und kleinere Höhlen in Menge vorkommen. So gehören die Mehrzahl der amerikanischen Höhlen von Pensylvanien bis Alabama, darunter die 240 km lange Mammothhöhle in Kentucky, den silurischen Kalken, die Höhlen von Somerset, Derbyshire, Yorkshire und Nottingham, von Belgien und Westphalen, von Maine und Anjou, die meisten Höhlen in den Pyrenäen und im Departement Aude den Kalken der Kohlenformation, die Höhlen von Devonshire und von Rübeland im Harz der devonischen Formation an. Die Höhlen von Kirkdale in Yorkshire, von Muggendorf und Gailenreuth in Franken liegen in Juradolomit, die Liebensteiner Höhle im Zechsteindolomit. In den Jurakalken des Juras sind Höhlen weit verbreitet. Kalke der Kreideformation umschliessen die zahlreichen Höhlen von Perigord, Quercy und Anjoumais, des Karstes von Krain bis nach Griechenland hinunter, von Kleinasien und Palästina. Endlich sind auch in den recenten Korallenkalken der Bahamainseln bedeutende Höhlen gefunden worden. Dagegen kommen in anderen Gesteinen Höhlen bei weitem seltener und dann in viel bescheidenerer Ausbildung vor. Oft lässt sich dieses verschiedene Verhalten der Kalke und anderer Gesteine direct beobachten. Im Karste z. B.

sind die Höhlen lediglich an die Kreidekalke gebunden; im Gebiete der eocänen und karbonischen Gesteine, welche ersteren aufgelagert oder benachbart sind, gewahren wir anstatt der wasserleeren Oede muntere Gebirgswasser; sobald dieselben aber den Kreidekalk erreichen, verschwinden sie bald. Denselben Gegensatz zeigen die oberjurassischen Mergel und oolithischen Kalke der Ardennen, ferner das an Höhlen so reiche Yorkshire. Blickt man von dem flachen Gipfel von Ingleborough nach Norden, so sieht man in dem zu oberst lagernden Schieferthone der Steinkohlenformation eine Menge Schluchten mit kleinen Bächen radienförmig ausstrahlen. Wenn dieselben den darunter liegenden Kohlenkalk erreichen, enden sie plötzlich in den bekannten *Pot-holes*, werden aber noch weiter abwärts, wo unter dem Kalke die Silurgesteine zum Vorschein kommen, an den Seiten der Abhänge wieder sichtbar.

Diese wechselseitige Beziehung zwischen Kalkstein und Höhlenverbreitung wirft ein bedeutsames Licht auf die Entstehung der Höhlen; dieselbe hat in allen Kalkgebieten eine gemeinsame Ursache. Die atmosphärischen Niederschläge verhalten sich in ihren Leistungen verschieden. Auf undurchlässigem Boden (Granit, Thon etc.) sammelt sich das Wasser vorzugsweise an der Oberfläche und fließt auf dieser ab; auf durchlässigem Boden (Sand, Kalk, Sandstein) dringt das Wasser längs der Schichtenflächen, Klüfte und Spalten in den Boden ein, bis undurchlässige Schichten seinem Vordringen eine Grenze setzen. Es sammelt sich über diesen, folgt dem Schichtenfall und tritt an geeigneter Stelle wieder als Quell hervor. Die Arbeit des Wassers ist dabei eine vorwiegend zerstörende, einerseits durch seine mechanische Kraft, andererseits, namentlich in der Tiefe, durch chemische Veränderung und Lösung der Gesteine. Bei den stark widerstandsfähigen Silicatgesteinen ist letztere Wirkung nur sehr gering, lässt sich aber an dem Mineralgehalt der aus solchen Gebieten entstammenden Quellen sehr wohl erkennen. Dagegen bei weitem am leichtesten löslich von allen weiter verbreiteten Gesteinen ist der kohlen saure Kalk, was durch seine in der Regel starke Zerklüftung noch bedeutend gefördert wird. Gyps übertrifft zwar noch den Kalk an Löslichkeit, ist aber als Gestein von weit geringerer Bedeutung. Wo er als solches in Betracht kommt, z. B. in der Zechsteinformation am Südhange des Harzes, wird auch der Gyps alsbald von Hohlräumen, den Gypsschlotten und Zwerglöchern durchsetzt. Bei der Lösung des Kalkes spielt die Kohlensäure die wichtigste Rolle. Alle Sickerwasser sind reichlich mit Kohlensäure beladen, welche sie theils bei ihrem Niederschlage aus der Atmosphäre, theils bei der Wanderung durch

den Erdboden, aus den sich zersetzenden Humusstoffen aufgenommen haben. Dieser Kohlensäuregehalt ist es, der die Sickerwasser befähigt, den Kalk in grosser Menge zu lösen, einen Theil Kalk in 900—3000 Theilen Wasser, und zwar in Form eines Bicarbonates. Das lehrt uns zunächst das Experiment, ferner die analytische Untersuchung der aus Kalkgebieten herstammenden Flusswasser, in denen im Vergleich zum Mineralgehalte anderer Gewässer ganz enorme Mengen Kalk gelöst sind. So enthält die Oetzthaler Ache, ein Gebirgsbach des krystallinischen Schiefergebietes bei Vent in Tyrol, in 1000 Theilen Wasser nur 0,2667 mineralische Bestandtheile, die dem Karstgebiet entstammende Cettinje dagegen 5,7633 Theile. Die Moldau führt in 24 Stunden an Prag etwa 15 Millionen Cubikmeter Wasser vorbei, mit 74 123 kg kohlen sauren Kalkes in Lösung, welche wesentlich einem granitischen und krystallinschieferigen Gebiete entstammen. Die Themse entführt ihrem Kalkgebiete täglich in 1250 Mill. Gallons Wasser (etwa $5\frac{1}{2}$ Mill. Cubikmeter) ungefähr eine Million Kilogramm Kalk, d. h. im Jahre nicht weniger als ca. 360 000 Tons. Auch ein etwas aufmerksameres Studium des Höhlenphänomens liefert uns zahlreiche Bestätigungen für die kalkauflösende Eigenschaft des Wassers. Die meisten Höhlen zeichnen sich durch Feuchtigkeit aus; an den Wänden trieft das Wasser herab, von der Decke fallen zahllose Tropfen in endloser Wiederholung. Namentlich da, wo dieselben aus Klüften und Spalten des Gesteins reichlicher hervortreten, sind häufig die Wände wabenförmig und in anderen merkwürdigen Formen angefressen: die schwerer löslichen Gesteinspartien treten in scharfen Kanten und Spitzen hervor, während die leichter löslichen dazwischen Vertiefungen bilden. Dawkins erzählt, wie in den Höhlen von Ingleborough die Versteinerungen des Kohlenkalkes vom Wasser ausmacerirt werden; „an einer Stelle steht man unter einer verzweigten Koralle, an einer andern stehen fossile Muschelschalen fast in ihrer ursprünglichen Schönheit hervor.“ Aehnliches habe ich in den korallenreichen Devonkalken der Rübeler Tropfsteinhöhlen im Harze beobachtet. Ferner ist vielfach auch ein Lösungsrückstand des fortgeführten Calciumcarbonates vorhanden. Durch Einwirkung von Essigsäure auf einen sehr reinen Kalk erhielt Neumayr einen aus Thonerde, Kieselsäure und Eisenoxyd bestehenden, thonigen Rückstand von kaolinähnlicher Zusammensetzung. Derselbe Thon ist charakteristisch für alle höhlenreichen Kalkgebiete, und zwar namentlich für die Vertiefungen des Bodens, wohin er durch Regenwasser etc. zusammengeschwemmt worden ist. So erscheint er in Menge als sogen. *Terra rossa* in den Dolinen des Karstgebietes, ferner in den „Wetter-

löchern“ des fränkisch-schwäbischen Juras, in den Höhlen und Avens der Causses etc.

Aber die Sickerwasser wirken nicht allein zerstörend, sondern in geringerem Maasse auch wieder aufbauend, insofern die Tropfsteinbildung derselben ihren Ursprung verdankt. Sobald das mit Kalk und Kohlensäure beladene Wasser einen Theil der letzteren durch Verdunstung an freier Luft verliert, so muss sich seine Lösungs-fähigkeit für Kalk, da sie durch die Kohlen-säure vermittelt wird, gleichzeitig vermindern, und der Ueberschuss an Kalk schießt daher in Krystallen an. Dies geschieht zunächst an der Decke der Höhle, wo das hervorsickernde Wasser in Form eines allmählich sich vergrössern-den Tropfens eine Zeit lang hängen bleibt. Bei grosser Regelmässigkeit des Tropfenfalls können dabei röhrenförmige Gebilde entstehen, wie man sie zu Hunderten in der neu entdeckten Hermanns-höhle im Harze beobachten kann. Die Kalk-abscheidung ist dann auf einen Ring am Rande des flach ausgebreiteten Tropfens beschränkt, weil hier die Wasserschicht flacher ist und sich nicht in so starker Bewegung wie in der Mitte befindet. Ein neuer Tropfen setzt wiederum einen zarten Ring an; und so fort in endloser Wiederholung. So wächst allmählich eine dünne Krystallröhre herab, aus deren offenem Ende immer neue Tropfen hervortreten. In anderen Fällen entstehen zarte Leisten, faltige Draperien und ähnliche Gebilde. Aber das herabfallende Wasser hat noch nicht seinen ganzen Kalkgehalt verloren; die noch vorhandenen Kalktheilchen werden zum Theil beim Auffallen auf den Boden abgeschiedet, und so erheben sich alle die flach-buckeligen Sockel, welche den Boden der Höhlen bedecken. Der Raum zwischen diesen und der sich immer weiter herabsenkenden Röhre wird immer kleiner, und zuletzt verschmelzen beide zu einem Stück. In der Höhle von Caldý in Pembrokeshire stehen nach der Beschreibung von Dawkins Tausende solcher strohhalmähn-lichen Gebilde dicht gedrängt neben einander, einem Kornfelde vergleichbar. Beim weiteren Fortschreiten der Stalaktitenbildung verdicken sich die entstandenen Röhren zu Säulen, Zapfen und so fort, und verwachsen in mancherlei phantastischen Formen, welche die Wände be- kleiden, und die engeren Galerien ganz oder theilweise verschliessen. Gleichzeitig verschwindet in den sich verdickenden Stalaktiten die dünn concentrische Schichtung und wird infolge einer molecularen Umlagerung durch eine körnig-krystallinische Structur ersetzt. Wo Decken und Seitenwände von Spalten durchzogen werden, da treten dieselben deutlich hervor, indem das reichlicher durchfiltrirende Wasser an ihnen förmliche Vorhänge, Draperien, Wasserfälle und Colonnaden entstehen lässt.

Also die Lösung des Kalkes durch kohlen-

säurehaltiges Wasser ist unbestreitbar. Die Causses sowohl, wie viele andere Kalkstein-plateaus verdanken diesem Phänomen ihre eigen- thümliche Gestaltung. Die verschiedenen Kalk- steine verhalten sich aber dabei verschieden. Die jurassischen Gesteine der Causses bestehen aus einer bis etwa 1000 m mächtigen Serie mit einander abwechselnder Kalke, Mergel, thonig- kalkiger Schichten und Dolomite. Letztere nehmen im Allgemeinen zwei verschiedene Niveaus ein: ein unterer Dolomit, 50—100 m mächtig, im Grunde der Cañons, enthält die unbekanntes Galerien der dort hervortretenden Quellen; darüber folgt eine 100—300 m mächtige Serie von Kalken etc., darüber der obere Dolomit, 100—200 m stark, welcher die Mauer- zinnen am oberen Rande der Cañons bildet; darüber dehnen sich noch verschieden geartete Kalke aus, welche die Oberfläche der Causses bedecken. Von allen diesen Gesteinen lassen die thonigen das Sickerwasser schwer oder gar nicht durch, sind daher kaum angreifbar, fördern aber die lösende und erodirende Thätigkeit des Wassers in den darüber liegenden Schichten, indem sie das schnelle Eindringen im Boden verhindern. Die reineren Kalke werden an allen Angriffspunkten ziemlich gleichmässig gelöst. Die Dolomite endlich verlieren vorzugsweise an Kalkgehalt, während die kohlen-saure Mag- nesia eine relative Vermehrung in der procen- tischen Zusammensetzung erfährt und zum Theil umkrystallisirt. Ausserdem besitzen die Dolomite an verschiedenen Stellen eine verschiedene Festig- keit und werden von Adern und Taschen eines feinen Sandes durchzogen, der von Wasser leicht fortgeführt wird. Die Dolomite sind daher vor- wiegend die Träger des Karstphänomens in den Causses. Die pittoresken Nadeln und Thürme am Rande der Cañons, die zahllosen Obelischen und natürlichen Bauwerke in den Kesselthälern von Montpellier-le-Vieux, le Rajol, Roquesaltes etc., die pflaster- oder wabenförmige Zerklüftung in eckige Felsblöcke und Platten auf weiten Arealen der Plateauflächen, die Avens und die daran sich schliessenden Höhlen — alles dies sind die grossartigen Ergebnisse der chemischen Ein- wirkung des Infiltrationswassers auf dem oberen dolomitischen Horizont, indem dieses so un- bedeutend erscheinende Agens das Gestein cavernös gemacht, die Klüfte erweitert und dann im Verein mit der mechanischen Erosion des fliessenden Wassers die solideren Gesteinspartien herausmodellirt hat. In dem unteren Dolomite sind in gleicher Weise die geheimnissvollen Hohlräume der im Grunde der Cañons ent- springenden Quellen entstanden.

Betrachten wir die Thätigkeit der Sicker- wasser im Innern des Kalksteines noch einmal genauer. Sie durchdringen denselben nicht in beliebigen Richtungen, wie einen porösen Sand-

stein, sondern sind, wie bereits erwähnt, an bestimmte Bahnen gebunden: an die ursprünglichen Schichtflächen des Gesteines, ausserdem an die zahllosen Spalten und Klüfte, die durch spätere Contraction, Pressungen, Zerrungen und Verschiebungen infolge tektonischer Vorgänge entstanden sind. Das Wasser wandert erst langsam, dann immer schneller auf den wohl stets etwas geneigten Schichtflächen entlang, bis es auf eine senkrecht dazu gerichtete Kluft trifft, die ihm gestattet, auf die darunter zunächstfolgende Schichtfläche überzugehen, und so fort treppenförmig von Schicht zu Schicht. Die Wassertheilchen vereinigen sich dabei mit einander und bilden zahllose, anfangs unmerkliche Aederchen, die allmählich wachsen und zu immer grösseren Adern werden, analog der Entwicklung eines oberirdischen Flusssystemes. Die Höhlenflüsse lassen, wie wir gesehen haben, diese Vereinigung aus den Infiltrationswassern oft deutlich erkennen: klein beginnend, schwellen sie schnell, mitunter schon auf wenige hundert Meter Entfernung, zu viel bedeutenderer Grösse an, allseitig gespeist durch eine Menge Wasseradern, die durch Löcher und Spalten aus Wänden und Decken hervorsprudeln. In ihrem ganzen Verlaufe wirken nun die Wassertheilchen lösend und corrodirend auf das Gestein; es entstehen allmählich in der Richtung des geringsten Widerstandes sichtbare Hohlräume, die immer grösser werden und den Anfang der Höhlenbildung darstellen. Es ist eine einfache Consequenz, dass die allgemeine Gestaltung der Höhlen abhängig sein muss 1) von dem Grade der Zerklüftung und Schichtung, 2) von dem Schichtenfall und den vorherrschenden Richtungen der das Gestein durchsetzenden Klüfte und Spalten. Wo die Klüfte zahlreich und die Schichten wenig compact sind, arbeitet sich das Wasser leichter grosse Hohlräume aus, wo harte und compacte Gesteinsbänke grösseren Widerstand leisten, wird voraussichtlich nur ein schmaler Durchgang geschaffen. Den zu zweit gefolgerten Zusammenhang betonten zuerst Phillips und Dawkins mit aller Entschiedenheit. Derselbe lässt sich in den Höhlen von Yorkshire, von Belgien, von Rübeland und wohl auch anderwärts mit Leichtigkeit nachweisen. Ueberall werden Boden, Decke und Seitenwände der Galerien und Säle von Fugen durchsetzt, deren Streichen bestimmten, vorwiegenden Himmelsrichtungen folgt und denen parallel der Kalk eine grössere Spaltbarkeit besitzt. Die Hohlräume folgen denselben Richtungen. Durch die nagende Thätigkeit des überall tropfenden Wassers sind die Fugen überall zu keilförmigen Spalten erweitert, die grösseren oft in Chorgänge verwandelt, welche die geräumigeren Säle mit einander verbinden. Auch in letzteren erkennt man deutlich, wie ihre Wölbung durch schrittweise

Erweiterung der oben entlang laufenden Klüfte entstanden ist.

Ausser durch die Structur des Bodens wird die Infiltration und Höhlenbildung noch beeinflusst durch ein zweites Moment. Den meisten höhlenbildenden Kalken sind mehr oder weniger häufig wasserundurchlässige Thon- oder Mergelschichten eingelagert, welche dem weiteren Eindringen des Wassers eine Grenze setzen. Die Wassertheilchen sammeln sich auf denselben an, folgen ihrer Neigung und treten endlich da, wo die Thonschichten in den Thaleinschnitten frei ausgehen, in gewissen, constanten Niveaus als Quellen zu Tage. Ueberall wirken sie corrodirend auf das Gestein, am meisten natürlich in den Schichten zunächst über den undurchlässigen Thonen. Die natürliche Folge ist, dass die entstehenden Hohlräume gleichfalls auf der Thonschicht entlang laufen müssen. Wie wir gesehen haben, ist dies in der That häufig der Fall; namentlich haben die unterirdischen Wasserläufe häufig auf weite Strecken einen thonigen Untergrund. Eine ähnliche Wirkung, wenn auch in geringerem Maasse, hat der Wechsel der Widerstandsfähigkeit des Gesteines, welches wohl überall in verschiedenen Schichten bald weicher, bald härter ist. Compactere Gesteinsbänke werden daher gleichfalls eine Ansammlung der Sickerwasser und eine vorwiegend horizontale Ausbreitung ihrer Corrosionsthätigkeit, also auch der Hohlräume zur Folge haben. Zuletzt werden aber sowohl die compacteren Gesteinsbänke wie die Thonschichten, wenn sie von geringerer Mächtigkeit sind, vom Wasser durchnagt werden, dasselbe wird einem neuen, tiefer gelegenen Kanalsysteme folgen, welches gleichfalls erweitert wird und einen neuen Ausgang erhält, und so fort. So kommen die complicirten Etagenbauten zu Stande, welche die Erforschung der unterirdischen Geographie in allen Höhlengebieten so erschweren. Ein System von Galerien und Sälen nach dem andern wird angelegt, und das fliessende Wasser folgt jedesmal dem kürzesten und steilsten Wege in die Tiefe.

In den Causes wird nun die Drainage am meisten bestimmt durch jene mergeligen Schichten, die den oberen Dolomit unterlagern. Die Wanderung und Corrosion der Sickerwasser geht durch die dünngeschichteten Kalke der Plateauflächen und durch den oberen Dolomit bis auf dieses Niveau hinab. So haben die Schichtungsverhältnisse und die Prädisposition des Dolomites zur Höhlenbildung ein und dasselbe Ergebniss gehabt: die Ausbildung eines oberen, höhlenreichen Horizontes, welchem die Aven und die daran sich anschliessenden Höhlen angehören. Wenn die Mergel unter dem Dolomite völlig wasserdurchlässig wären, so würden wir in diesem oberen Horizonte ohne Zweifel zahlreiche Höhlenflüsse und zahlreiche,

an den Wänden des Cañons herabstürzende Quellen finden. Das ist früher jedenfalls auch der Fall gewesen, wie das Vorhandensein der Höhlen selbst und der Erosionsspuren in denselben beweist; heute dagegen sind die oberen Höhlen meistens trocken und die Quellen in ihrem Niveau spärlich. Verwerfungen und andere Oeffnungen haben ohne Zweifel später dem Wasser den Zugang in den unteren Dolomit eröffnet, in welchem dann aller Wahrscheinlichkeit nach ein zweiter, tieferer Horizont von bisher unbekanntem Hohlräumen entstanden ist. Dieselben scheinen von zahlreichen grossen Höhlenflüssen durchströmt zu werden, die dann in den Quellen im Grunde der Cañons zu Tage treten.

Zu der chemischen Corrosion durch die Infiltrationswasser kommt als ein zweites Stadium der Höhlenbildung, sobald die sich sammelnden und durch die entstandenen Kanäle abfliessenden Wasseradern eine gewisse Stärke erreicht haben, die mechanische Wirkung der Erosion. Jeder Höhlenfluss zeigt dies sofort; er führt Sand, Kies und Geröll in eiligem Laufe mit sich, welche zerstörend und glättend auf die Unebenheiten des Flussbettes wirken; dasselbe wird erweitert und immer tiefer eingeschnitten. An den seitlichen Wänden lässt sich oft das verschiedene Wirken der beiden aushöhlenden Kräfte scharf unterscheiden: unter dem Wasserspiegel sind die Felsen geglättet, gefurcht und polirt, über demselben sind sie wabenförmig zerfressen, mit scharfen Spitzen und Kanten besetzt. Unter den Wasserfällen und an Biegungen des Flusslaufes, wo Wirbelströmungen entstehen, befinden sich mehr oder minder tiefe, kesselförmige Löcher, „Riesentöpfe“, welche durch herumgekreiselte Rollsteine ausgehöhlt worden sind. In grösseren, aus mehreren Stockwerken bestehenden Höhlen finden wir alle diese Erosionserscheinungen nicht allein im Bereich der Wasserläufe, sondern auch in den höheren Etagen — ein Beweis, dass das Wasser früher dort entlang geflossen und erst später, nach Anlage einer tieferen Etage nach unten abgelenkt sein muss.

Die Avens verdanken ihre Entstehung denselben Ursachen, wie die Höhlen. Da die Wanderung der Infiltrationswasser vorwiegend den annähernd horizontalen Schichtflächen der weniger durchlässigen Kalk- und Mergelschichten folgt, als der Richtung des geringsten Widerstandes, so überwiegen in allen Höhlengebieten die mehr in der Horizontale ausgedehnten Hohlräume. In selteneren Fällen fand die Infiltration einen geringeren Widerstand in vertikaler Richtung, indem Klüfte und Spalten sich von der Oberfläche durch eine ganze Reihe von Schichten continuirlich nach unten hin fortsetzen und eine vertikale Wasserbewegung begünstigten.

Durch chemische Lösung erweitert, gestatteten diese Kanäle, wie bei der Entwicklung der übrigen Höhlen, bald grösseren Wassermengen den Durchgang, und es begann eine intensive Erosion. Die oberflächlich in Rinnen sich sammelnden Regen- und Schmelzwasser eilen von allen Seiten den entstandenen Abflusslöchern zu, graben tiefe, radiale Furchen und trichterförmige Senkungen im Umkreise derselben und stürzen gurgelnd hinein. Wenn der Abfluss im Grunde des Schlotens nicht schnell genug von statten geht, so wirbelt das Wasser in demselben herum und reisst grosse Mengen Schutt und Geröll mit sich. Dieselben greifen die Wände des Schlotens an, glätten, poliren und erweitern dieselben, namentlich im Grunde, da die Kraft des Wirbels hier am stärksten ist. Dies sind die ersten Stadien in der Bildung der Naturschächte oder Avens oder Katabothren etc., mit ihrer nach unten flaschenförmig erweiterten Gestalt. Die Avens im Innern der Höhlen haben denselben Ursprung. Manche Avens bleiben in diesem Stadium erhalten; alsdann lassen sich die Folgen der Erosion deutlich erkennen, wie z. B. in dem grossen Aven de l'Egue, an dessen Wänden 2—6 m breite, polirte Erosionsfurchen spiralförmig, einem riesigen Schneckenhause vergleichbar, 60 m tief hinablaufen. Die mechanische Action der oberflächlichen Wasser findet ausserdem eine Bestätigung in der Lage der grösseren Avens. Sie treten fast alle auf in grösseren Senkungen der Plateaufläche und im Mittelpunkt eines Systems von radial ausstrahlenden Wasserrissen, die allerdings fast das ganze Jahr hindurch trocken sind. Die auf horizontalem Boden oder auf erhöhten Punkten sich öffnenden Avens sind durchweg kleiner, weil sie weniger Wasserzufluss erhalten.

Ein letztes Stadium in der Entwicklung der Höhlen und Avens wird durch den Einsturz derselben repräsentirt. Wo chemische Lösung und mechanische Erosion so weit gediehen sind, dass die Wölbungen der entstandenen Hohlräume keine genügende Festigkeit mehr in sich selbst haben, stürzen dieselben theilweise oder ganz ein. Mächtige Trümmerhaufen bedecken häufig den Boden der Höhlen und legen Zeugnis davon ab. Namentlich die Avens erlangen meistens durch diesen Vorgang ihre definitive Gestaltung; die riesigen Schuttkegel, die sich vielfach auf dem festen Boden derselben erheben, und bei entsprechender Grundfläche z. B. im Aven de Padirac etwa 20 m, im Aven de Rabanel 35 m Höhe erreichen, sind vornehmlich durch Einstürze entstanden, wenngleich nicht zu leugnen ist, dass die Masse derselben auch von der Oberfläche her vermehrt sein kann.

Auch in den inneren Höhlenräumen gehen solche Einstürze vor sich. Wenn die Gewölbe nur zum Theil zusammenbrechen, so werden die

Höhlungen dadurch erweitert. In anderen Fällen kann der Einsturz ein totaler sein und bis zur Oberfläche sich erstrecken; dann werden kürzere oder längere Abschnitte der unterirdischen Räume dem Tageslichte eröffnet. Im Karstgebiete ist dies, wie wir gesehen haben, im Verlaufe der Höhlengewässer häufig und bisweilen auf Strecken von mehreren Kilometern der Fall. Auch viele Avens mögen einzig und allein durch Unterhöhlung und Einsturz des Felsbodens entstanden sein, wie es in der That mehrfach direct beobachtet worden ist, z. B. 1783 oberhalb der Vaucluse, 1880 auf dem Causse du Mende. In der Rübeler Hermannshöhle bereitet sich ein derartiges Ereigniss vor, indem die Decke im Hauptsale derselben durch Einstürze schon so weit emporgerückt ist, dass die Wurzeln der auf der Oberfläche des Berges wachsenden Bäume freigelegt sind.

In gleicher Weise, wie die Höhlen durch die Kraft des Wassers, aber bei Weitem mehr durch die mechanische, sind die grossen Cañons der Causses entstanden. Wenngleich hier die Uebergänge zwischen Cañons und Höhlen fehlen, so sind sie doch, wie schon bemerkt, anderwärts in grosser Menge vorhanden. Die Verhältnisse in den Kalkgebieten von Yorkshire, Derbyshire und Wales, wo allgemein die Höhlen einerseits, die Schluchten und Thäler andererseits allmählich und in derselben Richtung in einander übergehen, und wo sich die Schluchten auf Kosten der Höhlen, die weiteren Thäler auf Kosten der Schluchten schrittweise erweitern, führten zuerst Desnoyers und Dawkins zu der Ansicht, allen einen gemeinsamen Ursprung zuzuschreiben, und die Schluchten und Thäler einfach als Höhlen anzusehen, die ihre Decke verloren haben. Auch die Wasserläufe der Causses mögen wohl zuerst nach ihrem Uebertritt aus granitischen auf Kalkgebiet ihren Weg durch die Spalten, Verwerfungen und Schichtenfugen des Gesteines gesucht, dieselben erweitert und auf diesem Wege grosse Höhlen gebildet haben, wie es heute die Flüsse des Karst thun. Die weitere Entwicklung blieb dann der erodirenden Kraft des Wassers überlassen, welches, aus dem weit höheren Gebiete der granitischen Cevennen stammend, stets ein beträchtliches Gefäll besessen haben muss. Das Einschneiden der Flüsse und der theilweise Zusammenbruch der stets unterhöhlten und sich erweiternden Wölbungen führte dann verhältnissmässig sehr früh dasjenige Stadium herbei, auf dem sich heutzutage die Flüsse des Karst befinden: einen Wechsel von ober- und unterirdischen Stromstrecken. Endlich nach völligem Zusammenbruch der noch vorhandenen Gewölbe entstand ein System steilwandiger Thäler, an deren Vertiefung und definitiver Gestaltung, wie sie heut ist, in der Tiefe die sich ununterbrochen immer

weiter einsägenden Flüsse, an den Abhängen Frost, Sonnenbrand, Schmelz- und Regenwasser gemeinsam viele Jahrtausende lang gearbeitet haben und noch arbeiten, ebenso wie im Gebiete des Grossen Colorado-Cañons, dessen allerdings noch unendlich viel grossartigere Gestaltung und Geschichte die amerikanischen Geologen durch so bewundernswerthe Untersuchungen kennen gelehrt haben. [1973]

Die Momentphotographie im Dienste der Ballistik.

Von J. Castner.

Mit einer Tafel und einer Abbildung im Text.

Herr Professor Mach, Vorsteher des physikalischen Instituts der deutschen Universität in Prag, ist seit Jahren damit beschäftigt, photographische Aufnahmen von fliegenden Geschossen herzustellen. Er wurde dabei von der Ansicht geleitet, dass die Photographie uns einen Einblick in die Vorgänge gewähren könnte, welche durch die Bewegung der Geschosse in der letzteren umgebenden Luft hervorgerufen werden. Das Gelingen dieses Unternehmens ist um so schätzenswerther, als wir noch kein anderes Beobachtungsmittel gefunden haben, welches uns Aufklärung über jene Vorgänge verschaffen könnte. Die Ballistik war bisher auf Hypothesen und physikalische Experimente angewiesen, um die Gesetze des Luftwiderstandes aufzustellen, welche die Grundlage für die Lehre von der Flugbahn der Geschosse bilden.

Professor E. Mach, welcher früher seine Versuche in Verbindung mit dem Professor Salcher von der Marine-Akademie in Pola, Professor Riegler u. a. ausführte, später aber vom stud. med. L. Mach in ausgezeichnete Weise darin unterstützt wurde, machte bereits im Jahre 1886 der Akademie der Wissenschaft in Wien eine vorläufige Anzeige von dem Gelingen der photographischen Aufnahme fliegender Geschosse und veröffentlichte den Bericht hierüber im Jahre 1887. Diesem Bericht waren Abbildungen in Lichtdruck nach den vergrösserten Negativen der Originalaufnahmen beigegeben, welche in der That einen die bisherigen Ansichten in mancher Beziehung klärenden Einblick in die Bewegungen der fliegenden Geschosse umgebenden Luft verschafften.

Der Gedanke, Geschosse im Fluge zu photographiren, ist keineswegs neu. So viel bekannt, ist ein erster derartiger Versuch bereits im Jahre 1866 im Arsenal zu Woolwich ausgeführt worden, wo die Photographie bei der Untersuchung von Geschützrohren zum Erkennen und Festhalten solcher fehlerhaften Erscheinungen in der Rohrseele, die im Laufe der Schiessversuche sich

verändern können, eine ausgedehnte Anwendung fand. Ob man es bei jenem Versuch auch auf das Erkennen der Luftvorgänge am Geschoss abgesehen hatte, ist nicht bekannt, ihre Darstellung durch die Photographie wurde aber auch nicht erreicht. Erst nachdem die photographische Technik sich sehr vervollkommen hatte und die Momentphotographie in die Reihe trat, war auch auf diesem heiklen Gebiet Erfolg zu hoffen. In der Presse ist seitdem oft erwähnt worden, dass O. Anschütz, dem die Momentphotographie viel verdankt, im Auftrage des preussischen Kriegsministeriums auf dem Schiessplatz bei Cummersdorf ausgedehnte Versuche mit photographischen Aufnahmen fliegender Geschosse gemacht habe, doch ist über Erfolge derselben Nichts bekannt geworden.

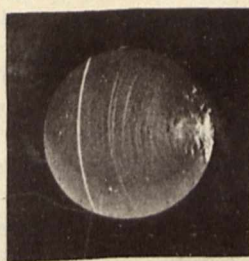
Professor Mach hat sein Verfahren, die Luftvorgänge in der Umgebung fliegender Geschosse auf die photographische Platte zu bringen, der sogenannten „Schlierenmethode“, das Aufsuchen von Schlieren in optischen Gläsern, entlehnt, welche im Stande ist, die feinsten Unterschiede in der Brechung des Lichtes sichtbar zu machen. Dementsprechend durfte angenommen werden, dass auch die durch das Geschoss hervorgerufenen Veränderungen in der Dichtigkeit der Luft auf der lichtempfindlichen Platte zur Erscheinung kommen würden. Für Mach handelte es sich jedoch besonders darum, das Bild des Geschosses in dem Augenblick, in dem das letztere vor der photographischen Kammer vorbeifliegt, auf die lichtempfindliche Platte zu werfen. Zu diesem Zweck hat er den Schliessungsbogen einer Batterie Leydener Flaschen an zwei Stellen unterbrochen, einmal da, wo der Beleuchtungsfunkel überspringen soll, und an einer zweiten Stelle, wo die Auslösung des Funkens stattfindet und wo die Drahtenden zur Isolirung in Glasröhren stecken oder mit Hartgummi umhüllt sind. Das heranfliegende Geschoss zerschlägt die Isolirung und bildet dann die Leitungsbrücke zwischen beiden Drähten, in welchem Augenblick der Funke zwischen den Elektroden überspringt, der gleichzeitig das Geschoss beleuchtet.

Der nach diesen Grundgedanken in einfacher Weise ausgeführte und bei den Versuchen mit Gewehren verwendete Apparat ist später durch Herrn L. Mach in sehr sinnreicher Weise derart vervollkommen worden, dass er auch bei Geschützen, sowie bei ungünstiger Witterung im Freien sicher arbeitet. Zu diesem Zweck hat der Apparat eine solche Einrichtung erhalten, dass die von einer Influenzmaschine geladene Beleuchtungsflasche erst dann in den Stromkreis sich selbstthätig einschaltet, wenn die elektrische Ladung der Flasche die erforderliche Spannung erreicht hat. In demselben Augenblick wird ein Glockenzeichen gegeben, der Schuss abge-

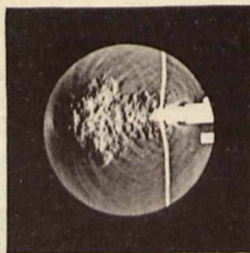
feuert, die photographische Kammer geöffnet und geschlossen. Die Funkenauslösungsdrähte bestehen aus 0,5 mm starkem Kupferdraht und haben einen etwas geringeren Abstand von einander, als die Länge des Geschosses beträgt, damit dieses auch als funkenauslösender Leiter wirken kann. In den Abbildungen sind sie als weisse senkrechte Linien sichtbar.

Bei den Versuchen mit Gewehren hatte die Laufmündung 2 bis 4 m Abstand von den Drahtenden, soweit nicht, wie in Tafel I Fig. 1 bis 3, besondere Erscheinungen aufgenommen werden sollten. Bei den Versuchen mit Geschützen auf dem Schiessplatze Krupp's bei Meppen waren die Apparate in einer Bretterhütte aufgestellt, in welcher zwei Luken die Schusslinien freigaben. Die Geschützöffnung war von den Funkenauslösungsdrähten 12 m entfernt. Es sei jedoch bemerkt, dass nur eine 4 cm Kanone mit 670 m Geschossgeschwindigkeit von den Herren E. und L. Mach zu Versuchen herangezogen wurde. Es hatte sich herausgestellt, dass im Allgemeinen die bei Geschützen gewonnenen Bilder den mit Gewehrgeschossen dargestellten ähnlich sind und dass es genügt, mit Waffen kleinen Kalibers zu experimentiren, da die Erscheinungen dieselben sind, wie bei grossen.

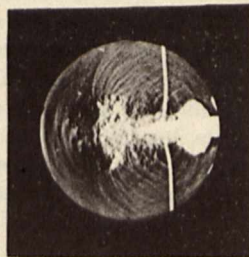
Wenn es auch längst Niemand mehr bezweifelte, dass vor dem fliegenden Geschoss eine Verdichtung der Luft stattfindet, so haben doch Mach's Versuche den sichtbaren Beweis dafür erbracht. Es wurden Gewehre mit verschiedener Geschwindigkeit des Geschosses zu den Versuchen herangezogen. War dieselbe grösser als 340 m, als die Schallgeschwindigkeit, so machte sich die Luftverdichtung, wie Tafel I Fig. 4 zeigt, in Form eines das Geschoss umschliessenden Hyperbelastes sichtbar, dessen Scheitel vor dem Kopf des Geschosses, dessen Achse in der Flugbahn liegt. Denkt man sich diese Curve um die Schusslinie als Achse gedreht, so erhält man eine Vorstellung des von der Luftverdichtung begrenzten Raumes, der einem hohlen Rotationshyperboloid, oder — wenn uns der Vergleich erlaubt ist — einem Schirme gleicht, dessen Stock die Flugbahn des Geschosses bezeichnet. Die Photographie bringt uns in täuschender Weise einen scheinbaren Durchschnitt dieses hyperbolischen Hohlkörpers zur Anschauung, weil offenbar die Dicke der verdichteten Luftschicht in der Richtung senkrecht zur Bildfläche durch die Achse nicht hinreicht, um ihre lichtbrechende Wirkung sichtbar zu machen. Ausser der Kopfwelle gehen noch geradlinige Streifen von der Bodenkante des Geschosses, die Bodenkante, aber stets unter etwas grösseren Winkeln, als die der Kopfwelle, nach rückwärts ab. Aehnliche aber schwächere Streifen setzen sich auch bei ganz glattem Geschossmantel an anderen Punkten des Geschosses an. Man glaubt für



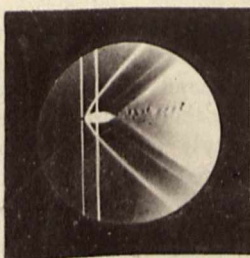
1



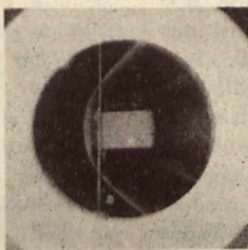
2



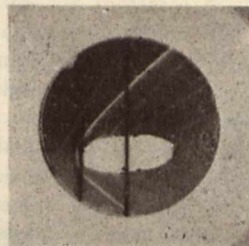
3



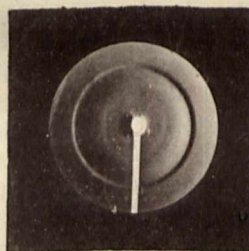
4



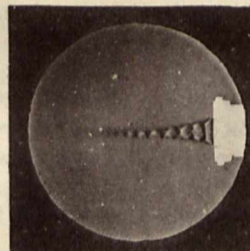
5



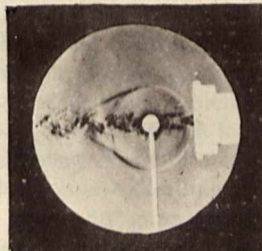
6



7



8



9

Verlag von Rudolf Mückenberger in Berlin.

Lichtdruck von C. Bellmann in Prag.

Die Momentphotographie im Dienste der Ballistik. Von J. CASTNER.

Momentphotographien von Prof. E. MACH und stud. med. L. MACH in Prag.

Fig. 1. Laufmündung und der Funkenauslösungsdraht liegen rechts ausserhalb des Gesichtsfeldes; beginnende Schallwellen, deren Mittelpunkt in der Laufmündung am Rande des Gesichtsfeldes.

Fig. 2. Das Geschoss ist soeben aus dem Lauf getreten und berührt den Auslösungsdraht; vor dem letzteren eine pilzförmige Zusammenballung von Luft und vor dem Geschoss der Keim der Kopfwelle.

Fig. 3. Eine etwas grössere Entfernung zwischen Laufmündung und Auslösungsdraht; vor dem Geschoss ein Luftball, zwischen dem Geschossboden und der Laufmündung ein Ball von Pulvergasen.

Fig. 4. Ein beiderseits zugespitztes Gewehrsgeschoss von 520 m Geschwindigkeit.

Fig. 5 und 6. Doppelt stumpfes und beiderseits auf einen Kreis von 16 mm Durchmesser zugespitztes Geschoss einer 4 cm Schnellfeuerkanone von 670 m Geschwindigkeit; aufgenommen am 18. August 1888 auf dem Schiessplatze Krupp's bei Meppen.

Fig. 7. Eine durch den Funken einer Leydener Flasche in der Luft erzeugte Schallwelle.

Fig. 8. Ein aus einer senkrechten Spalte unter dem Druck von 38 Atmosphären austretender Luftstrahl.

Fig. 9. Ein Luftstrahl, der unter dem Druck von 45 Atmosphären aus einer runden Oeffnung ausströmt und vermöge seiner hohen Geschwindigkeit eine Schallwelle birnförmig ausgezogen hat.

deren Entstehung die Fortpflanzung der Wellenbewegung, ähnlich wie wir sie beim Wasser beobachten, als Ursache ansehen zu dürfen. Die Winkel, unter denen Kopf- und Bodenwelle vom Geschosse abgehen, werden um so kleiner, je grösser die Geschossgeschwindigkeit ist; zwischen beiden besteht ein bestimmtes Verhältniss, so dass Mach versucht hat, aus der Grösse dieser Winkel die Geschwindigkeit des Geschosses zu berechnen. Die Ausführung stösst jedoch in der Winkelmessung auf grosse Schwierigkeit.

Sowohl die Zuspitzung, als auch die grössere Geschwindigkeit rücken die Kopfwelle dem Geschosse näher. Bei dem stumpfen 4 cm Geschoss, Tafel I Fig. 5, zeigt sich sogar eine doppelte Kopfwelle. Der dem Geschosskopf nähere Theil hat das Aussehen einer glatt gedrückten Luftscheibe, welche seitlich abfliesst.

Die vorbeschriebenen Erscheinungen einer Luftverdichtung lassen sich jedoch nur dann photographisch sichtbar nachweisen, wenn das Geschoss eine grössere Geschwindigkeit besitzt als der Schall, welche von Mach auf rund 340 m in der Secunde angenommen wird. Zwischen den Schallwellen und der Verdichtungswelle vor dem fliegenden Geschoss scheinen deshalb gewisse Beziehungen zu bestehen, derart, dass die bei geringerer Geschossgeschwindigkeit als 340 m vor dem Kopf erzeugte Verdichtungswelle als Schallwelle dem Geschoss vorausseilt, um so schneller, je weiter die Geschwindigkeit des letzteren hinter der des Schalles zurückbleibt. Daraus darf man folgern, dass bei den heutigen Gewehren kleinsten Calibers, deren Geschosse durchschnittlich eine Geschwindigkeit von 620 m haben, die Schallwelle als Kopfwelle mit dem Geschoss fortschreitet. Beobachtungen auf den Schiessständen haben in der That diese Annahme bestätigt; der französische Capitän Journee machte darauf aufmerksam, dass auf beliebigen Entfernungen vom Gewehr neben der Schusslinie stets der Knall des Schusses von dem seitlich vorbeifliegenden Geschoss, nicht vom Gewehr her gehört wird.

Im 98. Bd., 4. Heft des *Archivs für die Artillerie- und Ingenieur-Offiziere des deutschen Reichsheeres* wird über Ergebnisse von Versuchen zur „Ermittelung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Geschützknalles und des Werthes von Schalluhren als Entfernungsmesser“ berichtet, die, wie es scheint, von der Artillerie-Prüfungs-Commission auf ihrem Schiessplatz bei Cummersdorf ausgeführt wurden. Es wurde durch Schiessversuche mit Geschützen verschiedenen Calibers nachgewiesen: Bis die Geschossgeschwindigkeit unter die natürliche Geschwindigkeit des Schalles herabgesunken ist, bleibt die Knallgeschwindigkeit gleich der Geschossgeschwindigkeit; von da ab eilt der Knall in gleichbleibender Geschwindigkeit dem Geschoss voraus. Das Vorausseilen

des Geschützknalles vor den natürlichen Schall findet deshalb bei jedem Geschütz eine Grenze, welche z. B. bei der 12 cm Ringkanone L/22 mit 468 m Anfangsgeschwindigkeit auf etwa 3000 m, bei der 15 cm Ringkanone L/30 mit 487 m Anfangsgeschwindigkeit auf etwa 4500 und bei der 24 cm Kanone L/35 mit 548 m Anfangsgeschwindigkeit auf etwa 5000 m liegt. Das Hinausschieben dieser Grenze beim grösseren Caliber erklärt sich dadurch, dass bei diesem wegen der grösseren Querschnittsbelastung des Geschosses dessen Fluggeschwindigkeit langsamer abnimmt.

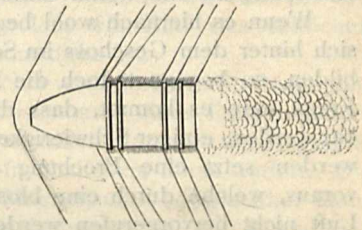
Bei einer vom Professor Salcher in Pola gemachten Aufnahme einer 9 cm Feldgranate von 438 m Geschwindigkeit gehen, wie die schematische Abbildung 339 zeigt, Wellenstreifen von allen Führungsringen aus

und ist man deshalb geneigt, die letzteren als die eigentlichen Erreger dieser Wellen anzusehen. Professor Salcher will indes so kleinen

Unebenheiten an der Geschossoberfläche nur nebensächlichen Einfluss auf die Hervorrufung der Wellenstreifen einräumen, da auch bei ganz glatten Geschossen solche Zwischenwellen zwischen Kopf- und Bodenwelle sich zeigen. Auch hier ist eine solche Welle vor den vorderen Führungsringen vorhanden, während hinter den hinteren Führungsringen die nie fehlende Bodenwelle sich ansetzt. Salcher meint jedoch, da diese Wellen in grosser Regelmässigkeit und bleibenden Abständen — allerdings in anderer Vertheilung — auch an ganz glatten Geschossen auftreten, so scheinen sie von der Form, Grösse und Geschwindigkeit des Geschosses abzuhängen; sie dürften durch Reibung in ähnlicher Weise entstehen, wie die Wellen auf einer Wasseroberfläche durch Wind. Immerhin bleibt, wie die Abbildung erkennen lässt, die Thatsache bestehen, dass die Führungsringe Wellenstreifen, also Luftverdichtungen hervorrufen. Inwieweit noch andere Ursachen zu ihrem Entstehen beitragen, das werden vielleicht künftige Versuche aufklären.

Die Artillerie hat allerdings, wie es scheint, ihr Urtheil bereits gesprochen, denn bei Schiessversuchen ist beobachtet worden, dass geringe Unebenheiten auf der Oberfläche von Geschossen, wie sie durch Führungsringe dargestellt werden, durch ihre Form und Lage am Geschoss die Treffsicherheit beeinflussen. Die hiermit in Zusammenhang stehenden Versuche mit sägenförmig in das Geschoss eingedrehten Steuerungsringen haben hierüber keinen Zweifel gelassen.

Abb. 339.



Noch eine andere Erscheinung, welche den Führungsringen ihr Entstehen verdankt, ist hier zu beachten. Gleich hinter den vorderen Führungsringen zeigt sich ein das Geschoss bis zur Bodenkante umhüllender Mantel leichter Luftwirbel, welche hinter dem Boden in den Schusskanal hineinströmen. Diese Erscheinung tritt um so deutlicher hervor, je grösser die Geschwindigkeit des Geschosses ist, und ist, wie die Kopfwelle, auch nur dann in der Photographie sichtbar, wenn das Geschoss schneller fliegt, als der Schall. In Tafel I Fig. 4 sind diese Wölkchen, die gleich einer Perlenschnur den Schusskanal erfüllen, deutlich sichtbar. Die Entstehung dieser Wirbelringe erklärt sich daraus, dass die den Geschossmantel zunächst umgebende Luft, wegen ihrer Reibung an demselben, weniger schnell in den luftleeren oder luftverdünnten Schusskanal einströmt, als die weiter entfernte.

Wenn es hiernach wohl begreiflich ist, dass sich hinter dem Geschoss im Schusskanal Wirbel bilden, so begegnet doch die Beantwortung der Frage, wie es kommt, dass diese Wirbel sichtbar werden, einiger Schwierigkeit. Das Sichtbarwerden setzt eine Brechung der Lichtstrahlen voraus, welche durch eine blosser Bewegung der Luft nicht hervorgerufen werden kann, es muss vielmehr immer eine Verdichtung oder Verdünnung derselben stattfinden, wie sie zur Erregung einer Schallwelle erforderlich ist. Nun haben diese Wirbel aber ganz das Aussehen der Wölkchen von erwärmter Luft, welche der elektrische Funke beim Durchschlagen der Luft zurücklässt und die man nach der Schlierenmethode deutlich beobachten kann. Sie haben ferner eine unverkennbare Aehnlichkeit mit den Luftwirbeln in Tafel I Fig. 8 und 9; erstere zeigten sich in einem Strahl auf 38 Atmosphären verdichteter Luft, welcher aus einem Spalt auströmte, Tafel I Fig. 9 zeigt einen aus einer runden Oeffnung austretenden Strahl auf 45 Atmosphären verdichteter Luft, welcher durch die Schallwelle des Funkens einer Leydener Flasche hindurchging und dieselbe vermöge seiner hohen Geschwindigkeit birnförmig auszog. Nun hat Joule durch Versuche nachgewiesen, dass Luft durch Reibung sich erwärmt, und berechnet, dass bei einer Geschossgeschwindigkeit von 340 m eine Temperaturerhöhung von 47^oC. stattfinden müsste. Man darf deshalb annehmen, dass die in den Schusskanal hineinwirbelnde Luft durch Reibung und Zusammenstoss sich erwärmt und dadurch sichtbar wurde, ebenso, wie sich die Luftstrahlen in Taf. I Fig. 8 und 9 an den Rändern der Ausströmöffnungen erwärmten.

Uebersieht man das Bild, welches die Momentphotographie von der Luftbewegung uns giebt, die ein fliegendes Geschoss hervorruft, so lässt sich die Aehnlichkeit mit der allen Lesern bekannten Erscheinung nicht verkennen, die ein

in ruhigem Wasser sich fortbewegendes Schiff hervorruft. Die vorderen und hinteren Wellenstreifen sind deutlich sichtbar, nicht minder die kleineren Zwischenwellen und die Wirbel im Kielwasser. Noch täuschender ist die Wasserbewegung an einem Brückenpfeiler, gegen welchen tiefes Wasser mit grösserer Geschwindigkeit strömt, so dass die Stromgeschwindigkeit die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wasserwellen übersteigt. Namentlich die stromabwärts hinter dem Brückenpfeiler sich bildenden Wasserwirbel bieten einen schönen Vergleich mit den Luftwirbeln im Schusskanal. Man kann dieselbe Erscheinung nachahmen, wenn man ein auf dem Wasser, z. B. in einer Badewanne schwimmendes Holzstäbchen etwas schneller, als die Wellen sich fortpflanzen, fortbewegt. Die Wellengrenzen treten dann deutlich hervor. Bestäubt man das Wasser mit Goldbronze oder dgl., so lassen sich auch die Wirbel hinter dem Stäbchen beobachten.

Fragen wir nun, welchen Nutzen diese Untersuchungen für die praktische Schiesskunst und das Waffenwesen bisher gehabt haben, so werden wir uns einstweilen mit der Bestätigung für die richtige Wahl der Geschossform, besonders bei den Handfeuerwaffen kleinsten Calibers mit ganz glattem Mantelgeschoss, genügen lassen müssen. Die Artillerie hat mit viel schwierigeren Verhältnissen zu kämpfen gehabt und noch zu kämpfen, wie die Entwicklung der Geschosse unserer gezogenen Geschütze lehrt. Befriedigung gewähren ihr die Momentphotographien insofern, als sie beweisen, dass man durch scharfe Beobachtung und richtige Schlussfolge auch hier meist das Richtige getroffen. Wir haben aber auch durch die Erfahrung betreffs der Fortpflanzung des Schalles mit Geschossen grosser Geschwindigkeit die Erkenntniss gewonnen, dass die Schalluhren und die sogenannten Telemeter, d. h. die Entfernungsmesser, welche das Maass der gesuchten Entfernung aus der zwischen dem Aufblitzen des Schusses und dem gehörten Knall verstrichenen Zeit angeben, nicht mehr anwendbar sind, weil sie eine Schallgeschwindigkeit von 340 (oder 333 $\frac{1}{3}$) m zur Voraussetzung haben und alle heutigen Schusswaffen eine viel grössere Geschossgeschwindigkeit besitzen. [1208]

Aus dem Gebiet der Wechselströme.

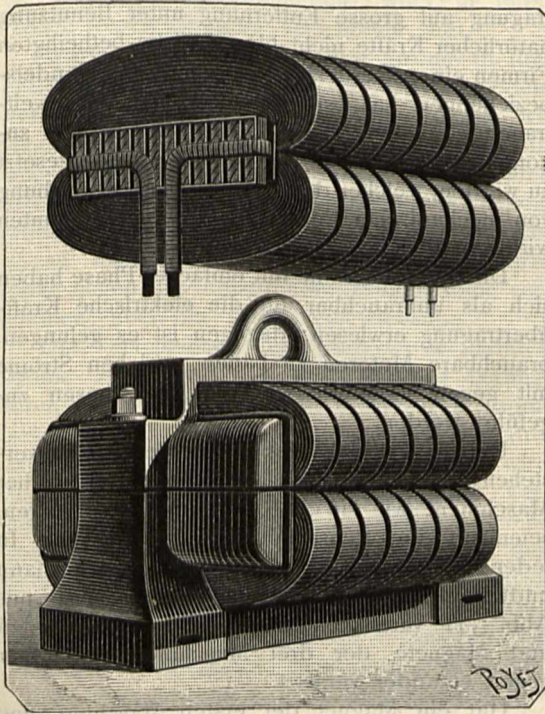
Von Prof. Dr. Friedrich Vogel.

(Schluss.)

Unsere weitere Abb. 340 soll eine Anschauung von einem einfachen Ferranti'schen Transformator geben. An der oberen Ansicht sieht man die Enden der dicken Wicklung für die starken Ströme und die Enden der dünnen

Wicklung für die hochgespannten Ströme hervorragen. Darunter ist der Transformator fertig im Eisengestell gezeichnet.

Abb. 340.



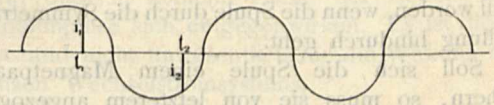
Die primäre und secundäre Wicklung liegen möglichst dicht neben einander und werden rings umschlossen von Eisenmassen, welche so stark gewählt werden, dass ein Magnetismus nach aussen nicht mehr wahrnehmbar ist, wenn die inneren Windungen von Strom durchflossen werden. Der Magnetismus soll sich vollständig durch den geschlossenen Eisenkörper ausgleichen können.

Bei der Anordnung des Eisenkörpers ist aber einem Umstande Rechnung zu tragen. Die Wechselströme in den primären Windungen suchen im Eisenkörper ebenso gut Ströme zu erzeugen, wie in der secundären Wicklung. Liesse man diese Ströme voll zur Wirkung kommen, so erhielte man einen grossen überflüssigen Arbeitsaufwand und zudem eine Ueberhitzung des Transformators. Das die inducirenden und inducirten Wicklungen umschliessende Eisen wird deshalb möglichst zertheilt, namentlich in der Richtung, in welcher die inducirten Ströme verlaufen würden, indem man den Eisenkörper aus Draht, dünnem Bandeisen u. dergl. herstellt.

Betrachten wir den Verlauf des Stromes, welcher in den Spulen einer einfachen Wechselstrommaschine erregt wird, so sehen wir, dass seine Stärke von Null zu einem Maximum wieder zu Null, zu einem entgegengesetzt gerichteten

Maximum, wieder zu Null u. s. f. sich ändert. Die Abb. 341 soll einen Ueberblick über den zeitlichen Verlauf des Stromes geben. Die Zeit ist fortlaufend in einem beliebig gewählten Maassstabe auf einer geraden Linie abgetragen.

Abb. 341.



Wir errichten in jedem Punkte eine Senkrechte, welche uns den Werth der Stromstärke zu der betreffenden Zeit darstellt. So sei der Werth der Stromstärke zu Zeit t_1 durch die Linie i_1 gegeben, zur Zeit t_2 durch i_2 u. s. f. Verbinden wir die Endpunkte der Senkrechten durch eine fortlaufende Curve, so erhalten wir eine Art von Schlangenlinie, welche ein Bild des zeitlichen Verlaufs der Stromstärke ist.

Wirkt ein solcher veränderlicher Strom magnetisirend auf die Eisenmasse eines Transformators ein, so ist leicht ersichtlich, dass sich der Magnetismus des Eisens in ähnlichem Sinne ändert. Die Aenderung des Magnetismus bewirkt aber ihrerseits wieder die Induction in der secundären Wicklung. Die elektromotorische Kraft, welche in derselben erregt wird, ändert also auch ihre Stärke und Richtung, und wenn ein geschlossener Stromkreis für die secundäre Wicklung vorhanden ist, so entsteht durch die veränderlichen elektromotorischen Kräfte ein Strom von veränderlicher Stärke und Richtung. Abb. 341 kann uns auch zur Veranschaulichung des zeitlichen Verlaufs des secundären Stroms dienen. Die Lage der Stellen, an denen der secundäre Strom durch Null oder durch ein Maximum hindurch geht, ist nicht dieselbe wie im primären Stromkreise. Der Leser weiss, dass die Phasen gegen einander verschoben sind und dass die Ursache der Phasenverschiebung die Selbstinduction im secundären Leiter selbst ist.

Wir wollen nun annehmen, eine Wechselstrommaschine der Art, wie sie Abb. 332 und 333 zeigen, soll als Motor dienen, d. h. wir senden in die Spulen des Ankers einen Wechselstrom und verlangen, dass die Maschine mechanische Arbeit abgibt. Wir wollen dabei, der Einfachheit halber, voraussetzen, die Feldmagnete seien constant erregt.

Wir betrachten eine einzige Spule in verschiedenen Stellungen zu den Magneten. Was für die eine Spule gilt, gilt in gleichem Maasse für alle anderen.

Wenn die Spule genau symmetrisch zwischen den Polen eines Magnetpaares liegt, so werden die Magnete zwar eine Kraftwirkung auf die Spule ausüben, wenn dieselbe von einem Strom durchflossen ist, aber die Kraftwirkung verläuft

in der Längsrichtung der Magnete. In der dazu senkrechten Richtung, in der die Spule sich bewegen soll, findet keine Wirkung statt. Es leuchtet also ein, dass es überflüssig ist, in die Spule einen Strom zu senden, wenn sie sich in der bezeichneten Symmetriestellung befindet. Die zugeführte Stromstärke muss also jedesmal Null werden, wenn die Spule durch die Symmetriestellung hindurch geht.

Soll sich die Spule einem Magnetpaare nähern, so muss sie von letzterem angezogen werden. Die Richtung, welche der Strom im Verlauf der Näherung haben muss, ist also durch die Bewegungsrichtung gegeben. Ebenso muss die Spule abgestossen werden, wenn sie sich wieder von dem in's Auge gefassten Magnetpaar entfernen soll. Auch hier muss die Stromrichtung eine bestimmte sein, und zwar die entgegengesetzte wie vorher. Es erhellt also, dass der Strom genau in demselben Takte wechseln muss, in welchem der Vorübergang an den Feldmagneten vor sich geht. Erfüllt der Wechselstrommotor diese Bedingung, so sagt man, der Wechselstrommotor läuft synchron mit dem Wechselstrom.

Wenn der Motor still steht und soll in Betrieb gesetzt werden, so bieten sich Schwierigkeiten dar. Denken wir uns, die Spulen stünden wieder genau symmetrisch zwischen den Feldmagneten, so ist keine Kraftwirkung in der Richtung der Bewegung vorhanden, auch wenn wir einen Strom in die Spulen einleiten. Der Motor wird also nicht angehen. Man musste deshalb Wechselstrommotoren bis vor kurzer Zeit durch eine besondere Maschine andrehen.

Es ist ferner auch nach dem Vorigen leicht einzusehen, dass es auf den Gang des Motors schädlich einwirken muss, wenn der Wechsel der Stromrichtung zur unrechten Zeit eintritt. Beim Hingang zu einem Magneten soll die Spule angezogen, beim Weggang abgestossen werden. Findet nun der Stromwechsel so statt, dass schon beim Hingange eine Abstossung eintritt, so muss diese mindestens verzögernd auf die Bewegung einwirken, ebenso wenn der umgekehrte Vorgang beim Weggange sich abspielte. Es ist nun zu verstehen, weshalb die Wechselstrommotoren gelegentlich ganz stehen blieben, namentlich wenn durch plötzliche Be- oder Entlastung Stöße auf den beweglichen Theil, den Anker, wirkten.

Der rege Schaffensgeist liess unseren Fachleuten keine Ruhe, bis die Schwierigkeiten überwunden waren, so dass man den Wechselstrom mit seinen günstigen Eigenschaften auch für die Zwecke der Kraftübertragung und Kraftvertheilung benützen konnte. Es ist hier nicht der Raum, alle die Bemühungen zu würdigen. Nur der Name eines Ferraris soll genannt werden, welcher ein hervorragendes Verdienst um die

Ausbildung der Wechselstrommotoren sich erworben hat. Wir wollen uns im Uebrigen an die Art der Kraftübertragung halten, wie sie zwischen Lauffen und Frankfurt a. M. zur Ausführung gelangen soll. Dass diese Kraftübertragung auf grosse Entfernung unter Benutzung natürlicher Kräfte nicht bloss für die beteiligten Firmen einen Werth zur Anknüpfung von Handelsbeziehungen hat, sondern dass ihr eine weittragende volkswirtschaftliche Bedeutung zukommt, braucht nicht für den auseinandergesetzt zu werden, welcher den Einfluss der Verwerthung von mechanischer Energie in unserm gesammten wirtschaftlichen Leben kennt.

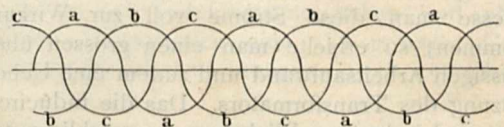
Die Wechselströme mit einfacher Phase haben sich als unbrauchbar für die elektrische Kraftübertragung erwiesen; dagegen ist es gelungen, brauchbare Motoren zu bauen, welchen Ströme mit gegen einander verschobenen Phasen zugeführt werden.

Um die Wirkung des Stromerzeugers zu verstehen, wollen wir uns vorstellen, drei solcher Maschinen, wie sie Abb. 332 und 333 zeigen, seien auf einer Achse mit einander vereinigt. In jeder der einzelnen Maschinen werden dann undulirende Ströme erzeugt werden, wie sie uns Abb. 341 veranschaulichen sollte. Die Spulen und Magnete der drei Maschinen sind aber gegen einander versetzt.

Hat ein Magnet der ersten Maschine eine gewisse Stellung, so ist der entsprechende Magnet der zweiten um einen gewissen Winkel gegen diesen verstellt. Um den gleichen Winkel weicht die Stellung des entsprechenden Magneten der dritten Maschine ab, um einen weiteren gleichen der nächstfolgende der ersten Maschine u. s. w.

Nach dem früher über die Induction Gesagten ist klar, dass der inducirte Strom in den drei Ankern nicht gleichzeitig durch den Werth Null hindurch gehen wird. Abb. 342 soll uns den zeitlichen Verlauf der Ströme *abc* verdeutlichen. Es wird dies Bild nach dem bei Abb. 341 Auseinandergesetzten von selbst verständlich sein.

Abb. 342.



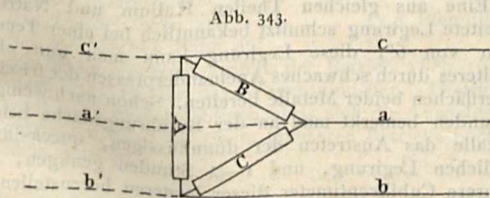
Jede einzelne der Stromcurven *abc* hat die Form derjenigen in Abb. 341. Der Strom *b* schwillt an, wenn *a* bereits im Abnehmen begriffen ist. Ebenso erhebt sich *c* von Null an nach einem positiven Maximum, wenn *b* wieder abnimmt; dabei steigt *a* schon zu einem entgegengesetzt gerichteten negativen Maximum an u. s. w. Die dreifache Maschine ist in keinem Augenblicke ganz stromlos.

In der Praxis werden natürlich die drei Maschinen zu einer einzigen vereinigt und nicht bloss auf einer gemeinsamen Achse montirt. Die Zerlegung diente nur dazu, die Wirkung besser zu verdeutlichen. Es entstehen also drei Ströme, die von einander unabhängig, aber in ihren Phasen gegen einander verschoben sind.

Würde man nun diese drei Ströme in drei Transformatoren senden, so würde sich in jedem einzelnen das Spiel wiederholen, welches wir früher kennen gelernt haben. Die Stromzuleitungen von jedem der drei Theile der Maschine müssen zu den Enden der primären Wickelung geführt werden. Die in den secundären Wickelungen inducirten Ströme sind zwar in ihrer Phase gegen die inducirenden Primärströme verschoben, aber der Takt bleibt derselbe.

Die Verschiebung der Phase der secundären Ströme gegen die der primären war bedingt durch die Selbstinduction im secundären Stromkreise. Wenn die Bedingungen für die drei Stromkreise genau die gleichen bleiben, so wird die Selbstinduction und damit auch die Verschiebung der Phase gegen die primären Ströme dieselbe sein, d. h. die drei Ströme in den secundären Stromleitungen sind genau so gegen einander verschoben, wie es die drei primären Ströme waren. Man kann die Transformation beliebig oft wiederholen, ohne dass eine Aenderung in der gegenseitigen Verschiebung der Phasen eintritt.

Die Art, wie wir bisher uns die Fortleitung der je drei Ströme gedacht haben, würde es mit sich bringen, dass man für jeden der Ströme eine Hin- und eine Rückleitung, im Ganzen also z. B. von der Wechselstrommaschine bis zum Transformator sechs Leitungsstränge brauchte. Die Anzahl der Stränge kann aber auf drei zurückgebracht werden. Abb. 343 stellt schematisch die Stromleitung zu und von den drei Transformatoren (*ABC*) dar. Es sei *A* der



Transformator, welcher von der ersten der vorbezeichneten Spulengruppen mit Strom durch die gestrichelten Leitungen *c'b'* versorgt wird, *B* gehöre zur zweiten, *C* zur dritten Spulengruppe. Die dritte Leitung *a'* geht zu dem gemeinsamen Punkt zwischen Transformator *B* und *C*. Die Leitung *c'* geht also als gemeinsame Ab- bzw. Zuleitung vom Ende der Spulengruppe 1 und Anfang der Gruppe 2, *a'* vom Ende 2 und Anfang 3, *b'* vom Ende 3 und Anfang 1.

Dieselbe Vereinfachung findet in den Leitungen der secundären Wickelungen der drei Transformatoren *abc* statt. Verfolgt man den Stromverlauf für jeden der drei Ströme in den Leitungen *abc* oder *a'b'c'* für irgend einen Zeitpunkt, indem man der schematischen Darstellung des Stromverlaufs in Abb. 342 gedenkt, so findet man, dass in keinem Theile der Leitung die Stromimpulse sich entgegenwirken. Es ist dieser Umstand nicht unwesentlich für die Wirkung des ganzen Wechselstromsystems.

Selbstverständlich kann man auch wieder die drei Transformatoren räumlich zu einem einzigen gestalten. Es kann die Vereinigung nur vortheilhaft für die Gleichmässigkeit sein. Im Princip bleiben es aber drei Transformatoren, welche zusammenwirken.

Ein Grund, weshalb man die drei Ströme mit drei Leitungssträngen nimmt, könnte der sein, dass man die Leitung verbilligen will, ähnlich wie man auch bei Gleichstromvertheilungen Dreileitersysteme anwendet. Der ausschlaggebende Grund ist dies jedoch nicht gewesen. Derselbe liegt vielmehr in den Motoren. Der Erfinder des Wechselstrommotors, v. Doliwo-Dobrowolski, hat den drei Strömen mit gegen einander verschobenen Phasen den Namen Drehstrom beigelegt. Der Grund wird aus der folgenden Betrachtung hervorgehen, welche auch für die Wirkung der Drehstrommotoren von Wichtigkeit ist.

Wir wollen unter Zuhülfenahme der Abb. 342 den Verlauf des Magnetismus in den drei Theil-Transformatoren verfolgen. Wächst der Strom *a* im Transformator 1, so nimmt der Magnetismus in demselben zu. Nach Ueberschreitung des Maximums fällt er wieder ab. Dann steigt aber der Strom *b* im Transformator 2. Fällt auch *b* ab, so steigt *c* und mit ihm der Magnetismus im Transformator 3, während in 1 der Magnetismus ein entgegengesetztes Maximum erreicht hat u. s. f. Der Magnetismus wandert gewissermassen vom Transformator 1 über 2 zu 3 zu 1 u. s. w.

Dieselbe Wanderung lässt man den Magnetismus im Motor durchmachen. Derselbe besitzt drei Systeme von Feldmagneten, deren Wickelungen in gleicher Weise mit den secundären Leitungen verbunden sind, wie die primären Wickelungen der Theil-Transformatoren mit den Zuleitungen von der Wechselstrommaschine her. Der Magnetismus wandert also von Magnetsystem 1 über 2 zu 3 zurück zu 1 u. s. f.

Der Strom wird nicht in den Anker des Elektromotors geleitet. Die Ankerwicklung ist vielmehr in sich geschlossen. Da in die Feldmagnete Wechselströme geleitet werden, so werden durch diese, bzw. den durch sie hervorgerufenen wechselnden Magnetismus in der Ankerwicklung gleichfalls Wechselströme inducirt. Zwischen

diesen inducirten Wechselströmen und dem Magnetismus finden Kraftwirkungen statt, genau so, als ob in den Anker Ströme eingeführt würden.

Es ist aber klar, dass sowohl in den Feldmagnetsystemen in jedem Augenblick Magnetismus als in der Ankerwicklung immer Strom vorhanden sein wird. Die Kraftwirkung ist deshalb eine fortlaufende. Der Motor kann darum auch selbstthätig angehen. Der Motor nähert sich in seiner Wirkung dem Gleichstrommotor.

Dass zu dem beweglichen Theile, dem Anker, der Strom nicht durch Schleifcontacte zugeführt werden muss, ist auch ein Vortheil.

Die Kraftübertragung Lauffen-Frankfurt soll nun so eingerichtet werden, dass bei der Wasserkraft Wechselstrommaschinen aufgestellt werden, welche eine niedrige Spannung haben. Der Betrieb wird dadurch einerseits für die Bedienung ungefährlich, andererseits bietet die Isolation der Maschine keine erheblichen Schwierigkeiten. In der Nähe der Erzeugerstation werden die Ströme in hoch gespannte Ströme verwandelt, welche auf verhältnissmässig dünnen Leitungen fortgeführt werden.

Vor der Motorstation werden durch eine zweite Transformation die hoch gespannten Ströme wieder in niedrig gespannte rückverwandelt, welche mit ausreichender Betriebssicherheit den Motoren zugeführt werden.

Die Isolation bietet für Ströme von so hoher Spannung, wie sie hier zur Verwendung kommen sollen, mit den gewöhnlichen Mitteln Schwierigkeiten. Die Transformatoren werden deshalb vollständig in Oel gebettet. Die Oerlikoner Versuche haben zu einem günstigen Ergebniss geführt.

Die Leitungen gehen über Isolirglocken, welche sich von den gewöhnlichen dadurch unterscheiden, dass sie Ausbuchtungen mit Oel erhalten. Es wird dadurch verhindert, dass sich zusammenhängende Feuchtigkeitsschichten bilden, welche den Strom ableiten könnten.

Vor Kurzem wurden Seitens der Firma Siemens & Halske interessante Versuche in Charlottenburg vorgeführt, welche sich auf die Isolation der Leitungskabel für hoch gespannte Ströme bezogen. Die Kabel werden mit einem besonders vorbereiteten Gummi überzogen. Auch hier wurde der Zweck vollkommen erreicht.

Die elektrotechnische und weitere Fachwelt ist mit Recht gespannt auf den Ausgang der Frankfurter Kraftübertragung. Ein wie hohes wirtschaftliches Interesse denselben beigemessen wird, geht schon daraus hervor, dass Staatsregierungen und wirtschaftliche Körperschaften das Unternehmen finanziell unterstützen. Jedenfalls gebührt der deutschen Technik der Ruhm, ein schwieriges, dafür aber um so folgenreicheres Problem gelöst zu haben. [1186]

RUNDSCHAU.

Ueber eine neue Methode zur Darstellung von Legirungen. Im Nachstehenden reproduciren wir kurz den Inhalt einer von William Hallock im *Bulletin of the United States Geological Survey* veröffentlichten Abhandlung nach der Zeitschrift *Chemical News*. Die interessanten Versuche des Verfassers berühren eine zwar schon mehrfach beobachtete, jedoch bislang nicht näher studirte Erscheinung, nämlich die Bildung von Legirungen durch Erhitzen der in innige Berührung gebrachten Bestandtheile bis zu einer Temperatur, welche in der Nähe des Schmelzpunktes der herzustellenen Legirung liegt. Bekanntlich ist es vor mehreren Jahren W. Spring gelungen, das sog. Wood'sche Metall durch Zusammenpressen des Gemisches seiner Bestandtheile: Wismuth, Blei, Zinn und Cadmium in fein zertheiltem Zustande bei einem Druck von 6000 Atmosphären herzustellen; dabei wurde angenommen, dass die Vereinigung der genannten Bestandtheile zu einem homogenen Ganzen lediglich durch Wirkung von hohem Druck hervor gebracht wurde.

Gegen diese Ansicht wendet sich nun Hallock, indem er annimmt, dass bei den vielen Manipulationen, welche den Spring'schen Druckversuch begleiten müssen, an irgend einer Stelle der Masse, wo die Molecule der vier Bestandtheile zufällig im geeigneten Verhältniss zusammenkamen, gleichzeitig auch eine Temperatur von 70° herrschen könnte, d. h. die Schmelztemperatur des Wood'schen Metalls. Unter solchen Umständen würden die zufällig zusammengetretenen Molecule schmelzen und die ihnen benachbarten Theile der Mischung allmählich in Lösung bzw. zur Legirung bringen. Der nämliche Process lässt sich in der That auch ohne Vermittelung irgend welcher Druckwirkung durchführen. Verfasser erhitzte ein Gemisch aus 1 Th. Cadmium, 1 Th. Zinn, 2 Th. Blei und 4 Th. Wismuth in fein gepulvertem Zustande in einer Glasröhre, welche sich in siedendem Wasser befand, und erhielt nach einiger Zeit die Legirung in Form einer homogenen Kugel. Ferner gelang es, eine Legirung von Blei und Zinn durch Erhitzen des Gemisches der Bestandtheile in fein zertheiltem Zustande auf 190° ohne Weiteres herzustellen.

Nun wissen wir, dass die Schmelzpunkte von Cadmium, Zinn, Wismuth und Blei bei 315° , 230° , 267° , 325° liegen; diese Temperaturen liegen bedeutend höher, als die Schmelzpunkte der genannten Legirungen bzw. als diejenigen Temperaturen, bis zu welchen die betreffenden Gemische erhitzt wurden.

Eine aus gleichen Theilen Kalium und Natrium bereitete Legirung schmilzt bekanntlich bei einer Temperatur von 6° ; diese Legirung kann man nun ohne Weiteres durch schwaches Aneinanderpressen der frischen Oberflächen beider Metalle bereiten. Schon nach wenigen Secunden bemerkt man an der Berührungsfläche beider Metalle das Austreten der dünnflüssigen, quecksilberähnlichen Legirung, und 1—2 Stunden genügen, um mehrere Cubikcentimeter dieser letzteren herzustellen.

Referent, welcher vor längerer Zeit eine Reihe ähnlicher Versuche mit der Wood'schen Legirung gelegentlich anstellte, kann die Resultate der Hallock'schen Untersuchung nur voll bestätigen. Andererseits wäre jedoch zu bemerken, dass durch diese Versuche noch nicht bewiesen ist, dass beim Spring'schen Druckversuch die Bildung der Legirung aus ihren Componenten lediglich auf Kosten einer eventuellen Wärmewirkung geschah. Es erscheint vielmehr auch die Annahme gerechtfertigt, dass die Bildung der Legirung auch durch Wirkung eines hohen Druckes hervorgebracht werden kann, weil dabei die physikalischen Molecule der betreffenden Metalle in eine besonders innige Berührung gebracht und gleichsam durch einander gemischt werden. Der

Spring'sche Druckversuch wäre unter solchen Bedingungen zu wiederholen, bei welchen das Zustandekommen einer Temperaturerhöhung bis zum Schmelzpunkt der herzustellen den Legirung ausgeschlossen bleibt.

Kw. [1113]

* * *

Ueber die Ursache des Ranzigwerdens von Fetten wurden neuerdings von E. Ritsert (Inaugural-Dissertation) genaue Untersuchungen angestellt, welche zu folgenden bemerkenswerthen Ergebnissen führten.

Das Ranzigwerden von Fetten ist lediglich als ein directer, bei Gegenwart von Licht vor sich gehender Oxydationsprocess aufzufassen, welcher um so rascher verläuft, je grösser die Sauerstoffzufuhr und je intensiver die gleichzeitige Lichtwirkung ist. Die früheren Ansichten, nach welchen die Erscheinung des Ranzigwerdens durch einen Fermentationsprocess bezw. durch Gegenwart gewisser Arten von Bacterien hervorgerufen, oder doch nur in ihrem Verlaufe unterstützt wäre, sind auf Grund dieser neuen Beobachtungen als irrthümlich zu bezeichnen; ebenso sicher scheint festgestellt zu sein, dass beim gedachten Oxydationsprocess die Gegenwart von Feuchtigkeit nicht gerade nothwendig erscheint.

Unter Lichtabschluss findet auch bei noch so reichlicher Luft- bezw. Sauerstoffzufuhr keine Oxydation der Fette statt; ebensowenig vermag Licht allein bei Abschluss von Sauerstoff ein Ranzigwerden von Fett zu veranlassen. Was das Verhalten von Fetten gegen Kohlensäure anlangt, so wird letzteres Gas sowohl im Lichte als im Dunkeln von den meisten Fetten aufgenommen, wodurch jedoch das Fett nicht ranzig wird, sondern nur einen specifischen Talggeschmack annimmt. Gegen Stickstoff sind Fette natürlich indifferent. Aus diesen Versuchen ergibt sich nun zunächst für die Praxis die wichtige Regel, dass man beim Aufbewahren von Fetten nicht nur für Luft-, sondern auch für einen möglichst vollkommenen Lichtabschluss sorgen muss. Die Ritsert'schen Beobachtungen bringen uns ferner ein neues Beispiel für die wichtige Rolle, welche dem Lichte bei manchen langsam vor sich gehenden chemischen Processen zukommt und laden zu weiteren Versuchen in dieser Richtung ein.

Kw. [1178]

* * *

Betriebskosten der elektrischen und der Pferdebahnen.

Sehr lehrreich ist eine Aufstellung des *Elektrotechnischen Echo* über die Kosten des Betriebes der elektrischen Bahn von Frankfurt nach Offenbach und auf den benachbarten Pferdebahnlagen der Stadt Frankfurt. Danach stellten sich die Ausgaben für das Wagenkilometer, einschliesslich Amortisation:

bei den Pferdebahnen auf 47,2 Pfennige
bei der elektrischen Bahn auf 24 „

Ohne die Abschreibungen kostete der Betrieb 1889—90 42,9 bezw. 10,5 Pf. für das Wagenkilometer. Hierbei ist ausserdem zu berücksichtigen, dass sich die Ausgaben der elektrischen Bahn bei einem grösseren Betriebe noch vermindern dürften.

Me. [1247]

* * *

Die projectirte unterirdische Eisenbahn in New York.

Es dürfte den Lesern bekannt sein, dass das Project, New York und Brooklyn durch eine unterirdische Eisenbahn zu verbinden, nicht neu ist. Da jedoch gegenwärtig diese Frage in Amerika wieder lebhaft erörtert wird, wollen wir hier einige der hervorragenderen Zahlen mittheilen. Die Gesamtlänge des projectirten Tunnels wird 42 engl. Meilen betragen und wird der Bau 240 000 000 M. beanspruchen. Die zweigeleisige Fahrbahn wird sich 100 Fuss unter dem Strassenpflaster New Yorks befinden. Die unterirdischen Stationen werden 330 Fuss lang, 60 Fuss breit und 30 Fuss hoch sein und werden durch Schächte mit der Oberwelt in Verbindung stehen. Sechs Aufzüge, welche instände

sind, 340 Personen in der Minute zu befördern, werden diese Verbindung bewerkstelligen. Der Tunnel selbst, welcher bei einer Weite von 26 Fuss eine Höhe von 20 Fuss erhalten soll, wird aus Ziegelsteinen, die mit Cementmörtel verbunden sind, hergestellt. Die Ventilation dieses Riesentunnels wird durch weite eiserne Röhren erfolgen, die am Scheitel des Gewölbes angebracht und in Abständen von je 50 Fuss mit entsprechenden Oeffnungen versehen sind, sowie durch zwei ungeheure Ventilatoren, welche die Luft aus dem Tunnel herausaugen werden. Wie ein englisches Fachblatt kürzlich berichtete, soll demnächst mit dem Bau des Brooklyner Tunnels begonnen werden. —e. [1257]

* * *

Nordpolarforschung mit Hülfe eines Luftballons.

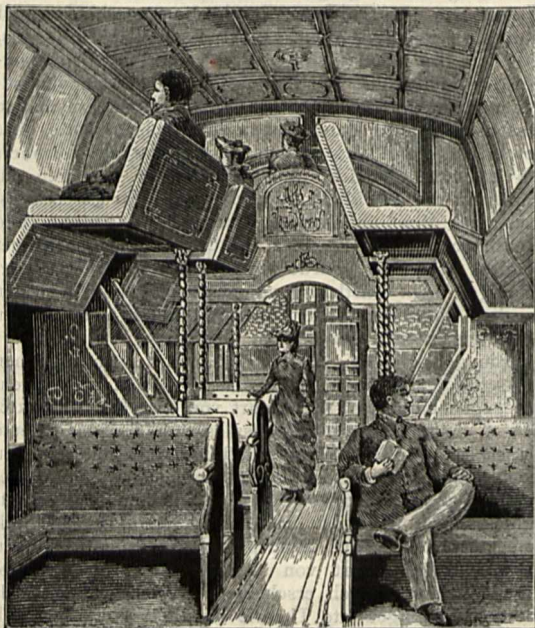
Vor einiger Zeit ging ein Bericht über dieses neue Project wie ein Lauffeuer durch die Tagesblätter und Journale der ganzen Welt. Es stellte sich später heraus, dass die sensationssüchtige Presse ein unvorsichtigerweise zu laut geäußertes Phantasiegebilde zweier jugendlicher Amateurs der Luftschiffahrt zu einem ernsthaften wissenschaftlichen Unternehmen aufgebaut hatte. Die geschickte Hand des bekannten technischen Zeichners Poyet hatte die Idee durch bestimmte Conturen auf Papier in die Wirklichkeit übertragen. So geschah es, dass aus den unbekanntenen Herren Besançon und Hermite binnen Kurzem weltbekannte Unternehmer wurden. Ihr Plan wurde von vornherein von Sachverständigen nicht ernsthaft genommen; denkende Menschen wurden aber hierdurch angeregt, tiefer über dessen Schwierigkeiten nachzusinnen.

Ein gelehrter Priester Maze hat in der französischen Luftschiffergesellschaft, nach dem *L'Aéronaute*, Folgendes gegen eine Nordpolluftfahrt vorgebracht. Charakteristisch fängt er damit an, dass es wohl für junge Leute besser sei, für die Wissenschaft und das Vaterland zu leben, als nutzlos für sie zu sterben. Zunächst bezweifelt er dann den von Hermite angenommenen Luftstrom von Spitzbergen nach dem Nordpol. Die allgemeine Theorie der atmosphärischen Luftströmungen liesse die Gegenwart von Wirbelwinden um den Pol herum wahrscheinlich erscheinen. Wichtiger aber als dieses nicht aufgeklärte Theorie ist die Frage, wie sich der Ballon *Sivel* dem Schneefall gegenüber verhalten würde. Maze berechnet bei Annahme eines Schneefalles von 30 cm Höhe während einer Nacht das vom Ballon zu tragende Gewicht auf 27 502 kg, während dessen Auftrieb nach dem Project zu nur 16 500 kg angegeben war. Aber schon eine 2 cm starke Schneeschicht, die etwa 1533 kg Belastung verursachen würde, sei für eine längere Fahrt sehr hinderlich. Eine weitere Schwierigkeit ergeben die in jenen Nordpolargegenden häufigen Nebel. Renou hat nachgewiesen, dass bei Nebelwetter das Asphalt des Trottoirs $\frac{1}{10}$ mm Wasser absorbieren kann. Diese Erfahrung auf den Ballon übertragen, würde eine Belastung von 300 kg ergeben. Sehr gefährlich sind ferner der Rauheif und die Vereisung, weil hierdurch sowohl der Stoff, als das Tauwerk leicht brüchig wird. Schliesslich bietet der Compass in den Polargegenden keinen sicheren Wegweiser. Die Nadel bewegt sich träge und giebt leicht zu Irrthümern Veranlassung; vielleicht hängt dieser Umstand damit zusammen, dass es, wie Kaënitz und Halley meinen, mehrere magnetische Pole giebt. Gegenüber diesen sachlichen Einwänden zeigte sich Hermite keinesfalls entmuthigt; er nimmt das Project jetzt vollkommen ernsthaft und will dieses Jahr mit seinem Genossen Besançon zunächst eine Fahrt über das Mittelmeer, von Spanien nach Italien, machen und dann mit ihm nach Spitzbergen reisen, wo beide Herren sich zunächst zum Studium der Windrichtungen, sowie der Einwirkungen der dortigen Witterung auf Ballons geraume Zeit aufhalten werden.

Soweit das Wollen, das Können werden wir erleben, oder auch nicht. Moe. [1254]

Eisenbahnwagen mit Ausguckplätzen. Mit einer Abbildung. Eigenartigkeit ist dem Eisenbahnwagen des Amerikaners Mac Bride nicht abzusprechen. Derselbe ging davon aus, dass die bisherigen Wagen den Reisenden keine ausreichende Gelegenheit zum Geniessen der Aussicht bieten, indem nur die unmittelbar an den Fenstern Sitzenden einen genügend freien Ausblick haben, und dann auch nicht einmal nach oben hin, welcher Uebelstand sich besonders beim Durchfahren enger Thäler fühlbar macht. Er überbaut daher die Wagen mit einem Gehäuse, dessen etwas gebogene Glasfenster nach den Seiten, wie nach vorne und hinten, einen guten Ausblick gewähren. Die obere Betreihe lässt sich ferner, wie ersichtlich, in bequeme Sessel verwandeln, zu denen

Abb. 344.



Innenansicht eines amerikanischen Wagens mit Ausguckplätzen.

man mittelst Treppen gelangt. Derartige Wagen würden sich für die Gotthardt- und die Brennerbahn vorzüglich eignen, falls die Lichtweite der Tunnels und Durchlässe die Anordnung der Mac Bride'schen Ausguckplätze zulässt. Die Reisenden würden die Landschaft fast ebenso gut betrachten können, wie vom Deck eines Dampfers aus.

[1244]

Selbsteinkassierende Fernsprecher. Wie wir der *Elektrotechnischen Zeitschrift* entnehmen, hat die Firma Gould & Co. in Berlin dem Reichspostamt einen Telephon-Automaten unterbreitet, mit welchem das Telephon-Ingenieur-Bureau Versuche veranstaltet. Der selbsteinkassierende Fernsprecher ist namentlich für die öffentlichen Fernsprechstellen bestimmt und soll die dort den Dienst versehenen Beamten ersetzen, was eine Erweiterung der Zahl dieser Stellen bedeutend erleichtern dürfte. Unterhalb des Fernsprechgehäuses ist ein Kasten mit einer Geldeinwurf-Platte angebracht. Nach dem Einwerfen ist man erst imstande, das Amt anzurufen. Die Apparate sind für das Einwerfen einer Münze sowohl, wie auch mehrerer Geldstücke eingerichtet. Vermag das angerufene Amt nicht, die Verbindung herbeizuführen, so ist dasselbe durch Stromwendung und Druck auf einen Knopf in der Lage, das eingelegte Geld zurückzugeben. Dieses fällt in eine Schale, aus welcher

der Einzahler es herausnehmen kann. Ist dagegen die Verbindung hergestellt, so fällt das Geld in einen Sammelbehälter. Nach Ablauf der Zeit wird die Verbindung selbstthätig unterbrochen.

A. [1240]

POST.

Eine grössere Anzahl von Abonnenten hat unsrer Bitte entsprochen und sich bezüglich der für *Prometheus* gewählten Schrift geäußert. Die Mehrzahl derselben wünscht die Beibehaltung der gegenwärtigen Schriftgattung, befürwortet dagegen die Wahl eines etwas grösseren Schriftgrades mit mehr Zwischenraum zwischen den Zeilen. Eine Aenderung in dieser Richtung, für die allerdings die dadurch erreichbare grössere Uebersichtlichkeit spricht, könnte natürlich erst bei Beginn des neuen Jahrganges, also im October d. J. stattfinden. Inzwischen halten wir die Frage offen und werden uns freuen, weitere Zuschriften über dieselbe aus unserm Leserkreise zu erhalten.

* * *

Herrn F. T., Realgymnasiallehrer in L. Sie richten zwei Fragen an uns:

1) Auf welche Weise wird die Theilung eines Millimeters in 3000 oder mehr Theile praktisch ausgeführt?

Die feinsten Theilungen sind die der sogenannten Objectischmikrometer für Mikroskope. Es ist uns nicht bekannt, ob dieselben schon bis zu der von Ihnen angegebenen Feinheit getrieben worden sind. Dieselben werden mittelst einer ausserordentlich sorgfältig hergestellten Theilmachine, an welcher eine auf dem Princip des Pantographen beruhende Hebelübersetzung angebracht ist, mittelst eines Diamanten auf Glas eingeritzt. Es ist sehr schwierig, Diamanten zu finden, welche so feine Linien scharf ziehen; dieselben müssen unter vielen Hunderten ausgesucht werden. Ein Privatmann in Leipzig hat daher neuerdings eine Maschine gebaut, mittelst der er für eignen Gebrauch derartige Theilungen in einen besondern Aetzgrund auf Glas gravirt. Die Linien werden dann nachträglich mit Flusssäure in das Glas eingätzt und fallen sehr scharf und sauber aus.

Neuerdings stellt man auch feine Theilungen mit Hülfe der Photographie her, indem man grössere, auf Papier gezeichnete Theilungen photographisch sehr stark verkleinert. Zur Herstellung der nöthigen feinkörnigen photographischen Schicht dienen ganz besondere Verfahren.

Eine specielle Art der Theilungen und vermuthlich die feinsten, welche es giebt, sind die auf Glas hergestellten Nobert'schen Testplatten. Dieselben bestehen aus Liniensystemen von steigender Feinheit. Die feinsten sind so eng gestellt, dass sie bisher von den stärksten mikroskopischen Objectiven nicht aufgelöst werden konnten. Ihre Herstellung ist Geheimniss des Erfinders, doch wird angenommen, dass sie mittelst eines Diamanten eingerissen wurden.

Ihre zweite Frage lautet:

2) Giebt es auf dem Princip der Centrifugalkraft beruhende Rutschbahnen, welche eine Schleife beschreiben, also von Personen mit dem Kopf nach unten durchfahren werden?

Nein, wir glauben nicht, dass schon Jemand gewagt hat, eine so abscheuliche Einrichtung in's Leben zu rufen. Schon die gewöhnliche Rutschbahn ist schlimm genug, im Tivoli in Kopenhagen aber giebt es eine solche, bei welcher die Wagen während der Fahrt sich ausserdem noch kreiselartig um eine vertikale Achse drehen. Wir empfehlen Ihnen, dieses menschenfreundliche Institut in Augenschein zu nehmen, ehe Sie an die Errichtung einer Bahn gehen, bei der die unglücklichen Vergnügungsreisenden auch noch Purzelbäume zu schiessen gezwungen werden.

Die Redaction. [1278]