

Ueber Rutschungen im Glazialen und die Notwendigkeit einer Klassifikation loser Massen.

Von Vincenz Pollack.

Mit 7 Tafeln (Nr. XII—XVII) und einer Textabbildung.

Unter den Boden- oder Massenbewegungen, Verlagerungen oder Versetzungen spielen die Gleit-, Rutsch- bis Fließvorgänge eine besondere Rolle. Wie an anderer Stelle ¹⁾ näher ausgeführt, lassen sich die durch innere Ursachen bedingten Massenversetzungen in zwei Gruppen etwa unterscheiden: 1. Auf einer oder mehreren Gleitflächen, welche bereits vorhanden oder doch irgendwie vorbereitet waren; 2. Versetzungen infolge innerer besonderer Eigenschaften, also ohne eigentliche Rutschflächen. Während die unter 1 behandelten sich verhältnismäßig leicht überblicken lassen, und nach unten oder innen hin bis zu gewissen Schicht-, Absonderungs- und Bruch-Flächen sowie Kombinationen daraus reichen, sind die letzteren Bewegungen in den meisten Fällen bisher schwierig vorherzusagen; die Frage, worin denn eigentlich bei fast gleichem oder ähnlichem Material in diesem Falle früher oder jetzt Verschiebungen eingetreten und in jenem von einer solchen überhaupt keine Spur sich zeigt, läßt sich insolange nicht befriedigend beantworten, als nicht außer dem petrographischen Charakter eines Gesteins auch seine chemischen und physikalischen Eigenschaften erkannt werden können. In den letzten Jahren haben Bodenkunde, Kolloidchemie und Konsistenzlehre zusammengewirkt, um mittelbar auch auf diesem Gebiete einigen besseren Einblick zu bringen. Von den Stoffen, die die größte Mannigfaltigkeit hinsichtlich der Bewegungen zeigen, können ältere bis jüngere Moränen angeführt werden. Abgesehen von natürlichen Bewegungen haben die vielen Bauten von Straßen, Bahnen, Tunnels, Schiffahrtskanälen usw. in Europa alle Phasen von Standfestigkeit bis zum Erdfließen in solchen Moränen gezeigt. Letzteres ist im sogenannten „Millionenloch“ auf der Strecke Kislegg—Wangen (Algäu), auf Borgomanero—Arona (südlich Gardasee), zum Teil in Skandinavien usw. in allgemeinen Zügen aber ohne Vergleichungsmöglichkeiten bekannt, die eine Verwertung für künftige Fälle gewährleisten, eine

¹⁾ Vincenz Pollack, Beiträge zur Kenntnis der Bodenbewegungen. Jahrb. d. k. k. geol. R.-A., Wien 1882, S 565 ff

Jahrbuch d. k. k. geol. Reichsanstalt, 1917, 67. Bd., s. u. 4. Hft. (V. Pollack.)

besonders technisch-geologische Frage von hervorragender Wichtigkeit.

A. Jentzsch gibt über den allgemeinen Bau der Glazialbildungen eine kurze Uebersicht¹⁾. In Meeresbecken fern der Küste abgelagerte Sedimente, somit die Hauptmassen geologischer Formationen, erscheinen nach ursprünglich nahezu ebenen Schichten oft auf weite Erstreckungen mit gleicher Schichtfolge gegliedert, während dies bei Glazialbildungen nicht der Fall ist: Im Meeresbecken findet ein kaum unterbrochener Absatz der gelöst oder schwebend zugeführten Stoffe statt, in jedem geschlossenen Glazialgebiet treten Zonen des Auftrages und des Abtrages auf, welche wiederholt am gleichen Orte gewechselt haben. Aufschüttungen wurden wieder abgetragen, um im selben Gebiet anderweitig neue gleichfalls veränderliche Aufschüttung zu geben. Wächst eine Eismasse höher, wird ihr zentrales Abrasionsgebiet sich vergrößern, ihr rändliches Aufschüttungs-, Aufpressungs- und Verschüttungs-Gebiet in distalem Sinn wandern. Die Randbildungen (Endmoränen, Randterrassen u. dgl.) verbleiben bekanntermaßen nur dort in ursprünglicher Gestalt, wo das Eis das letzte Mal zurückweicht. Jede erhaltene Moräne zeigt Massenelemente eines früheren Stadiums gleicher Vereisung, einer älteren, dem Eiszentrum näher gelegenen Moräne. Würde vom Mittelpunkt einer Vereisung nach deren äußersten Grenzen ein Idealprofil mit den Zuständen verschiedener Zeitabschnitte des Eisfortschrittes übereinander in linearen Umrissen gelegt, so würden die den einzelnen Phasen entsprechenden Oberflächenwellen wie Schuppen aufeinander liegen. Jede jüngere Schuppe schneidet die Stoßseite und überdeckt dafür deren distale Seite, ähnlich wie Wanderdünen und Geschiebe- und Sand-Bänke der Flüsse. Die zentrifugale Wanderung der Schuppen findet nicht nur beim Höhenwachstum des Eismittelpunktes, sondern auch bei Verringerung des Widerstandes statt, bedingt durch Entstehen und Anwachsen subglazialer Wässer. Jedes Eisvorschreiten ist ja nur durch in Bewegung umsetzende Druckspannungen des Eises ermöglicht, sobald sie die innere und äußere Reibung zu überwinden vermag. Die durch Untergrundgestaltung beeinflussten Druckspannungen wechseln fortschreitend und periodisch. Wird der Eisüberdruck so gering, daß innere und äußere Reibung nicht überwunden werden, so sammelt sich in Spalten und unter dem Eis das Schmelzwasser so lang und hoch, bis sein Gegendruck eine Eisbewegung wieder möglich macht, eine neue gegen früher veränderte Verteilung der Druckkräfte hervorrufend. Sonach muß bei hinreichender Größe einer Eismasse selbe auch bei verschwindendem Gefälle sich bewegen. Die oszillierenden Eisbewegungen haben entsprechend dem Schmelzwasser eine tägliche und jährliche Periode und entstehen auch durch örtliche Wasserstauungen Maxima und Minima. Je geringer die örtliche Eismächtigkeit, wird der beschleunigende Einfluß subglazialer Wässer stärker werden, so daß in Zeiten, in denen die Gesamteismasse an Mächtigkeit abnimmt, das Eis durch den Gegendruck subglazialer Wässer ein örtliches Vorschreiten erhalten kann. Gegen Ende einer

¹⁾ A. Jentzsch, Ueber den Schuppenbau der Glazialbildungen. 1910.

Eiszeit, wo die Schmelzung stärker als die Ernährung, wird der Eisrand in den tieferen Lagen vordringen. Der allgemeine Eisrand weicht, der örtlich breite Talgletscher schiebt vor.

Die Glazialbildungen werden radiale und laterale Schuppenstruktur erhalten, woraus sich die kreuzenden Gletscherschrammen ergeben. Die Schuppenstruktur wird natürlich in Randgebieten am meisten vorkommen; der Natur des Eis- und Wasserdruckes entsprechend auch weit rückwärts Spuren hinterlassen haben. Im Randgebiet der skandinavischen Vereisung, also in Skåne, Dänemark und Norddeutschland sind sie hervortretend. Es erscheint in Norddeutschland gewöhnlich, daß der Geschiebemergel (d. h. die norddeutsche Fazies der Grundmoräne), der auch dort wie in Schweden stellenweise von Tonmergel (also einem Wasserabsatz) bedeckt wird, über Tonmergel liegt; ebenso häufig wechsellagert er mit Sand oder Tonmergel, so daß mehrere, sichtbar gleicher Vereisung entstammende Geschiebemergel übereinander liegen, getrennt durch Absätze stehender oder fließender Wässer. Aus derartigen Glazial- und Fluvioglazial-Schichten kommen stellenweise einzelne der unteren Bänke flächenhaft zutage und werden solche früher als untere Sande bezeichnete, jetzt meist als Vorschüttungssande angesehen; doch sind derartige Bildungen mehr oder minder nur örtliche Gliederungen ohne weite Erstreckung. Besonders sind die Tone an begrenzte Becken gebunden, über deren Ufer ein geringmächtiger Eisrand sich zeitweilig vorschob. Wechselnde Wasserstauhöhe oder Wassermenge konnte den Eisrand vorübergehend auftreiben und dadurch Wechsellagerung der Grundmoräne mit Ton oder Sand bewerkstelligen. Nach Jentzsch bedingt die Schuppenstruktur, daß selbst gleichartige Schichtenfolgen weit entfernter Gegenden nicht ohne weiteres zeitlich zu parallelisieren sind. „Zwischen den Gliederungen Schwedens und Norddeutschlands klafft eine tiefe Dissonanz, die am auffälligsten in dem Umstande hervortritt, daß der Elbinger Yoldienton von Moränen bedeckt wird, der schwedische aber über der jüngsten Moräne liegt.“ Der Elbinger Yoldienton wird vom „jüngeren baltischen Eisstrom“ überlagert, der gegenüber den älteren Geschiebemergelbänken durch Senongesteine der ostbaltischen Fazies sich auszeichnet. Er geht bis 125 m Meereshöhe und reicht nach West an die Nordostecke Posens. Im Herzen Ostpreußens überlagert er ausgedehnte interstadiale Süßwasserbildungen. An anderen Stellen sind andere Süßwasser- und Meeresschichten zwischen Geschiebemergeln eingelagert; der radiale und laterale Bau hat eine zeitliche Parallelisierung bisher verhindert. Gewisse Beobachtungen, insbesondere der Meeresschichten weisen auf große durchgehende Horizonte im norddeutschen Diluvium.

Erwähnt sei noch, daß nach Annahme von G. Maas (Verh. d. Ges. f. Erdkunde, Berlin 1900) die Grundmoräne der letzten Vereisung die interglazialen Rinnen auskleidete und stellenweise durch Aufpressung der Talränder zur Vergrößerung des Höhenunterschiedes beitrug. R. v. Kövesligethy (Földtani Közlöny XXXII, 1902) hat versucht den Betrag kontinentaler Depression in Glazialgebieten während der Eiszeit durch Bodenabkühlung, durch den Eisdruck und

durch Wasserhebung zufolge Eisanziehung zu berechnen. Namhaft ist nur die Senkung des Festlandes unter der Inlandeislast (68 m) und die Erhebung des Meeresspiegels infolge der Anziehung am Eisrand (203 m).

Eine mehr ins Einzelne gehende Beschreibung und Gliederung des nordischen Diluviums haben E. Harbort, H. Monke und J. Stoller¹⁾ gegeben. Die wiederholt aus den skandinavischen Gebirgen hervorbrechenden und über den größten Teil Nordeuropas sich ergießenden Eisdecken brachen auf der weiten Strecke vom Grund kleine und große Stücke, schoben, zermalmten, scheuerten und schliffen einen Gesteinsbrei, die Grundmoräne (Geschiebemergel, besser wäre eigentlich „Schiebemergel“), die Material von Skandinavien und Sedimentgesteine bis zum Tertiär vom norddeutschen Boden enthält. Dieser Mergel ist auch das Ursprungsgestein aller mit ihm auftretenden Kiese, Sande und Tone, die durch Schlämmen im Fließwasser aus ihm hervorgingen. Die Zahl der Eiszeiten und Zwischeneiszeiten ist noch nicht endgültig geklärt. Die 730 m betragende Tiefbohrung bei Oechtringen der Anhalter Tiefbohrwerke durchsank auf 90 m Diluvium (Weichsel-, Saale- und Elster-[-?]Eiszeit nebst Interglazial), von 90 bis 601 Tertiär und von 601 bis 650 m obere Kreide. Wenn die fragliche älteste (Elster-) Eiszeit außer Betracht bleibt, so erscheint die Diluvialbildung von unten nach oben gegliedert: a) Bildungen der älteren vorletzten oder Saale-Eiszeit, b) Zwischenlagen beider Eiszeiten: α) Bildungen der jüngeren (letzten) Interglazialzeit; β) Schichten unbestimmten Alters; c) Bildungen der jüngeren (letzten) oder Weichsel-Eiszeit.

Zu a) Die untere Grundmoräne oder der untere (ältere) bald tonige, bald sandige Geschiebemergel ist im frischen ursprünglichen Zustand nicht von den Mergeln anderer Eiszeiten zufolge gleicher Entstehung trennbar. Die Aenderung der meist grauen Farbe ist wohl den aufgenommenen unterlagernden altdiluvialen schwarzen Tonen und miocänen Glimmertönen usw. zuzuweisen. Er unterscheidet sich vom Geschiebemergel der jüngsten Eiszeit meist nur durch tiefergehende Entkalkung oberer Lagen zufolge längerer Verwitterungszeit. Wo das Inlandeis über tonige Bildungen glitt, wurde der Schiebemergel touig, wo starke Wasserentwicklung gewesen, sind Sande und Schotter ausgewaschen. Aus den Bohrungen ist die Tiefe der Verwitterungsvorgänge entnehmbar: Bei Oechtringen greift die Verwitterung des älteren Glazials (Saale-E.) bis 27 m (ist somit 22 m mächtig), bei der „Trokenbohrung“ der Geologischen Landesanstalt nächst Westerweyhe (Blatt

¹⁾ Insbesondere in den Erläuterungen zur geologischen Karte von Preußen, Lieferung 156 (Blätter Beven und Ebstorf), dann F. Wahnschaffe, Die Oberflächengestaltung des norddeutschen Flachlandes, 8. Aufl. 1909; die Arbeiten von Oskar Tietze in den Jahrb. d. kgl. Preuß. geolog. Landesanstalt sowie Geolog. Rundschau 1916, S. 110; dann aus der Paläographie: Th. Arlt, Geolog. Rundschau 1912, S. 93, wo auch von der permischen Eiszeit berichtet ist; ferner noch auszugeweiht in Vincenz Pollacks, Technisch-geologisches über den Durchstich von Wasserscheiden, insbesondere im Panama- und Donau-Oderschiffahrtskanal, 1917 und 1918

Ebstorf, Erläuterungen) bis 32 m. Die Oberfläche des unteren Geschiebemergels bildete vor Aufschüttung des Jungdiluviums stark wellig-kuppige Formen und haben vor Ablagerung des Jungglazials Bodenverlagerungen stattgefunden, wie z. B. bei der Mühle von Röbbel, wo die untere Moräne steil aufpreßt erscheint.

Zu b, α) In den Vertiefungen, Strudellöchern usw. des Inter-glazials bildeten sich Kalkmergellager (Kalke.) Unverwittert erscheinen sie grau, an der Luft durch Eisenoxydation gelbflechtig, gelb bis braun durch die ganze Masse, feinerdig, in trockenem Zustand zerfallen sie zu feinstem Mehl und enthalten 82 bis 90% kohlen-sauren Kalk.

Zu b, β) Die Ablagerung kann am Schlusse der Saale-Zeit aus Auswaschung der unteren Grundmoräne entstanden sein oder sie ist ein Sediment der Schmelzwässer des vorrückenden Eises der Weichselperiode. Die groben Sande und Schotter zeigen (fluviale) Kreuzschichtung, die feinkörnigen Sande, Feinsande und Tone Horizontalschichtung entstanden aus Gletschertrübe. Schotter und Sande unentschiedenen Alters sind meist vom Geschiebemergel der letzten Eiszeit überlagert. Unverwittert kalkhältig, sind sie infolge großer Durchlässigkeit meist tief ausgelaugt. Hierhergehörige Mergelsande und Tonmergel gehen wag- und lotrecht ineinander über; Hauptbestandteil Quarz in feinsten Sand- und Staubform, Tonerde bis 10% bei den Mergelsanden, bei Tonmergeln nur bis 15%. Beide sind 2 bis 3 m tief entkalkt. Beide Bildungen hatten offenbar eine Decke über Täler und Niederungen dargestellt, die durch Schmelzwässer mehr oder weniger zerstört wurde. Ab und zu erscheint der Tonmergel zufolge Eisdruck gefaltet oder eingesunken, welche kleinen Bodenversetzungen kurz nach Ablagerung der Schichten wahrscheinlich zufolge von Auswaschungen im Untergrunde stattfanden, wobei die überlagernde obere Moräne von der Senkung nicht mitbetroffen erscheint.

Zu c) Zu unterscheiden sind: Oberer Geschiebemergel; oberer Kies und Sand (Deck-Kies und -Sand); Sand und Schotter der Täler und Rinnen; Flottsand. Der obere Geschiebemergel tritt als Geschiebelehm zu bezeichnende Witterschicht häufig zutage, wird aber auch vom oberen Sand überdeckt. Beim oberen Geschiebemergel ist die lehmige Verwitterungsrinde nicht so mächtig wie bei dem in die Oberflächennähe geratenden unteren Mergel. Dem Deck-schotter und -Sand fehlt fluviale Schichtung, er zeigt ungleiches Korn und unregelmäßiges Auftreten größerer und kleinerer Geschiebe (verwaschene Grundmoräne). Der Talsand zeigt fluvialen Bau, da er von den Schmelzwässern des letzten Landeises in Rinnen und Tälern abgesetzt wurde. Mit der Grundmoräne im Zusammenhang treten eigenartige feinkörnige, gelbe Sande auf, von den Einheimischen als Flottlehm oder Klei bezeichnet, aber wegen geringem oder fehlendem Tongehalt besser wären sie als Flottsand zu bezeichnen. Er ist kalkfrei, schichtungslos, 1 bis 3 m mächtig, ohne Geschiebe, hat in der Tiefe eine dünne, meist dichte Steinsohle („Steinpflaster“) und hat Lößähnlichkeit. Erfolgte die Ablagerung zu Anfang der Schmelzzeit, so ist Entstehung und Herkunft nicht leicht zu erklären.

Er wird als Eissediment nach Art der Innenmoräne angesehen, „indem er bei ruhigem langsamem Schwund des Landeises durch Abtauen von oben her niedersinken konnte, ohne von den Schmelzwässern weggeschwemmt zu werden, die namentlich an der Basis des Eises in der obersten Schicht der Grundmoräne ausspülend und erodierend wirkten, bis sie am Eisrand ans Tageslicht hervorbrachen“. Somit ist die Steinsohle ein Auswaschrückstand der Grundmoräne und ist die Merkwürdigkeit erklärt, daß er in nahe gleicher Stärke Berg und Tal, also heute noch erhaltene, durch die Flottsandüberdeckung nicht verwischte Geländeformen der letzten Eiszeit überzieht. In die letzte Abschmelzzeit fällt auch die Entstehung der Täler mit Hauptterrassen, Stufen und Bruchstücken von Terrassenkanten.

Aus den Gesteinen entstehen durch die Atmosphärien die Böden. Um die mechanische und chemische Zusammensetzung einiger behandelte Materialien vorzuführen, folgt nachstehend eine Tabelle von Gesteins- und Bodenarten der behandelten Gebiete, von den Chemikern Böhm, Wache, v. Hagen und Pfeiffer. Leider ist sowohl die „Sortierung der Korngrößen“ sowohl bei den Sanden und Tonen von der später folgenden Klasseneinteilung verschieden und fehlen auch die charakteristischen physikalischen Eigenschaften, so daß Vergleiche insbesondere hinsichtlich „Beweglichkeit“ schwer möglich erscheinen. Deshalb strebte auch Atterberg auf den internationalen Kongressen eine diesbezügliche Einigung an. Auch mit der Bezeichnung Ton, Letten, Lehm, Mergel usw. kann in den meisten Fällen kein Vergleich angestellt werden. Einiges diesbezügliches ist am Schlusse hier gegeben.

Die in den verschiedenen Glazial- und Interglazialepochen Mitteleuropas zur Ablagerung gekommenen Moränen- und Umschwemmungsmaterialien, die tief nach Oesterreich hereinreichen, sind wiederholt durch ihre besondere Beweglichkeit oder Rutschhaftigkeit Gegenstand von Beschreibungen gewesen, doch fehlten vorwiegend genaue einwurfsfreie Untersuchungen der wirklichen Tatsachen, des inneren oft recht verwickelten Baues der in Betracht kommenden Bodenmasse.

Als neueres sehr genau untersuchtes Beispiel mehrerer großer Rutschungen im alten Glazialgebiet Norddeutschlands sind die anlässlich der Stationsverlängerung und Erweiterung sowie Gleisvertiefungen von Frankfurt a. d. Oder westlich gegen Rosengarten eingetretenen Bewegungen anzusehen¹⁾, die sich in mehrfacher Beziehung von den bisher bekannten Erscheinungen und Behandlungen unterscheiden, wie aus dem Nachstehenden hervorgehen wird. Da solche Gebilde im Norden unserer Monarchie von Galizien über Schlesien und Mähren nach Böhmen vorkommen und sich manch Nutzen auch für Gleit-, Rutsch- und Fließbewegungen anderer Formationen ziehen läßt, so ist eine eingehendere Behandlung mehr als gerechtfertigt. Die Bahnstrecke hat südlich Rosengarten im allgemeinen einen ostwestlichen Verlauf und sind die Bewegungen an

¹⁾ Nach dankenswerter Ueberlassung des Materiales seitens der kgl. Eisenbahndirektion in Posen des Reg. Baum. F. Fölsing und P. Krusch Gerichts- und Verwaltungsgeologie 1916, S. 31 ff

Klasseneinteilung der Gesteins- und Bodenarten.

Art des Gesteins	Ort	Tiefe der Entnahme dm	Bodenart	Kies (Grund) über 2 mm	Sand							Tonhaltige Teile		Summe	Chemische Analyse (Auszug)					
					2 bis 1 mm	1 bis 0.5 mm	0.5 bis 0.2 mm	0.2 bis 0.1 mm	bis 0.075 mm	0.075 mm	Staub 0.06 bis 0.01 mm	Feinstes unter 0.01 mm	In wachsender Reihenfolge				Mittelbestimmung			
													Tonerde		Eisenoxyd	Kalkerde	Magnesia	Glyverloht	in Salzsäure unlöslich (Ton)	
1. Oberer Geschiebe-Mergel	Kolkhagen	1-8	Lehmiger Sand (Ackerkrume)	2.0	75.2							22.8		100						
		6-9	Sandiger Lehm (Untergrund)	2.8	2.8	10.0	26.0	26.4	10.0	42.8		100	1.07	0.97	0.11	0.17	1.39	93.47		
		12-15	Sandiger Mergel (Tieferer Untergrund)	3.6	2.4	6.4	13.2	16.4	10.4	47.6		100	6.4	41.2						
2. Ton	Ziegelei Emmendorf	25	Sandiger Ton (Untergrund)	—	0	0.4	1.6	2.4	1.6	94		100	5.59	4.66	10.30	1.91	4.24	59.67		
3. Mergelsand	Bevensen	30	Toniger Feinsand (Untergrund)	—	0	0	0.1	0.1	2.0	97.8		100	3.01	3.24	7.82	1.17	2.99	73.54		
4. Mergelsand	Oitzendorf	13	Feinsand (Untergrund)	—	0	0	0.1	0.2	0.3	99.4		100	—	—	—	—	—	—		
		50	Kalkiger Feinsand (Tieferer Untergrund)	—	0	0	0	0	0.8	99.2		100	—	—	—	—	—	—		
5. Oberer Sand	Süsing, Jagen	5	Sand (Ackerkrume)	—	0.4	4.0	37.6	32.0	12.0	14.0		100	1.22	1.19	0.03	0.11	1.03	94.69		
		20	Sand (Untergrund)	1.6	0.4	1.2	14.0	16.0	20.8	46.0		100	2.03	1.10	0.08	0.19	1.49	93.44		
6. Oberer Sand. Unterer Geschiebe-Mergel	Riessel	6	Sand (Untergrund)	0.4	0.4	12.4	55.2	27.2	1.2	3.2		100	0.56	0.26	0.03	0.03	0.33	98.28		
		15	Sandiger Lehm (Unterer Grundmergel) (Tieferer Untergrund)	3.2	2.0	6.4	22.8	18.4	10.4	36.8		100	3.02	2.36	0.28	0.56	1.80	90.08		
7. Unterer Sand	Bevensen	50	Sand (Untergrund)	7.6	12.8	31.2	40.0	6.0	0.8	1.6		100	—	—	—	—	—	—		
8. Geschiebe-Flottsand	Oitzfeld	1	Humoser, steiniger Flottsand (Ackerkrume)	0.4	0.8	3.2	19.2	4.8	23.2	48.4		100	1.65	1.13	0.06	0.09	2.10	91.80		
		5	Steiniger Flottsand (Untergrund)	—	0.4	2.8	13.6	9.2	18.8	55.2		100	1.74	1.07	0.05	0.12	1.28	93.65		
9. Flottsand	Jagen	3	Flottsand (Ackerkrume)	—	0	1.2	4.0	5.6	34.0	57.2		100	1.74	1.18	0.10	0.24	0.59	93.33		
10. Flottsand	Emmendorf	3	Flottsand (Ackerkrume)	1.2	2.8	10.4	24.8	27.6	10.8	22.4		100	1.16	1.06	0.07	0.12	1.07	94.38		

[7]

Ueber Rutschungen im Glazialen.

441

der südlichen Einschnittsböschung eingetreten. Der erste am Lärmstangenberge während der Bauzeit vorgekommene Erdrutsch ereignete sich im Jahre 1911 und umfaßte etwa 40.000 m^3 Masse; der zweite kam am Fichtenberg im Jahre 1913 vor, wo etwa 60.000 m^3 in Bewegung gerieten. Am 26. Mai 1914 endlich brach in dem beinahe fertigen Einschnitt, der von mehr als 100 Zügen täglich durchfahren wird und wo also durch provisorische Geleisesenkungen der Verkehr aufrechtzuerhalten war, was aus den Querprofilen zu entnehmen ist, eine Masse von ungefähr 150.000 m^3 von Sand und Ton vom Lärmstangenberge herab, zerstörte die bereits fertige Böschung, wie aus den Querprofilen und 10 Ansichten (bzw. 4) zu ersehen, und hob und schob ein Baugleis beträchtlich nach Nord. Nach Krusch waren hierbei „im Süden des Einschnittes die Schichten an steilen, flach nach Norden geneigten Rissen — nicht klar? — abgesunken; sie bildeten hier einen Staffelbruch“, wie er häufig auch anderweitig zu beobachten. In den später zu beschreibenden Querprofilen erscheinen wohl die steilen Abbruchflächen (auch in den Lichtbildern), ihre Fortsetzung nach innen aber nicht und wurden des Verständnisses halber diese vom Verfasser oben und unten durch Punktierung angedeutet. Die Rutschmasse hob, nach den Abbildungen zu schließen, die Sohle des Einschnittes stülpte das Materialgleis nebst Rollwagen um und wurde die fertige Böschung in einem Sattel herausgebaucht, was sich besonders in der aus Eisenbeton hergestellten Böschungsrinne für Wasserabfluß, „die wie ein dünner Draht verbogen war“, zu erkennen gab. Wie Krusch voraussieht, waren weitere Bewegungen natürlich nicht ausgeschlossen. (Das von Krusch gegebene Querprofil *km 75·5* ist im Nachstehenden etwas deutlicher gegeben.) Schon in den ursprünglichen Querprofilen 1:200 waren auf Grund von einzelnen Bohrungen, die offenbar nicht zureichten, um über die wichtige Lage Aufschluß zu geben, Sand, Ton, Sand mit wenig geneigten Oberflächen eingetragen worden. Als dann die ersten größeren Rutschungen eintraten, die bereits oben angegeben erscheinen und sich die Frage stellte, wie weit ein Abtragen der Böschungen zur Sicherung der Bahn erwünscht sei, wurde eine Gruppe von 49 Bohrlöchern (im Lageplan Taf. XIV, Abb. 1, von dem nur *km 74·5—75·8* erscheint) mit römischen Zahlen bezeichnet, mit nahezu 1000 m Gesamttiefe angelegt und auf Grund dessen vom Geologen K. Keilhack von der Geologischen Landesanstalt Berlin ein Gutachten vom 23. Jänner 1912 erstattet, dem das Nachstehende entnommen ist.

Aus den Schichtenverzeichnissen der Anstalt über die Bohrungen wurden 5 Gesteinsgruppen aufgestellt: *a*, *b*, *c*, *d* und *e*, wobei in Gruppe *d* noch eine Kalklage (stark kalkiger Ton) hervorgehoben erscheint. Die im Bahneinschnitte zwischen *km 74·2* und *76·3* auftretenden sehr mannigfachen Diluvialbildungen bestehen sonach

a) in einer dünneren Oberflächenschicht von nur wenigen Metern Mächtigkeit unregelmäßig verbreiteter Sand, Kies, sandigem Geschiebelehm und Geschiebemergel.

b) Darunter sehr fetter dunkler Tonmergel bis zu einer Mächtigkeit von 20 m .

c) Eine darunter folgende Masse mit mittelkörnigen Sanden mit Einlagerungen von Kies und sandigem Kies, nach unten in einen gelben, feinen, locker verkitteten Sand übergehend.

d) Eine äußerst mannigfaltig zusammengesetzte Schichtenfolge von interglazialen Ablagerungen, bestehend aus hellem Süßwasserkalk, kalkfreiem oder kalkhaltigem Ton von heller oder dunkler Farbe und zwischen-geschalteten teils kalkhaltigen, teils kalkfreien Sanden und Kiesen.

e) Als ältestes bekannt gewordenes Schichtenglied ein dunkler, sehr fetter Tonmergel, der dem unter *b* genannten ähnlich erscheint, aber sich von ihm dadurch unterscheidet, daß er von zahllosen Gleitflächen, sogenannten Harnischen durchsetzt ist, so daß er in kleine, von glatten, glänzenden Flächen begrenzte Stücke zerfällt. P. Krusch hat sie richtig als „Quetschlinen“ bezeichnet¹⁾. Da seitens der Gutachter keine besonderen mechanischen und chemischen Analysen der vorstehenden Gesteine vorliegen, auf eine Anfrage auch keine aus der Umgebung von Frankfurt seitens der Geologischen Landesanstalt beigebracht wurden, selbe jedoch zum Vergleiche mit anderen Oertlichkeiten und auch zur Beurteilung ihrer Beweglichkeit nötig sind, so bleibt in Ermanglung besserer Angaben nichts anderes übrig, als auf die Zusammensetzung hinzuweisen, die für die Glazialbildungen Norddeutschlands beim Donau-Oder-Kanal gegeben wurden²⁾. Die Schichten mit Ausnahme von *a*, welche eine ebene Lage an der Geländeoberfläche aufweist, zeigen außerordentlich stark gestörte Lagerung, und zwar derart, daß sie beiläufig annähernd Ost—West streichen und von Süden nach Norden nach der schematischen Skizze

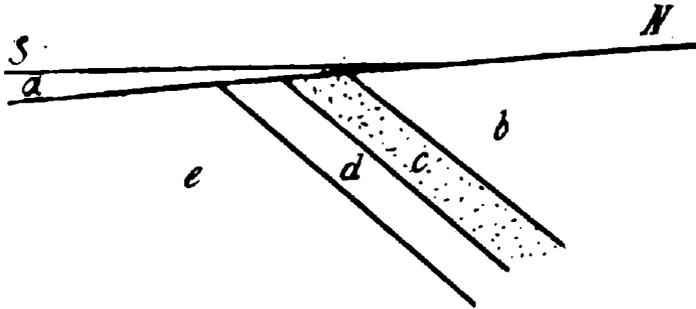


Abb. 1.

(Abb. 1) einfallen, wobei die eingeschriebenen Buchstaben die Gruppen der gegebenen Gliederung umfassen. Die Streichungsrichtung ist stark gebogen, und zwar mit Ausbauchungen nach Norden und Süden und

¹⁾ Solche Erscheinungen sind nicht selten. Im Mostytunnel (Jablunkauer Paß, Karpathen) traten sie massenhaft bis zur Kleinheit von Gemüselinsen in den dortigen schwarzen Tertiär- oder Kreidechiefern auf. Heim hat in seinem Sämtiswerk unter Beigabe schematischer Skizzen die Entstehungsfrage behandelt.

²⁾ Technisch-geologisches über den Durchstich von Wasserscheiden insbesondere im Panama- und Donau-Oder-Kanal. Zeitschr. des Oesterr. Ing.- u. Arch.-Vereines 19:7. Sonderabdruck i. Selbstverlag.

können die Verschneidungslinien auf der 80-m-Sohle ein Bild hiervon geben. Die am weitesten verfolgbare und in jedem Querprofile wieder zu erkennende Schichte ist der weiße Süßwasserkalk. Es ist deshalb seine oberste Grenzfläche im Lageplan 1:8000 (nach dem Originalplan 1:2000) auf den 80-m-Meereshorizont dargestellt, der etwa 7 m unter der künftigen Gleislage im westlichen Teile des Einschnittes liegt und im östlichen Teile mit der Einschnittssohle übereinstimmt. Diese Projektion oder Durchschneidung des Kalklagers mit der 80-m-Ebene ist von *km* 74·4 bis *km* 75·5 (Abb. 1) mit vollgezogener Kurve gegeben; ferner ist mit gestrichelter schwarzer Linie der Ausstrich des Kalklagers an der Oberfläche zur Darstellung gebracht. Der Abstand beider Linien wird um so größer, je höher sich das Gelände über die erste Projektionsebene (von 80 m über Normal Null) erhebt; anderseits ändert sich der Abstand mit dem Schichtenfallwinkel, d. h. er wird um so kleiner, je steiler die Schichtstellung ist; schließlich ist durch eine feinere Linie die Projektion der Kalkoberfläche auf die Sohle des Einschnittes soweit gegeben, als das Kalklager in dieser Sohle ausstreicht. Diese Projektionslinien entsprechen also ungefähr der Grenzfläche von *c* und *d* obigen schematischen Profiles.

Behufs weiterer Veranschaulichung der Lagerungsverhältnisse wurde auch die Grenzfläche *b c*, d. h. die Unterkante des fetten Tonmergels der Gruppe *b* auf die 80-m-Ebene projiziert und der Ausbiß dieser Grenze an der Geländeoberfläche. Erstgenannte Projektion ist mit einer strichpunktirten, letztere mit kurzen Strichen und je zwei Punkten im Lageplan, Taf. XIV, ersichtlich. Diese beiden Linien ließen sich nur zwischen *km* 74·9 und 75·2 eintragen, da bei *km* 75·2 diese Grenze nach Norden hin aus dem Einschnittgebiete heraustritt und zwischen *km* 74·9 und 74·8 wahrscheinlich eine Störung durchläuft.

Die Durcharbeitung der Bohrproben hat auch mehrere Aenderungen in den Querprofilardarstellungen bedingt, worauf bereits hingewiesen wurde. Es wurden aus den vielen Profilen nur die wichtigsten hier zur Uebersicht im vierfach verkleinerten Maßstab (1:800 statt 1:200) gebracht. In jenen Profilen, die durch Bohrlöcher hindurchgelegt sind, erscheinen die Abweichungen als Korrekturen in Linien und Einschreibungen kenntlich gemacht, wobei naturgemäß auch die angrenzenden, nicht durch Bohrlöcher gelegten Schnitte beeinflußt werden. Wiederholt sind die Bohrlöcher, wie ein Blick auf die beiden Lagepläne, Taf. XIV sowie XV, und die betreffenden Querprofile lehrt, querprofilartig angeordnet werden, um bei der verworrenen Lagerung nicht falsche Schematisierungen zu erhalten, wie das die anfänglichen Probeanlagen ergeben haben und bereits erwähnt wurde. Geändert erscheinen die Profile *km* 74·5, 74·6 und 74·7 (die früher wenig geneigten Materialgrenzen sind steil geworden und stärker gezogen); entsprechend anders aufzufassen sind alle Profile von 74·4 bis 74·8, in denen alle die interglaziale Schichtenfolge *d* und die in ihrem Hangenden auftretende Sandfolge *c* zu erwarten sind.

Weiteres ist in den Querprofilen von 74·9 bis 75·0 + 88 in den Sandmassen der Südseite die Einlagerung des Süßwasserkalkes und dadurch des Beginnes der Schichtreihe *d* angedeutet worden.

Schließlich ist eine abweichende Auffassung der Lagerungsverhältnisse im Querprofil *km* 75·3 (Taf. XIV, Profil links unten) ausgedrückt, da der dort gezeichnete geknickte Verlauf des Kalklagers nicht begründet erscheint.

Als die Ursachen der Rutschungen werden angesehen:

1. Daß der Einschnitt im Streichen der Schichten liegt,
2. die Schichten ziemlich steil fallen und
3. durchlässige, lockere Sande mit undurchlässigen fetten Tonen und (tonigen) Kalken mehrfach wechsellagern. — Krusch erwähnt hierzu noch, „daß der ganze Verband durch Querverwerfungen und durch die auf ihm zirkulierenden Wasser gestört ist“. Da die Schichten nach Norden einfallen, ist die Südseite durch Bodenbewegungen bedroht. „Die Erkenntnis des geologischen Baues gestattet, die Gefährzonen zu erkennen; sie liegen da, wo die Sande der Schichtenreihe *c* so angeschnitten werden, daß sie ohne ausreichende Unterstützung dem darunter lagernden Ton und Kalk der Schichtenreihe *d* angelagert sind.“ Zwischen *km* 74·5 und 74·6 ist dies der Fall. „Indessen geben die wenigen hier ausgeführten Bohrungen noch kein klares Bild der Lagerungsverhältnisse; erhebliche Schwierigkeiten können hier überhaupt nicht entstehen, da der Einschnitt auf dieser Strecke nur eine Tiefe von 5 bis 7 *m* besitzt.“

„Die zweite Gefahrstrecke liegt zwischen *km* 75·1 und 75·7. Diese Strecke ist es, auf der sich bereits erhebliche Abrutschungen zwischen 75·5 und 75·6 vollzogen haben. Die erste gefährdete Strecke dürfte etwa bei *km* 75·160 beginnen und bis *km* 75·3 reichen. Hier werden die auf der Südseite des Einschnittes dem Kalke auflagernden Sandmassen dauernd mit Abrutschung drohen und die Bahnstrecke gefährden und es wird notwendig sein, sie bis auf den unterlagernden Kalk vollständig abzutragen.“

„In dem folgenden Hundert Meter bis *km* 75·4 steht der Einschnitt auf der Südseite in den dunklen Tonen der Gruppe *e*. Diese sehr fetten Tone sind von zahllosen glänzenden Rutschflächen durchzogen. Es ist aber trotzdem anzunehmen, daß sie in der Böschung gut stehen werden, da infolge des Fehlens von Feinsand ihr Uebergang in einen breiigen Zustand nicht zu befürchten steht. (?)

Von *km* 75·4 an beginnt wieder eine gefährliche Strecke, da der Kalk wieder in die Südseite des Einschnittes eintritt und mächtige Auflagerungen von Sand trägt. Die auf dieser Strecke bereits erfolgten bedeutenden Abrutschungen werden sich bei der Vertiefung des Einschnittes wiederholen und nach Süden hin fortsetzen und es ist deshalb notwendig, den angelagerten Sand bis etwa 75·650 zu entfernen. Bis *km* 75·625 ist diese völlige Beseitigung des Sandes unbedingt notwendig, denn bis zu diesem Punkte lagert, wie die Profile erkennen lassen, der Sand in liegenden dreiseitigen Prismen ohne jede Unterstützung dem Kalke auf. Von hier an wird es vielleicht möglich sein, den Sand auf dem Kalke liegen zu lassen, sobald ein flacher Böschungswinkel gewählt und die Böschung breit terrassiert wird, so daß etwaige noch eintretende kleine Massenbewegungen von den Terrassenflächen abgefangen werden, ohne die Gleislagen zu gefährden.“

„Ob es möglich ist, auf rechnerischem Wege mittels noch genauerer, durch weitere Bohrungen zu gewinnender Querprofile genau die Stelle zu ermitteln, an der zwischen *km* 75·6 und 75·7 die Gefährdung des Planums durch Rutschungen aufhört, vermögen wir nicht zu sagen, halten es aber für kaum möglich, weil schon geringfügige Aenderungen im Einfallwinkel des Kalkes oder ganz flache Einmündungen seiner Oberfläche die Bedingungen für das Eintreten von Rutschungen völlig verschieben können.“

Da von *km* 75·7 an der Kalk weit vom Einschnitt nach Süden rückt, wurden in den restlichen 600 *m* Einschnitt gegen Osten keine Rutschungen mehr befürchtet; diese Ansicht erfährt im Nachfolgenden und im zweiten Gutachten vom 26. August 1914, zu welchem der Lageplan, Taf. XV, Bild 2 und alle Querprofile mit der Bezeichnung 2 *G* auf den Tafeln XV bis XVII gehören, entsprechende Aenderung.

Das gegenständliche zweite Gutachten wurde ohne Einsichtnahme der Bohrproben selbst erstattet, weil in allen den Bohrungen bestimmte Leitschichten anzutreffen waren, die für die Beurteilung der Sachlage ausschlaggebend sind. Sie bestehen in dem als tiefste Schicht aufgeschlossenen fetten schwarzen Tone und ferner in dem teils mit, teils ohne Sandzwischenlagerung darüber folgendem hellem Tonmergel und Süßwasserkalk. „In bezug auf die Lagerungsverhältnisse und Schichtenfolge haben sich gegenüber den Ausführungen im ersten Gutachten (23. Januar 1912) Abweichungen kaum ergeben, so daß alles, was dort ausgeführt ist, seine volle Gültigkeit behält. Nur hat es sich gezeigt, daß die nach Norden einfallenden glazialen Kalke und Tone lediglich stellenweise im Süden zutage treten oder nahe unter der Tagesoberfläche austreichen und daß sie im größten Teil der Fläche südlich des Einschnittes sich von einem bestimmten Punkt an entweder eben lagern oder, was an der Mehrzahl der Stellen der Fall ist, daß sie in Gestalt von Sätteln kulminieren und von der Sattellinie aus wieder nach Süden hin, also vom Einschnitt weg, abfallen.“ Hieraus wird die Möglichkeit gefolgert, „die Grenzen der mit weiteren Abrutschungen drohenden Gebiete sehr genau festzulegen¹⁾. Deshalb war in jedem einzelnen Querprofil zunächst die wahrscheinlichste Lage des Beginnes der „Verebnung oder der Kulmination der Sättel der Gleitflächen“ zu bestimmen. „Eine von diesem Punkt aus unter dem gewöhnlichen, möglichst niedrig zu nehmenden Böschungswinkel nach Süden gezogene Linie gibt dann an, bis zu welcher Linie sämtlicher über der Gleitfläche lagernde Sand abgetragen werden muß.“ Nebst einer älteren für die Bewegung am 28. August 1911 in zwei Querprofilen gedachten „Gleitenebene“ sind in den übrigen Profilen mit stärkeren, meist krummen Linien die Gleitflächen sowie mit daran nach aufwärts anschließenden, bis ans Gelände reichenden Geraden, die „aus der Gestalt der Rutschfläche

¹⁾ Danach würden sich also hauptsächlich nur Schichtenfallrutschungen auf vorgebildeten Flächen ergeben (vgl. Pollack, Jahrb. d. k. k. geol. R.-A., Wien 1882), ohne daß noch andere vom Material selbst abhängige Bewegungen, darunter Mitreißen des Liegenden, Bruchflächen usw., in Betracht kämen.

sich ergebende Lage der zukünftigen äußersten Böschungslage“ ersichtlich gemacht und zum Teil auch zur Verdeutlichung mit einigen Worten markiert.

Zunächst wird eine Darstellung der Verhältnisse in den Profilen gegeben und werden drei Rutschgebiete unterschieden:

1. Gebiet ohne bisherige Rutschungen, dessen Gefährlichkeit bereits im ersten Gutachten berührt, in der Gegend von *km* 75·1 liegend. Die Bohrungen im Profil 75·050 zeigen die Unnötigkeit weiterer Abräumungen an dieser Stelle, da die Oberkante der Böschung so liegt, daß senkrecht unter ihr die Gleitfläche erst 10 *m* unter der tiefsten Einschnittssohle folgt. „Hier können also durch Abgleiten Rutschungen nicht mehr entstehen¹⁾. Im Profil 75·1 + 50 wird vorgeschlagen, den „Sand zweckmäßigerweise bis Bohrloch 7a fortzunehmen, in welchem der kalkhaltige Ton zutage austreicht. Unter dem nach dem Einschnitt hin gelegenen Bohrloch 6a scheint eine (ehemalige, jetzt unterirdische) Erosionsrinne den Kalk fortgenommen zu haben, jenseits derselben steigt er aber bis an die Oberfläche empor“. Im Grundriß (1 : 3000) (Abb. 2, Taf. XV) ist die Projektion der Gleitfläche auf die tiefste hier bei 82 *m* liegenden Einschnittssohle in der gestrichelten Linie *a—b* dargestellt. „Daraus würde sich als zukünftige Böschungsgrenze das durch die beiden vollgezogenen Linien *AB* und *BC* begrenzte Gebiet darstellen.“

2. Auch das zweite Gebiet, in welchem schon früher starke Rutschungen abgingen und in welchem sich auch im Juli 1914 bedeutende Massenbewegungen einstellten, war im ersten Gutachten als mit weiteren Gefahren drohend bezeichnet worden.

In den drei Bohrlöchern des Profiles 75·4 liegt der „graue Ton (wohl Kalk)“ horizontal zutage; demnach ist nur der etwas nördlich von Bohrloch 35 liegende Sand abzuböschten. Im Querprofil 75·5 (Taf. XVa) kulminiert in Bohrloch 27 die Gleitfläche und zieht sich von da nach Süden zu einer ehemaligen Kalkgrube hinab. Das Südende der erforderlichen Abböschung kommt etwa 6 *m* südlich von 27, besonders dort, wo der Kalk beim Abtragen zum erstenmal südliches Fallen zeigen wird. Im Querprofil *km* 75·550 nähert sich beim nördlichsten Bohrloch 24 der Kalk bis auf 1·8 *m* der Oberfläche. 17 *m* südlich liegt eine diluviale Erosionsrinne durch ein älteres Bohrloch bestimmt, jenseits davon der Kalk wieder einsetzt, um von 25 nach Süden einzufallen, wonach die Abtragung bis einige Meter südlich von Bohrloch 25, wo der Kalk nach Süden fällt, erwünscht wird. Bei Profil 75·6 liegt von Bohrung 21 der Ton nahe wagrecht, „so daß es genügen dürfte, die Grenze der zukünftigen Böschung durch Loch 22 anzuordnen“. Aus diesen vier sicher festgelegten Punkten ergibt sich für das Rutschungsgebiet 2 zwischen *km* 75·3 und 75·7 die von den zwei Linien *DE* und *EF* (Lageplan Taf. XV, Abb. 2) begrenzte Fläche als rutschungsfähig und ist daher zu beseitigen.“

¹⁾ In vielen anderen Fällen in solchem Material treten (allfällige neben Rutschflächenbewegungen) auch mehrfache in der Beschaffenheit der Massen, Belastung, klimatische Verhältnisse u. dgl. begründete Gleit-, Rutsch- und Fließbewegungen ein.

3. Das zufolge mangels an Bohraufschlüssen nicht im ersten Gutachten berücksichtigte Gebiet *km* 76·1 bis 76·3 ergab Nachstehendes: Im Querschnitt 76·1 bilden die festen blauen Tone zwischen den Bohrlöchern 17 und 19 ein in Bohrloch 18 kulminierendes Gewölbe, wobei nördlich von diesen die hellblauen Tone (Kalke) sich anlegen, südlich des Gewölbes aber fehlen. Die Abtragung ist bis auf 10 *m* südlich von Bohrloch 18 zweckmäßig. In gleicher Art ergibt sich im Profil 76·150 die Kulmination südlich von Loch 13 und die Abtragungsböschung nahe bei Bohrung 14. Höchster Sattel und Abtraggrenze in *km* 76·175 liegen zwischen den Bohrungen 8 und 9. Für 76·225 liegen Sattel und Abtrag zwischen 4 und 5, vermutlich näher an 4. Das abzutragende Gebiet ist im Lageplan (Abb. 2) durch die Linie GHJ nach Süden begrenzt. Das Gutachten schließt nun mit folgenden Worten: „Wenn die Abtragungen bis zu den angegebenen Grenzen und mit den erforderlichen flachen Böschungswinkeln durchgeführt sind, ist nach menschlichem Ermessen die Gefahr weiterer Rutschungen auf der Südseite des Rosengartener Eisenbahneinschnittes für alle Zeiten ausgeschlossen“¹⁾.

Wahrscheinlichkeits-Ergänzungen in den Querprofilen.

An jenen Stellen in den Profilen, wo der abgerutschte Körper in die geodätische Querprofilaufnahme miteinbezogen ist, erscheint der eigentliche Rutschkörper nur mit der zutage tretenden Oberfläche eingetragen. Es bezieht sich dies auf die Profile 2 *G* (zweites Gutachten) *km* 75·430, 75·450, 75·5 und 75·550; sodann vielleicht auf *km* 76·150, 76·175, in welchen letzteren beiden Profilen die steile Abbruchfläche noch in der Richtung der Pfeile möglicherweise auf unter die „Gleitfläche“ dringende Abschälungen und Aufsteigungen deuten könnten, wenn es auch in anderer Beziehung möglich erschiene, daß die steile mit „Abbruch“ (Rutsch) beschriebene Fläche an dem mit „Gleitfläche“ beschriebenen, dort fast horizontal liegenden Sattel abstoßt oder anschließt; doch ist im Profil 76·150 (2 *G*) die Oberfläche gerade über dem Pfeil unter die gezeichnete „Gleitfläche“ eingesunken, die Gleitfläche dort also nicht mehr ungeändert, daneben aber gegen das Bohrloch 12 zu über die Gleitfläche gezeichnet, also emporgehoben. Im nächsten, bloß 25 *m* entfernten Querprofil *km* 76·175 liegt zwar noch eine Masse von etwa 2 *m* Höhe (bei Bohrloch 7) über der gesattelten „Gleitfläche“, doch scheint auch dort allfällig

¹⁾ Dieser apodiktische Schlußsatz des Gutachtens wirkt ganz eigentümlich: a) Erfahrungsgemäß treten in Tonen selbst zufolge ihrer petrographischen und physikalischen Beschaffenheit auch bei flacheren Böschungen in früherer oder späterer Zeit oft nach Jahrzehnten immer wieder Bewegungen ein, wie am 70 Jahre alten Triebitzer Tunnelvereinschnitt heute zu sehen. b) Ist die große Einschnittstiefe bis zum Teil über 30 *m* ohne Fußmauern an und für sich geeignet, Bewegungen und Ausweichungen an den tiefstliegenden Böschungsteilen bei einigermaßen Durchfeuchtung nicht zu verhindern

noch der blaue Ton selbst nach den Pfeilen und der schematisch punktierten Fortsetzung des „Abbruch“ nicht ausgeschlossen. Wie unsicher dem Geologen wegen des Sattels in der „Gleitfläche“, das heißt Oberfläche des dunklen Tons die Massen erscheinen, beweist das weite Zurücksetzen seiner Böschung, besonders in *km* 76·175 und *km* 76·225, in welchem letzterem Profil zwei Gleitflächen übereinander, die zwischen Bohrloch 4 und 5 in eine übergehen, gezeichnet sind, den schwächer gewordenen Sattel nächst Bohrloch 4 aber erkennen läßt. Auch im (125 *m*) vorhergehenden Querprofil *km* 76·100 sind zwei rasch nach links sich trennende Gleitflächen ersichtlich; beide vereinigen sich zwischen Bohrloch 18 und 19.

In den Profilen *km* 75·0 und 75·550 sind zwei Ereignisse ersichtlich: die Oberfläche des Rutschkörpers vom 28. August 1911. Im Querschnitt 75·5 ist die Oberfläche des Kalkes als „Rutschebene“ (vermutlich für obigen 28. August geltend) eingetragen worden und hat der Verfasser dazu nur rechts vom Datum die steile Abbruchfläche punktiert mit Fragezeichen versehen bis zur Rutschebene ergänzt. Die nächste Rutschung im gleichen Profil, die 64 *m* weiter ins Gelände bis wenige Meter vor Bohrloch 27 reichte, ist wohl unter den Kalk noch gegangen, weshalb der Verfasser den „Abriß“ (?) und den damit im Zusammenhang stehenden allfälligen „Auftrieb“ in punktierter Linie schematisch annahm; die (korrigierte) Kalkoberfläche ist durch die Bohrlöcher 27 und 28 bis in die „alte Kalkgrube“ gezeichnet (Taf. XV a), die Bohrlöcher 29 und 30 scheinen keinen Kalk mehr zu zeigen.

Die nächsten noch mit dieser Rutschung zusammenhängenden Profile *km* 75·430 und 75·450 zeigen die Abrißränder tiefer wie die Kalkoberfläche oder wie in 75·450 gar erst hinter dem Kalk und tief im Ton, mithin nicht auf Gleitflächen, die vorher schon vorgebildet waren. Damit ist der Nachweis erbracht, daß auch die petrographische und physikalische Beschaffenheit des Materials von Einfluß ist und daß sowohl der „Süßwasserkalk“ als der unterliegende „feste“ Ton in Bewegung geraten können, wie dies ja an anderen Oertlichkeiten glazialen Charakters wiederholt gefunden wurde. In beiden Profilen ist trotz der ersten Terrassierung (zwei Terrassen) und der zweiten Abflachung mit bloß oberer Terrasse ein Niedersitzen erfolgt, wie es in 10 Bildern dargestellt wurde, von denen 4 in den zwei Tafeln XII und XIII wiedergegeben erscheinen.

Hinsichtlich den berichtigten und im Juli 1911 ergänzten Querprofilen, welche alte und berichtigte geologische Angaben enthalten und von denen nur eine Auswahl von charakteristischen Profilen, nämlich *km* 74·5, 74·6, 74·7, 74·9, 75·0, 75·088, 75·1 und 75·3, zusammen 8 Profile gegeben erscheinen, ist der wesentliche Unterschied hervorzuheben, der entstehen kann, wenn aus einzelnen unzureichenden Bohrungen durch Ziehen von Begrenzungen der erbohrten Oberflächen der einzelnen Gesteine mehr oder weniger parallel zur Geländeoberfläche, gegenüber der Wirklichkeit sich ergibt. Die Fehler sind so grell und grob, daß ganz falsche Vorstellungen und falsche Maßnahmen daraus zu folgern sind. Die richtige Anordnung von solchen Bohrungen womöglich

mit dazwischen angelegten Schächten, die noch genaueren und aufzunehmenden Einblick ins Gelände geben, ist von besonderer Tragweite für die ganze technisch geologische Beurteilung der Sachlage.

Die erwähnten zehn Bilder, die nebst entsprechenden Uebersichten auch viele Einzelheiten der Bewegung, wie sie ein Rundgang um die ganze größere Rutschung gewährt, geben, ergänzen sich mit dem Lageplan und den Querprofilen zu einem völlig plastischen Bild des Inneren und Aeußeren des Geländes zur Zeit der Rutschung (Mai 1914). Zur Verdeutlichung der dargestellten vier Einzelbilder sind einzelne Einschreibungen vorgenommen worden.

Im unteren Bild der Tafel XII ist eine Uebersicht des abgerutschten Körpers der südlichen Einschnittböschung gegeben, und zwar im Sinne der fortlaufenden Stationierung von der viaduktartigen Ueberbrückung (in Tafel XII, oberes Bild, Hintergrund rechts ausgehend) bei *km* 75·3 gegen 75·5, also von West gegen Ost (nach Frankfurt). Links liegen erhöht in Uebereinstimmung mit den Querprofilen (für das zweite Gutachten und den arabisch bezeichneten Bohrungen) die beiden Betriebsgleise, sodann rechts tiefer ein Arbeitsgleis mit einer Ausweiche, darüber das umgestülpte Arbeitsgleis nebst umgeschobenen Rollwagen. Rechts oben ist das staffelförmige Abbrechen der Massen bei größter Einschnittstiefe und das Herausdrängen des Abrutschkörpers aus der ursprünglich ausgeführten Einschnittböschung bis herab zur Einschnittssohle deutlich. Im Vordergrund rechts ist eine Terrasse nebst Böschungssicherung (Weidenfaschinen) am Böschungsfuß dargestellt. Inmitten des Rutschkörpers liegt die vor den fünf Personen (beim Wort obere) herabführende Betonrinne, deren Einzelheiten (Zusammenschiebungen und Auftreibungen) in anderen Bildern sichtbar werden. Im Hintergrund links ober den fünf Personen sind ausgeführte zwei Abtreppungen in der nicht gerutschten Böschung zum Ausdruck gelangt. (Bild 1 der Reihe.)

Das nicht wiedergegebene Bild 2 enthält nebst der Abbruchwand (Rutschfläche, besser gesagt Trennfläche) noch die den Rutschkörper seitlich begrenzten sekundären Trenn- oder Rutschflächen.

Bild 3 gibt Einzelheiten der herausgeschobenen Gleitmasse aus größerer Nähe wie Bild 2.

Im auf Tafel XIII wiedergegebenen oberen Bild (4) ist nebst den steilen Abrißflächen unter dem Bruchrand die stärkere Bewegung der Innenschollen gegen die Außenschollen unter mannigfachen Gleitflächenbildungen, so daß *B* mehr als *A*, *B*₁ mehr als *A*₁ zur Tiefe wanderte, sehr deutlich zu sehen und dabei auch das Bergseitsneigen der auf diesen Abtreppungen stehenden Waldbäume.

Das nicht reproduzierte Bild 5 zeigt oben die parallelepipedischen Risse im Gleitkörper, unten die bogenförmigen, klaffenden Zerrungsrisse nebst Streifungen sowie die teilweise zusammengeschobene, teilweise auseinandergezerrte Wasserrinne.

Bild 6 gibt links neben der sekundären Trennungs- oder Abrißfläche die mannigfach gebogenen eng gescharten Sprünge; schön erscheinen auch die übrigen Rißbildungen, besonders die Parallelepiped-

spalten ganz oben; noch deutlicher werden die Einzelheiten auf dem reproduzierten Bild 7 auf Tafel XIII unten.

Das auf Tafel XII oben gegebene Bild 8 zeigt das Hervordrängen des Rutschkörpers aus der bestandenen regelrechten Böschung durch die angedeuteten Pfeile, und zwar in einer Aufnahme von Ost gegen West und die zwei Terrassen vom Uebersichtsbild 1 verdeutlicht.

In dem mir vorliegenden Bild 9 ist der oberste Abrißrand von Ost gegen West, die steile Abbruchfläche gegeben, während in Bild 10 die an einer aufsteigenden Fläche hervordrängende Gleitmasse sich sehr deutlich abhebt.

Ueber den Erfolg der Maßnahmen ist Nachstehendes anzuführen¹⁾: Bei *km* 75·2 hat sich ein dreieckiger Ausschnitt in der Böschung gezeigt, indem in dem fertig ausgearbeiteten Einschnitt rund 1000 *m*³ abrutschten; März 1918 herrschte vollständige Ruhe an dieser Stelle. — Bis jetzt in diesem Frühjahr sind größere Rutschungen nicht mehr eingetreten; kleinere Ausbrüche mit je 50 bis 100 *m*³ sind an drei Stellen vorgekommen. Es wird jetzt etwas Weidenfaschinen-Packwerk aufgebracht, mit Pfählen an die flache Böschung genagelt und das Material wieder einplaniert. Teilweise ist dieser Boden gar nicht bis zum Graben herabgekommen, sondern in der halben Böschung hängen geblieben. Zwischen *km* 76·1 und 76·3 waren die Hauptursache der Rutschungen Quellen, die anfangs nicht richtig abgeführt wurden. An dieser Stelle wurde nahezu der ganze über dem blauen Ton liegende Sand — soweit er nicht schon abgerutscht war — heruntergearbeitet und auf der blauen Tonoberfläche selbst eine flache Böschung 1 : 3 bis 1 : 4 hergestellt. Von dem höchsten Tonbodenpunkt an bis zur Geländeoberfläche ist (im Sand) 1½ malige Böschung angelegt und sind vom Fuß dieser Böschung Entwässerungen für Quell- und Niederschlagswasser bis in den Bahngraben geführt, die bei Regen und Schneeschmelze viel Wasser bringen. Auch hier haben sich keine Rutschungen mehr gezeigt.

Klassifikation loser Massen.

Handelt es sich bei den vorstehend dargestellten Massenversetzungen um solche hauptsächlich an vorhandenen Flächen entlang und nur dort, wo der Abriß oben und das Auftreiben unten sich bemerklich machte und eine gewisse Zahl sich erst bildender Schalen oder Abbruchflächen, beziehungsweise aufsteigender Harnische, so treten andererseits, wie bereits erwähnt, im Moränen- und verwandten Material selbst tiefgründige Rutschungen bis Fließungen ein. Da hierbei nicht nur die mechanische Zusammensetzung, sondern auch der Einfluß des Wassers auf die Bestandteile selbst und sonstige Beschaffenheit einschließlich der Herkunft der Grundstoffe ausschlaggebend ist, so ist die Aufstellung eines rationalen Klassifikationssystems für alle losen Massen ein schon lange gefühltes Bedürfnis für diesen Zweig der praktischen Geologie. Ausdrücke wie humoser Sand oder Ton, sandiger Lehm oder Letten u. dgl. umfassen

¹⁾ Fölsing, Briefliche Mitteilung vom 11. März 1918.

Materialien verschiedenster Eigenschaften, so daß notwendige praktische Vergleiche eines bestimmten Vorkommens mit einem anderen und daraus zu ziehende wichtige Folgerungen meist unmöglich erscheinen. Aber auch für eine erschöpfende einschlägige wissenschaftliche Untersuchung der Materialien, unter anderem auch als Ausgangspunkt für weitere Forschungen usw. bedarf es gewiß in großem Maße einer genaueren Charakterisierung der verschiedenen Gesteinstoffe als bisher, um zwischen diesen in der Praxis unterscheiden zu lernen. In der Agrogeologie und in der Bodenkunde haben Simon Johansson¹⁾, Björlykke²⁾ und andere in Beispielen auch auf dies Bedürfnis eindringlich hingewiesen. Die überhaupt in Betracht kommenden Materialien müssen immer mehr individuell in ihren maßgebenden Eigenschaften und den daraus hervorgehenden Folgerungen für einen bestimmten Zweck zu erkennen sein. Mit der Klasseneinteilung in der Bodenkunde, insbesondere jener von S. Johansson, der hier gefolgt werden soll, ist zwar noch nicht allen Bedürfnissen des Tiefbaues entsprochen, so insbesondere auch nicht im Verhalten von steinigem Beimengen größer als 20 mm (Kiesel, abgerollte, kantengerundete und eckige Schotter und Trümmer u. dgl.), doch gibt sie bereits sehr wertvolle Anhaltspunkte, die nur weiter durch Versuche und Vergleiche auszubauen sind, in der Beurteilung. Ueber Klasseneinteilungen sind noch verschiedene Ansichten vertreten. Nach Björlykke spricht sich Hall folgendermaßen darüber aus: „Die Klassifikation, die angenommen werden kann, muß eine sein, die auf die physikalische Textur der Bodenarten basiert ist, wie eine solche bereits in den allgemeinen Benennungen Ton, Lehm, Sand usw. zur Verwendung kommt.“ Seit die Untersuchungen auf größere Gebiete mit verschiedenen klimatischen Verhältnissen sich erstreckten, zeigten sich in den Böden gleicher mechanischer Zusammensetzung große Verschiedenheiten; doch ist das Umstaltungsvermögen des Klimas nicht so groß, daß nicht auch andere Einflüsse gleichzeitig zur Geltung gelangen. So die Beschaffenheit des Ausgangsmaterials. Umsetzungs-, Umschlammungs- und Verwitterungsergebnisse aus verschiedenen Sandsteinen, Kalken, Mergeln, Graniten usw. werden verschiedene Eigenschaften bedingen. Dabei wird aber die mechanische Zusammensetzung zu berücksichtigen sein, denn ein Sand muß andere Eigenschaften zeigen als ein Ton, in welchem Klima sie auch auftreten. Deshalb sind bei einer Einteilung der Bodenarten alle diese Faktoren und vielleicht auch noch andere zu berücksichtigen, um ihre Natur in allen Einzelheiten zu kennzeichnen. Ein solches zusammengesetztes Klassensystem hat Coffey³⁾ für die Vereinigten Staaten aufgestellt und wurde dasselbe sowie das Atterberg'sche zum Teil

¹⁾ Die Festigkeit der Bodenarten bei verschiedenem Wassergehalt. Sveriges Geologiska Undersökning, Årsbok 7 (1913), Nr. 3, S. 96 ff. Auf die einschlägigen Arbeiten von A. Atterberg und S. Johansson muß auf die Internationalen Mitteilungen für Bodenkunde und die Jahrbücher der Schwedischen Geologischen Landesanstalt verwiesen werden.

²⁾ Moderne jordbundsgranskning. Kristiania 1912.

³⁾ G. N. Coffey, A study of the soils of the United States. U. S. Dep. of Agric., Bureau of Soils, Bull. 85, 1918.

hier verwendet. Hilgard¹⁾ hebt die Erwünschtheit einer unmittelbaren Bestimmung der physikalischen Eigenschaften hervor und hat Atterberg²⁾ versucht, die mechanische Analyse durch eine unmittelbare Bestimmung der physikalischen Eigenschaften Festigkeit und Plastizität und eine Charakterisierung nach diesen überflüssig zu machen. Frosterus³⁾ hat die Schrumpfung der Bodensstoffe bestimmt, doch ist dieselbe im Wesen gleich den Atterberg'schen Plastizitätszahl, indem die erstere den Unterschied zwischen den Wassergehalten der Normkonsistenz und dem sogenannten Umschlagspunkt gibt und die letztere zwischen Fließgrenze und Ausrollgrenze⁴⁾. Atterberg hat in der Tongruppe Unterschiede gemacht nach den Größen und Ueberwiegen der kleinsten Teilchen, ob ein Material den „Motonen“ oder den „Schlufftonen“ zuzurechnen; es ist deshalb auch keine völlige Uebereinstimmung der Eigenschaften innerhalb jeder Klasse zu erwarten. Es ist vorgekommen, daß ein Stoff einen von dem der Klasse abweichenden Typ der sogenannten Festigkeitskurve (aus Wassergehalt und Belastung konstruiert) aufweisen kann, wobei die Abweichung nicht so sehr darauf zu beruhen braucht, daß die Partikel anders geformt oder anderer mineralogischer Zusammensetzung sind, obschon diese Umstände naturgemäß auch wirken, sondern die Ursache liegt gewöhnlich in dem weitgesteckten Umfang der Tongruppe, indem sie Körner zu weit verschiedener Größen und damit verschiedener Eigenschaften umfaßt. Die Folge hiervon ist, daß bei einem hohen Prozentsatz Ton, die Tonpartikel nahe der Schluffgrenze liegen können, so daß die Eigenschaften der Schluffböden vorwalten. Bei einer weiter getriebenen Zerteilung würden wahrscheinlich mechanische Analyse und die physikalischen Eigenschaften in bessere Uebereinstimmung kommen. Doch erscheint dies praktisch schwer durchführbar; teils würde ein Schlämmen mit einer Absetzungszeit von 64 Stunden, wo Teilchen bis herab zu 0·0006 mm abgeschieden werden, zuviel Zeit beanspruchen, um für praktische Zwecke zu dienen, teils ist es schwierig, bei der gegenwärtigen Präparierungsmethode: Bürsten, diese feinen Teilchen von anhaftenden Tonpartikeln freizubekommen. — Da die Natur der Humusstoffe sozusagen der der Tone entgegengesetzt ist, indem sie Festigkeit und Plastizität herabsetzen, so sind die humusreichen Böden abgesondert worden, da sie nicht in das System passen. Ein humoses Material, das den physikalischen Bestimmungen nach als ein Lehm zu betrachten ist, kann möglicherweise beim Schlämmen die Zusammensetzung eines humosen schweren Tones geben.

Johansson hat seiner Einteilung noch andere physikalische Eigenschaften zugrunde gelegt, die für die Materialien noch charakteristischer sind und die auch genauer bestimmbar sind. Obschon die Festigkeitskurven am aufschlußreichsten erschienen, stehen ihrer praktischen

¹⁾ Hilgard, Soils, London 1906, S. 101 ff.

²⁾ Intern. Mitt. f. Bodenkunde.

³⁾ La Pédologie 1912, Nr. 4, S. 25.

⁴⁾ Näheres in: S. Johansson a. a. O. S. 99 usw. Atterbergs Terminologie besteht in: Kies 20–2 mm, Sand 2–0·2, Mo (sprich: Mu) 0·2–0·02, Schluff 0·02–0·002, Ton < 0·002 mm Korngröße.

Anwendung Schwierigkeiten entgegen. Anstatt dessen ist die Festigkeit an den Punkten der Kurve gewählt, welche am charakteristischsten erscheinen, nämlich am Umschlagspunkt (Zähigkeit) und bei Trockenheit, wobei auch die Lage des Umschlagspunktes ein wichtiges Merkmal darstellt.

Die unmittelbare Untersuchung erfolgt durch Formung zweier Prismen, möglichst nahe der Ausrollgrenze, wobei eines zum Trocknen hingestellt wird und der Bestimmung der Festigkeitszahl dient. Ein abgeschnittenes, gewogenes Stück des anderen Prismas wird für die Bestimmung des Umschlagspunktes, der Prismarest selbst für die Erhebung der Zähigkeit benützt. S. Johansson hat in neuerer Zeit noch ein verbessertes Verfahren benützt¹⁾. Ist der Wassergehalt am Umschlagspunkt bekannt, so ist zu berechnen, wieviel der übrige Primateil zur Erreichung des Umschlagspunktes zu wiegen hat²⁾. Durch Abwage während des Trocknens ist der Umschlagspunkt bestimmbar, falls derselbe nicht aus dem Farbenumschlag sich ergibt.

Unter Umständen kann bei untereinander nahe verwandten Materialien, also Untersuchungen aus einem beschränkten Gebiet, es für die Klassifizierung genügen, nur einige wenige Typen durch Schlammung und Bestimmung der physikalischen Konstanten vollständiger zu behandeln. Der Platz der übrigen ergibt sich dann hinreichend genau allein durch Bestimmungen der Lagen des Umschlagspunktes und der Fließgrenze.

Es wäre wünschenswert, eine Klasseneinteilung auf einfache und leicht ausführbare Bestimmungsverfahren, womöglich auf dem Felde zur Anwendung kommende, zu gründen; insbesondere zur Bestimmung des Zähigkeitsgrades. Johansson ging in folgender Art vor. Ein kleiner Erdklumpen wird in einer Porzellanschale mit einigen Tropfen Wasser aus einer mitgebrachten Flasche angefeuchtet, mit einem Spatel zu einem homogenen Teig verarbeitet. Dann wird ein Teigstück zwischen den Fingern gerollt und geknetet, bis er so trocken erscheint, daß er seine Plastizität, verliert d. h. an den Umschlagspunkt gelangt ist; die mittels des Gefühls geschätzte Härte des Klumpens in diesem Augenblick gibt ein Maß für die Zähigkeit. Die extraschweren Tone geben Erdklumpen, die hart, fast steinhart sind, während die leichten Lehme sich weich anfühlen. Ist das Verfahren auch subjektiv, so läßt sich doch bei einiger Uebung ziemlich sicher entscheiden, zu welcher Zähigkeitsklasse ein bestimmtes Material zu stellen ist. Zur zeitweiligen Auffrischung seines Gefühlsgedächtnisses, falls gegebenenfalls eine Unsicherheit möglich, werden Proben verschiedener im Laboratorium festgestellter Zähigkeitsgrade mitgeführt und das fragliche Material mit diesen verglichen.

¹⁾ A. a. O. S. 101, Note 1.

²⁾ Das Gewicht des Prismas am Umschlagspunkt ist

$$P_0 = \frac{(100 + F_0) P_b}{100 + F_b}$$

wobei F_0 = Wassergehalt beim Umschlagspunkt, F_b = Anfangsfeuchtigkeit und P_b = Anfangsgewicht des Prismas ist.

Die auf Seite 456 und 457 befiedliche Klassengruppierung ist auf die Zähigkeit und Lage des Umschlagpunktes als klassifizierende Eigenschaften gegründet. Nebst diesen Ziffern werden auch die Festigkeitszahl sowie die Größe des Plastizitätsgebiets (Unterschied zwischen Fließgrenze und Umschlagspunkt) und die Plastizitätszahl (Unterschied zwischen Fließgrenze und Ausrollgrenze) vorgeführt. Hinsichtlich der mechanischen Zusammensetzung ist auf die Analysenzahlen von Atterberg und Johansson zu verweisen.

Es bedarf natürlich noch vieles so z. B. die Solifluktsfrage nach weiterer Studien der Verhältnisse in der Natur jetzt und früher unter gleichzeitiger Behandlung von Laboratoriumsversuchen. Sie hängt mit der noch nicht gelösten und an Voreingenommenheiten leidenden Frage der Art, Ursache und Größe des Quellens und Nichtquellens verschiedener Stoffe zusammen.

Jene Bodenmaterialien, welche trocken keine Festigkeit zeigen, sind zur Klasse: reine Sandböden vereinigt. Jene mit unbedeutender Festigkeit sind als tonhaltige Sandböden oder auch Schluffböden bezeichnet. Auch eine unbedeutende Tonbeimengung eines Sandes besitzt das Vermögen, denselben fester zu machen, sowie auch der feuchten Masse wenigstens etwas von den plastischen Eigenschaften zu erteilen, so daß sie sich zäh und formbar anfühlt, sogar, wenn auch schlecht, ausrollbar erscheint, während reinem Sand jede Plastizität fehlt. Selbst ein geringer Prozentsatz Ton ändert die Eigenschaften des Sandes im übrigen, macht ihn geringer durchlässig und erhöht seine Wasserkapazität. Die Schluffböden sind infolge ihrer Feinkörnigkeit mit dem bloßen Auge von den tonhaltigen grobkörnigeren Sandböden unterscheidbar. Die Lehme sind in leichte Lehme mit einer Zähigkeit bis 10 und schwere Lehme mit einer Zähigkeit zwischen 10 und 15 geteilt; in jeder dieser Abteilungen kommen zwei verschiedene Kurventypen vor. 16% für den Umschlagspunkt hat sich als Grenze beider Klassen ergeben. Den Klassen der Schlufflehme zugehörige Böden werden seltener in der Natur getroffen, wo sie gleich den Schluffböden als Fließlehme erscheinen. Sie werden am besten an der schaukelnden Bewegung des angefertigten Teiges durch einseitiges wiederholtes Drücken erkannt.

Bei Zähigkeit über 15 erhalten die Materialien eine so hochgradige Plastizität, daß sie als Tone bezeichnet werden, die in zwei Klassen: sehr schwere und extraschwere Tone, erstere mit einer Zähigkeit zwischen 15 und 25, letztere mit noch höherer Zähigkeit, geteilt erscheinen; Materialien zwischen Zähigkeit 4 und 15 sind Lehme.

Die Böden inner jeder Klasse zeigen einen gleichartigen Typus der Kurven und dazu ähnliche mechanische Zusammensetzung, doch müssen naturgemäß auch Uebergänge sich zeigen. Als Uebergangsformen von der Mo- zur Schluffserie sind Bodenarten aufgestellt, die einen niedrigen Umschlagspunkt haben in Uebereinstimmung mit den Verhältnissen bei der Moserie, welche aber in Uebereinstimmung mit den Materialien der Schluffserie eine verhältnismäßig niedrige Festigkeitszahl besitzen, was darauf deutet, daß die hierhergehörigen Uebergänge unsortierte Böden sind, eine Mengung

Klasseneinteilung humusfreier und -armer Bodenmaterialien.

Klasse I. Reine Sandböden. Keine Festigkeit; keine Plastizität.

Klasse II. Tonhaltige Sandböden. Festigkeitszahl > 0; Zähigkeit < 4.

	Zähigkeit	Umschlagspunkt	Plastizität ungerechnet	Plastizitätszahl	Fließgrenze	Festigkeitszahl	Mechanische Zusammensetzung				
							Sand	Mo	Schluff	Ton	Humus
Nr. 258. Schwemmsand von Kalmar	0·3	19·0	0	0	19	2·4	32·4	59·2	2·0	5·8	0·6
Nr. 301. Molehm von Wassmolösa	1·0	17·0	3	0	20	26	4·6	70·2	16·6	8·4	—
Nr. 109. Molehm von Svartingstorp	2·0	16·0	2	0	18	36	1·3	72·6	11·7	14·4	—
Nr. 107. Molehm von Blekinge (kaolinhaltig)	2·5	16·4	7	0	23	16	21·1	45·3	19·6	14·0	—
Nr. 361. Molehm von Böhmen	2·5	15·0	6	0	21	26	36·8	32·2	14·7	16·4	—
Uebergangsform von Klasse II auf III											
Nr. 185. Moschlufflehm; Fließlehm von Johannishus, Blekinge	3·5	18·4	7	2	24	34	—	28·4	50·4	21·0	0·2
Klasse III. Schluffböden.											
Festigkeitszahl > 0; Zähigkeit < 4.											
Nr. 90. Fließlehm, Ramsjö	2·1	18·2	0	0	19	1·4	2·4	40·8	46·2	9·3	1·3
Nr. 328. Fließlehm, Värmland (fließt wie Sirup in Gräben)	2·5	22·0	0	0	22	5·4	—	25·5	58·5	16·0	—
Nr. 117. Moschlufflehm, Småland	2·5	17·4	4	0	21	6·5	0·7	32·5	48·0	18·8	—
Nr. 363. Molehm, Böhmen	2·5	18·3	8	0	26	11	25·1	40·8	15·3	19·0	—
Nr. 111. Fließlehm (Schlufflehm) Forse	3·5	20·8	3	0	24	16	—	12·0	56·0	(32·0 nur 7·2 „Ton“)	—
Klasse IV. Leichte Molehme.											
Zähigkeit 4—10; Umschlagspunkt unter 16.											
Nr. 95. Lindby, Öland	6·0	16·0	12	7	—	48	2·8	54·0	21·4	21·8 ¹⁾	—
Nr. 307. Kulttorp, Wassmolösa	7·0	11·5	10	6	22	59	13·8	48·6	30·2	17·5	—

Uebergangsform von Klasse IV auf V.											
Nr. 274. Ekenäs, Värmland	4·5	15·2	11	8	26	18	3·0	48·0	27·9	29·1	—
Nr. 124. Moschlufftone, Ölbestorp, Kalmar	8	15·0	17	14	28	31	—	21·3	52·1	26·5	—
Nr. 168. Moschlufftone, Hafdhem, Gottland .	8·5	14·3	15	9	29	31	—	24·4	43·7	31·9	—
Klasse V. Leichte Schlufflehme.											
Zähigkeit 4—10; Umschlagspunkt über 16.											
Nr. 231. Schlufftone, Vasbo, Dalarna	6·0	21·0	10	5	31	23	—	5·1	50·1	43·4	1·4
Nr. 275. Hägsrum, Sundsval (Uebergangsformen zu den Schlufftonen)	9·0	21·2	14	9	35	34	—	4·4	33·0	62·3	—
Klasse VI. Schwere Molehme.											
Zähigkeit 10—15; Umschlagspunkt unter 16.											
Nr. 168. Ugerup	11	13·6	12	9	26	39	—	36·6	29·8	38·6	—
Klasse VII. Schwere Schlufflehme.											
Zähigkeit 10—15; Umschlagspunkt über 16.											
Nr. 161. Mulde, Gottland	15	18·0	17	10	33	22	—	8·7	40·7	50·6	—
Uebergangsform zu Klasse VII.											
Nr. 85. Saltkällan, Bohuslän (Erdrutsch)	22	17·6	24	16	37	49	—	21·0	22·1	54·9	0·9
Klasse VIII. Sehr schwere Tone.											
Zähigkeit 15—25.											
Nr. 166. Hyllinge	17	14·9	19	14	35	55	—	9·5	33·5	57·0	—
Klasse IX. Extraschwere Tone.											
Zähigkeit über 25.											
Nr. 309. Kulltorp, Wassmolösa	27	11·5	25	15	31	94	4·1	20·2	34·3	41·4	—
Nr. 162. Ugerup	28	14·6	36	20	50	93	—	13·3	16·7	69·4	0·6
Nr. 164. Hyllinge	30	12·4	41	27	53	75	—	5·2	27·0	67·8	—
Nr. 121. Svedala	35	21·1	29	17	41	94	—	12·3	32·2	54·2	1·3

¹⁾ Weitere Zerlegung dieser ganzen Reihe nach unten wahrscheinlich zum Teil noch möglich.

der Korngruppen Mo und Schluff zudem tonarm sind, was die mechanische Analyse zeigt. Desgleichen können Uebergangsformen von der Schluff- zur Moserie dort eintreten, wo der Gehalt an wirklichem „Ton“ (im Sinne Atterbergs und Johanssons) bedeutend genug wird, um dem Material große Festigkeit zu geben.

Darstellung der Tone durch Verteilungskurven mittels automatisch registrierbarem Verfahren.

Für viele Fragen bei den losen Bodenablagerungen stehen nur sehr mangelhafte Kenntnisse betreffs Zusammensetzung, physikalischer und chemischer Natur, dann auch Struktur und Korngröße der verschiedenen Sedimente zu Gebote. Auch, wie bereits erwähnt, ist die gebräuchliche Nomenklatur mit Mängeln behaftet. A. G. Högbom¹⁾ hat dies hervorgehoben und dabei auf die unzureichenden Analyseverfahren und die daraus entstehenden Uebelstände für die praktische Beurteilung hingewiesen. Sven Odén²⁾ hat deshalb versucht, teils neue Arbeitsverfahren zum Studium der Sedimente auszuarbeiten, teils ältere Analysemethoden und ihre Wirkungsweise wo tunlich genauer aufzustellen.

Bei der Definition des Begriffes „Ton“ in der geologischen und bodenkundlichen Literatur wird verschiedenen Bestrebungen begegnet, die charakteristischen Eigenschaften der Tone an gewisse Stoffe zu knüpfen, welche die vorherrschenden Bestandteile sein und mit verschiedenen Verunreinigungen gemengt die natürlichen Tone in allen Stufen ausmachen sollen. Früher wurde als wesentlicher Bestandteil das wasserhaltige Aluminiumsilikat (Kaolin), dann wurden die „Bodenzeolithe“ und zuletzt die „Bodenkolloide“ betrachtet. Grundsätzlich hiervon verschieden ist die Ansicht Hall's³⁾, nach welcher nicht die chemische Natur, sondern nur der Feinheitsgrad der integrierenden Stoffe ausschlaggebend erscheint und haben sich im wesentlichen A. Atterberg und S. Odén angeschlossen. Letzterer hat folgende Erklärung aufgestellt: Tone sind solche disperse Gebilde von Mineralfragmenten, in welchen Teilchen kleiner als 2 μ (Mikron) vorherrschen. In der physikalischen Chemie werden als disperse Gebilde solche zweiphasige Systeme bezeichnet, wo der eine Bestandteil, beispielsweise die feste Phase (hier die Mineralteilchen) in fein zerteilter (disperser) Form vorkommt und im anderen Teil, dem Dispersionsmittel (z. B. Wasser) verteilt ist. Bei den Tönen überwiegt die disperse Phase und das Dispersions-

¹⁾ Om nomenklaturen för våra lösa jordslag. Geol. Fören. Förh. (Stockholm) 1902, S. 174—192.

²⁾ Studien über Tone. 1. Allgemeine Einteilung zur Chemie und physikalischen Chemie der Tone. Upsala 1916. 2. Automatisch registrierbare Methode zur mechanischen Bodenanalyse. Upsala 1918. (Wird fortgesetzt.)

³⁾ The Soil. London 1912, S. 34 ff.

mittel (Wasser, Wasserdampf und Luft) ist nur als Füllung der Zwischenräume der Mineralkörner zu betrachten. Die Tone sind im Gegensatz zu den meisten anderen kolloiden Systemen hochgradig ungleichkörnig. Immerhin wird auch die chemische Beschaffenheit eine Rolle spielen.

Odén hat die älteren Theorien über die Tone gedrängt und summarisch bis zur modernen Kolloidchemie des letzten Jahrzehntes zusammengefaßt¹⁾. —

Da also die Tone durch die geringe Größe ihrer Teilchen charakterisiert sind, so war die Bestimmung des Grades dieser Zerlegung eine Aufgabe der mechanischen Bodenanalyse gewesen. Aus praktischen Gründen mußte sich die Aufteilung auf eine beschränkte Zahl von Fraktionen erstrecken. Zwei Materialien können nahe die gleichen Analysenziffern der mechanischen Bodenanalyse aufweisen und trotzdem in der Kornbeschaffenheit sehr verschieden sein, somit werden auch ihre physikalischen Eigenschaften verschieden sein. Deshalb blieb auch die Klassifikation nach der mechanischen Analyse unzweckmäßig, die alle Teilchen kleiner als 2μ als Ton bezeichnet. Weil nun diese kleinsten Teilchen eben die charakteristischen Bestandteile der Tone sind, bei den verschiedenen Tonen aber ganz verschieden klein sein können, so ist auf die Charakterisierung der kleinsten Teile der größte Wert zu legen. Die Ermittlung der Verteilung oder die jeder Teilchengröße entsprechende Gewichtsmenge oder Teilchenzahl erscheint daher höchst wünschenswert. Da Odén entstehungsgeschichtlich und bei analytischen Untersuchungen die Teile in Beziehung zum Wasser bringt, so hat er den Vorschlag gemacht, unter Aequivalentradius eines Teilchens den Halbmesser einer gedachten Kugel aus gleichem Stoff anzunehmen, die in einer Flüssigkeit mit gleicher Geschwindigkeit wie das Teilchen sinkt. Sowohl Cl. Maxwell als auch Odén drücken die Teilchenmenge als eine kontinuierliche Funktion des Aequivalentradius durch die Verteilungskurve graphisch aus, indem als Abszisse der Aequivalentradius und als Ordinate die Procente der Probe aus Teilchen größer als dieser Aequivalentradius aufgetragen erscheint. Die graphische Funktion fällt von 100 für das kleinste Partikel bis Null für das größte Teilchen der Tonprobe; wo die Kurve horizontal, sind in diesem Teilwert keine Teilchen vorhanden. Sollte jedes Teilchen dargestellt sein, müßte, streng genommen, die aufzutragende Linie treppenförmig erscheinen, da es immer zwei Werte geben wird, zwischen denen keine Teilchengrößen vorhanden. Tatsächlich sind aber solche Zwischenwerte von millionstel Prozenten ohne Belang und die Verteilungskurve zeigt kontinuierlichen Verlauf. Meist erscheint es besser und übersichtlicher für die Anschauung der Mengenverhältnisse die Teilchenmenge nicht als eine Gerade, sondern als Fläche auszudrücken: Odén trägt als Abszisse den Aequivalentradius auf, als Ordinate hingegen eine derart beschaffene Größe, daß sie, mit einem Teilstück der Abszissenachse multipliziert, eine Fläche gibt, welche die Teilchenmenge in dem betreffenden Abs-

¹⁾ Odén a. a. O. 1. S. 178 ff.

zissenintervall ausmacht. Danach erscheint die Teilchenmenge durch ein Integral und es wird die Teilchenmenge zwischen zwei Halbmessern die Fläche zwischen Abszissenachse und den diesen entsprechenden Ordinaten bis zur Kurve. Zweckmäßig wird die Berechnung derart durchgeführt, daß die Gesamtfläche 100 Einheiten auf Millimeterpapier ausmacht, so daß für die verschiedenen Intervalle nur die Quadrate abzuzählen, um die Prozente zu erhalten. Odén bildet für typischen Ton Kurven ab. Sind aber Teilchen sehr verschiedener Größen vorhanden, so erscheint es bequemer, statt den Halbmesser den natürlichen Logarithmus des Aequivalentradius als Abszisse zu verwenden. In einer Abbildung der Kurve hat Odén durch die Aequivalentradien 1μ , 10μ und 100μ die Ordinaten stärker gezogen, um (nach Altmeister Atterberg) die Gruppen Ton, Schluff, Feinsand und Grobsand zu charakterisieren.

„Eine Bodenablagerung ist somit ein Tonboden, Schluff- oder Sandboden, je nachdem die Hauptmenge in das Ton-, Schluff- oder Sandgebiet fällt.“

Doch sind Festigkeit, Plastizität, Wasserdurchlässigkeit usw. nicht bloß durch die Hauptmenge und deren Feinheit bedingt, sondern auch durch die in untergeordneter Menge vorkommenden Bestandteile, somit besonders von Art und Charakter der Verteilungskurven abhängig. Daher charakterisieren die genannten Kurven lose Massen weit vollkommener als die Ziffern der mechanischen Analyse. Zur Ermittlung der Kurven werden die Tone sorgfältig in Wasser aufgeschwemmt und die Geschwindigkeit der Sedimentation bestimmt: Eine Platte dicht über dem Boden des Sedimentiergefäßes wird an einem Wagebalken schwebend erhalten und zeitweilig das Gewicht der niedergefallenen Teilchen (elektromagnetisch-automatisch) erhoben. Die Geschwindigkeit dieser Akkumulation ist nämlich sowohl von Zahl als Größe der Teilchen, somit der Verteilung, abhängig und läßt sich diese daraus berechnen. Aus der Verteilungskurve läßt sich auch die totale Oberfläche annähernd berechnen; ferner läßt sich statt der Teilchenmengen auch die Teilchenzahl als Funktion des Aequivalentradius darstellen, welche Kurve als Häufigkeitskurve zu bezeichnen ist.

Ein Ton aus zuvor chemisch stark umgewandelten Mineralien hervorgegangen, besitzt einen anderen Charakter als ein solcher aus frischem Urgebirgsmaterial. Odén unterscheidet „kristallinen“ und „amorphen“ Ton. Die wenig erfreuliche bisherige mechanische Bodenanalyse und Fragen der Sedimentation überhaupt hat nun Odén durch sein automatisch registrierbares Verfahren um einen großen wichtigen Schritt vorwärts gebracht. In seiner unter 2 angegebenen Schrift sind alle Vorrichtungen beschrieben und genau in Bildern dargestellt.



Lichtdruck v. Max Jaffé, Wien

Jahrbuch der k. k. geologischen Reichsanstalt, Bd. LXV.: 1917.

Verlag der k. k. geologischen Reichsanstalt, Wien, III., Rasumofskygasse 23



Lichtdruck v. Max Jaffé, Wien

Jahrbuch der k. k. geologischen Reichsanstalt, Bd. LXVII, 1917.

Verlag der k. k. geologischen Reichsanstalt, Wien, III., Rasumofskygasse 23.

Vorübergehende Gleislage zur Tiefer- und Verlegung der Gleise Berlin-Frankfurt 90. zwischen Km 739 und Km 775.
Beilage zum geologischen Gutachten vom 23. Jänner 1912.

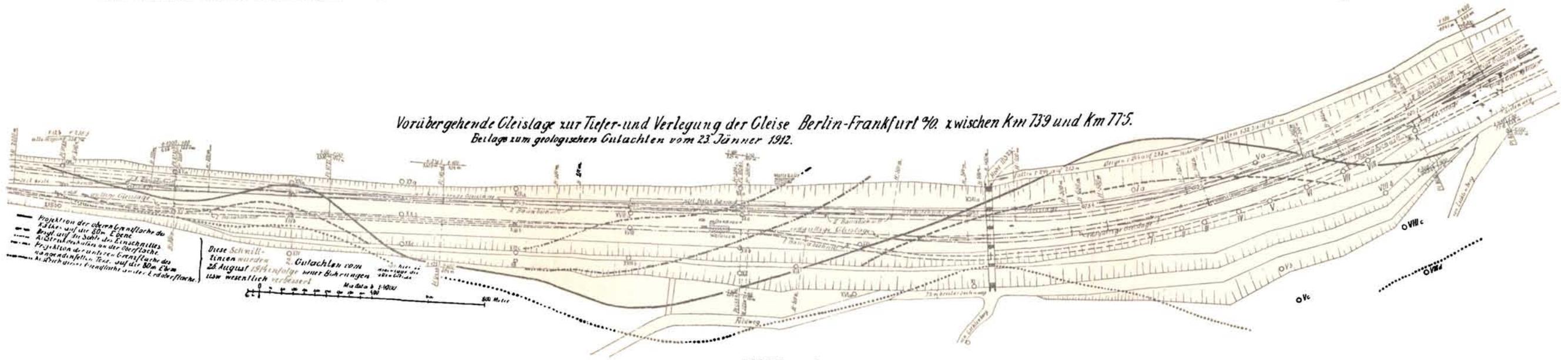
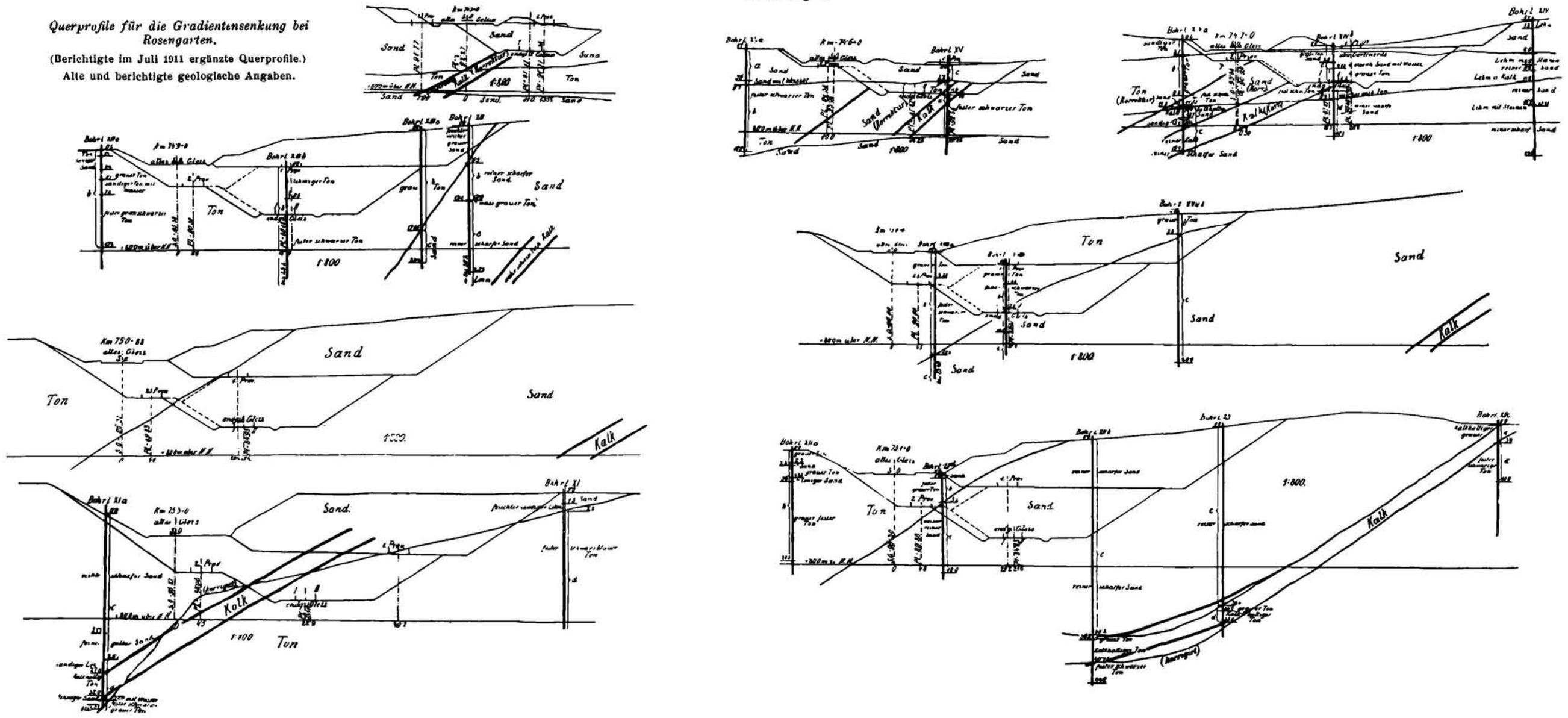


Abbildung 1.

Querprofile für die Gradientensenkung bei Rosengarten.
(Berichtigte im Juli 1911 ergänzte Querprofile.)
Alte und berichtigte geologische Angaben.



Lageplan von dem Rosengarten-Einschnitt.

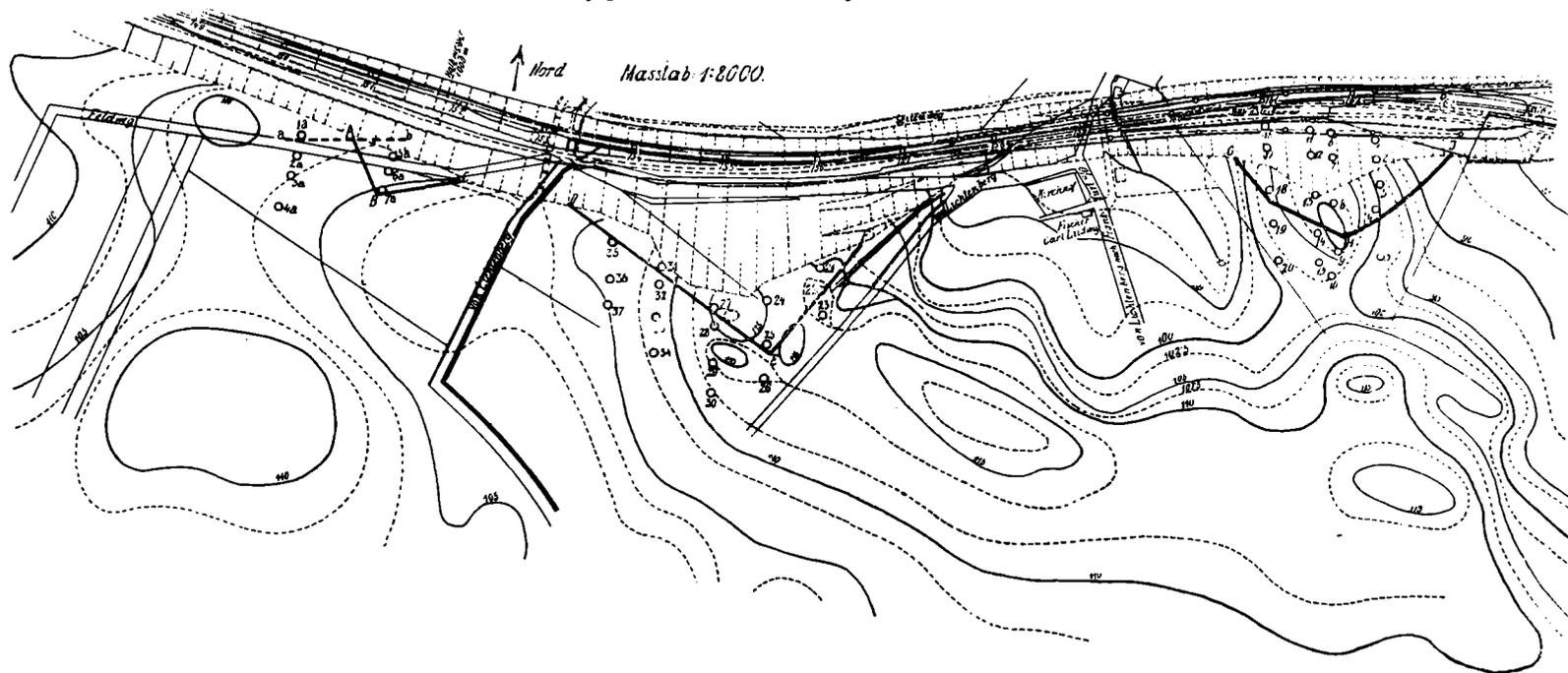


Abbildung 2.

