

Städtebau und Landesplanung in ihrem Zusammenhang mit Wirtschaft und Kultur.

Von Dr.-Ing. Ph. A. Rappaport, Erster Beigeordneter des
Siedlungsverbandes Ruhrkohlenbezirk, Essen.

Der Erfolg des deutsch-französischen Krieges von 1870 und der Einfluß dieses Erfolges auf die Wirtschaftsentwicklung sind maßgebende Faktoren für die Entwicklung der deutschen Stadt. Ursache und Wirkung stehen freilich auch hier wie so oft in ständiger Wechselbeziehung. Man kann heute sagen, daß die Stadtentwicklung von 1870—1914 trotz allen äußeren Reichtums in vieler Hinsicht eine unheilvolle ist. Die technische Entwicklung geht, ohne daß die innere kulturelle Entwicklung dem folgen kann, zu schnell vor sich.

Neben dem glänzenden Ausgang des Krieges, rein äußerlich betrachtet, ist die schon vor dem Kriege begonnene, durch eben jenen Krieg aber gewaltig beschleunigte Entwicklung der Industrie maßgebend für die städtebauliche Gestaltung. Mit erstaunlicher Schnelligkeit wachsen die Industriezentren und die Handelsplätze. Einzelne Städte wachsen in diesen 50 Jahren in einer Weise, wie sie die gesamte Geschichte der Menschheit nicht kennt.

Essen hatte im Jahre 1870	47 000	Einwohner
im Jahre 1914	459 000	„
Dortmund hatte im Jahre 1870	59 000	„
im Jahre 1914	300 000	„

Auch die Handelsstädte steigen in diesen 50 Jahren zu gewaltiger Blüte; z. B. Köln von 129 000 Einwohnern im Jahre 1870 auf 655 000 im Jahre 1914. Noch stärker wachsen die Außenhandelsstädte Hamburg, Bremen usw.

Es findet eine völlige Verschiebung der gesamten deutschen Bevölkerung in dieser Zeit statt. Im Jahre 1871 lebten in Deutschland 26 Millionen Einwohner auf dem Lande (in Orten mit weniger als 2000 Einwohnern); im Jahre 1910 ist diese Zahl sogar etwas zurückgegangen. Gleichzeitig hat sich die Bevölkerung der Mittelstädte (von 2000—100 000 Einwohnern) von 12 Millionen im Jahre 1870 auf 25 Millionen im Jahre 1910 erhöht, d. h. sie hat sich mehr als verdoppelt. In der gleichen Zeit hat sich die großstädtische Bevölkerung (in Orten über 100 000 Einwohner) von 2 Millionen auf rd. 14 Millionen erhöht, d. h. sie hat sich versiebenfacht. Man muß sich vergegenwärtigen, daß also der gesamte Bevölkerungszuwachs Deutschlands in den Jahren 1870—1910 allein auf die städtische Bevölkerung zu rechnen ist, daß die ländliche Bevölkerung in der gleichen Zeit sogar abgenommen hat.

Es ist klar, daß diese Verschiebung der Bevölkerung auch eine völlige Verschiebung der sozialen und kulturellen Werte mit sich bringt. Bis zum Jahre 1870 ist die deutsche Landwirtschaft in der Lage, zum großen Teil die Ernährung des Landes zu sichern, im Jahre 1914 ist das vollkommen undenkbar geworden. Die land-

wirtschaftlich produktive Bevölkerung ist der Zahl nach nahezu gleich geblieben, der Verbraucher dagegen, im wesentlichen also die städtische Bevölkerung, hat sich etwa verzehnfacht.

Eine solche Zusammendrängung in der Großstadt und die reibungslose Ernährung von außen her ist nur möglich durch die gewaltige Entwicklung der Verkehrsmittel und damit des Handels.

Und auch innerhalb der industriellen Bevölkerungsgebiete und Großstädte können die gewerblichen Produktionsgegenstände mit Schnelligkeit gesammelt und abgeführt, ebenso die notwendigen landwirtschaftlichen Verbrauchsgegenstände mit Leichtigkeit zugeführt und verteilt werden.

Durch die zunehmende Bevölkerung und den zunehmenden Bedarf an Industriegelände steigt der Wert des Grund und Bodens. Mehr aber noch wirkt wertsteigernd die Zusammendrängung der Bevölkerung. Es entwickelte sich eine starke Bodenspekulation, die nun ihrerseits zur immer engeren Bebauung treibt und letzten Endes jene Mietsbauten mit mehreren Höfen hintereinander, mit Lichtschächten und Kellerwohnungen entstehen läßt.

Zum großen Teil mitverschuldet durch diese unselige Entwicklung der Bodenpreise entsteht die Gestalt der heutigen Großstadt (Abb. 3 und 4). Industrie und Wohnung wirr durcheinander. Massenmiethäuser mit 30 und mehr Wohnungen; aber jede Mietskaserne soll ein Palast sein, und damit sinkt die Palastarchitektur zur minderwertigen Stuckfassade. Und doch, leider, auch in dieser Zeit ist Städtebau Ausdruck der Zeitkultur; diese Zeitkultur ist Ueberschätzung des technischen Fortschritts an sich. Das bringt neben den geschilderten Mängeln auch mancherlei Fortschritte in die städtebauliche Entwicklung: die zahlreichen Wasserleitungen, Badeanlagen und dergl., die großen Theater und Museen bildeten einen hervorragenden Niederschlag der Kulturerrungenschaften jener Jahrzehnte. Nur muß man sich darüber klar sein, daß alle diese Dinge doch zum Teil nur Milderungen, Ausgleich, Heilmittel der übertriebenen Konzentration der Großstadt sind.

Und von der Großstadt wandert diese neue städtebauliche Auffassung zur Kleinstadt: vorher das örtlich Angepaßte, dann das Bodenfremde und Heimatfremde.

Eines fehlt der deutschen Stadtentwicklung in diesen Jahrzehnten, das ist der innere Zusammenhang zwischen Wirtschaft und Stadtgestaltung. Die wirtschaftlichen Erfolge zusammen mit den rein technisch-industriellen Erfindungen kommen so schnell aufeinander, daß auch die notwendigste Zeit zum Ausreifen der entsprechenden Stadtgestaltung fehlt.



Abb. 1. Essen im Jahre 1650.

Eine Besserung dieser Verhältnisse ist nur möglich, nachdem der stets unerbittlich notwendige Zusammenhang zwischen Wirtschaft und Siedlung wieder erkannt und allmählich wieder in die Praxis umgesetzt wird. Es ist erstaunlich, daß man Jahrzehnte lang im Bau fast theatralischer städtebaulicher Einzelheiten das Problem des Städtebaus zu sehen glaubte, aber nicht in den wirtschaftlichen Grundfragen. Man schöpft in immer steigendem Maße allenthalben die Rohstoffe zur industriellen Verwertung; daß aber der Rohstoff der ureigenste und mächtigste Stadtgestalter ist, übersieht man.

Da ist zunächst die Gewinnung der Kohle. Die Kohlenförderung in Deutschland betrug vor dem Kriege rd. 190 Mill. t und beträgt nach der Abtrennung von Oberschlesien immer noch 155 Mill. t. Zu einer modernen Doppelschachtanlage gehören mindestens 5000 Bergarbeiter, d. h. etwa 12 000 bis 15 000 Menschen, zu denen sich etwa 5000 durch die notwendigen Eisenbahnen, Verkaufsstätten, Gemeindeeinrichtungen und dergl. gesellen.

Dazu kommen als städtebildend auch die Rohstoffe, die an ihrer Gewinnungsstelle keine so umfangreichen Menschenanhäufungen verursachen, die aber als

Hilfsstoffe sehr wichtig sind; man denke an die Sandgewinnung für Bergeversatz oder zur Aluminiumfabrikation, an die Gipsgewinnung zur Herstellung von schwefelsaurem Ammoniak (Stickstoffdüngung) und dergl.

In gewaltigstem Umfang treten die Verarbeitungsstellen der Rohstoffe als Stadtgestalter auf. Um nur ein Beispiel zu nennen: die Leunawerke bei Merseburg. Leuna, noch vor wenigen Jahren ein kleines Dorf, heute bereits ein Ort, in dem viele Tausende arbeiten und Tausende wohnen. Die Zusammenführung mehrerer Rohstoffe, hier der örtlich gewonnenen Braunkohle und des herzugeführten Kokes und schwefelsauren Kalkes (Gipses) bilden die Grundlagen zur Bearbeitung der Düngstoffe, mit denen von Leuna aus ein großer Teil Deutschlands und des Auslandes versorgt wird. — Man denke weiter an die Hochofenanlagen, bei denen Eisenerze zum Koks oder bisweilen auch der Koks zu den bodenständigen oder günstig heranzubringenden Eisenerzen gebracht wird.

Anders liegen die wirtschaftlichen Verhältnisse bei der weiteren Verarbeitung der Rohstoffe, bei der aus verschiedenen Gründen häufig mehrere Werke



Abb. 2. Essen im Jahre 1900.

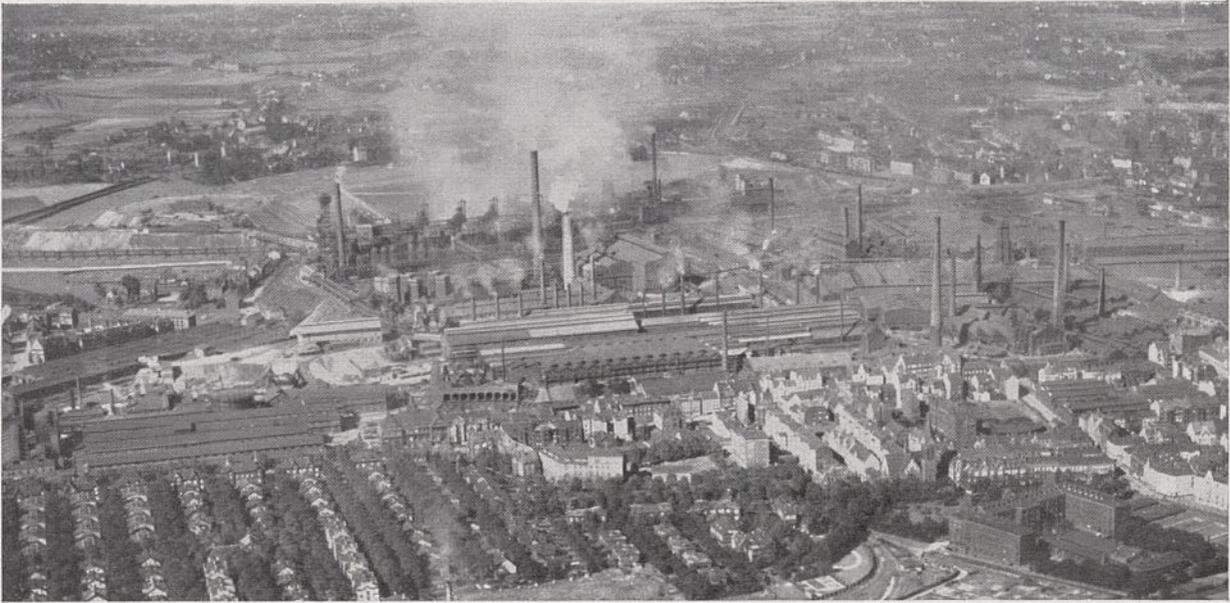


Abb. 5. Industrie und Siedlung nebeneinander, aber nicht hinreichend getrennt. Bochum-Höntrop.

der gleichen Art an einer Stelle zusammenkommen. Stadtbildungen wie Remscheid, Solingen verdanken dem ihre Entwicklung.

Noch weitgehender tritt diese Erscheinung bei der Verfeinerungsindustrie zutage. Gewisse Industrien, wie z. B. die Konfektions- oder die Lebensmittelindustrie und dergl., sind überhaupt nur an Punkten größerer Menschenzusammenströmungen rentierbar; man denke an die Verhältnisse in Berlin, wo z. B. der größte Teil der gesamten deutschen Wäsche- und Konfektionsfabriken vereinigt ist.

Hier spielt die Konzentration durch den Verkehr, die man in den Jahren 1870—1914 zum Unheil des Städtebaus weitgehendst überschätzt hat, eine maßgebende Rolle. Der Verkehr als Konzentrationsmittel hat die Menschenmassen zusammengeführt, die zur Erzeugung und zum Verbrauch der vorgenannten verfeinerten Industrieerzeugnisse notwendig sind. Er hat in gewissem Sinne überhaupt erst die Voraussetzungen für die Großstadt im heutigen Sinne geschaffen.

Aber man hat daneben den Verkehr als Dezentrationenmittel Jahrzehnte lang vollkommen verkannt. Und gerade darin liegt ein wichtiger Faktor, die siedlungstechnischen Auffassungen unserer Tage mit den wirtschaftlichen Notwendigkeiten in Übereinstimmung zu bringen. Sowohl können Rohstoffe bequem zu jeder Verfeinerungs- und Weiterverarbeitungsstelle gebracht werden, als — und das ist besonders wichtig — können Menschen leicht und schnell von einer Massen-Arbeitsstelle zu mehr oder minder weit abgelegenen Wohnstellen gebracht werden.

Hinzu kommt, daß neue Verkehrsarten sich entwickelt haben, die ebenfalls zur Auflockerung der Stadt ausgewertet werden können: neben dem Flugzeug, zunächst noch mit bescheidenem Umfang, in stärkstem Maße der Kraftwagenverkehr. Es ist nicht ganz abwegig, wenn der verkehrstechnische Bearbeiter der Vereinigung der amerikanischen Handelskammern in Wort und Schrift darauf hinweist, daß der immer zunehmende



Abb. 4. Industrie- und Wohngebiete in wirrem Durcheinander. Berlin-Norden.
Aufnahme der Deutschen Luftbild-Hansa.



Abb. 5. Alter ringförmiger Bebauungsplan einer industriellen Kleinstadt. Waltrop, Kreis Recklinghausen (1906).

Kraftwagenverkehr in den amerikanischen Großstädten durchaus nicht auf die Dauer als Konzentrationsmittel wirken wird, sondern umgekehrt als Dezentrationmittel. Wenn die Autos nicht mehr in der erforderlichen Anzahl weiterhin konzentrisch zusammenkommen und untergebracht werden können, dann wird man ganz von allein diejenigen Großbüros oder Großindustrien, die nicht unbedingt in einem bestimmten Zentrum liegen müssen, so weit hinaus verlegen, daß das Hinkommen mit dem Kraftwagen möglich bleibt. Der heutige Zustand z. B. in New York, daß zahlreiche Leute mit ihren Kraftwagen nur bis zu einer gewissen Endstelle der Hoch- oder Untergrundbahnen fahren und von dort mit diesem Verkehrsmittel zum Zentrum, wird bald ändernd auf den Begriff Verkehr und Stadtgestaltung einwirken.

Letzten Endes aber ist es die immer weitergehende Schichtung der Wirtschaftsform selbst, die unmittelbar auf die Siedlungsform einwirkt. Auf der einen Seite strebt die Wirtschaft in sich eine senkrechte Gliederung an. Größere Unternehmungen haben in den Wäldern ihre eigenen Sägewerke, an der See ihre eigenen Schiffswerften usw. und machen damit verhältnismäßig kleine Unternehmungen und Einzelsiedlungen als Glied eines großen industriellen Aufbaus möglich.

Aehnlich verteilend und auflockernd wirkt die horizontale Gliederung der Wirtschaft, durch die zahlreiche Einzelwerke mit einer nur beschränkten Belegschaftszahl getrennt liegen können, da sie doch als Glieder einer starken Horizontal-Organisation lebensfähig sind.

Sind so in der Entwicklung der Wirtschaft gewisse Voraussetzungen gegeben, die die übertrieben starke Konzentration im Städtebau nicht notwendig machen oder geradezu verhindern, so tritt beinahe gleich wichtig hinzu, daß die Verbindung zwischen Wirtschaft und Siedlung entgegen den vorangegangenen Jahrzehnten jetzt tatsächlich gesucht und angestrebt wird. Die Wirtschaft selbst erkennt, daß die ihren Formen entsprechenden Gestaltungsformen des Städtebaus ihr außerordentliche Vorteile hinsichtlich des Produktionsprozesses, der Menschenunterbringung, des Absatzes usw. bringen.

Zu einer Auswirkung dieser Zusammenhänge zwischen Wirtschaft und Siedlung und zu einer Abkehr

der inzwischen als irrig erkannten Wege des Städtebaus bedarf es aber doch noch stärkerer, von innen heraus wirkender Einflüsse. Wie der glücklich beendigte Krieg von 1870 der Beginn der unglücklichen städtebaulichen Entwicklung ist, so ist der unglücklich beendigte Krieg von 1918 der Wiederbeginn einer glücklicheren Entwicklung von Städtebau und Siedlungswesen. Der Weg geht von der Großstadt wieder zur Siedlung im eigentlichen Sinne, oder vielmehr die Großstadt hörte auf, Steinwüste im Vertikalen und Horizontalen zu sein. Wieder ist die politische Entwicklung und die dadurch bedingte wirtschaftliche Grundlage der Ausgang zu einer Wandlung unserer Auffassung über Wohnkultur. Was wir heute schaffen und für die Zukunft vorbereiten, entspringt dem innersten Streben des Einzelnen; man hat eine Abscheu vor dem immer enger gewordenen Großmietshaus; ahnt, daß zwischen ihm, der Volksentwicklung vor dem Krieg und dem Kriegsausgang ein Zusammenhang besteht.

Und die Gesamtheit wertet dies Streben aus. Genossenschaften, Bauvereine, gemeinnützige Aktiengesellschaften tun sich auf, und im wesentlichen haben alle das gleiche Streben: Wohnungen bauen in lockerer Bauform. In den ersten Nachkriegsjahren übertreiben sie den Gedanken; am liebsten möchte jeder ein freistehendes Einfamilienhaus mit großem Garten haben, möchte weit ab von den anderen auf dem Lande wohnen.

Auch Reich und Staat, die Gesetzgebung, die gesamte amtliche Verwaltung ist von dieser Erkenntnis ergriffen. Der § 155 der Reichsverfassung verkündet es so vielversprechend:

„Die Verteilung und Nutzung des Bodens wird von Staats wegen in einer Weise überwacht, die Mißbrauch verhütet und dem Ziele zustrebt, jedem Deutschen eine gesunde Wohnung und allen deutschen Familien, besonders den kinderreichen, eine ihren Bedürfnissen entsprechende Wohn- und Wirtschaftsheimstätte zu sichern.“

Diese Grundsätze der Reichsverfassung werden in einer Reihe von Reichsgesetzen niedergelegt. Genannt sei das Reichssiedlungsgesetz von 1919 und das Reichsheimstättengesetz von 1920, während die zahlreichen Gesetze und Verordnungen zur Behebung der



Abb. 6. Neuer Wirtschaftsplan für das Gebiet der in Abb. 5 dargestellten Kleinstadt. (Bearbeitet vom Siedlungsverband Ruhrkohlenbezirk Essen.)

Wohnungsnot, über Mieterschutz und dergleichen zum erheblichen Teil aus der gleichen Veranlassung entstehen. Eine eigentliche gesetzliche Klärung aber soll der vorgenannte § 155 der Reichsverfassung erst durch ein besonderes Wohnheimstättengesetz erhalten, für das der beim Reichsarbeitsministerium eingesetzte Ausschuss am 17. Oktober v. J. einen Entwurf aufgestellt hat. Dieser Entwurf scheint allerdings doch die Realitäten der Grundstücksentwicklung und der städtebaulichen und wirtschaftlichen Notwendigkeiten zu schnell und zu stark beeinflussen zu wollen. Aber die Grundtendenz des Entwurfs, der die heute fast schon als Fatum hingegenommenen Steigerungen der Grundstückskosten und die daraus entstehende Ueberenge und Ueberteuerung der Wohnungen beseitigen will, ist ohne Zweifel richtig. Man muß sich auch darüber klar werden, daß der Gewinn aus Grundstücken selten in die Hände des ersten Besitzers fließt, der sich vielleicht Jahrzehnte lang mit der landwirtschaftlichen Nutzung des Grund und Bodens abgequält hat.

Auch die einzelnen Länder, vor allem Preußen, haben nach dem Kriege eine Reihe von Bestimmungen geschaffen, welche der durch die Wirtschaft bedingten, im Interesse der Volksgesundheit notwendigen Umwandlung unserer städtebaulichen Gestaltung gerecht werden. Neben den Ausführungsgesetzen zum Reichssiedlungs- und Reichsheimstättengesetz muß hier besonders auf den Entwurf zum Städtebaugesetz vom 8. März d. J. hingewiesen werden. Die Grundlinie auch dieses Gesetzentwurfs geht davon aus, daß die Stadt heute nicht mehr die in sich abgeschlossene Aneinanderreihung von Straßen und Häusern ist, sondern ein aus wirtschaftlichen und verkehrstechnischen Notwendigkeiten im Interesse der Bevölkerung entstandenes mehr oder minder aufgelockertes Gebilde. Daher versucht dieser Entwurf auch zum erstenmal eine gesetzliche Fassung der Art von Plänen, die über weite Gebiete

einer Stadt oder darüber hinaus die Zusammenhänge zwischen Wirtschaft und Wohnung festlegen sollen, der sogenannten Wirtschafts- oder Flächenaufteilungspläne.

Es ist ohne weiteres ersichtlich, daß die städtebaulichen Aufgaben der einzelnen Gemeinde sich hierdurch gegen früher stark geändert haben. Das bisher in Preußen geltende Fluchtliniengesetz von 1875 spricht lediglich von der Festsetzung von Straßen- und Baufluchtlinien entsprechend dem Bedürfnis der näheren Zukunft. Eine solche Maßnahme sollte jeweils nur die Bebauungsmöglichkeit der nächsten Zeit und eines Gemeindegebietes erfassen. Die Aufgabe der heutigen Stadt, besonders der Industriestadt, geht weit über diese Einzelmaßnahmen hinaus und fordert schon sehr frühzeitig ein auf lange Sicht eingestelltes Programm der wirtschaftlichen und siedlungstechnischen Maßnahmen.

Häufig wird eine Stadt auch gar nicht in der Lage sein, von sich aus diese Maßnahmen allein durchzuführen, und es wird genau wie in der Wirtschaft so auch im Städtebau ein horizontaler Zusammenschluß von Städten und Landkreisen für städtebauliche Zwecke notwendig. Als bekannteste derartige Zusammenfassung ist der Siedlungsverband Ruhrkohlenbezirk zu nennen, der durch Gesetz vom 5. Mai 1920 gebildet ist und der die Städte und Landkreise im rheinisch-westfälischen Industriegebiet umfaßt. Dem Siedlungsverband Ruhrkohlenbezirk liegen alle die planmäßigen und wirtschaftlichen Städtebaufgaben ob, die über den Bereich der Gemeinde hinaus in einem industriell eng verwachsenen Gebiet erforderlich sind. Er kann also neben dem Planen auch den Bau von Siedlungen, die Ausführung von Straßen, den Erwerb und die Schaffung von Erholungsflächen übernehmen.



Abb. 7. Stadtlagerung im Rheinisch-Westfälischen Industriegebiet. Die enge Aneinandersetzung läßt eine selbständige Planung und Entwicklung der einzelnen Städte nicht zu.

Für die rein planmäßigen Arbeiten hat sich in Preußen und zum Teil auch in anderen Ländern eine Reihe von freiwilligen Zusammenschlüssen von Städten gebildet, die zum mindesten die vorbereitenden Schritte für eine horizontale Regelung städtebaulicher Aufgaben durchführen wollen. Genannt sei z. B. die Landesplanungsstelle im mittleren deutschen Industriebezirk, die Landesplanungsstelle im Bezirk Düsseldorf usw. (Abb. 7).

Die neue Aufgabe, die die Gemeinden ebenso wie diese gesetzlich oder freiwillig gebildeten zwischen-gemeindlichen Stellen übernehmen müssen, ist: die Übereinstimmung zwischen wirtschaftlicher und städtebaulicher Entwicklung planmäßig zu regeln. Eine Aufgabe, die sich zunächst in der Aufstellung der vorgenannten Wirtschafts- oder Flächenaufteilungspläne auswirkt als Grundlage der weiteren Gestaltung.

Die Notwendigkeit der Aufstellung solcher Wirtschaftspläne wird heute wohl von keiner Stelle mehr bestritten und nach den vorgeschilderten innigen Zusammenhängen zwischen Wirtschaft und Siedlung bedarf es wirklich kaum noch einer Erläuterung. Nur eines sei kurz bemerkt, daß es sich bei der Aufstellung von Wirtschaftsplänen (Flächenaufteilungsplänen) nicht etwa um eine neue „Erfindung“ handelt, sondern daß jede städtebauliche Gestaltung seit Jahrhunderten oder Jahrtausenden stets auf Grund der Übereinstimmung zwischen Wirtschaft und Siedlung erfolgt ist. Wenn im Mittelalter die von Mauern umschlossene, wehrgetürmte Stadt angelegt wurde und man für den Notfall im Innern große landwirtschaftliche Gartenflächen vorsah, wenn weiterhin diese Städte besondere Märkte für die verschiedenen Handelszweige — Holzmarkt, Weinmarkt, Töpfermarkt usw. — schufen, so war eben diese Stadt der Ausdruck der wirtschaftlichen Notwendigkeit und der Kultur jener Zeit. Und

wenn später zur Zeit der Fürstengründungen die Städte mehr den Charakter ackerbürgerlicher Betätigung im Uebergang zum freien Land zeigten, gekrönt und zusammengehalten durch die achsialen Schloßbauten ihrer Gründer, so war auch diese städtebauliche Betätigung Ausdruck ihrer Zeitkultur und ihrer Wirtschaftsnöwendigkeiten. Etwas anderes wollen wir heute auch nicht. Wir wollen nur diese Jahrhunderte lang erkannte Notwendigkeit wieder aufgreifen, die uns in den letzten 50 Jahren etwas abhanden gekommen ist. Nur daß heute die Wirtschaft durch ihre Konzentration auf der einen Seite und durch ihre neuerdings mögliche Dezentration auf der anderen Seite sich in völlig verschiedener Art als Grundlage der städtebaulichen Gestaltung ausweist.

Ueber den Zeitpunkt der Aufstellung von Wirtschaftsplänen kann man im Zweifel sein. Es handelt sich auch nicht um eine einmalige, alsdann abgeschlossene Maßnahme, etwa das Zeichnen eines Planes, sondern um immer sich ergänzende, ändernde Plangestaltungen. Nach meinen Beobachtungen wird mit der Aufstellung derartiger Wirtschaftspläne häufig zu spät, niemals zu früh begonnen. Hat erst die industrielle Entwicklung eines Gebietes an verschiedenen Punkten sich festgesetzt, so ist eine nachträgliche Zusammenfassung und Regelung ganz außerordentlich erschwert.

Erhebliche Schwierigkeiten verursacht besonders in dem Gebiet kleinerer Einzelgemeinden, in denen etwas plötzlich die industrielle Entwicklung eingesetzt hat, die Beschaffung der Planunterlagen. Es ist erstaunlich, welchen Mangel an Karten selbst größere Städte heute aufweisen und wie im Gebiet kleinerer Gemeinden bisweilen an der Beschaffung der Planunterlagen die ganze Arbeit scheitert.

Schon während der Beschaffung der Pläne können die Verhandlungen mit der „Wirtschaft“



Abb. 8. Industrieflächen, wirr zwischen den Wohngebieten. Duisburg-Hamborn.

einsetzen. Häufig wird seitens der Städte übersehen, daß hierin der wichtigste Teil der Arbeit liegt. Zunächst kommen hierbei in Betracht die Verhandlungen mit der Reichsbahn und mit sonstigen Bahngesellschaften, Schnellbahnen, Straßenbahnen und dergleichen. Unsere Gesetzgebung in Deutschland krankt heute noch daran, daß zwischen den Maßnahmen der Reichsbahn und dem Fluchtliniengesetz (dem künftigen Städtebaugesetz) jede zwingende Übereinstimmung fehlt. Die besten Pläne einer Stadt können durch irgendein Neubauprojekt der Reichsbahn ohne weiteres zunichte gemacht werden. Es liegt ein magerer Trost darin, daß diese Pläne der landespolizeilichen Genehmigung bedürfen, über die letzten Endes der Reichsverkehrsminister entscheidet. Daher ist es um so notwendiger, daß sich die Stadtverwaltungen bei Beginn der Bearbeitung von Wirtschaftsplänen möglichst mit der Reichsbahn über deren Absichten verständigen (Abb. 8).

Des weiteren sind vor allem die Verhandlungen mit der Industrie erforderlich, da gerade deren künftige Notwendigkeiten mit den städtebaulichen Absichten in Übereinstimmung gebracht werden sollen. Das früher häufige Verfahren der Industrie, ihre Pläne möglichst geheimzuhalten, ist wenigstens im rheinisch-westfälischen Industriegebiet längst überwunden. Weiterhin sind Verhandlungen mit allen sonst in Betracht kommenden Stellen, wie Wasserbauverwaltung, Provinzialverwaltung wegen Landstraßen, Landeskulturamt und dergleichen erforderlich. Insbesondere die Verhandlung mit der Provinz wegen der Durchführung und Umleitung der großen Durchgangsstraßen darf keinesfalls übersehen werden. Auch Verhandlungen mit den für die Wasserversorgung, Entwässerung und für die Beurteilung der Grundwasserverhältnisse und geologischen Verhältnisse in Betracht kommenden Stellen dürfen nicht übersehen werden. — Man sieht, es bedarf sehr weitgehender Uebersicht und eines nicht geringen Verständnisses für alle Faktoren, die bei der künftigen Stadtgestaltung in Betracht kommen.

Was nunmehr planmäßig zu geschehen hat, erfordert vorab eine sehr eingehende Ueberlegung der künftigen Entwicklungsmöglichkeiten des Gebiets; hier greifen

klare Rechnung und Schätzungswerte stark ineinander und geben den Bearbeitern eine gewisse Freiheit der Entschließung.

So wird der Inhalt des neu zu gestaltenden Planes nicht nur von den zwingenden, greifbaren Gründen der wirtschaftlichen Entwicklung abhängig sein, sondern in starkem Maße auch von der Persönlichkeit und Gestaltungsfähigkeit des Bearbeiters. Die eigentliche Grundlage des Entwurfs bilden die Verkehrsfragen und die danach für den heutigen und künftigen Verkehr erforderlichen Verkehrsflächen. Hierbei handelt es sich nicht nur um die Flächen für Wasserstraßen, für Reichsbahn, Straßenbahn und Kraftwagenstraßen, sondern vor allem auch um die Verkehrsflächen für die Industrie, d. h. für deren Anschlüsse, Aufstellbahnhöfe und dergleichen. Auch Flächen für den Luftverkehr sind zu beachten; es empfiehlt sich, für größere Siedlungen von etwa 100 000 Einwohnern und mehr Flugplätze hinreichenden Ausmaßes (etwa 800 m Durchmesser) vorzusehen und für kleinere Siedlungspunkte von etwa 50 000 Einwohnern an Zubringerflugplätze (etwa 400 m Durchmesser). Es muß ausdrücklich darauf hingewiesen werden, daß diese Verkehrsprobleme ausschlaggebend für die gesamte künftige Stadtgestaltung sind, und daß die Architekten als Bearbeiter eines Wirtschaftsplanes eine gewisse innere Scheu gegen diese ihnen ferner liegenden Fragen überwinden müssen.

Eng verwachsen mit den Verkehrsfragen und zum großen Teil nur in Wechselwirkung mit ihnen lösbar sind die Fragen der Industrieentwicklung. Soweit die Industrie durch die Gewinnung von Rohstoffen örtlich gebunden ist, sind die Industrieflächen festliegend und damit Ausgangspunkt für alle Fragen des Verkehrs und der sonstigen Stadtgestaltung. Auch die weiteren Industrieflächen sind nach der Lage zum Wasser, mit Rücksicht auf die Windrichtung zu den Wohnvierteln und dergleichen, mehr oder minder festgelegt und bilden mit ihren Verkehrsbeziehungen den Grundstock der künftigen Stadtgestaltung. Im allgemeinen wird der Flächenbedarf an Industriegelände im Stadtganzen stark überschätzt; er beträgt in stark industriellen Gemeinden



Abb. 9. Festsetzung von Grünflächen für eine in Entwicklung begriffene industrielle Gemeinde.
Datteln, Kreis Recklinghausen.
(Bearbeitet vom Siedlungsverband Ruhrkohlenbezirk Essen.)

etwa 10 vH der Gesamtfläche, in normalen Gemeinden etwa 5 vH.

Die Anordnung der Wohnflächen ist in erster Linie ausschlaggebend von der Gestaltung des Geländes, da nur das best geeignete, günstig gelegene Gelände für Wohnzwecke bereitzustellen ist. Man muß sich vorab einen Begriff machen, welche künftige Einwohnerzahl überhaupt in Betracht kommt. Hierbei ist ein Zuwachs von 1 vH je Jahr der heutigen Bevölkerung auf etwa 50 Jahre gerechnet wohl ein als richtig anzusehender mittlerer Maßstab. Alsdann muß ermittelt werden, in welcher Wohnart die künftige Bevölkerung untergebracht werden soll. Um den hiernach sich ergebenden Bedarf an Gelände etwa klarzulegen, sei auf folgende Beispiele hingewiesen, die einen ganz überschläglichen Anhalt gewähren; hierbei ist als Flächenbedarf der Bedarf für die Grundstücke, Straßen und Plätze innerhalb des Wohngebietes angenommen:

zweigeschossige offene Bauweise:
für 1000 Einwohner sind erforderlich 8,5 ha Wohngebiet (das sind 117 Einwohner auf 1 ha Wohngebiet);

zweigeschossige geschlossene Bauweise:
für 1000 Einwohner sind erforderlich 7 ha Wohngebiet (das sind 144 Einwohner auf 1 ha Wohngebiet);

dreigeschossige geschlossene Bauweise:
für 1000 Einwohner sind erforderlich 5,7 ha Wohngebiet (das sind 178 Einwohner auf 1 ha Wohngebiet);

dreigeschossige geschlossene, gemischte Bauweise:
für 1000 Einwohner sind erforderlich 4,7 ha Wohngebiet (das sind 212 Einwohner auf 1 ha Wohngebiet);

viergeschossige geschlossene, gemischte Bauweise:
für 1000 Einwohner sind erforderlich 4 ha Wohngebiet (das sind 254 Einwohner auf 1 ha Wohngebiet).

Die baupolizeilichen Bestimmungen, die dieser Berechnung zugrunde liegen, sind die zur Zeit noch allgemein üblichen, die also — leider — nach dem Stadttinnern zu bei steigender Geschoszahl auch eine stärkere Bebauung der Grundstückfläche zulassen. Man sieht also, daß die bisher meist geübte Praxis, Straßen und Plätze fröhlich in das Gelände hinein anzuordnen und hierzu eine Bauordnung zu bestimmen, in schroffem Gegensatz zu dem sicherlich für die heutigen Verhältnisse richtigen Vorgehen des Wirtschaftsplanes stehen, wonach vorab die Gesamtzahl der unterzubringenden Menschen und dann die Art der Unterbringung ermittelt und erst hieraus

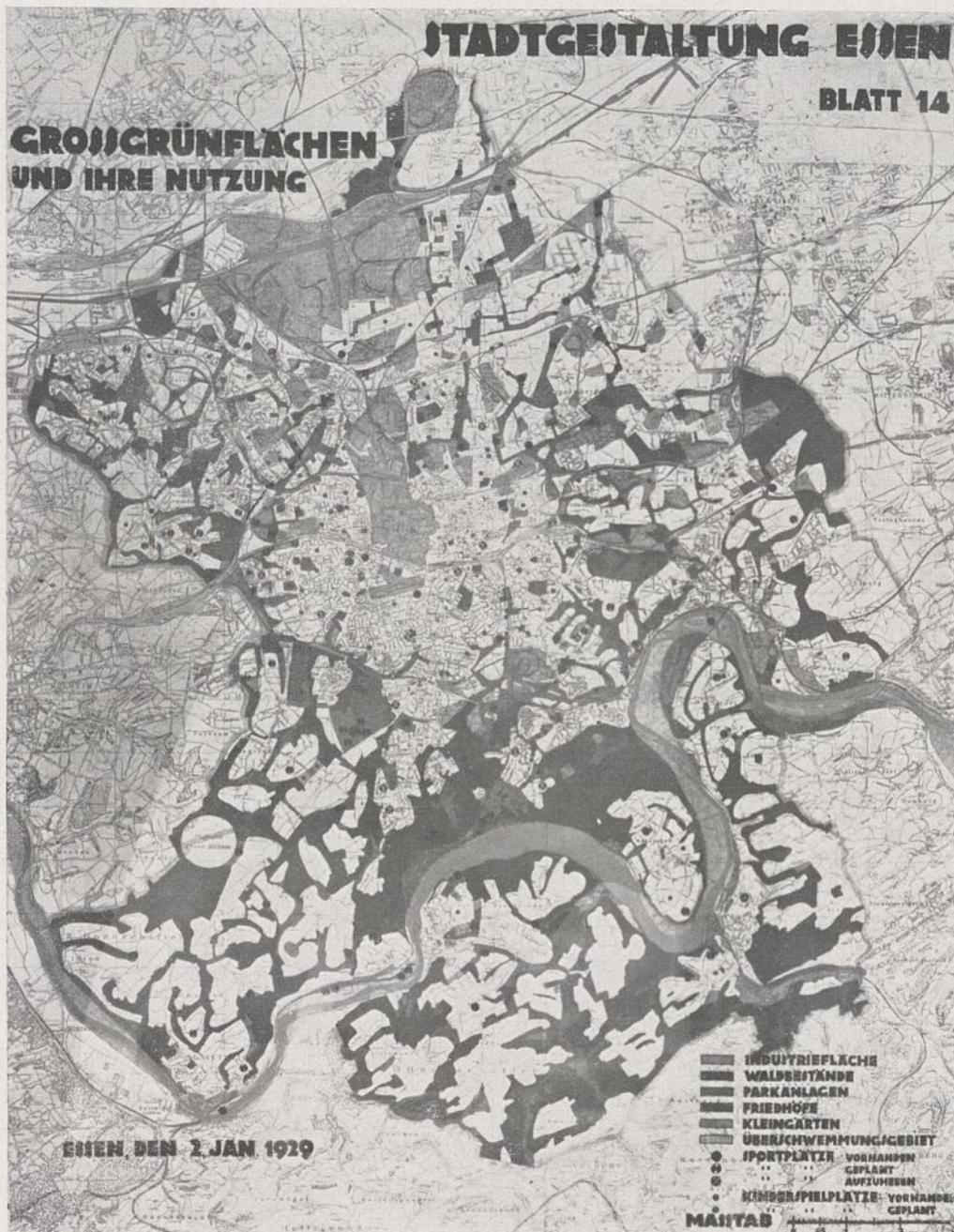


Abb. 10. Festsetzung von Grünflächen in einer Industriestadt. Essen.
(Aus „Stadtgestaltung Essen“ von Ph. A. Rappaport.)

der Umfang und die Gestaltung der Wohngebiete bestimmt wird.

Wichtig bei der Anordnung ist dann die Frage: Wie weit können Arbeits- und Wohnstätte auseinander liegen? Nimmt man als äußersten Zeitaufwand bei zweimaligem Weg je eine Stunde an, dann bedeutet das: Arbeitsstätte und Wohnstätte können für Fußgänger bis höchstens 4 km, bei Benutzung der Straßenbahn bis höchstens 16 km, bei Benutzung der Reichsbahn oder Schnellbahn bis höchstens 60 km auseinander liegen; als mittlerer normaler Zeitaufwand ist etwa die Hälfte richtig. Das sind Entfernungen, mit denen die städtebauliche Entwicklung der Zukunft rechnen darf, wenn die Wohnstätten und mit ihnen die Erholungsstätten der Zukunft angemessen untergebracht werden sollen.

Daß im übrigen bei der Anordnung der Wohnflächen die Höhenlage des Geländes, die Art der vorgesehenen Baustufe bereits in weitem Maße das plastische Bild der künftigen Stadt vorausbestimmt, ist selbstverständlich. Gerade in der richtigen Ausnutzung des Geländes für die Wohngebiete liegt eine der schwierigsten Aufgaben der künftigen Stadtgestaltung. (Abb. 9.)

Neu in der Gestaltung des Wirtschaftsplanes ist die bewußte Anordnung größerer Erholungsflächen. Allerdings ist auch diese Maßnahme nur

ein Wiederaufgreifen dessen, was schon einmal im Städtebau selbstverständlich war. Es braucht nur daran erinnert zu werden, daß die Zeit der fürstlichen Baukunst diesen Gedanken großer Erholungsflächen als selbstverständlich im Städtebau behandelte. Was wäre Berlin ohne den Tiergarten, Dresden ohne den „Großen Garten“, Düsseldorf ohne den Hofgarten usw. Es ist allerdings nicht notwendig, daß die Freiflächen stets Parkanlagen oder Wälder darstellen. Wesentlich ist nur, daß nicht die gesamte Stadtfläche bebaut wird, sondern daß ein gewisser Prozentsatz von Flächen, seien es nun bewaldete oder nicht, zukünftig von jeder Art der Bebauung freibleibt und als Freifläche der Auflöckerung des Stadtganzen und der Erholung der Bevölkerung dient. Es können also heutige Felder, Wiesen und dergleichen sehr wohl in den Bestand der Freiflächen einbegriffen werden. Für die letzte Ausgestaltung der Stadt allerdings muß man sich darüber klar sein, daß diese Freiflächen irgend einen städtebaulichen Zweck haben müssen und wohl auch in kommunaler Hand sich befinden müssen, d. h. sie werden künftig einmal als Stadtwald, Stadtpark, Friedhof, Kleingarten, Spielplatz, Sportplatz oder dergleichen auszugestalten sein. Bei Erreichung einer endgültigen Bevölkerungszahl für eine Stadt muß man die gesamten alsdann erforderlichen Freiflächen im Sinne der vorstehenden Darlegungen auf etwa

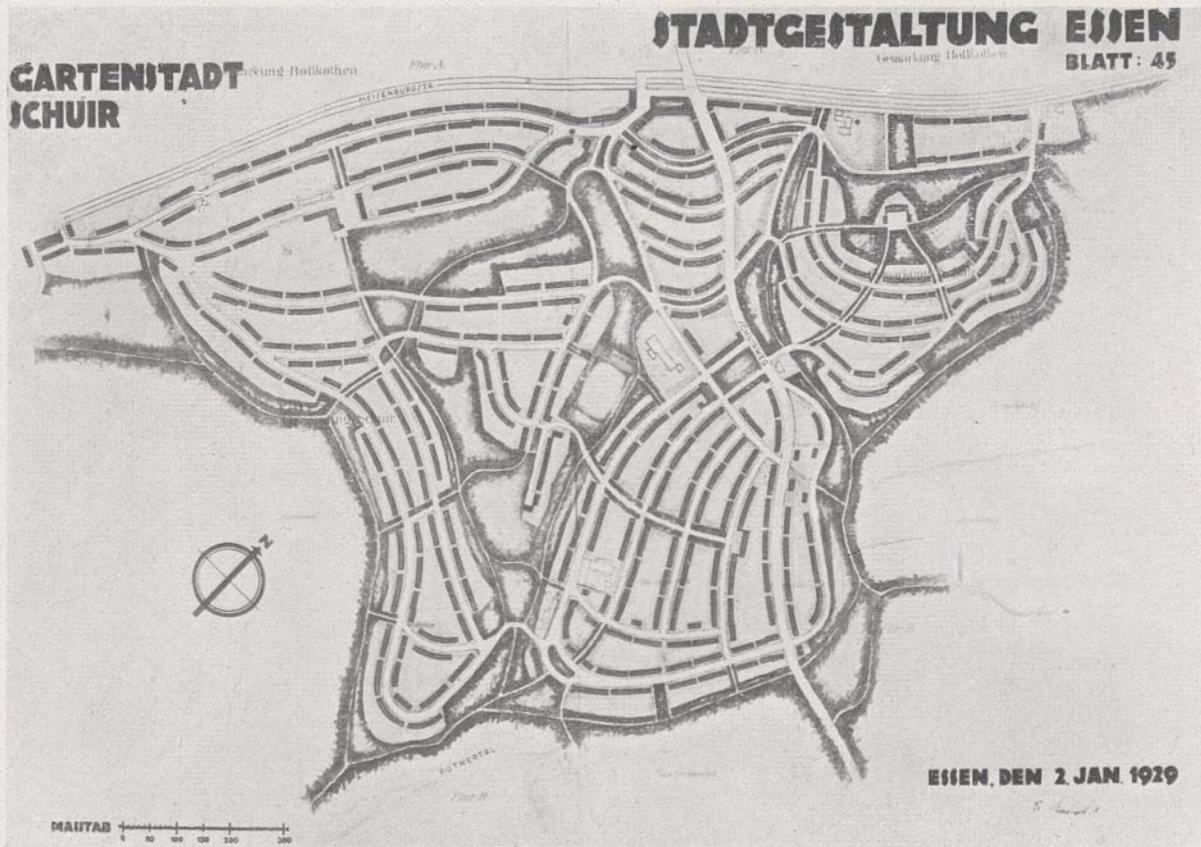


Abb. 11. Aufgelockerte Wohnbebauung am Rande der Großstadt.
(Stark bewegtes Gelände.)
(Aus „Stadtgestaltung Essen“ von Ph. A. Rappaport.)



Abb. 12. Verdichtung der Bebauung im Zentrum der Großstadt (Citybildung). Essen.
Aus „Stadtgestaltung Essen“ von Ph. A. Rappaport.

100 qm für den Kopf der Bevölkerung festsetzen. Als Zahlen seien angegeben, daß z. B. Oberhausen auf den Kopf der Bevölkerung nur 16,51 qm Freiflächen, Frankfurt a. M. dagegen bereits 77,28 qm, Darmstadt 546,97 qm besitzt; allerdings ist dies der heutige Zustand, nicht der Endzustand künftigen Ausbaus. In Prozentzahlen übersetzt — es kann hier nicht näher darauf eingegangen werden — muß angestrebt werden, daß nach endgültigem Ausbau einer Stadt rd. 25 vH Gebiet Freifläche bleibt.

Ueber dieses Maß notwendiger, für die künftige Bevölkerung unentbehrlicher Freiflächen können selbstverständlich im Stadtgebiet noch weite Felder und dergleichen (landwirtschaftliche Flächen) liegen, über die man vom städtebaulichen Standpunkt aus gewissermaßen nicht zu disponieren braucht. Ich habe keine Bedenken dagegen, wenn die Literatur diese Flächen als „Restflächen“ bezeichnet. Aber ich muß als Abwehr gegen einige sehr scharfsinnige Kritiker darauf hinweisen, daß dieser Ausdruck selbstverständlich nur im rein städtebaulichen Sinne aufzufassen ist. Vom Standpunkt der Volksernährung und der Volkswirtschaft aus sind diese Restflächen als landwirtschaftliche oder forstwirtschaftliche Gebiete natürlich die allerunentbehrlichsten und wichtigsten Flächen eines Gebietes.

Um einen Begriff über den Anteil der einzelnen Flächen einer Gesamtfläche der Stadt zu geben, seien nachstehend einige Verhältniszahlen von durchgeführten Wirtschaftsplanen vermerkt:

	Industriegebiet einschl. der Verkehrsflächen %	Wohn- gebiet %	Grün- gebiet %	landwirt- schaftl. Gebiet %
Essen	20,2	54,0	55,6	12,2
Buer	10,9	40,9	56,2	12,0
Gladbeck	10,0	44,9	27,8	17,5
Recklinghausen	11,2	46,9	25,0	17,9
Osterfeld	25,1	55,8	20,0	5,1

Ueber die verwaltungsmäßige Behandlung des Wirtschaftsplanes sind die Meinun-

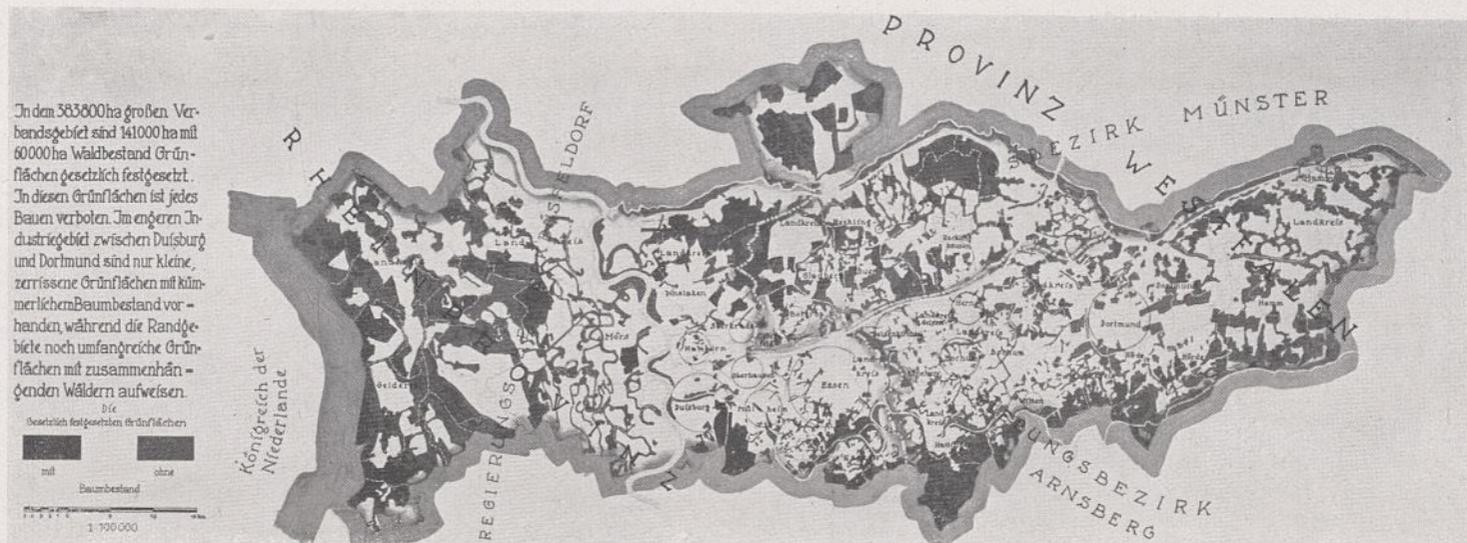


Abb. 15. Plan der festgesetzten Grünflächen (Freiflächen) für das gesamte Rheinisch-Westfälische Industriegebiet. (Bearbeitet vom Siedlungsverband Ruhrkohlenbezirk.)

gen außerordentlich geteilt. Im Gebiet des Siedlungsverbandes des Ruhrkohlenbezirks, in dem die Aufstellung derartiger Wirtschaftspläne seit Jahren erprobt ist, werden sie im allgemeinen so behandelt, daß auf Grund der Pläne die großen Straßenzüge und Groß-Grünflächen fluchtlinienmäßig festgelegt werden, ebenso, soweit erforderlich, nach Maßgabe des Verbandsgesetzes die Verkehrsbänder, und daß schließlich die vorgesehenen Bau- und Industriegebiete durch eine hierzu erlassene Baupolizeiordnung geschützt werden. Irgendwelcher neuen gesetzlichen Bestimmungen bedarf es also hierzu nicht, allerdings können zur Zeit Verkehrsbänder und Groß-Grünflächen nur im Gebiet des Siedlungsverbandes Ruhrkohlenbezirk fluchtlinienmäßig festgesetzt werden.

Der Entwurf zum preußischen Städtebaugesetz sieht vor, daß die Wirtschaftspläne oder, wie sie dort wenig zweckmäßig genannt werden, Flächenaufteilungspläne durch Ortsstatut festgesetzt werden und alsdann ziemlich weitgehende Rechtsfolgen auswirken sollen, ohne daß eine solche ortstatutarische Festlegung mit ihren Rechtswirkungen durchweg zu erfolgen brauchte. Diese Bestimmung des Entwurfs zum Städtebaugesetz hat die Grundbesitzer-Organisationen auf den Plan gerufen; sie fürchten durch einen solchen Wirtschaftsplan eine teilweise Senkung der Grundstückspreise oder wenigstens eine Verhinderung künftiger Bodengewinne und verlangen im Gesetz eine weitgehende Schadenersatzpflicht der Gemeinden. Dadurch wiederum würde die Aufstellung eines Wirtschaftsplanes für die Gemeinden vollkommen untragbar sein. Aus diesen Gründen hat der Preußische Städtetag beantragt, daß Bestimmungen über die Festsetzung von Wirtschaftsplänen im Städtebaugesetz überhaupt unterbleiben sollen; sie seien auch nicht notwendig und mit den bisherigen Gesetzesmitteln könne alles erreicht werden. Diese Auffassung kann kaum anerkannt werden; denn eine Maßnahme, die sich nicht nur in Deutschland, sondern in allen Kulturländern als unentbehrlich erwiesen hat, kann nicht plötzlich als nicht notwendig und daher als gesetzlich nicht der Regelung bedürftig erklärt werden. Zweifellos ist der Wirtschaftsplan heute die erste und grundlegende Arbeit jeder städtebaulichen Gestaltung und gehört daher in ein neuzeitliches Städtebaugesetz hinein. Aber auf der einen Seite genügt es, wenn der Plan als Grundlage für die nachfolgenden fluchtlinienmäßigen und baupolizeilichen Maßnahmen aufgestellt wird. Das bedarf an sich keiner besonderen Rechtswirkung. Darüber hinaus kann es erwägenswert sein, die Einschaltung des an sich nun einmal vorhandenen Begriffs in die Gesetzgebung im Augenblick zu unterlassen, weil die starken Entschädigungsforderungen des Parlaments für die Gemeinden untrag-

bar sind. So wird es im Augenblick vielleicht am zweckmäßigsten sein, im Entwurf zum Städtebaugesetz lediglich an geeigneter Stelle die Aufstellung von Wirtschaftsplänen als im Interesse der Gemeinden notwendig vorzuschreiben, d. h. den Gemeinden das Recht zu geben, die damit verbundenen rein planmäßigen Maßnahmen zu betreiben, im übrigen aber alles der Fluchtlinienaufstellung und Bauordnung zu überlassen, die durch Hinzunahme von Groß-Grünflächen und Verkehrsbändern und durch klarere baupolizeiliche Möglichkeiten zu ergänzen wären. Der Wirtschaftsplan selbst wird alsdann in der Mehrzahl der Fälle überhaupt nicht zur Kenntnis der Öffentlichkeit gelangen, sondern ein Richtschnur-Plan der Stadtverwaltung sein, auf Grund dessen sie in der Praxis arbeitet und auf Grund dessen sie die fluchtlinienmäßigen und baupolizeilichen Maßnahmen durchführt.

Darüber hinaus hat der Plan grundlegende Bedeutung für die Einschaltung der Gemeinde in die weitere Umgebung. Auf Grund der dargelegten wirtschaftlichen Verhältnisse unserer Zeit kann ein Gemeindegebiet, und selbst das größte, die wirtschaftliche Erschließung seines Gebietes nicht allein folgerichtig durchführen, sondern ist besonders in wirtschaftlich stark erschlossenen Gegenden vielfach auf die Maßnahmen der Nachbarschaft angewiesen.

Daher kann die Wirtschaftsplanung, wenigstens in gewissen Grundfragen, häufig nicht von der einzelnen Stadt ausgehen, sondern gewisse Fragen müssen über mehrere Kommunalgebiete hinaus geregelt werden; hierfür kommen die oben schon erwähnten horizontalen Zusammenschlüsse der Gemeinden in Betracht. Die Aufgabe als solche wird unter dem Begriff der Landesplanung zusammengefaßt; man versteht unter Landesplanung die Aufgabe, für wirtschaftlich begrenzte Gebiete die Grundlagen der weiteren wirtschaftlichen, verkehrstechnischen und baulichen Entwicklung festzulegen und zwar im Gegensatz zum Städtebau, der für kommunal begrenzte Gebiete die Grundlagen der baulichen Gestaltung schafft.

Der Inhalt der Landesplanung kann je nach der wirtschaftlichen und verkehrstechnischen Entwicklung sowie nach der räumlichen Ausdehnung des Gebietes außerordentlich verschieden sein. In Gebieten enger und immer enger werdender Bevölkerungsdichte kann es notwendig sein, fast alle vorgenannten Fragen des Verkehrs, der Industriegestaltung, der Wohnanlagen, der Erholungsflächen und der landwirtschaftlichen Nutzung für gewisse Gebiete einheitlich zu regeln. Es würden sich also Pläne ergeben, die ziemlich ins einzelne, spezielle

gehen; und man nennt häufig diese Art der Planung „spezielle Landesplanung“. Ziel der speziellen Landesplanung ist es also, der Wirtschaft bei immer steigender Ausdehnung eine ungehemmte Entwicklung und der Bevölkerung angemessene Daseinsbedingungen zu sichern. (Abb. 13.)

Je größer die Gebiete werden, die von der Landesplanung erfaßt werden sollen, je weitläufiger die von der Industrie beanspruchten Stellen und damit die wirtschaftlichen Beziehungen sind, um so mehr wird sich die Landesplanung nur auf einzelne Grundfragen, auf das mehr Generelle der Gesamtanordnung beschränken; man pflegt daher diese Art der Planmaßnahmen „generelle Landesplanung“ zu nennen. Der Inhalt der generellen Landesplanung ist daher in erster Linie verkehrstechnischer Natur. Der Plan wird die großen Fragen des Eisenbahnwesens, der Wasserstraßen, der Kraftwagenstraßen umfassen. Nur selten werden auch Fragen der Grünflächen und Wohngebiete hinzukommen.

Die Art der Landesplanung hängt also im wesentlichen vom Umfang des bearbeiteten Gebietes ab, und man darf die Flächen im allgemeinen nicht allzuweit spannen, wenn man sich nicht der Gefahr des „Oberflächlichen“ aussetzen will. Nur die unbedingte Notwendigkeit wirtschaftlicher Voraussetzungen darf Anlaß geben, für größere Flächen zusammenfassende Pläne vorzusehen.

Wenn neuerdings eine Reichsplanung und ähnliche Dinge als notwendig propagiert werden, so muß man hier trotz aller großen, wirtschaftlich wohlklingenden Reden das sachlich Notwendige nüchtern ergründen. Was bedeutet Reichsplanung? Das Reichsverkehrsministerium bearbeitet die Fragen der Reichsbahn (im Zusammenwirken mit der Reichsbahn-Gesellschaft), der Reichswasserstraßen und der großen Kraftverkehrsstraßen. Sich bei allen diesen Fragen mit dem Reichswirtschaftsministerium als dem Träger der großen deutschen Wirtschaftsfragen und mit dem Reichsarbeitsministerium als dem Träger der großen Wohnfragen in stetem Zusammenhang zu halten, ist Sache der Reichsstellen; hier also neue Organe oder neue Arbeitserfordernisse propagieren zu wollen, würde nur einen Vorwurf gegen die bestehenden Organe bedeuten, aber nicht die Notwendigkeit weiterer Schritte beweisen. Kurz, man wird alle Fragen der sogenannten Reichsplanung, der Landesplanung und selbst der Wirtschaftspläne im einzelnen nicht übertreiben dürfen. Bei aller Verzweigkeit der Industrie und bei allem starken Ineinandergreifen darf man doch nicht vergessen, daß das plastische städtebauliche Gebilde letzten Endes die Stadt — selbstverständlich nicht immer die Großstadt, sondern auch die kleinste Gemeinde — als solche bildet, und man darf über alle Zusammenhängefragen die Fragen der Einzelgestaltung nicht vergessen.

Alle Erfahrungen müssen sich in der plastischen Stadtgestaltung auswirken, wenn sie dem Vorteil unserer Wirtschaft und der Verbesserung unseres Wohnungswesens greifbar dienen sollen. Die künftige Großstadt soll — und das muß zum erheblichen Teil Ziel der Arbeit sein — sich in starkem Maße von der bisherigen immer ringförmig steinern anschwellenden Stadt unterscheiden. Der Kern wird noch konzentrierter, massiger werden, die „Geschäftshochburg“, „City“ (Abb. 12). Das ist ein städtebaulich-wirtschaftlicher Vorgang, der mit der wirtschaftlichen Dezentration der Produktion in scheinbarem Gegensatz, in Wirklichkeit aber wegen der starken horizontalen Gliederung der Industrie in engstem Zusammenhang steht.

Anschließend an die City entwickeln sich dann die Geschäfts- und Industriegebiete im weiteren Sinne, für alle jene Bauten, in denen gewerbliche Betriebe der verschiedensten Art untergebracht werden, auch für alle Bauten öffentlicher Zwecke, die nicht unmittelbar in der City liegen müssen, wie Gerichtsbauten, Fachschulen, Kinos u. dergl.

Endlich nach außen anschließend, bewußt abseits von der City, die Wohngebiete. (Abb. 11.) Ein wunderlicher Weg, wie aus dem fünfgeschossigen Wohn- und Geschäftshaus mit Seitenflügeln und Hinterhäusern, das z. B. die gesamte Stadterweiterung Berlins von 1871 bis 1914 ausmacht, sich zwei ganz getrennte Bauarten entwickeln: einmal das Geschäftshaus, die City, zweckklar, kubisch, massig, vielgeschossig, turmartig, und dann das Wohnhaus, das Außengebiet, niedrig, aufgelöst, geländeverbunden, grünungeben.

Dieser Entwicklungsgang, der sich bei der Großstadt häufig nur noch schwer wirklich voll auswirken kann, ist bei der mittleren und Kleinstadt, vor allem aber bei den jetzt in den Industriegebieten schnell heranwachsenden Städten viel leichter zu erreichen.

Das letzte Ergebnis aber einer bewußt aufgelockerten Siedlungsform besteht darin, daß auch die Einzelsiedlung, etwa die einzelne Zeche mit ihrem Arbeiterwohngebiet oder eine einzelne größere Fabrik mit ihren Wohnanlagen, eine in sich abgerundete, nicht nach weiterem Zusammenschluß suchende Kleinstadt oder Kleinsiedlungsform ergibt. Daß hierbei auch die landwirtschaftlichen Niederlassungen wieder etwas von einer bodenständigen Zweckform annehmen müssen, die ihnen noch etwa bis zum Jahre 1860 eigen war, sei hier betont. Nur ist zu bedenken, daß die maschinelle Entwicklung auch hier vielfach zu völliger Umgestaltung führt.

In der Landwirtschaft wie allgemein in der Wirtschaft sind die Zusammenhänge, die zu neuem Gestalten zwingen, noch nicht klar erkannt. Alle neuen Verkehrsprobleme und Industrieentwicklungen sind so eng und vielmaschig mit den Notwendigkeiten menschlicher Wohnung und Erholung verbunden, ergeben in Wechselwirkung das Bild unserer Zeitauffassung und Zeitgestaltung, daß sich auch wieder ein Zusammenhang zwischen Städtebau und Zeitkultur erweisen wird. Ob wir freilich noch einmal das erhalten werden, was man einen städtebaulichen „Stil“ nennt, ist zweifelhaft. Die Römerstadt, die Stadt des Mittelalters, die Fürstenstadt, die Bürgerstadt, sie alle haben Jahrzehnte, wenn nicht ein Jahrhundert zum Ausreifen gebraucht, und bei der langsamen kulturellen Entwicklung der früheren Tage war auch Zeit zum Ausreifen da. Unsere Kulturentwicklung schreitet viel schneller, und in diesem Tempo kann eine Stadtgestaltung nicht ausreifen. Auch lassen sich die in der Landesplanung oder in den Wirtschaftsplänen dargestellten Notwendigkeiten nicht so ohne weiteres plastisch erfassen, daß daraus bestimmte Formzusammenhänge mit ihren strukturellen Grundlagen sich ergeben könnten. Die Struktur unserer städtebaulichen Gestaltung muß der Zeitentwicklung rastlos folgen, ohne sich vertiefen zu können. Vielleicht wird gerade das Zusammenfassen an einzelnen Stellen, City, Großindustrie, also das nicht Detaillierte, Kubische, aber ins Gewaltige Gesteigerte auf der einen Seite — und das Flächige, enger mit der Natur Verwachsene, nicht nach abgeschlossenen Raumformen Suchende auf der anderen Seite, kurz die Gestaltung, die sich aus den vorstehend geschilderten städtebaulichen und wirtschaftsplantchnischen Fragen ergibt, in Zukunft zu einem städtebaulichen Ausdruck unserer Wirtschafts- und Zeitkultur werden.

Ueber die Bestimmung der Regenwassermengen für die Berechnung von Durchlaßöffnungen.*)

Von Dr.-Ing. Alfred Vitols, Professor an der Lettländischen Universität zu Riga.

Eine der schwierigsten Fragen der Technik, der gegenüber wir zur Zeit noch recht hilflos sind, ist die Berechnung der größtmöglichen Wassermengen Q , die durch Regen oder Schneeschmelzen erzeugt werden können. Diese müssen z. B. Wasserdurchlässe in Dämmen passieren können, ohne ein Niveau zu erreichen, das die Sicherheit des Dammes irgendwie gefährden könnte.

Man bedient sich gegenwärtig zu diesem Zwecke einer ganz beträchtlichen Anzahl von Faustformeln und Normen, die — verschieden für verschiedene Länder — ganz gewohnheitsmäßiger Art sind und die keine wissenschaftliche Berechtigung haben. Die natürliche Folge davon ist nun, daß auch die Durchlaßöffnungen entsprechend bemessen werden und daß dieses Verfahren weder die erforderliche Sicherheit garantiert, noch, was nicht weniger wichtig ist, den Bedingungen der Wirtschaftlichkeit entspricht.

Das Beispiel Rußlands ist in dieser Hinsicht sehr lehrreich. Nach jeder Eisenbahnkatastrophe, deren Ursache auf die mangelhafte Berechnungsmethode der Q zurückzuführen war, begann eine fieberhafte Tätigkeit der höheren technischen Behörden des Landes (des Ingenieurrates des chem. Verkehrsministeriums), die die Umarbeitung der bisher angewandten Berechnungsgrundsätze in Aussicht stellten. Da aber eine wirklich wissenschaftliche Untersuchung der Erscheinung unterblieb und man sich jedesmal nur auf eine Korrektur der Beiwerte der bekannten Köstlinschen Formel (s. u.) beschränkte, erreichte

*) Vergl. hierzu den Aufsatz desselben Verfassers auf S. 175 d. Bl. 1929. „Ueber den Abflußvorgang des Regenwassers auf einer geneigten Ebene“.

man nichts Nennenswertes, was zur Erhöhung der Sicherheit des Verkehrs oder zur wirtschaftlichen Lösung der Frage hätte beitragen können.

Daß das letzere Moment keineswegs zu unterschätzen ist, zeigen die statistischen Daten des Eisenbahnwesens in Rußland: vor dem Weltkriege beliefen sich die Ausgaben für die Durchlaßvorrichtungen auf 50 000 GM auf 1 km (20 Millionen Goldrubel auf 1000 Werst).

Eine kurze Bemerkung zur erwähnten Köstlinschen Formel, die im Jahre 1868 (Ztschr. des Oesterreich. Ing.- und Architekten-Vereins) veröffentlicht wurde. Ihre ursprüngliche Gestalt $Q = CaF$, wo C ein konstanter Beiwert, F die Fläche des Einzugsgebietes und a ein von der Länge des Einzugsgebietes abhängiger Beiwert ist, hat im Laufe der Zeit eine Reihe von Aenderungen erfahren.

Man kann diese Aenderungen wie folgt zusammenfassen. Laut den Vorschriften des Ingenieurrates im kaiserlichen Rußland vom Jahre 1911 wird ein Ergänzungsbeiwert β eingeführt, dessen Bestimmung es ist, dem Längsgefälle i des Gebietes Rechnung zu tragen, so daß die Formel nun in folgender Fassung erschien: $Q = Ca\beta F$. Dolgof, der bekannte russische Forscher auf dem Gebiete der Ombrometrie (s. sein Werk in russ. Spr.: Ueber die Köstlinschen Normen und ihre Unvollkommenheit auf Grund der im Gebiete der Katharina-Eisenbahn beobachteten Regengüsse), hat auf den unlogischen Aufbau der Formel in dieser Gestalt hingewiesen: es kann nämlich, auf Grund der Zahlenwerte von a und β , eine Kombination geben, der zufolge $a\beta > 1$ ist, was heißen würde, daß der Durchlaßvorrichtung mehr zuströmt, als niedergefallen ist.

Wie aus dem der II. Baltischen hydrologischen Konferenz 1928 eingereichten Berichte des Prof. Bliazniak „L'établissement des facteurs hydrologiques dans les calculs hydrotechniques“ zu ersehen ist, hat Sowjet-Rußland die Form der Köstlinschen Formel $Q[m^3/sec] = Ca\beta F$ beibehalten, jedoch mit der Bedingung, daß auch C veränderlich werde. Die Werte von C sind einer Karte der sog. „Isolignes“ (Abb. 1) zu entnehmen. Die Kurven auf der Karte sind die Linien gleichen Wertes von C .

Inwiefern nun diese Formel den wirklichen Verhältnissen der Erscheinung entspricht, wird sich zeigen, wenn wir das Problem vom Standpunkt der gegenwärtigen Hydraulik aus zu lösen versuchen, indem wir nach Möglichkeit alle Faktoren in Betracht ziehen, von denen der wirkliche Abflußvorgang abhängen kann, um jede Willkür zu vermeiden, welche das wirkliche Resultat beeinflussen könnte. Der Gegenstand dieses Artikels ist, in kurzer Form ein solches Verfahren vorzuschlagen.

Es sei noch hier bemerkt, daß die Methode des Verfassers zum ersten Male in der Praxis in Lettland bei dem Bau der neuen Eisenbahnlinie Gluda-Liepaja angewandt wurde, wo es sich in der Tat zeigte, daß die hierbei gewonnenen Resultate von denen der Köstlinschen Formel vollständig abwichen — wie das auch zu erwarten war.

Die Methode des Verfassers.¹⁾

Das betreffende Einzugsgebiet wird durch ein Rechteck von derselben Länge L und der mittleren Breite $2B$ ersetzt. Die beiden Seiten des Einzugsgebietes brauchen nicht symmetrisch zu sein und B und α (Neigungswinkel der geneigten Ebene; s. den oben angeführten theor. Teil)

¹⁾ Der Verfasser wird in diesem Abschnitte von dem ersten in dieser Zeitschrift veröffentlichten theoretischen Teil seiner Arbeit Gebrauch machen (vgl. die Fußnote zum Titel des Aufsatzes). Die Abkürzungen „t. T.“ heißen „theoretischer Teil“.



Abb. 1.

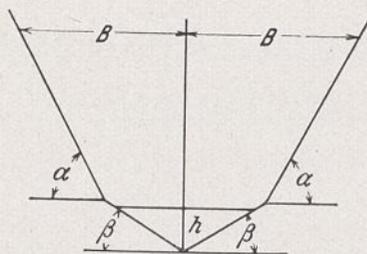


Abb. 2.

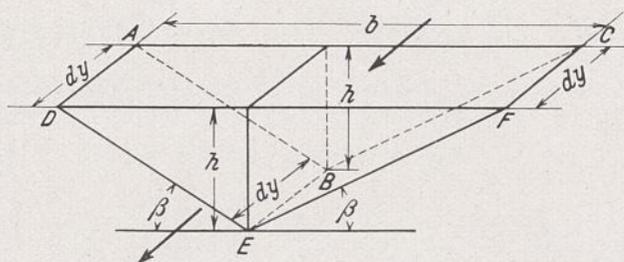


Abb. 3.

können verschieden sein. In dem Ersetzen des Einzugsgebietes durch das Rechteck liegt eine gewisse Willkür, die aber das wichtige Resultat nicht stark zu beeinflussen scheint. Wir werden hier ein symmetrisches Gebiet voraussetzen. Zu den Bezeichnungen des t. T. kommen hier noch hinzu:

i = das Längsgefälle des Gebietes;

β = der Seitenwinkel des Kollektors in Form eines symmetrischen Dreiecks (Abb. 2). (gewöhnlich ist $\beta < \alpha$)

C = Beiwert für die Mannig-Stricklersche Fließformel

$v = C \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}}$, wo R der Profilradius des Kollektors ist.

Für das Dreieck ist

$$R = \frac{F \text{ (Querschnittsfläche)}}{U \text{ (Benetzter Umfang)}} = \frac{h^2 \operatorname{ctg} \beta}{2h} \sin \beta = \frac{h \operatorname{ctg} \beta \sin \beta}{2};$$

$$R^3 = \frac{h^2 \operatorname{ctg}^2 \beta \cdot \sin^2 \beta}{4} = \frac{h^2 \operatorname{ctg} \beta \cdot \cos \beta \cdot \sin \beta}{4} = F \frac{\sin 2\beta}{8};$$

L_r = die Breite des Regenstreifens;

ε = der Akkumulations-Beiwert, der von dem Pflanzenreich absorbierten und von dem Boden versickerten Regenmenge Rechnung trägt.

Nicht alles Wasser, das auf die Erdoberfläche niederfällt, gelangt zum Abflusse und darum muß man mit einer Regenintensität Δ_n (Δ netto) rechnen, wobei $\Delta_n = (\Delta_0 - w_0)$ ist. Hier ist w_0 die Versickerungsintensität des Bodens, praktisch konstant gesetzt. Nicht alle Regen geben auch Abfluß (hierüber vergl. A. Vitols: Ueber den Einfluß der Trägheitskräfte auf den Versickerungsprozeß des auf die Erdoberfläche gelangenden flüssigen Wassers, Zeitschr. für angewandte Mathematik und Mechanik, Bd. 8, 1928, Seite 216—225). Wenn der Boden undurchlässig oder gefroren ist, so muß man $w_0 = 0$ setzen. Die Vegetation absorbiert eine gewisse Wassermenge. Gewöhnlich beginnt der Abfluß, nachdem das Pflanzenreich des Gebietes durch Regen gesättigt ist. Wenn die Gesamtschicht des durch das Pflanzenreich akkumulierten Wassers h_i ist, so verzögert sich der Abfluß um die Zeit $\frac{h_i}{\Delta_1} = \varepsilon \tau_0$ (nähere

Daten s. Karl Ney: Die Gesetze der Wasserbewegung im Gebirge), so daß die Abflußdauer $\tau_0(1 - \varepsilon)$ ausmacht, wo τ_0 die Regendauer ist.

Durch das Einführen des Akkumulationsbeiwertes ε gelangen wir zu einem Regen Netto, das jetzt einen als undurchlässig und kahl (ohne Pflanzenreich) voraussetzenden Boden benetzt. Es ist hier nur zu vermerken, daß dieser Beiwert nicht die Regenintensität vermindert, sondern daß er eine Abflußdauer $\tau_0(1 - \varepsilon)$ voraussetzt, die kleiner ist, als die Regendauer τ_0 . Der oben genannte russische Forscher Dolgof hat Beobachtungen über die Größe des Beiwertes ε in Süd-Rußland angestellt. Er meint (S. 367 Op. cit.), daß die Tiefe des Stromes 1 cm im Talweg den Anfang des Abflusses charakterisieren kann.

Wollen wir jetzt die Abflußverhältnisse im Kollektor (Talweg) untersuchen. Die Schnittlinie der beiden schrägen Seitenflächen des Gebietes bildet die Achse des Kollektors in Form eines symmetrischen Dreiecks mit dem Neigungswinkel β . Wie wir später sehen werden, ist es nicht von Belang, die eigentliche Schnittform des Kollektors zu kennen: die hydraulischen Elemente des Abflusses werden von der Schnittform des Kollektors nicht stark abhängen.

Abbildung 3 möge ein Längenelement im Kollektor darstellen, dessen Länge dy , Breite b und größte Tiefe h ist. Dieses Element nimmt durch die obere Schnittfläche ABC die Wassermenge Q auf, während es im selben Moment durch die vordere Seite DEF die Menge $Q + \frac{\partial Q}{\partial y} dy$ abgibt. Von beiden Seiten fließt dem Elemente $2q dy$ zu, wobei q entweder durch $\Delta_n x_{AB}$ oder $2\Delta_n x_{BC}$ ausgedrückt werden kann [s. t. T. (56) oder (57)], je nachdem der Regentropfen aus dem Gebiete oberhalb oder unterhalb der Linie CD (t. T.) zum Kollektor ankommt: $\Delta_n = (\Delta_0 - w_0)$, wo w_0 die als beständig vorausgesetzte Versickerungsintensität ist. Da wir nun einem Tropfen aus dem Gebiete unterhalb CD folgen werden, so muß man $q = 2\Delta_n x_{BC}$ setzen (die Gründe dafür werden später angegeben werden).

Die Strömung ist nicht stationär (mit der Zeit veränderlich), folglich muß das Element $ABCDEF$ mit der Zeit anschwellen, wobei die Anschwellung im Zeitraum dt den Betrag $b dy \frac{\partial h}{\partial t} dt$ ausmacht. Dann ist der Zusammen-

hang: $Q + 4\Delta_n x_{BC} dy - \left(Q + \frac{\partial Q}{\partial y} dy\right) = b dy \frac{\partial h}{\partial t} dt$, oder:

$$4\Delta_n x_{BC} dy - \frac{\partial Q}{\partial y} dy = b dy \frac{\partial h}{\partial t} dt,$$

$$4\Delta_n x_{BC} = \frac{\partial Q}{\partial y} + \frac{b \partial h}{\partial t}. \quad (2)$$

Wir wollen die Zeit mit der Einheit $\tau_0(1 - \varepsilon)$ messen, d. h. wir setzen $t = \tau_0(1 - \varepsilon)m$. Dann ist weiter

$$\partial t = \tau_0(1 - \varepsilon) \partial m \text{ und } x_{BC} = k \Delta_n \frac{\sin 2\alpha \cdot \cos \alpha}{4} \cdot t^2 =$$

$$= k \Delta_n \frac{\sin 2\alpha \cdot \cos \alpha \cdot \tau_0^2 (1 - \varepsilon)^2 m^2}{4} = b_0 m^2,$$

wo b_0 die horizontale Projektion des von einem Tropfen während der ganzen Abflußdauer zurückgelegten Weges bedeutet. Man sieht nun sogleich, daß $x_{AB} = \frac{b_0}{2} m^2$ ist

[t. T. (22)]. Das Produkt $\Delta_n \tau_0(1 - \varepsilon) = D_n$ hat auch eine physikalische Bedeutung. Es ist dieses nämlich die zum Abfluß gelangende Wassermenge bezogen auf die Flächeneinheit, was eine gewisse Höhe oder Schicht gibt. Die veränderlichen Größen der Gleichung (2) sind jetzt m , h , v und y . v läßt sich durch einen passenden Ausdruck ausschließen. Dazu wählen wir die bekannte Formel von Mannig (s. Hydraulik von

Ph. Fordheimer 1914, Seite 70) $v = CR^{\frac{2}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}}$. Für Kanäle im Erdboden, wie dies bei uns der Fall ist, kann man etwa setzen $C = 40$. Durch das Einsetzen der betreffenden Größen in (2) gelangen wir nun zu der partiellen Differentialgleichung:

$$4D_n b_0 m^2 \operatorname{tg} \beta = \frac{4 \cdot 2^{\frac{1}{3}}}{5} \tau_0(1 - \varepsilon) C V \sqrt{i} \cos^{\frac{2}{3}} \beta h^{\frac{5}{3}} \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{2h \partial h}{\partial m}, \quad (3)$$

die man als den Ausdruck für die größte Tiefe h im Kollektor, als Funktion der Zeit m und des Abstandes y im Kollektor auffassen kann. Die beiden partiellen Integrale dieser Gleichung sind durch das System der simultanen Gleichungen gegeben:

²⁾ t. T. (25) mit $\beta = 1$.

die Dimension der Geschwindigkeit, $[LT^{-1}]$, hat und die wir die spezifische Geschwindigkeit nennen werden. Wie man sieht, ist diese Geschwindigkeit eine Größe, die jeden Abflußfall, wie geometrisch, so auch ombrometrisch vollständig charakterisiert.

Das Intregal der Gl. (7) gibt:

$$\left(\frac{dy}{dt}\right)^3 - \left(\frac{dy}{dt}\right)_0^3 = V_0^3(m^3 - n^3), \quad \left(\frac{dy}{dt}\right)^3 = V_0^3\{m^3 + (k^3 - n^3)\},$$

wo die Anfangsgeschwindigkeit im Kollektor im Punkte K_0 gesetzt ist: $\left(\frac{dy}{dt}\right)_0 = kV_0$. Wir werden $k^3 - n^3 = 0$ annehmen, was gleichbedeutend ist mit der Hypothese, daß die Anfangsgeschwindigkeit im Punkte K_0 immer so groß ist, wie die Geschwindigkeit in demselben Punkte, wenn der Tropfen nicht aus O_0 , sondern aus einem Punkte außerhalb der Grenze $O'_0 - K_0$ auf der Fortsetzung der Linie KK_0 angekommen wäre. Eine eventuelle kleine Ungenauigkeit dieser Hypothese wird sich dadurch kompensieren, daß das Glied $k^3 - n^3$ ohnehin klein wird im Vergleich zu anderen, die im Ausdruck für $\left(\frac{dy}{dt}\right)$ später hinzukommen.

Wenn $k^3 - n^3 = 0$, so ist

$$\frac{dy}{dt} = V_0 m. \quad (9)$$

Dieser Ausdruck ist aber nur bis zum Punkte K_1 gültig, wo sich das Gesetz für q ändert. Die Geschwindigkeit im Punkte K_1 ist

$$\left(\frac{dy}{dt}\right)_{m=m_1} = \left(\frac{dy}{dt}\right)_1 = V_0 m_1. \quad (10)$$

Der Wert von m_1 ist gegeben durch die Bedingung: $b_0 m_1^3 = \frac{B}{2}$, woraus folgt

$$m_1^2 = \frac{B}{2b_0}, \quad m_1 = \sqrt{\frac{B}{2b_0}} \quad (10\text{bis})$$

Die Gleichung (9) gibt weiter

$$dy = V_0 m dt = V_0 \tau_0 (1 - \epsilon) m dm = I_0 m dm = \frac{I_0}{2} dm^2 \quad (10)$$

wo wir

$$I_0 = V_0 \tau_0 (1 - \epsilon) \quad (11)$$

die spezifische Kollektorlänge des Gebiets nennen werden. Diese ist ebenso charakteristisch wie V_0 (8). Das Integral von (10) ist:

$$\left. \begin{aligned} y - y_0 &= \frac{I_0}{2} (m^2 - n^2), \quad y = y_0 + \frac{I_0}{2} (m^2 - n^2) = \\ &= \frac{I_0}{2} \left(\frac{2y_0}{I_0} - n^2 + m^2 \right) \simeq \frac{I_0}{2} m^2 \end{aligned} \right\} (12)$$

denn $\left(\frac{2y_0}{I_0} - n^2\right)$ kann man vernachlässigen gegenüber m^2 und anderen Gliedern, die noch später hinzukommen werden. Der Grenzwert für die erste Abflußphase ist

$$(y)_{m=m_1} = y_1 = \frac{I_0}{2} m_1^2 \quad (15)$$

Weiter haben wir

$$\left. \begin{aligned} dQ &= 2q dy = 4 \Delta_n b_0 m^2 \cdot L_0 m^2 dm = \\ &= \Delta_n b_0 L_0 \cdot 4 m^3 dm = Q_0 dm^4 \end{aligned} \right\} (6)$$

wo $Q_0 = \Delta_n b_0 L_0$ die spezifische Abflußmenge ist. Das Integral von (6) ist $Q - Q_i = Q_0(m^4 - n^4)$, wo Q_i die Abflußmenge K_0 ist.

Aus bekannten Gründen setzen wir

$$Q = Q_0 m^4; \quad (14) \quad (Q)_{m=m_1} = Q_0 m_1^4. \quad (15)$$

Die II. Phase erstreckt sich auf das Gebiet $O'_1 K_1 - O_n K_n$, für welches das neue Gesetz $q = 4n b_0$ gilt und daher ist

$$\left. \begin{aligned} d\left(\frac{dy}{dt}\right)^3 &= \frac{3}{4} a b^3 \cdot 2q dt = \frac{3}{4} (C_1 V \bar{i})^3 \frac{\sin 2\beta}{8} \cdot 2 \Delta_n B \tau_0 (1 - \epsilon) dm = \\ &= \frac{3}{4} (C_1 V \bar{i})^3 \frac{\sin 2\beta}{8} D_n b_0 \cdot \frac{2B}{b_0} dm = 3 V_0^3 m_1^2 dm \end{aligned} \right\} (16)$$

Das Intregal dieser Gleichung ist:

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{dy}{dt}\right)^3 - \left(\frac{dy}{dt}\right)_1^3 &= 3 m_1^2 V_0^3 (m - m_1); \\ \left(\frac{dy}{dt}\right)^3 &= \left(\frac{dy}{dt}\right)_1^3 + 3 m_1^2 V_0^3 (m - m_1) = \\ &= V_0^3 m_1^3 + 3 m_1^2 V_0^3 (m - m_1) = V_0^3 \{m_1^3 + 3 m_1^2 (m - m_1)\}; \\ \frac{dy}{dt} &= V_0 \sqrt[3]{m_1^3 + 3 m_1^2 (m - m_1)} \end{aligned} \right\} (17)$$

Wenn der Tropfen in K_n angelangt ist, hört der Regen auf, folglich ist für das Ende des Regens $m = m_2 = 1$ und

$$\left(\frac{dy}{dt}\right)_2 = V_0 \sqrt[3]{m_1 + 3 m_1^2 (1 - m_1)} \quad (18)$$

Das Element der Kollektorlänge ist

$$\left. \begin{aligned} dy &= V_0 \tau_0 (1 - \epsilon) \sqrt[3]{m_1^3 + 3 m_1^2 (m - m_1)} dm = \\ &= L_0 \sqrt[3]{m_1^3 + 3 m_1^2 (m - m_1)} dm = \\ &= \frac{L_0}{4 m_1^2} d\{m_1^3 + 3 m_1^2 (m - m_1)\}^{\frac{4}{3}}. \\ y - y_1 &= \frac{L_0}{4 m_1^2} [\{m_1^3 + 3 m_1^2 (m - m_1)\}^{\frac{4}{3}} - m_1^4] \end{aligned} \right\} (19)$$

Weiter ist: $dQ = 2q dy = 2 \Delta_n B L_0 \sqrt[3]{m_1^3 + 3 m_1^2 (m - m_1)} dm$;

$$\left. \begin{aligned} Q - Q_1 &= 2 \Delta_n B (y - y_1) = \frac{\Delta_n 2 B L_0}{4 m_1^2} [\{m_1^3 + 3 m_1^2 (m - m_1)\}^{\frac{4}{3}} - m_1^4] = \\ &= \frac{\Delta_n 2 B L_0 b_0}{4 m_1^2 b_0} (y - y_1) = Q_0 (y - y_1) = \\ &= Q_0 [\{m_1^3 + 3 m_1^2 (m - m_1)\}^{\frac{4}{3}} - m_1^4]; \quad Q = Q_1 + Q_0 (y - y_1) = \\ &= Q_0 \{m_1^3 + 3 m_1^2 (m - m_1)\}^{\frac{4}{3}} \end{aligned} \right\} (20)$$

$$Q_2 = (Q)_{m=m_2=1} = Q_0 \{m_1^3 + 3 m_1^2 (1 - m_1)\}^{\frac{4}{3}} \quad (21)$$

$$\left. \begin{aligned} y_2 &= y_1 + \frac{L_0}{m_1^2} [\{m_1^3 + 3 m_1^2 (1 + m_1)\}^{\frac{4}{3}} - m_1^4] = \\ &= \frac{L_0}{4} \left[m_1^2 + m_1^{\frac{2}{3}} \{m_1 + 3(1 - m_1)\}^{\frac{4}{3}} \right] = \frac{L_0}{4} f_1(m_1) \end{aligned} \right\} (22)$$

Die Funktion $f_1(m_1)$ ist graphisch dargestellt (Abb. 5).

Es gibt noch eine III. Abflußphase, die die Verhältnisse nach dem Ende des Regens charakterisiert. Die Gl. (58) t. T. liefert für diese Phase

$q^2 + 5 \Delta_n x q^{\frac{1}{2}} - 4 q_0^2 = 0$ (58). Hier ist jetzt $x = B$, und dann würde $\Delta_n x = \Delta_n B$ die Wassermenge bedeuten, die ein Tropfen vom Gebietrande kommend dem Kollektor abgeben hätte, wenn er der Abflußform AB (t. T.) folgen würde. Diese Menge ist bedeutend größer, als die nach dem Ende des Regens vom Tropfen mitgeführte Menge q , die umso kleiner ist, je später sie dem Kollektor abgegeben wird. Wenn q klein ist, so ist auch $q^{\frac{3}{2}} < q^{\frac{1}{2}}$ und endlich könnte man $q^{\frac{3}{2}}$ gegenüber $5 \Delta_n B q^{\frac{1}{2}}$ vernachlässigen, was

m_1	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$f_1(m_1)$	0,000	0,858	1,262	1,5484	1,7126	1,8376	1,920	1,960	1,990	1,990	2,0
$f_2(m_1)$	0,000	0,085	0,489	0,7296	0,2485	0,3970	0,560	0,720	0,865	0,960	1,0

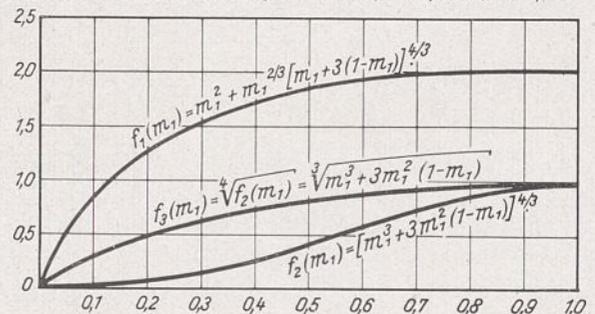


Abb. 5.

auf der sicheren Seite bei der Berechnung von Q liegen würde. Folglich setzen wir: $5 \Delta_n B q^{\frac{1}{2}} = 4 q_0^{\frac{3}{2}}$; $2q = \frac{16 q_0^3 \cdot 2}{9 \Delta_n^3 B^2}$;

$$q_0 = \Delta_n(x_{AB})_{t=0} = \Delta_n \frac{b_0 m^2}{2}, \text{ denn}$$

$$x_{AB} = \frac{x_{BC}}{2} = \frac{b_0 m^2}{2}$$

[s. t. T. (22) und (25)]. Jetzt ist

$$2q = \frac{16 \Delta_n^3 b_0^3 m^6 \cdot 2}{8 \cdot 9 \cdot \Delta_n^3 B^2} = \frac{4}{9} \Delta_n b_0 \left(\frac{B}{b_0}\right)^2 m^6 =$$

$$= \frac{4}{9} \frac{\Delta_n b_0 m^6}{4 m_1^4} = \frac{1}{9 m_1^4} \Delta_n b_0 m^6.$$

Nun ist

$$\left. \begin{aligned} d \left(\frac{dy}{dt} \right)^3 &= \frac{5}{4} a b^3 \cdot 2q dt = \\ &= \frac{5}{4} (C_1 \bar{V} i)^3 \frac{\sin 2\beta}{8} \cdot \frac{1}{9 m_1^4} \Delta_n b_0 m^6 \tau_0 (1-\varepsilon) d\mu = \\ &= \frac{1}{12 m_1^4} V_0^3 m^6 d\mu \end{aligned} \right\} (25)$$

wo μ die Zeit nach dem Ende des Regens gerechnet ist.

Um (25) integrieren zu können, muß man die Funktion $f(m, \mu) = 0$ kennen. Dieselbe ist in den Gleichungen (57-bis) t. T. $av_x^2 + 2v_x t' - B = 0$ und (54-bis) t. T.

$$v_x^2 = \frac{2v_x^3}{2v_x + 5k \Delta_n \sin \alpha \cos^2 \alpha \cdot t'}$$

enthalten, wo $t' = \tau_0(1-\varepsilon)\mu$ ist. (57-bis) liefert: $v_x = \frac{\sqrt{t'^2 + aB} - t'}{a}$. Da nun

$$a = \frac{1}{\Delta_n k \sin \alpha \cos^2 \alpha} = \frac{1}{2 \cdot 2k \Delta_n \sin \alpha \cos^2 \alpha \cdot \tau_0^2 (1-\varepsilon)^2} =$$

$$= \frac{\tau_0^2 (1-\varepsilon)^2}{2 \cdot 2 \cdot \tau_0^2 (1-\varepsilon)^2} = \frac{\tau_0^2 (1-\varepsilon)^2}{2b_0},$$

$$\text{ist } v_x = \left(\sqrt{\mu^2 + \frac{m_3^2}{4}} - \mu \right) \frac{2b_0}{\tau_0(1-\varepsilon)}, \text{ wo}$$

$$\frac{m_3^2}{4} = \frac{B}{2b_0} = m_1^2.$$

m_3 bedeutet hier eine neue Zeit, die von einem Tropfen verbraucht wird, der vom Gebietrande kommt. Es gilt

für diesen Tropfen $\frac{b_0 m_3^2}{2} = B$; $m_3^2 = \frac{2B}{b_0}$ und

$$\frac{m_3^2}{4} = \frac{B}{2b_0} = m_1^2.$$

Diese Zeit ist $m_3^2 = \frac{2B}{b_0} < 1$. Bei $m_3^2 = 1$ würde die

Anfangs-Isochrone den Gebietsrand im Punkte O_n schneiden. Wenn man nun den gewonnenen Wert von v_x in (54-bis) t. T. einsetzt und in Betracht zieht, daß $v_{0x} = \frac{d}{dm} \frac{b_0 m^2}{2 \tau_0 (1-\varepsilon)}$ ist, so bekommt man endlich für die Funktion $f(\mu, m)$ die Gleichung:

$$8 \left\{ \sqrt{\mu^2 + \frac{m_3^2}{4}} - \mu \right\}^2 + 12 \mu \left\{ \sqrt{\mu^2 + \frac{m_3^2}{4}} - \mu \right\} = m^3 \quad (24)$$

Führen wir noch eine neue veränderliche z ein, indem wir setzen:

$$\sqrt{\mu^2 + \frac{m_3^2}{4}} - \mu = z, \quad (25)$$

so gewinnt (24) die mehr einfachere Form:

$$\frac{4z^3 + 3m_3^2 z}{2} = m^3; \quad \frac{16z^6 + 24z^4 m_3^2 + 9m_3^4 z^2}{4} = m^6.$$

Aus (25) folgt: $\mu = \frac{m_3^2 - 4z^2}{8z}$ und der in (25) enthaltene

Ausdruck $m^6 d\mu = -\frac{1}{32} (64z^6 + 112m_3^2 z^4 + 60m_3^4 z^2 + 9m_3^6) dz$;

$$\int_0^\mu m^6 d\mu = \int_{\frac{m_3^2}{4}}^z m^6 d\mu = \frac{1}{32} \left[\frac{64z^7}{7} + \frac{112}{5} m_3^2 z^5 + 20m_3^4 z^3 + 9m_3^6 z \right]_{\frac{m_3^2}{4}}^z \quad (26)$$

$$= \frac{1}{32} m_3^7 \left[\frac{544}{70} - \nu \left(\frac{64\nu^6}{7} + \frac{112}{5} \nu^4 + 20\nu^2 + 9 \right) \right] = \frac{1}{52} m_3^7 \varphi(\nu)$$

wenn noch die veränderliche

$$\nu = \frac{z}{m_3} = \frac{\sqrt{\mu^2 + \frac{m_3^2}{4}} - \mu}{m_3}, \quad \sqrt{\mu^2 + \frac{m_3^2}{4}} - \mu = \nu m_3 \quad (27)$$

eingeführt wird und der in Klammern eingeschlossene Ausdruck durch $\varphi(\nu)$ bezeichnet wird. Da sich μ theoretisch zwischen den Grenzen $\mu = 0$ und $\mu = \infty$ ändern kann,

ändert sich ν (27) zufolge zwischen $\nu = \frac{1}{2}$ und

$$\left\{ \frac{\left(\sqrt{\mu^2 + \frac{m_3^2}{4}} - \mu \right) \left(\sqrt{\mu^2 + \frac{m_3^2}{4}} + \mu \right)}{\sqrt{\mu^2 + \frac{m_3^2}{4}} + \mu} \right\}_{\mu=\infty} =$$

$$= \left\{ \frac{\mu^2 + \frac{m_3^2}{4} - \mu^2}{\sqrt{\mu^2 + \frac{m_3^2}{4}} + \mu} \right\}_{\mu=\infty} = \frac{m_3^2}{4} =$$

$$= \frac{4}{\infty} = 0 = (\nu m_3)_{\mu=\infty}, \quad \nu = 0,$$

d. h. es ist uns gelungen die Veränderliche μ durch eine andere Veränderliche ν zu ersetzen, die sich zwischen sehr engen Grenzen 0 und $\frac{1}{2}$ ändert (Abb. 6).

ν	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$\varphi(\nu)$	7,77	6,85	5,80	4,52	2,66	0,00

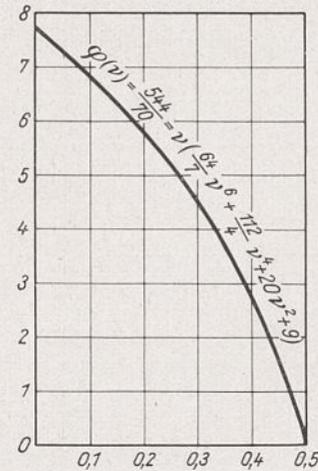


Abb. 6.

Jetzt kann man den Ausdruck für (25) in integraler Form aufschreiben:

$$\left(\frac{dy}{dt} \right)^3 - \left(\frac{dy}{dt} \right)_2^3 = \frac{1}{12 m_1^4} \cdot V_0^3 \cdot \frac{1}{32} m_3^7 \cdot \varphi(\nu).$$

Da nun $m_3^2 = 4m_1^2$ ist, $m_3 = 2m_1$, so ist

$$\left(\frac{dy}{dt} \right)^3 - \left(\frac{dy}{dt} \right)_2^3 = \frac{V_0^3}{5} m_1^3 \cdot \varphi(\nu); \quad \left(\frac{dy}{dt} \right)^3 = \left(\frac{dy}{dt} \right)_2^3 + \frac{V_0^3}{5} m_1^3 \cdot \varphi(\nu) =$$

$$= V_0^3 \{ m_1^3 + 3m_1^2(1-m_1) \} + \frac{V_0^3}{5} m_1^3 \varphi(\nu),$$

[s. Gleichung (18)];

$$\frac{dy}{dt} = V_0 \sqrt[3]{m_1^3 + 3m_1^2(1-m_1) + \frac{m_1^3}{5} \varphi(\nu)}. \quad (28)$$

Untersuchen wir die Ausdrücke:

$$\frac{\max \cdot \varphi(\nu)}{5} = \frac{\varphi(\nu)_{\mu=\infty}}{5} = \frac{\varphi(\nu)_{\nu=0}}{5} = \frac{544}{210} = 2,6;$$

und

$$\max \frac{dy}{dt} = V_0 \sqrt[3]{5m_1^3 - 2m_1^3 + 2,6m_1^3} \approx V_0 \sqrt[3]{5m_1^3}, \max m_3 = 1$$

und darum $\max m_1 = \frac{1}{2}$,

$$\max \max \frac{dy}{dt} = V_0 \sqrt[3]{\frac{5}{4}} = \frac{V_0}{2} \sqrt[3]{6} = \frac{1,8}{2} V_0 = 0,9 V_0.$$

Dieses Resultat zeigt, daß die Geschwindigkeit auch bei $\mu = \infty$ und folglich auch für ein unendlich langes Gebiet endlich bleibt, zweitens, daß die spezifische Geschwindigkeit V_0 beinahe als der Grenzwert der wirklichen Geschwindigkeit angesehen werden kann und drittens, daß das Anwachsen der Geschwindigkeit, vom Ende der II. Phase an gerechnet, sehr unbedeutend ist, denn das größtmögliche Verhältnis der Geschwindigkeit

$$\left(\frac{dy}{dt}\right)_{III} \text{ zu } \left(\frac{dy}{dt}\right)_2 \text{ kann nach unendlicher Zeit, } \mu = \infty,$$

$$\left(\sqrt[3]{\frac{5}{m_1} + 0,6} - \frac{5}{m_1 - 2}\right)_{m_1 = \frac{1}{2}} = \sqrt[3]{\frac{6,6}{4}} = \sqrt[3]{1,650} \approx 1,18$$

nicht übersteigen. Wenn es denn nun so ist, so liegt der Gedanke nahe, die Geschwindigkeit im Kollektor nach dem Ende der II. Phase konstant zu setzen, was sehr bedeutende Vereinfachungen in der Berechnung nach sich zieht. Folglich setzen wir:

$$\left(\frac{dy}{dt}\right)_{III} = V_0 \sqrt[3]{m_1^3 + 5m_1^2(1-m_1)} = \text{konstant (28. bis)}.$$

Laut (28) haben wir dann auch für dy :

$$\left. \begin{aligned} dy &= V_0 \sqrt[3]{m_1^3 + 5m_1^2(1-m_1)} \tau_0(1-\varepsilon) d\mu = \\ &= L_0 \sqrt[3]{m_1^3 + 5m_1^2(1-m_1)} d\mu; \\ y - y_2 &= L_0 \int \sqrt[3]{m_1^3 + 5m_1^2(1-m_1)} d\mu. \end{aligned} \right\} (29)$$

Der größtmögliche Wert von y in der III. Phase ist nun die Breite des Regengebietes L_r und die Gleichung (29) wird dann den Wert von μ resp. $\nu = \sqrt{\mu^2 + m_1^2}$ geben in der Form:

$$\left. \begin{aligned} \mu &= \frac{L_r - y_2}{L_0 \sqrt[3]{m_1^3 + 5m_1^2(1-m_1)}} = \frac{L_r - y_2}{L_0 \cdot f_3(m_1)} = \\ &= \frac{L_r}{L_0} \cdot \frac{y_2}{L_0} = \frac{L_r}{L_0} \cdot \frac{f_1(m_1)}{4} \\ &= \frac{f_2(m_1)}{f_3(m_1)} = \frac{f_1(m_1)}{f_3(m_1)} \end{aligned} \right\} (50)$$

Die Funktion $f_3(m_1)$ ist graphisch dargestellt (Abb. 5).
Endlich

$$\left. \begin{aligned} dQ &= 2q dy = \frac{1}{9m_1^4} \Delta_n b_0 m^6 \cdot L_0 \cdot f_3(m_1) d\mu = \frac{Q_0}{9m_1^5} f_3(m_1) m^6 d\mu; \\ Q - Q_2 &= \frac{Q_0 f_3(m_1)}{9m_1^4} \varphi(\nu); \quad Q = Q_2 + Q_0 \frac{f_3(m_1)}{9m_1^4} \cdot \frac{m_3^7 \cdot \varphi(\nu)}{52} = \\ &= Q_0 \left[\{m_1^3 + 5m_1^2(1-m_1)\}^{\frac{4}{3}} + \frac{f_3(m_1)}{9m_1^4} \cdot \frac{m_3^7}{52} \cdot \varphi(\nu) \right] = \\ &= Q_0 \left\{ f_2(m_1) + f_3(m_1) \cdot \frac{4}{9} m_3^3 \cdot \varphi(\nu) \right\} = \psi Q_0. \end{aligned} \right\} (51)$$

$f_2(m_1) = f_3(m_1)^4$ ist graphisch dargestellt (Abb. Nr. 5)
Der Ausdruck (51) zeigt, daß $(Q)_{\mu=\infty}$ auch eine endliche Größe ist. Die bis jetzt gebrauchten empirischen Formeln konnten diese Beschaffenheit von Q nicht widerspiegeln.

Wie die Abb. 7 zeigt, bedürfen die für die Abb. 4 ausgeführten Formeln einer Verallgemeinerung. Hier hat nämlich der Regen aufgehört, bevor die Anfangs-Isochrone den Gebietsrand geschnitten hat, und es fragt sich, wie dieser Umstand die Formeln umgestalten wird. Man kann leicht ersehen, daß bis zum Anfang der III. Phase, d. h. bis zum Punkte K_n keine Änderungen dem Wesen nach zu verzeichnen sind. Man kann sich wohl leicht überzeugen, daß m_3 größer sein wird als 1, denn die Zeit, die ein Tropfen braucht, um von O_n bis K_n anzukommen, beträgt schon die ganze Abflußdauer 1.

Folgen wir einem Tropfen, der aus dem Punkte der Isochrone O kommt. Er wird im Punkte O' von der uns aus dem t. T. bekannten Störungswelle eingeholt. Die Strecke OO' gehört der Abflußform BC an, vom Punkte O' an aber folgt der Tropfen der Abflußform AB (s. t. T.). Die Wassermenge, die der Tropfen bis O'' angesammelt hat, ist $\Delta_n \cdot 2 \cdot OO' + \Delta_n O'O'' = \Delta_n (RO' + O'O'') = \Delta_n RO''$, d. h. der Tropfen hat bis O'' eben soviel Wasser angesammelt, als ob er, aus R kommend, die ganze Zeit der Abflußform AB gefolgt wäre, nur die Zeiträume würden differieren: Um dem Punkte O'' dieselbe Wassermenge abzugeben, müßte der Tropfen mehr Zeit verbrauchen, wenn er die ganze Zeit der Abflußform AB gefolgt wäre.

Wenn wir diese gedachte Zeit mit m bezeichnen, dann haben wir $\frac{b_0 m^2}{2} = RO''$. Diese Zeit m hat ihre oberste Grenze m_3 , die gegeben ist durch

$$\frac{b_0 m_3^2}{2} = B (R_n - O_n - K_n), \quad m_3^2 = \frac{2B}{b_0} > 1 \quad (\text{Abb. 7})$$

im Gegensatz zu dem ersten von uns schon betrachteten Fall, wo $m_3^2 = \frac{2B}{b_0} < 1$ war. Da hier O_n oberhalb CD liegt, so ist auch $m_1^2 = \frac{B}{2b_0} < 1, \frac{2B}{b_0} < 4$.

Die Zusammenfassung beider Bedingungen gibt:

$$1 < \frac{2B}{b_0} < 4, \quad \frac{B}{2} < b_0 < 2B.$$

Im ersten, schon betrachteten Falle war dagegen:

$$m_3^2 = \frac{2B}{b_0} < 1, \quad m_1^2 = \frac{B}{2b_0} < 1, \quad \frac{2B}{b_0} < \frac{1}{4},$$

daraus folgt nun der Grenzwert $b_0 > 2B$.

Es kann endlich auch noch einen dritten Fall geben, in welchem der Punkt O_n sich unterhalb der Linie CD befindet. Hier wäre nur eine Grenze zu verzeichnen:

$$m_1^2 = \frac{B}{2b_0} > 1, \quad b_0 < \frac{B}{2}.$$

Nach diesen Erwägungen, die den Zweck hatten, alle möglichen Fälle hervorzuheben, kehren wir zu der ge-

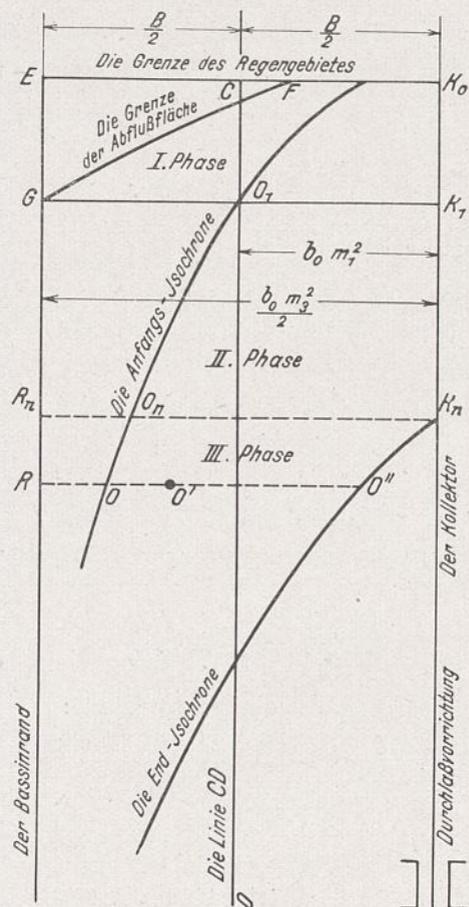


Abb. 7.

stellten Aufgabe zurück — die III. Phase des zweiten Falles, $2B > b_0 > \frac{B}{2}$, zu untersuchen. Nachdem nun die ideelle Zeit m eingeführt worden ist, können wir die Aufgabe ebenso lösen, wie im ersten Falle, denn die Zeit m spielt keine bestimmende Rolle. In Betracht kommt nur die Größe $2q$, die $\frac{dy}{dt}$, y und Q bestimmt. Folglich haben alle Formeln des ersten Falles auch im zweiten Falle Geltung, bloß sind die Grenzen der Zeit m andere. Während im ersten Falle der Grenzwert für $m_1 = \frac{1}{2}$ war, ist hier $m_1 = 1$ möglich (wenn der Punkt O_n sich auf CD befindet). Natürlich sind dann die über die geringe Veränderlichkeit der Geschwindigkeit in der III. Phase des ersten Falles angestellten Betrachtungen theoretisch nicht mehr günstig, praktisch aber werden sie Geltung haben, da μ praktisch nie die Grenze $\mu = \infty$ erreichen kann.

Der dritte Fall $b_0 < \frac{B}{2}$ scheint keinen großen praktischen Wert zu haben und darum soll seine Untersuchung unterbleiben; die von uns aufgestellte Theorie und Methode können aber immerhin als Unterlage für eine entsprechende Untersuchung auch für den dritten Fall dienen.

Die sehr wichtige Frage ist nun, in wiefern unsere Methode praktischen Wert hat. Wir gehen zu dieser Frage über.

Man kann freilich die Tatsache nicht bestreiten, daß es an Beobachtungsdaten mangle. Jedesmal, wenn es galt die Rechenmethoden zu überprüfen, wurde empfohlen zu beobachten, denn die Beobachtung sei der sicherste Weg zur Lösung der Frage. Dabei wurde aber vergessen, daß Beobachtung allein ein chaotisches Material liefern wird, wenn man die Erscheinung vorher nicht theoretisch beleuchtet, um Klarheit darüber zu gewinnen, was und wie man beobachten soll. Da nun immer gerade die theoretische Unterlage fehlte, so hat das bisher gesammelte Beobachtungsmaterial wenig Wert. Jetzt wissen wir, von welchen Faktoren Q abhängt und welcher Art diese Abhängigkeit ist. Es müssen also gleichzeitig mit Q alle die Größen registriert werden, von denen Q abhängt. Diese Größen sind nur dreierlei Art; 1. geometrische: das Längsgefälle i , das Quergefälle α , die Breite des Bassins $2B$, seine Länge L ; 2. ombrometrische: die mittlere Regenintensität Δ_0 , Regendauer τ_0 , Breite des Regengebietes L_r ; 3. hydraulische: die Chezyschen Beiwerte k und c_1 ; 4. hydrologische: der Akkumulationsbeiwert ε und die Versickerungsintensität w_0 , d. h. Q ist eine Funktion von allen hier angeführten Größen

$$Q = F(i, \alpha, B, L; \Delta_0, \tau_0, L_r; k, c_1; \varepsilon, w_0)$$

und man kann nun tatsächlich jeden Fall individualisieren, um ein der Wirklichkeit möglichst nahes Resultat zu bekommen.

Auf S. 81 des i. J. 1907 vom Geh. R. Prof. Nikolai dem Russischen Ingenieurrate vorgelegten Berichtes finden wir eine Zahlentafel für die Strecke Dolginzevo-Volnovacha, die die tatsächlich beobachteten Q für eine Reihe von Durchlaßvorrichtungen der Katharina-Eisenbahnlinie Süd-Rußlands enthält. Es sind hier auch alle nötigen geometrischen Elemente i , α , L , B der entsprechenden Gebiete angegeben. Aus dem Texte des Berichtes geht hervor, daß diese Q aus einer Regenintensität hervorgehen, die nahezu 2 mm/min erreicht.

Die von der Verwaltung der gen. Eisenbahn aufgestellte empirische Formel für den Zusammenhang zwischen $\max \Delta$ (im Zentrum der Wolke) und der Dauer τ_0 ist,

$$a) \text{ für die Dauer zwischen } \tau_0 = 15 \text{ min und } \tau_0 = 6 \text{ Stunden:}$$

$$\max \Delta = \left[3,18 + \frac{1800 - 2\tau_0 \text{ sek}}{900 + \tau_0 \text{ sek}} \left\{ 1,08 + 0,09 \sqrt{\frac{\tau_0 \text{ sek}}{600}} - 1,5 \right\} \right] \text{ mm/min}$$

b) für die Dauer zwischen $\tau_0 < 15$ min:

$$\max \Delta = \left[3,18 + \frac{1800 - \tau_0 \text{ sek}}{900 + \tau_0 \text{ sek}} \cdot 1,08 \right] \text{ mm/min}$$

Bei $\tau = 0$ gibt diese Formel $\max \Delta = 5,54$ mm/min was durch Beobachtungen bestätigt sein soll. Für $\max \Delta = 2$ mm/min

liefert die Formel a) $\tau_0 \approx 45$ min = 2700 sek. Die Verwaltung hat auch Beobachtungen für die Grenzen des Regengebietes aufgestellt, auf Grund deren eine recht verwickelte empirische Formel aufgestellt ist. Das Gesetz der Verminderung der Regenintensität ist ebenfalls erforscht und empirisch dargestellt. (S. den Bericht des Prof. Nicolai).

Ueber die Größe L_r liegen keine direkten Angaben vor. Auf Grund einiger Daten über die Regen Süd-Rußlands haben wir dieselbe $L_r = 3,8$ km angenommen.

Wir wollen nun feststellen, unter welchen Bedingungen unsere Formeln für Berechnung der Q für die gen. Strecke angewendet werden können, für welche nun wirklich beobachtete Q vorliegen. Diese Bedingungen sind:

1. Alle Beiwerte, wie k , c_1 , ε , w_0 , die in den abgeleiteten Formeln vorkommen, müssen, gleiche Verhältnisse vorausgesetzt (im gegebenen Falle Süd-Rußland, kahle, waldlose Steppengegend, gegebene Eisenbahnstrecke), konstante Größen sein;
2. Den genannten Beiwerten müssen Zahlenwerte entsprechen, die sich in zulässigen Grenzen befinden;
3. Die mittels der abgeleiteten Formeln berechneten Q müssen den beobachteten Q angenähert gleich sein.

Die Abweichung wäre dadurch zu erklären, daß einige der Beiwerte schätzungsweise gewählt sind und daß außerdem die im vorgeschlagenen Verfahren angewandten Größen die Form des Gebietes, welche als Rechteck gedacht ist, die Neigungswinkel α und i und die Breite, welche Mittelwerte vorstellen, bis zu einem gewissen Grade willkürlich sind.

Die Bedingung 1) besagt, daß alle hydraulischen Elemente für gegebene ombrometrische Verhältnisse nur von den geometrischen Größen abhängen, so daß z. B. zu setzen ist:

$$b_0 = \frac{k \Delta_n \sin 2\alpha \cdot \cos \alpha \cdot \tau_0^2 (1 - \varepsilon)^2}{4} = A' \sin 2\alpha \cos \alpha,$$

$$V_0 = \frac{1}{2} C \sqrt{i} \sqrt[3]{\sin 2\beta \cdot b_0 D_n} = B' \sqrt[3]{\sin 2\beta \cdot \cos 2\alpha \cdot \cos \alpha}$$

und

$$L_0 = C' \sqrt[3]{\sin 2\beta \sin 2\alpha \cos \alpha}.$$

Abgesehen von den Mängeln der Luegerschen Abflusstheorie, deren Kritik im t. T. angeführt ist, hat auch seine Flußformel in der Gestalt $v = kh \sin \alpha$ nicht zu konstanten A' und B' führen können. Dieses war nur möglich, wenn wir die Fließformel $v = kh \sqrt{\sin \alpha} \approx kh \sqrt{\alpha}$ annehmen. Man kann auch zeigen, daß diese Formel mehr Berechtigung hat, als die Luegersche, wenn man von der Bazinschen Formel

$$v = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}} \sqrt{R\alpha} = \frac{87 R \sqrt{\alpha}}{\sqrt{R} + \gamma}$$

ausgeht.

Für den Seitenabfluß kann man $R = h$ setzen. Außerdem wird \sqrt{R} sehr klein gegenüber γ sein, denn $R = h$ wird nur einige cm erreichen, während der Wert von γ nach Bazin ungefähr 1 zu setzen ist. Unter dieser Vereinfachung erscheint die Bazinsche Formel in der Gestalt $v = kh \sqrt{\alpha}$, welche somit vollständig unserer Formel entspricht. Der Winkel β ist im Ausdrucke für die spezifische Geschwindigkeit V_0 enthalten, und zwar kommt er da unter der Wurzel $\sqrt[3]{\quad}$ vor, was den Fehler, der durch die wenig exakte Auswahl von β entstehen könnte, stark (5 mal) reduziert. Folglich begehen wir keinen großen Fehler, wenn wir $\beta = \alpha$ setzen. Es kann natürlich auch Fälle geben, wo dieses nicht möglich ist. Diese neuen

Annahmen führen zu den entsprechenden Ausdrücken für b_0 , V_0 und L_0 ; $b_0 = A\sqrt{\alpha}$ km; $V_0 = B\sqrt{\alpha i}$ m/sek; $L_0 = c\sqrt{\alpha i}$ km, wenn man außerdem $\cos \alpha \simeq 1$ setzt.

Wir haben nun für die Strecke Dolginezwo—Wolnowacha angenähert gefunden: $A \simeq 6,50$, $C = 550$.

Der Gang der Berechnung ist durch die nebenstehende Zahlentafel I vorgeführt.

Den Beiwert $\varphi = \frac{A_0}{\max \Delta}$ haben wir zu $\varphi = 0,90$ angenommen. Nach Haecuser variiert derselbe von $\varphi = 0,92$ bis $\varphi = 0,61$ für Regenflächen von $F_r = 5$ km² bis $F_r =$ über 200 km² (Fall 4), für welchen

$$y_2 = 4,85 \text{ km} > L_r = 3,8 \text{ km},$$

er kann auch nach der gegebenen Formel (51) $Q = \psi Q_0$ berechnet werden. Man muß in diesem Fall setzen: $\mu = 0$, $\nu = 0,5$, $\varphi(\nu) = 0$, wodurch die Formel (31) übergeht in

$$\begin{aligned} Q &= Q_0 \cdot f_2(m_1) = Q_0 \{m_1^3 + 3m_1^2(1-m_1)\}^{\frac{4}{3}} = \\ &= \Delta_n b_0 L_0 m_1^2 m_1^{\frac{2}{3}} \{m_1 + 3(1-m_1)\}^{\frac{4}{3}} = \\ &= \Delta_n b_0 L_0 \frac{B}{2b_0} \left(\frac{4y_2}{L_0} - m_1^2 \right) \simeq \Delta_n 2B y_2 = \\ &= \Delta_n 2BL_r = \Delta_n F_r. \quad [\text{S. die Formel (22)}]. \end{aligned}$$

Hier kann man m_1^2 , als verhältnismäßig klein im Vergleich zu $\frac{4y_2}{L_0}$ weglassen, was gleichbedeutend ist mit der Verschiebung der entsprechenden Abflußfläche nach aufwärts (Abb. 7), wodurch die Null-Fläche EFG verschwindet. Dieses ist der einzige Fall, wo die Gebietsfläche F in dem Ausdrucke für Q vorkommen kann, wenn die Regenfläche das ganze Gebiet bedeckt, denn in diesem Falle muß man setzen $F_r = F$ (Gebietsfläche). Diese Ueberlegung zeigt auch, wie falsch der Aufbau der Köstlinschen Formel $Q = C\alpha\beta F$ ist: wenn nämlich dieser Fall eintritt, dann wird immer $C = \Delta_n$ und $\alpha\beta = 1$. Auch die Fälle 4 und 5 sind nach derselben Formel berechnet, weil μ hier sehr klein und $\varphi(\nu)$ nahe 0 ist. Außerdem wird bei einem kleinen μ die Funktion $\varphi(\nu)$ sehr empfindlich gegen Fehler, und es ist zu empfehlen, die entsprechenden Q dann nach der Formel $Q = \Delta_n 2BL_r$ resp. $Q = \Delta_n F_r$ zu berechnen.

Von den Beiwerten k , C , ε und w_0 können wir für Betten im Erdboden $C = 40$ setzen. Bezüglich w_0 haben wir schon die Annahme gemacht, daß diese Größe bei recht starkem Regen, wie dieses unser Fall ist, klein ist gegenüber der mittleren Regenintensität, denn die Anfangsversickerungsintensität, die bedeutender ist, ist in ε schon mit einbegriffen

$$\Delta_n = (\Delta_0 - w_0) = \Delta_n \left(1 + \frac{w_0}{\Delta_n} \right) \simeq \Delta_0 = \varphi \cdot \max \Delta.$$

Falls wir uns noch für die Zahlenwerte von k und ε interessieren, so brauchen wir nur die Ausdrücke

$$b_0 = A\sqrt{\alpha}, \quad V_0 = B\sqrt{\alpha i} \quad \text{und} \quad L_0 = C\sqrt{\alpha i}$$

zu betrachten. Dann erhalten wir:

$$\begin{aligned} b_0 &= A\sqrt{\alpha} \text{ km} = 1000 A\sqrt{\alpha} \text{ m} = \\ &= k\varphi \frac{\max \Delta \tau_0^2 (1-\varepsilon)^2}{2 \cdot 1000 \cdot 60} \sqrt{\alpha} \text{ m}, \end{aligned}$$

woraus dann folgt: $k\varphi(1-\varepsilon)^2 = 8,25A = 53,5$ oder da $\varphi = 0,90$ angenommen wurde $k(1-\varepsilon)^2 \simeq 59$.

Da nun $(1-\varepsilon) < 1$ ist, ist $k > 59$, was wahrscheinlich ist. Nähere Daten über k besitzen wir nicht, denn der Abfluß in dünner Schicht ist noch wenig erforscht und man findet in der Literatur keine Beiwerte, die gerade für unsere Formel brauchbar sind.

Wenn man $C = 40$ setzt, wie dieses für die Manning'sche Formel $v = CR^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}}$ empfohlen wird, so hat man weiter

$$\begin{aligned} V_0 &= B\sqrt{\alpha i} = \frac{1}{2} C\sqrt{i} \sqrt{\sin 2\beta \cdot b_0 D_n} = \\ &= 20\sqrt{2A \cdot \max \Delta \cdot \varphi \cdot \tau_0 (1-\varepsilon)} \cdot \sqrt{\alpha i} \end{aligned}$$

und mit $A = 6,5$, $\max \Delta = 2$ mm/min, $\varphi = 0,90$,

Nr.	Werst	Geometrische Elemente	
1	100	$i^0/00$	
2	104	$\alpha^0/00$	
3	174	Länge des Gebietes km	
4	179	Mittlere Breite 2B km	
5	204	Oberfläche km ²	
6	205	$\sqrt{\alpha}^0/00$	
	8,18	$\sqrt{\alpha i}^0/00$	
	8,18	$b_0 = A\sqrt{\alpha} = 6,5\sqrt{\alpha}$ km	
	30,20	$m_1^2 = \frac{B}{2b_0}$ (10 bis)	
	9,00	$m_1 = \sqrt{\frac{B}{2b_0}}$ (10 bis)	
	2,00	$f_1(m_1) = m_1^3 + m_1^2 \{m_1 + 3(1-m_1)\}^{\frac{4}{3}}$ (Gl. 22)	
	18	$L_0 = C\sqrt{\alpha i} = 360\sqrt{\alpha i}$ km	
	14	$y_2 = \frac{L_0}{4} \cdot f_1(m_1)$ (22)	
	15	$Q = \frac{\varphi \cdot \max \Delta \cdot b_0 L_0 \cdot 1000^2}{1000 \cdot 60} = \frac{100}{3} \varphi b_0 L_0$	
	16	$f_2(m_1) = \{m_1^3 + 3m_1^2(1-m_1)\}^{\frac{4}{3}}$ (31)	
	17	$f_3(m_1) = \sqrt[4]{f_2(m_1)}$ (31)	
	18	m_1^3	
	19	$\frac{4}{9} m_1^3$	
	20	$\mu = \frac{L_r}{L_0} \frac{f_1(m_1)}{4}$ (30)	
	21	$\nu = \sqrt{\frac{\mu^2 + m_1^3}{m_1}} - \mu$ (27)	
	22	$\varphi(\nu)$ (26)	
	23	$\frac{4}{9} m_1^3 \cdot f_3(m_1) \cdot \varphi(\nu)$	
	24	$\psi = f_2(m_1) + \frac{4}{9} m_1^3 \cdot f_3(m_1) \cdot \varphi(\nu)$ (31)	
	25	Beobachtetes Q	
	26	Berechnetes Q = $Q_0\psi$ nach Vitols	
	27	Relativer Fehler $\frac{Q_0 - Q}{Q} \cdot 100\%$	
	28	Berechnetes Q nach der alten Köestlinschen Formel	
	29	Relativer Fehler %	
	30	Berechnetes Q nach der korrigierten Köestlinschen Formel	
	31	Relativer Fehler %	
	32	Nach der Formel der Katharina-Eisenbahn	
	33	Der relative Fehler %	
	34	Ankunftsgeschwindigkeit V_{ank} m/sek nach Vitols	
	35	Ankunftsgeschwindigkeit V_{ank} m/sek nach Winkler	

Zahlentafel I. Strecke Dolginezwo—Wolnowacha.

$$(1-\varepsilon) = \left(\frac{B}{20}\right)^3 \cdot \frac{1}{180 A \varphi} = \left(\frac{B}{20}\right)^3 \cdot \frac{1}{180 \cdot 6,5 \cdot 0,90} = \left(\frac{B}{200}\right)^3.$$

Andererseits haben wir:

$$L_0 = V_0 \tau_0 (1-\varepsilon) = 1000 C \sqrt{\alpha i} = B \sqrt{\alpha i} \cdot \tau_0 (1-\varepsilon);$$

$$(1-\varepsilon) = \frac{1000 C}{B \cdot 2700} = \frac{1000 \cdot 360}{B \cdot 2700} = \frac{100 \cdot 4}{3 B} = \left(\frac{B}{200}\right)^3,$$

woraus folgt:

$$B^4 = \frac{8 \cdot 10^8 \cdot 4}{3}; \quad B = 100 \sqrt[4]{11} = 180;$$

$$(1-\varepsilon) = \frac{100 \cdot 4}{3 \cdot 180} = 0,74; \quad \varepsilon = 0,26.$$

Die Dolgofsche Zeit mithin wäre:

$$\varepsilon \tau_0 = 45 \cdot 0,26 = 11,7 \text{ min,}$$

der Beiwert $k = \frac{59}{0,74^2} = \frac{59}{0,5476} \approx 100$, was auch nicht

unwahrscheinlich ist, wenn man beachtet, daß es sich hier um den Abfluß auf einer vorher benutzten Ebene handelt. Wir können den Ausdruck $V_0 = B \sqrt{\alpha i} = 180 \sqrt{\alpha i}$ m/sek auch zu Kontrollzwecken ausnutzen. Es lassen sich nämlich die Geschwindigkeiten berechnen, mit denen die max Q an der Durchlaßvorrichtung ankommen, und zwar nach der Formel

$$V_{\text{ank}} = V_0 \sqrt[3]{m_1^3 + 5m_1^2(1-m_1)} \quad (28 \text{ bis}) = V_{0f_3}(m_1) = 180 \cdot f_3(m_1) \sqrt{\alpha i}.$$

(S. III. Phase.) Diese Werte, wie auch die Normen Winklers, sind in der Zahlentafel I angeführt.

Der Fall 4 ist ein Sonderfall, da für ihn

$$y_a = 4,85 > L_r = 3,8$$

wird. Man kann V_{ank} für ihn, wie folgt, berechnen. Die Gleichung (16) gibt:

$$\left. \begin{aligned} d\left(\frac{dy}{dt}\right)^3 &= 3V_0^3 m_1^2 dm; \quad \left(\frac{dy}{dt}\right)^3 - \left(\frac{dy}{dt}\right)_0^3 = 3V_0^3 m_1^2 (m-n); \\ \frac{dy}{dt} &= V_0 \sqrt[3]{5m_1^2 m} \\ dy &= V_0 \sqrt[3]{5m_1^2 m} \tau_0 (1-\varepsilon) dm = L_0 \sqrt[3]{5m_1^2 m} dm = \\ &= \frac{5}{4} L_0 \sqrt[3]{5m_1^2 dm^{\frac{4}{3}}}; \quad y-y_0 = \frac{5}{4} L_0 \sqrt[3]{5m_1^2 (m^{\frac{4}{3}} - n^{\frac{4}{3}})}; \\ y &= L_r = \frac{5}{4} L_0 \sqrt[3]{5m_1^2 \cdot m^{\frac{4}{3}}}. \end{aligned} \right\} \quad (I)$$

$$\left. \begin{aligned} dy &= V_0 \sqrt[3]{5m_1^2 m} \tau_0 (1-\varepsilon) dm = L_0 \sqrt[3]{5m_1^2 m} dm = \\ &= \frac{5}{4} L_0 \sqrt[3]{5m_1^2 dm^{\frac{4}{3}}}; \quad y-y_0 = \frac{5}{4} L_0 \sqrt[3]{5m_1^2 (m^{\frac{4}{3}} - n^{\frac{4}{3}})}; \\ y &= L_r = \frac{5}{4} L_0 \sqrt[3]{5m_1^2 \cdot m^{\frac{4}{3}}}. \end{aligned} \right\} \quad (II)$$

Wenn man m aus (I) und (II) ausschließt, so gelangt man zu dem Ausdrucke:

$$\left(\frac{dy}{dt}\right)_{y=L_r} = V_{\text{ank}} = V_0 \sqrt[4]{4m_1^2 \cdot \frac{L_r}{L_0}} = 180 \sqrt{\alpha i} \sqrt[4]{4m_1^2 \cdot \frac{L_r}{L_0}} = 180 \cdot \frac{52,17}{1000} \sqrt[4]{4 \cdot 0,142 \cdot \frac{3,8}{11,8}} = 3,8 \text{ m/sek.}$$

Der Winklersche Wert für dasselbe $i^{0/00} = 14,46$ ist $V_{\text{ank}} = 3,5$ m/sek.

Wir sehen nun, daß auch die V_{ank} ganz reelle, natürliche Werte haben, wobei unsere Werte im Gegensatz zu den Winklerschen mehr individualisiert sind, denn sie hängen von einer ganzen Reihe verschiedener Elemente ab, während die Winklerschen eine Funktion nur von i sind. Um die Vorzüge unserer Methode vollständig hervorzuheben, müssen wir auf die arithmetischen Mittelwerte der relativen Fehler der Berechnung von max Q in der Tab. I hinweisen, die entschieden zu Gunsten unserer Methode ausgefallen sind.

Wegen Mangel an Zeit haben wir hier die Lösung einer ganzen Reihe von Problemen unbeachtet gelassen. Diese sind: der Abfluß in einem hinsichtlich des Neigungswinkels

α und B unsymmetrischen Gebietes (gegeben sind dann α_1, α_2 und B_1 und B_2), was noch mehr den betreffenden Fall individualisiert; einseitigen Abfluß ($\alpha_1 = 90^\circ, B_1 = 0$), wie dieses bei der Berechnung der Kanalisationsgräben der Fall ist; der Fall der sekundären und tertiären Gebiete, die gemeinsam ein Q bilden; der Fall des Hydrometeorenschmelzwassers, kombiniert mit und ohne Regen; der dynamische Fall mit Berücksichtigung der Bewegung der Regenwolke und der Richtung dieser Bewegung, angegeben durch den Azimutwinkel.

Alle diese Fälle lassen sich an Hand unserer Theorie bequem untersuchen und geben für die Praxis brauchbare Resultate.

Es erübrigt noch zu sagen, daß es also möglich ist, einen so chaotischen Prozeß, wie es der Abfluß des Regenwassers in einem Gebiet ist, analytisch zu erfassen und Formeln zu geben, die einen praktischen Wert haben können.

Es sind heutzutage noch Meinungen vertreten, die dieses für unmöglich halten. Wir müssen im Zusammenhang damit aber darauf hinweisen, daß das Fließen in einem Flußbett nicht weniger chaotisch ist; dennoch ist es aber gelungen, diese Strömung analytisch zu erfassen. Wenn wir nun zu dem Abflusse auf einer geneigten, sehr unebenen Fläche übergehen, wie dieses die Abhänge sind, die ein Gebiet bilden, so müssen wir nicht vergessen, daß, ceteris paribus, die Unebenheit in Querrichtung zur Achse des Bassins keine große Rolle spielt; die in den Abflusselementen enthaltene Funktion $\sin 2\alpha \cos \alpha$ reagiert in sehr geringem Maße auf die Veränderlichkeit des Winkels α in großen Grenzen für gegebene Werte von α . Diese Funktion ist nur sehr empfindlich für kleine Werte von α , die seltener vorkommen. Was die Unebenheit in Längsrichtung anbelangt, die die Ursache der Bildung von sekundären Gebieten ist, so ist es hier schwerer zu beweisen, daß man auch hier die unebene Fläche durch eine ebene ersetzen kann. Dennoch sind hier zwei einander aufhebende Faktoren zu verzeichnen; ein Tropfen, der einem sekundären Bassin zufließt, wird sich langsamer bewegen, als auf einer ganz ebenen Fläche, denn die Schicht, in welcher er sich bewegt, ist dünner als im Falle einer ebenen Fläche. Von dem Momente an aber, wo dieser Tropfen in den konzentrierten Strom eines sekundären Gebietes kommt, wird er sich schneller bewegen als auf einer ganz ebenen Fläche. Diese beiden Faktoren wirken entgegengesetzt, so daß man annehmen kann, daß im gegebenen Zeitraum der Tropfen, der einer gemischten Bewegungsart folgt, denselben Weg zurücklegen wird wie auf einer ebenen Fläche. Glücklicherweise spielen die geometrischen Elemente in unserer Methode keine Hauptrolle; wenigstens braucht man diese Größen mit keiner großen Genauigkeit zu bestimmen. Wir haben zum Beispiel gesehen, daß der Kollektor letzten Endes nur durch eine einzige Größe i repräsentiert wurde, die außerdem in allen Formeln unter dem Wurzelzeichen sich findet, was den Genauigkeitsfehler für i zweimal reduziert. Es scheint nämlich, daß unsere Methode gar nicht so empfindlich gegen verschiedene Fehler und Ungenauigkeiten ist, die mit der Bestimmung der entsprechenden Größen verbunden sind, was auch die betrachteten Beispiele zeigen, bei denen man einen Konventionalismus doch nicht vermeiden konnte.

Alle diese Erwägungen lassen hoffen, daß sich die hier vorgeschlagene Methode eines praktischen Erfolges erfreuen wird, um die Frage der Berechnung der max. Q auf eine sichere, dem heutigen Zustand der Hydraulik entsprechende Basis zu stellen.

Neuere bodenphysikalische und erdbaumechanische Forschungsergebnisse in den nordischen Ländern.

Von Dr.-Ing. P. N e m é n y i, Berlin.
(Schluß von Seite 254.)

IV. Die allgemeinen Forschungsergebnisse.

Wir beginnen mit den Arbeiten, die sich auf die physikalischen Eigenschaften der Böden als solche beziehen, um dann auf die empirisch-statistisch festgelegten statischen Gesetze ganzer Erdbauten und schließlich die rationell abgeleiteten erd- und grundbaustatischen Methoden überzugehen.

Was die bodenphysikalischen Forscherarbeiten anbetrifft, müssen wir uns kurz fassen mit Bezug auf die als Grundlage für die praktischen Untersuchungsmethoden wenigstens andeutungsweise bereits angeführten Forschungsergebnisse; andererseits ist aber das, was in bodenphysikalischer Beziehung von skandinavischen Forschern geleistet wurde, so umfangreich, daß seine systematische Behandlung den Umfang dieses Berichtes erheblich überschreiten würde. Wir begnügen uns also hier mit einigen an Kapitel III sich anschließenden Mitteilungen.

Der Mineraloge Professor Goldschmidt hat 1926 eine Forschungsarbeit veröffentlicht (s. Literatur Nr. 17) über die Rolle, die das Wasser als polarisierendes Medium zwischen den einzelnen Tonteilchen spielt (polarisierend in dem kristallographisch-strukturgeometrischen Sinne dieses Wortes). — Der finnländische Eisenbahngeologe Thord Brenner hat in einem Vortrag 1925 seine Untersuchungen mitgeteilt, die z. T. rein deduktiv auf Grund einfacher Ueberlegungen den Zusammenhang zwischen Wassergehalt, Raumbgewicht und Korngröße von bindigen oder halbbindigen Erden behandeln. Seine Schlußfolgerungen erscheinen aber z. T. nicht zwingend, und es wäre wohl wünschenswert, die von ihm deduzierte Kurvenschar einer unmittelbaren experimentellen Prüfung zu unterziehen.

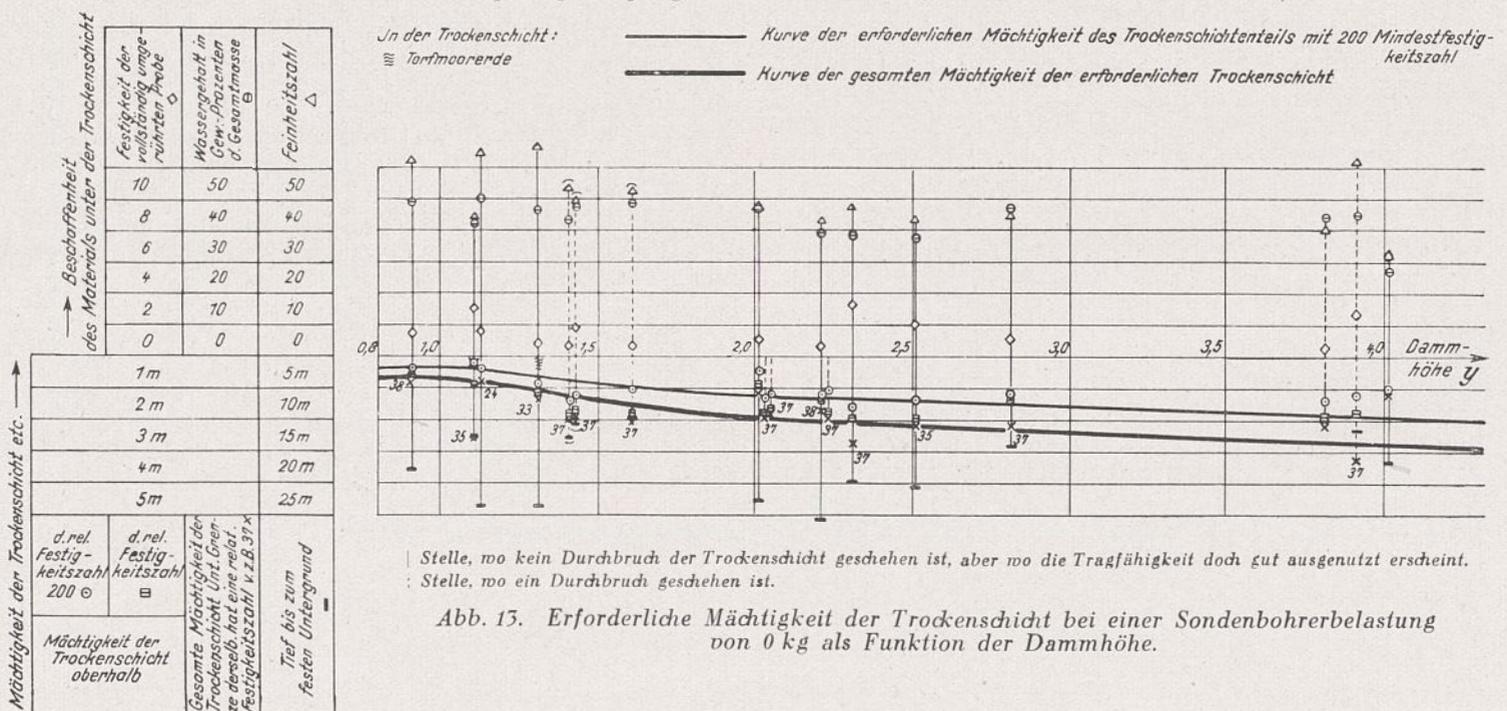
Ingenieur John Olsson hat in einem Vortrag, November 1926 (s. Literatur Nr. 5), über eine Forschungsarbeit berichtet, die sowohl von seiten der Forscher der Physik und der physikalischen Chemie der Tone als auch von seiten des Erdbauingenieurs beachtet zu werden verdient. Es handelt sich um allmähliche, nur von der Zeit bedingte Verfestigung von Tonen, die aus ihrem natürlichen Zustand durch Umrührung oder dergl. herausgebracht waren und einen sehr erheblichen Teil ihrer Kohäsion und Festigkeit eingebüßt haben, und zwar wahrscheinlich die geologisch jüngeren

Tone prozentual mehr als die durch atmosphärische oder sonstige Einflüsse schon veränderten. Olsson hat nun durch seine Forscherarbeit von 1926 gezeigt, daß eine solche vollständig umgerührte Tonprobe, wenn man sie hermetisch abgeschlossen hält, ihre Festigkeit anfangs rasch, dann langsamer steigert, bis sie im Laufe dreier Monate etwa $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ der Festigkeitszahl bei natürlicher Konsistenz erreicht. Er bringt dieses Phänomen in Zusammenhang mit einer anderen, vielleicht schon früher beobachteten, aber erst von ihm systematisch verzeichneten Erscheinung: Pfähle erhöhen ihre von der Reibung und dem Spitzenwiderstand abhängige Standfestigkeit in Tonböden mit der Zeit erheblich; man versteht dies, wenn man bedenkt, daß der Vorgang des Rammens eine teilweise Umrührung des umhüllenden Tons bewirkt, deren konsistenzvermindernde Wirkung mit der Zeit von selbst abnimmt. Als Beispiel führt Olsson u. a. an, daß ein 17,6 m im Boden steckender Pfahl (für ein Wasserturmfundament) seine Tragfähigkeit in zwei Tagen auf das Zehnfache, in einem Jahre aber auf das Fünfzehnfache⁶⁾ seiner Anfangstragfähigkeit (gemessen $\frac{1}{4}$ Stunden nach dem Rammern) vergrößerte; wir sehen also die sehr schnelle Verfestigung im Anfang und die langsame im späteren Verlauf. Bei anderen Versuchspfählen trat allerdings eine so starke Verlangsamung des Verfestigungsvorganges erst nach ein bis zwei Wochen ein.

Olssons hier im Auszug mitgeteilte Untersuchung gliedert sich organisch an die jetzt in dem Festigkeitslaboratorium der Technischen Hochschule Stockholm intensiv betriebene Forschung zur grundsätzlichen Klärung der Festigkeitseigenschaften von Tonen und anderen bindigen Erden an. Diese Forschung, welche von der Ingenieurs-Vetenskaps Akademie unterstützt wird, steht unter Leitung von Prof. Carl Forssell, der seinerseits von den Eisenbahntechnikern Olsson und Caldenius durch Untersuchungsmaterial unterstützt wird⁷⁾.

⁶⁾ Zahlen vom Referenten abgerundet.

⁷⁾ Ein Bericht über die Untersuchungen von Prof. Forssell ist m. W. noch nicht erschienen. Kurze Angaben über die Richtung der Untersuchung finden sich u. a. in dem Buche von Caldenius, ferner auch in dem Bericht der Ingenieurs-Vetenskapsakademien („Berättelse för åren 1919—1924“).



Stelle, wo kein Durchbruch der Trockenschicht geschehen ist, aber wo die Tragfähigkeit doch gut ausgenutzt erscheint.

Stelle, wo ein Durchbruch geschehen ist.

Abb. 15. Erforderliche Mächtigkeit der Trockenschicht bei einer Sondenbohrerbelastung von 0 kg als Funktion der Dammhöhe.

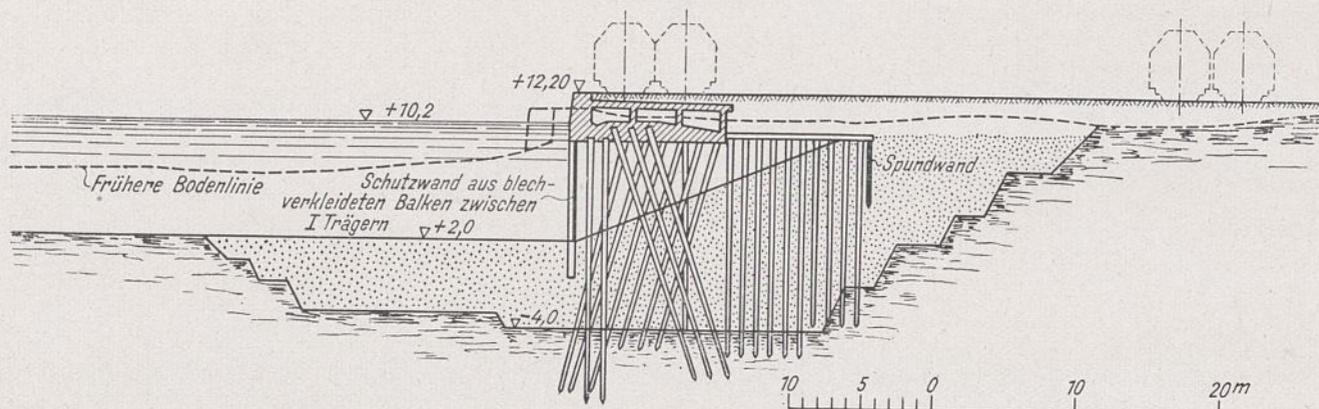


Abb. 14a. Rutschung am Stigbergkai in Göteborg. Vor der Rutschung.
Aus: Teknisk Tidskrift 1916, Heft 15.

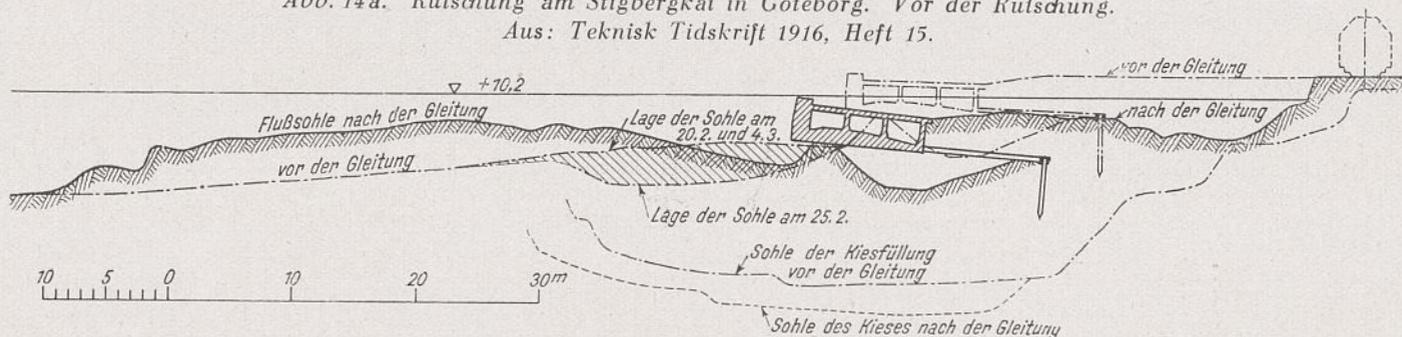


Abb. 14b. Rutschung am Stigbergkai in Göteborg. Nach der Rutschung.

Bei den Standfestigkeitsuntersuchungen von Erd- und Grundbauten ist zunächst die empirisch-statistische Untersuchung von Caldenius bemerkenswert (s. Lit. Nr. 21), die für den Eisenbahn- und Straßenbau in tonigen und lehmigen Gegenden von unmittelbarem praktischen Wert ist.

Die Arbeit von Caldenius ist ein in seiner Art bisher allein stehender Versuch, die Tragfähigkeit des Baugrundes als Funktion der Konsistenz und Mächtigkeit der Oberflächenschicht und der darunterliegenden mächtigeren nassen Erdschicht zu erfassen. Die Aufgabe ist indessen zunächst in folgender enger eingeschränkter Form gestellt und gelöst: Wie hoch darf ein eingleisiger Eisenbahndamm auf einem Ton-, Lehm-, Letten-, Schluff- oder ähnlichen Boden aufgebracht werden, wenn die Mächtigkeit und die relative Festigkeitszahl der ausgetrockneten Oberflächenschicht (Torrskorpe) bekannt ist und für die Beurteilung der Konsistenzigenschaften der darunterliegenden mächtigen nassen Masse ebenfalls Anhaltspunkte vorliegen. Die genaue Definition der hier vorkommenden Begriffe, wie „Mächtigkeit der Trockenschicht“ usw., hat im Laufe der etwa fünf Jahre der Durchführung dieser Forscherarbeit gewisse Wandlungen erfahren, und in der umfangreichen Veröffentlichung von Caldenius findet sich — nicht sehr zum Vorteil der Uebersichtlichkeit — auch ein Niederschlag der Ergebnisse der anfänglichen, mit noch nicht genügend ausgereiften Definitionen arbeitenden Untersuchungen. Wir beschränken uns im folgenden der Kürze halber auf die Mitteilung der Begriffsbestimmungen und die Lösung der Aufgabe, wie sie bei den letzten Untersuchungen gehandhabt wurden. Da es sich gezeigt hat, daß die Festigkeit bei natürlicher Konsistenz von der Erdoberfläche nach unten ziemlich rasch abnimmt bis zu einem bestimmten Punkte, von welchem eine weitere Abnahme nach unten nicht mehr erfolgt (vielmehr oft sogar eine allmähliche Zunahme nach unten einsetzt), lag es nahe, diesen Knickpunkt des Festigkeitsprofils als unteren Rand der Trockenschicht zu bezeichnen. Innerhalb dieser Trockenschicht ist der oberste Teil etwa (25 bis 40 vH des Ganzen) durch eine beträchtliche Härte und meist auch Sprödigkeit gekennzeichnet. Diese „Hartschicht“ ist dadurch näher definiert, daß ihre untere Grenze durch eine relative Festigkeitszahl von 200 vH gekennzeichnet wurde. (Der Rest der Trockenschicht wird für gewisse Untersuchungen noch in einen oberen „zähbildsamen“ und einen unteren „weichbildsamen“ Teil unterteilt, mit relativer Festigkeitszahl von 80 vH als Grenze. — Wir sehen also die Atterberg-

schen qualitativen Abgrenzungen zugunsten von quantitativ definierten, wenn auch zunächst nur relativen Grenzen angegeben.) Die Mächtigkeit der Trockenschicht und der Hartschicht bei bindigen Böden wechselt in weiten Grenzen und ist daher bei der Beurteilung der Standfestigkeit von Dämmen vor allen Dingen in Betracht zu ziehen. Andererseits lehrte das umfangreiche Untersuchungsmaterial, das sich auf verschiedene Dämme im ganzen Lande bezog, daß die mächtige Naßschicht, die sich unterhalb der Trockenschicht befindet, beinahe in jedem Falle ziemlich dieselbe relative Festigkeitszahl aufwies, trotzdem ihre anderen kennzeichnenden Eigenschaften (relative Festigkeitszahl bei vollständiger Umrührung der Proben, Wassergehalt, relative Feinheit) in recht weiten Grenzen wechselten. Diese geologisch und physikalisch noch wohl ziemlich ungeklärte, aber empirisch feststehende Tatsache hat Caldenius gezwungen, für die Charakteristik der Naßschicht eine andere Leitzahl zu suchen, die alles besagt, und er glaubt diese in dem dem Eintreiben des Sondenbohrers entgegengesetzten Widerstand, also der „Sondenbohrerbelastung“ gefunden zu haben. Daher sind die Caldenius'schen Kurven $y = f(x, s)$ und $y_1 = g(x, s)$ Kurven, bei denen y bzw. y_1 die nötige Mächtigkeit der Trocken- bzw. der Hartschicht, x die Dammhöhe und s die Sondenbohrerbelastung als Parameter sind. In Abb. 15 geben wir die beiden zu $s = 0$ gehörenden Kurven wieder; es sind der Originalveröffentlichung folgend auf derselben Abbildung auch die Daten aller zugrunde liegenden, zur selben Sondenbohrerbelastung gehörenden, wirklich beobachteten Dämme in leicht übersichtlicher Form angegeben, so daß dem entwerfenden Eisenbahningenieur durchaus die Möglichkeit zu einem kritischen Gebrauch und eventuellen Modifizieren der von Caldenius vorgeschlagenen y - und y_1 -Kurven gegeben ist⁸⁾.

Während die im Hinblick auf die Bodentragfähigkeit zulässige Höhe von Dämmen eine ziemlich neue Fragestellung ist, die vorläufig nur empirisch-statistisch erledigt werden konnte, ist die Stabilität von befestigten und unbefestigten Erdschnitten eine klassische Aufgabe der Erdbaumechanik und der theoretischen Bearbeitung in weitestem Umfange zugänglich. Die wiederholten Kai-rutschungen in Göteborg 1911 und 1916 haben, wie bereits

⁸⁾ Die Kurven von Caldenius erstrecken sich bis zu Dammhöhen von $x = 5$, z. T. auch 6 m. Wir haben wegen Raum-mangels nur das Stück bis 4 m mitgeteilt.

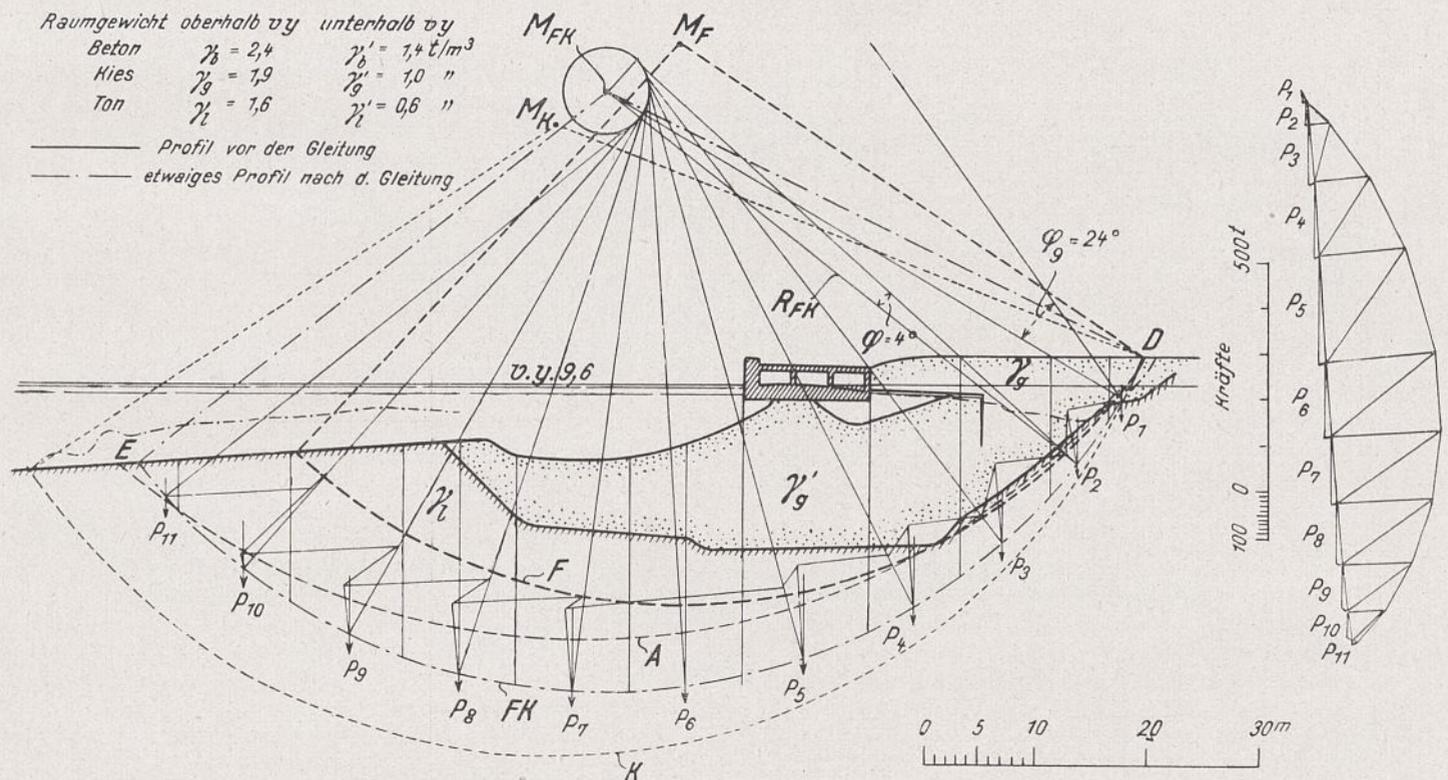


Abb. 14c. Statische Untersuchung des Rutschvorganges der Göteborger Stigbergkaianlage (W. Fellenius).

A = Gefährliche Gleitfläche durch den beobachteten landseitigen Endpunkt D und den vermuteten wasserseitigen Endpunkt E der Gleitfläche unter Berücksichtigung nur der Reibung.
 F = gefährliche Gleitfläche durch D. nur Reibung.
 K = " " " " Kohäsion.
 FK = " " " " Reibung und Kohäsion.

einleitend angedeutet wurde, einen entscheidenden Anstoß zu den neuen Forschungsarbeiten in Schweden gegeben.

Der Kai in Göteborg ist im wesentlichen ein Einschnitt in einem nassen Ton, dessen natürliche Böschung außerordentlich flach wäre und der daher zum Teil durch Kies ersetzt ist. In diesen Kies sind die Pfähle eingerammt und darauf der eigentliche Kaiüberbau errichtet (s. Abbildung 14a und b). Für die vorgekommenen Rutschungen war nun charakteristisch, daß die Pfähle gegeneinander und gegen den Kaiüberbau keine nennenswerten Verschiebungen erfuhren sondern im ganzen sich mitsamt Kiesfüllung längs einer ganz und gar im Tone gelegenen, also nicht von dem Böschungsfuß ausgehenden Gleitfläche bewegt haben; die Gleitfläche läßt sich im großen und ganzen durch eine Zylinderfläche und somit die Bewegung durch eine Drehung um einen festen Punkt ersetzen. Den Anstoß zur Rutschung gab das Baggern am Fuße der Böschung.

Die im Jahre 1916 von Hörnell an der gewählten Konstruktion geübte, wie es scheint ganz unbegründete, Kritik veranlaßte den früheren Leiter der Kaibauten, Prof. Fellenius, und seine Mitarbeiter, Knut Pettersson und Sven Hultin, ihre Konstruktionsgesichtspunkte und Untersuchungsmethoden in aller Ausführlichkeit in Teknisk Tidskrift zu veröffentlichen (s. Lit. Nr. 24 bis 26). Auf Grund der früheren Erfahrungen rechneten schon zu dieser Zeit die Kaikonstruktureure mit kreisförmig gekrümmten Gleitlinien, wie sie sich der Wirklichkeit gut anpassen. Auch wußten sie schon, daß im physikalischen Sinne des Wortes die Reibung des in Frage stehenden Materials ganz geringfügig ist, vielmehr der Gleitwiderstand vorwiegend auf der Kohäsion beruht. Mangels einer entsprechenden statischen Klärung hat aber Hultin der Kohäsion einfach dadurch Rechnung getragen, daß er auf Grund der Erfahrung einen der Höhe des Kais angepaßten gedachten Reibungswinkel φ benützt hat. Zur vergleichswisen Untersuchung von Erdbauten nicht erheblich verschiedener Höhen (bzw., genauer gesagt, nicht erheblich verschiedener, längs der Gleitfläche übertragener Normaldrücke) kann mit diesem Behelfe gut und zuverlässig gearbeitet werden. Die Methode von Hultin, welche von Fellenius anlässlich des Trondhjemer Kaibaues (s. Lit. Nr. 28) noch auf anders gelegene Fälle an-

gewendet wurde, zeichnet sich durch äußerste Anpassungsfähigkeit aus, indem sie die tatsächliche Verteilung des auf dem Ton lastenden Kiesballastes graphisch einwandfrei erfaßt. Die Tätigkeit bei der geotechnischen Kommission und die grundsätzlich wichtige Untersuchung von Westerberg haben schließlich Fellenius dazu geführt, die anpassungsfähige, rein graphische Arbeitsweise von Hultin auch bei direkter Berücksichtigung der Kohäsion sinngemäß anzuwenden. Seine Methode ist so anpassungsfähig, daß sogar die schichtenweise Veränderlichkeit der Kohäsionsbeiwerts ohne Schwierigkeit berücksichtigt werden kann. In seiner Abhandlung 1926 stellt Fellenius diese abschließenden Resultate für gleichzeitige Berücksichtigung der Reibung und Kohäsion bei Annahme beliebiger zylinderförmiger Gleitflächen systematisch für eine Anzahl Aufgaben zusammen (Abb. 14c). Auch teilt er ausführlich die Anwendung auf die Sonderfälle: nur Reibung, nur Kohäsion, mit. Auch die Wege der Anwendung von Gleitflächen, aus mehreren Kreisbögen zusammengestellt, sind gefunden.

Mit der Felleniuschen Arbeit ist die von Cullmann vor einem halben Jahrhundert durchgeführte Untersuchung einer gewöhnlichen freien Böschung für Kohäsion und Reibung in der weitestgehenden Weise auf alle Aufgaben des Erdgleichgewichts (mit Ausnahme elastisch nachgiebiger Stützglieder) bei gekrümmten Gleitflächen ausgedehnt. Somit ist diese Theorie geeignet, die Naturerscheinungen in jeder Beziehung genügend genau zu erklären, mit Ausnahme der elastischen Formänderungen der Erde, die nicht erfaßt werden; wollte man diese auch berücksichtigen, so müßte man auf Gleitflächen, längs welcher die Deformation auf einmal eintritt, ganz verzichten und würde auf kaum überwindliche Schwierigkeiten in der Entwicklung der Theorie stoßen. Auf eine nähere Besprechung der Ergebnisse von Fellenius kann verzichtet werden, da seine Abhandlung neuerdings auch in deutscher Sprache veröffentlicht ist.

Ein in den nordischen Ländern besonders bevorzugtes Gebiet der Statik ist jenes der Pfahlgründungen. Da muß einerseits die grundsätzliche Frage des Pfahlwiderstands in den verschieden gearteten Böden, insbesondere auch in bindigen Böden, betrachtet werden, ein Gebiet, auf welchem eine umfangreiche experimentelle Forschungs-

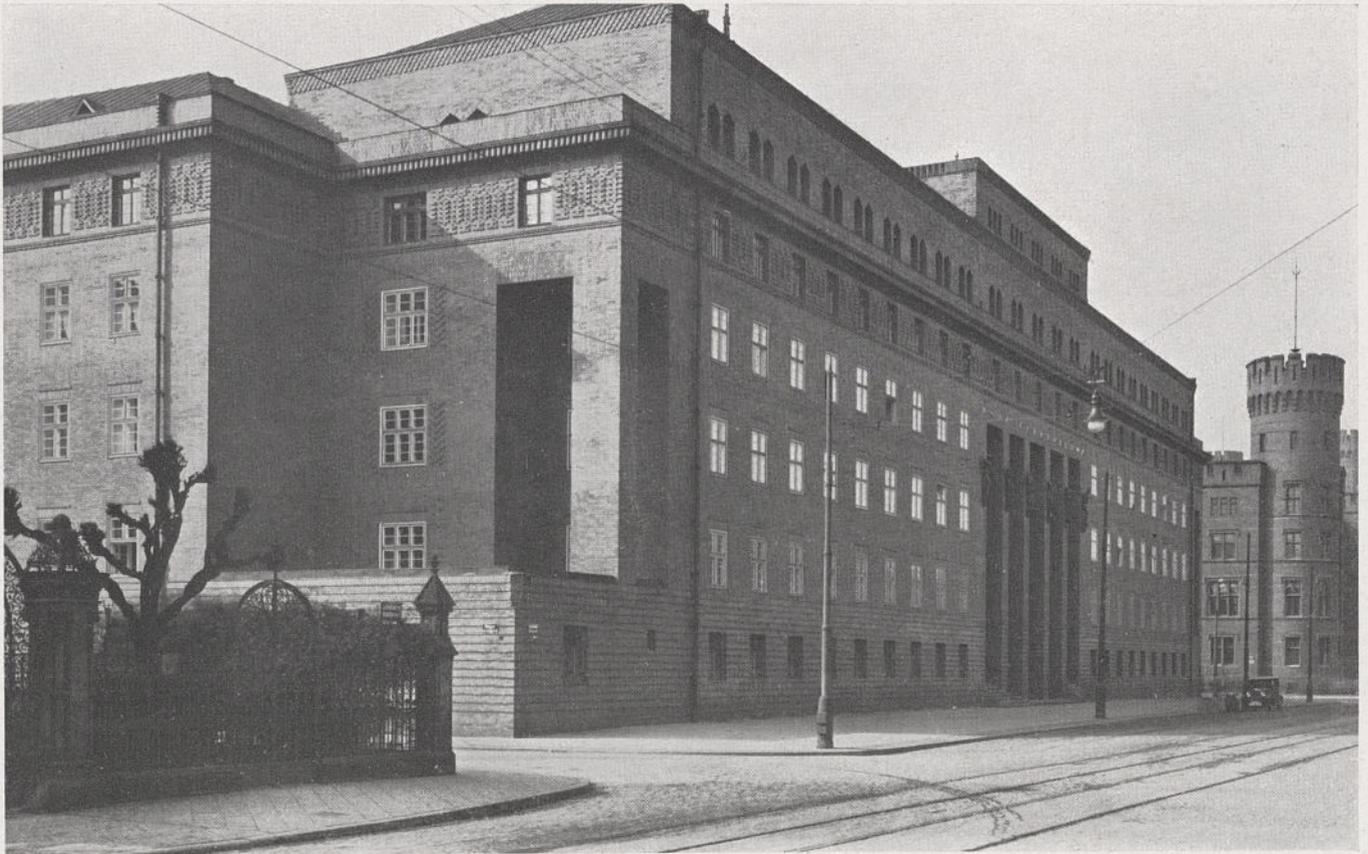


Mitte der Hauptfront.

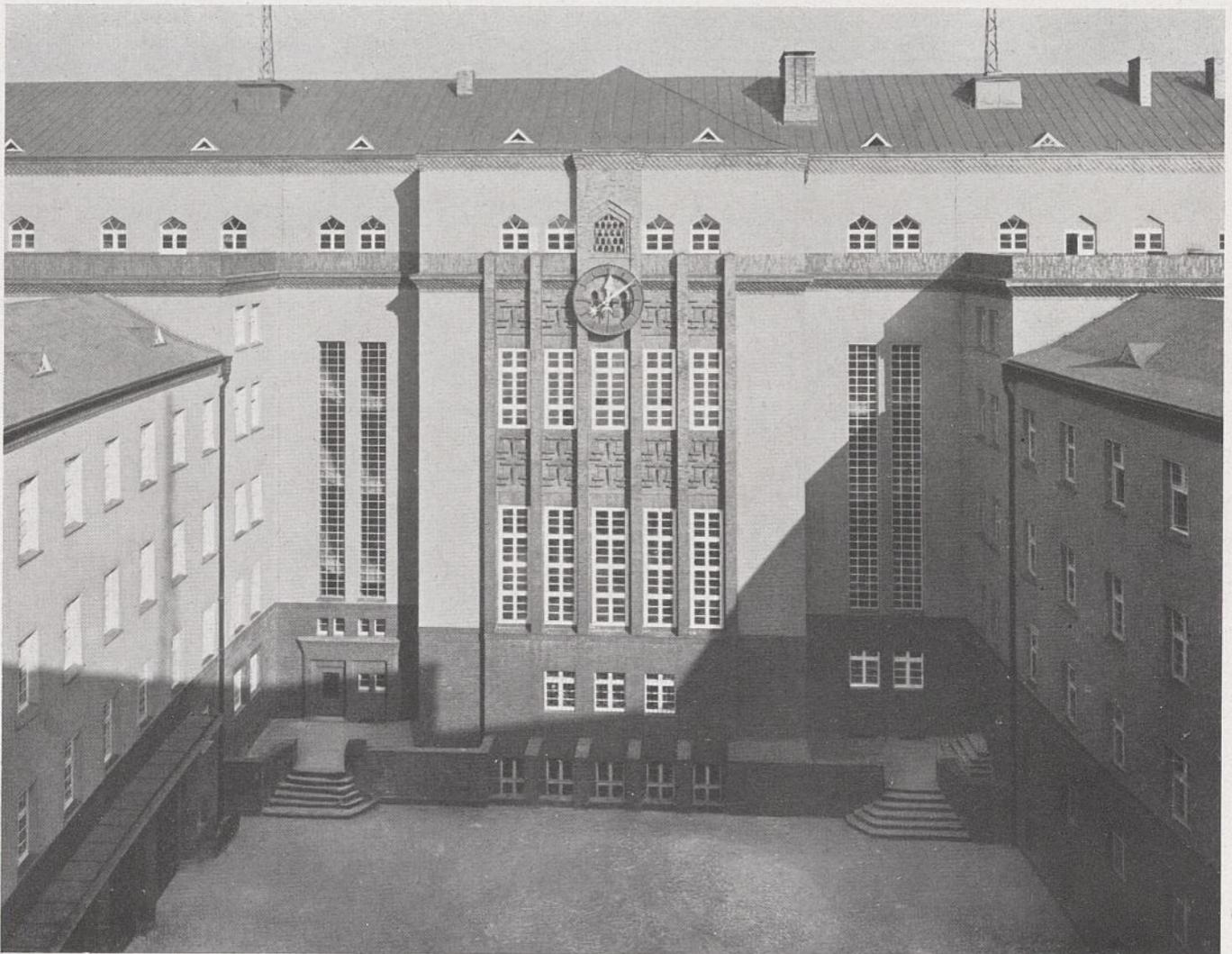
NEUBAU DES POLIZEIPRÄSIDIUMS IN BRESLAU.

Zeitschrift für Baugesen. 79. Jahrgang 1929. Heft 11.





Hauptansicht.



Haupthof.

NEUBAU DES POLIZEIPRÄSIDIUMS IN Breslau.

Zeitschrift für Baugesen. 79. Jahrgang 1929. Heft 11.

arbeit auf Veranlassung der Ingenieurs-Vetenskapsakademien von Prof. Forssell ausgeführt wurde⁹⁾. Hieran gliedern sich auch die Verfestigungsbeobachtungen von Olsson an. Andererseits und zunächst ganz unabhängig von derartigen Untersuchungen haben mit Hultins und Gullanders (1910 bis 1914, s. Lit. Nr. 55/54) wichtigen Arbeiten über Pfahlgründungen theoretische Forschungen eingesetzt, welche die Verteilung der äußeren Lasten auf die einzelnen Pfähle einer Pfahlgruppe zu ermitteln, also eine eigenartige Aufgabe der Tragwerkstatik zu lösen suchten. Diese letzteren Arbeiten kommen zu einem gewissen Abschluß durch Nöckentveds und Forssells Aufsätze (Literatur Nr. 55/56). Forssell verschaffte seiner das räumliche Problem erfassenden Untersuchung eine festere Grundlage, indem er den Einspannungsgrad der Pfähle oben in dem Betonkörper experimentell bestimmt hat und den Einspannungsgrad unten in der Sohle (für die für Schweden charakteristischen losen Tone) durch O. Mannerstråle¹⁰⁾ experimentell bestimmen ließ.

V. Die bleibenden Formänderungen von Erdkörpern.

Kapitel C des Endgutachtens der schwedischen geotechnischen Kommission behandelt den „allgemeinen Charakter der Bodenbewegungen“, worunter hier alle Formänderungen von Erdkörpern mit Ausnahme der rein elastischen zu verstehen sind. Diese Abhandlung, ein Niederschlag der Erfahrungen der achtjährigen Tätigkeit der geotechnischen Kommission (und auch aller vorhergehenden Einzeluntersuchungen) ist vielleicht das Beste, was über dieses Thema bisher im Zusammenhang geschrieben wurde. Der Mangel an Raum verbietet, diesen Aufsatz hier in aller Ausführlichkeit zu besprechen; es mag nur ein kurzer Auszug in etwas schematischer Form gegeben werden. Einteilung der bleibenden Formänderungen:

I. Erdzusammendrückung, veranlaßt meist durch Dämme oder sonstige Auflasten. Ein Teil des überschüssigen Wassergehalts des bindigen Untergrundes entweicht in den überlagernden Sand oder ins Freie. Hauptkennzeichen des Vorganges: er ist kontinuierlich und mit Erhöhung der Festigkeit des zusammengedrückten Materials verbunden.

II. Erdverschiebungen gehen nie ohne Bruch, also diskontinuierliche Vorgänge ab und werden durch die Ueberwindung der den Erdkörper zusammenhaltenden Reibungs- und Haftkräfte (Kohäsion) veranlaßt.

Einteilung der Erdverschiebungen.

Einteilungsgesichtspunkt	Einteilung
1. Nach dem Charakter der Verschiebung	A) Vorwiegend einsturztartig (kommt meist bei nichtbindigen Böden vor) B) Vorwiegend rutschungsartig (kommt meist bei bindigen Böden vor)
2. Nach der Veranlassung	Ⓐ) Statisch-dynamische Veranlassung a) Zunahme der aktiven Belastung b) Abnahme des Gegendruckes Ⓑ) Veranlassung in der Art der Konsistenz: a) Abnahme der Reibung b) Abnahme der Haftung (Kohäsion)
3. Nach dem Verlauf	α) Einfache Verschiebung β) Zusammengesetzte Verschiebung: a) vorwärtsschreitend (d. h. die Störung schreitet in der Richtung der Einzelverschiebung vor), b) rückschreitend (d. h. die Störung ist der Richtung der Einzelverschiebung entgegengesetzt).

⁹⁾ Noch nicht veröffentlicht. Vergleiche Fußnote 7).

¹⁰⁾ Diplomarbeit. Technische Hochschule Stockholm.

Man könnte vielleicht ein viertes, rein praktisches Einteilungsprinzip hinzufügen: nämlich die Einteilung nach dem veranlassenden oder betroffenen Bauwerk, also Erdverschiebungen unter Dämmen, bei Einschnitten, Kaimauern, Brückenpfeilern usw. So wenig sachgemäß die hier vorgeschlagene (eigentlich nächstliegende) Einteilung auf den ersten Blick auch scheinen mag, in Wirklichkeit kann sie doch auch fruchtbar sein, wie es Thord Brenners Untersuchungen über einen Typ von Verschiebungen, die unter Dämmen oder ähnlichen belastenden Erdbauten vorkommende Bodendurchbrüche vermuten lassen. Auf diese kommen wir gleich zurück.

Vorerst wollen wir aber zwei solche Beispiele von Rutschungen behandeln, die den Unterschied zwischen vorwärtsschreitenden und rückwärtsschreitenden Erdverschiebungen zu klären besonders geeignet erscheinen, denn diese Unterscheidung ist wohl jene, die in obigem Schema am meisten einer Erläuterung bedarf¹¹⁾.

Die Mehrzahl der Verschiebungen ist zusammengesetzt und von vorwärtsschreitendem Charakter; als Beispiel wählen wir die Rutschung bei Härnasee an der Linie Borås—Ulricehamn, die das größte Textilzentrum Südschwedens mit der kleinen Hafenstadt Ulricehamn verbindet¹²⁾. An dieser Linie ist, und zwar am südwestlichen Ende des Härnasees, am 24. April 1919 ein Bahndamm unmittelbar vor Durchfahrt des Zuges zwischen 7 und 8 Uhr abends in der Länge von etwa 55 m und in seiner halben Breite in den See hineingerutscht. Eine Stunde vor der Katastrophe fand der Wächter keine Spur von irgendeinem Schaden, und der Lokomotivführer hat in der Dämmerung die Dammrutschung nicht bemerkt; der Zug ist entgleist, der Lokomotivführer wurde getötet und die Lokomotive beschädigt. Der Verlauf des Rutschungsvorganges war der folgende: Der Damm (Abb. 15), dessen seeseitiger Rand auf loser, mächtiger Sedimentschicht aufruhete, während die andere Hälfte auf festerer und dazu dünner Sedimentschicht lag, ist auf die geringfügige Veranlassung der Gefügeverschlechterung infolge des Tauwetters und des plötzlich sinkenden Hochwassers in zwei Teile gerissen und die seeseitige Hälfte in den See hineingelitten; hier brach sie die lose Schicht schroff durch, verursachte örtlich landwärts der Bruchlinie starke Senkungen, jenseits der Bruchlinie aber weit in den See hinein eine Hebung der Seesohle. Wir sehen also, daß die Wirkung des Rutsches in ihrer Richtung weiter wirkt. Die ungünstig gelegte Trasse der Bahn wurde nach dem Unglück landwärts verlegt.

Als Beispiel für eine sich entgegengesetzt zur Gleitrichtung auswirkende Rutschung kann eigentlich die Rutschung in jedem Einschnitt dienen. In besonders klarer und einfacher Weise sehen wir den rückwärtsschreitenden Verlauf bei einem bedeutenden Rutsch bei Vallby an der Strecke Nyköping—Norrköping 1916. Die Rutschung wurde von dem Bahnwächter rechtzeitig bemerkt; als er an der Stelle ankam, war der Einschnitt in 1 bis 2 m Tiefe mit Erde gefüllt, aber der Vorgang noch nicht beendet. So konnte er beobachten, wie nach und nach die Lockerung sich bergwärts fortgepflanzt hat, und weitere Tonschollen herunterglitten. Glücklicherweise konnte der Zug rechtzeitig gewarnt werden, so daß keine Katastrophe eintrat. Auch hier (Abb. 16), wie beim vorhin angeführten Beispiel kann man deutlich die eigentliche Ursache der Rutschung von der momentanen Veranlassung trennen. Die Ursache lag darin, daß gerade an dieser Stelle oberhalb der Moräne ein besonders loser, sehr nasser, schluffartiger Bänderton lagert, und gerade an der Stelle, wo die Rutschung eintrat, gehen diese besonders losen Schichten tiefer

¹¹⁾ Wir entnehmen diese Fälle dem umfangreichen Schlußkapitel (H) des schwedischen Endgutachtens, welches nebst anderen Sonderuntersuchungen die Beschreibung von etwa 15 konkret untersuchten Erdrutschungen bzw. Einstürzen enthält.

¹²⁾ Privatbahn. In den 75 Jahren Privatbahnbetrieb in Schweden ist nur dieser eine Eisenbahnunfall aus erdbaulichen Gründen vorgekommen. Ebenso ist auch bei den Staatsbahnen nur ein solches Unglück geschehen.

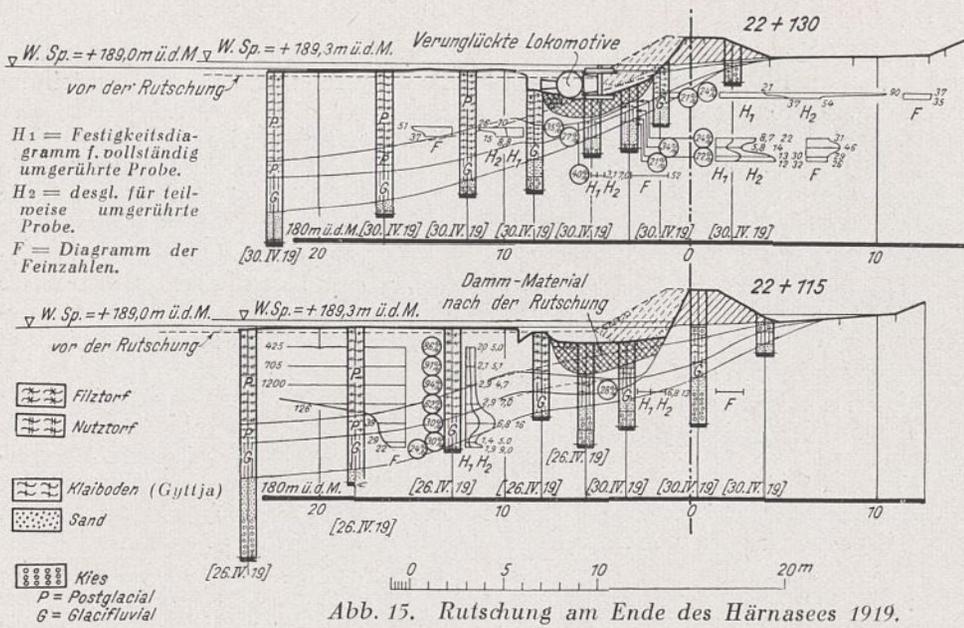


Abb. 15. Rutschung am Ende des Hårnasees 1919.

schichtendurchbruch stets notwendig Hand in Hand gehende Wellenbildung hat Brenner bemerkenswerte Beobachtungen gemacht. Da die Arbeit etwas gekürzt in „Fennia“ auch deutsch veröffentlicht ist, so braucht auf seine höchst-

bemerkenswerte Entwicklungen nicht näher eingegangen werden. Es sei nur noch erwähnt, daß Brenner als allgemeine Grundanschauung die Tatsache ermittelt hat, daß ein und dasselbe Material je nach Größe und Art des Kraftangriffs sich bald als elastisch, bald als spröde-brüchig, bald als bildsam zeigen kann. Lennard von Post hat sogar gezeigt, daß die vor unseren Augen sich abspielenden natürlichen oder zufälligen Vorgänge in losen Erden und Erdbauen als Vorbild zur Rekonstruktion gewisser unter Wirkung der gewaltigen Kräfte in früheren geologischen Epochen aufgetretenen Verformungen fester Gesteine dienen können.

hinunter als anderwärts. Die momentane Veranlassung aber lag in einer vorübergehenden Temperaturerhöhung, die der obersten Trockenschicht des Tons durch Infiltration Wasser zugeführt, das Gewicht der Trockenschicht erhöht, und dadurch statisch-dynamisch die Vorbedingungen für eine Gleichgewichtsstörung geschaffen hat. Aber auch eine Konsistenzstörung dürfte mitgewirkt haben, indem das atmosphärische Wasser allmählich den losesten Teil des schluffartigen Tons herausgewaschen oder doch gelockert hat. Aus der Abb. 16 geht die Anordnung hervor, durch die die Stabilität der Böschung nachträglich verbessert wurde.

Im Anschluß an Brenners Arbeit mag noch erwähnt werden, daß die Durchbruchvorgänge in ihrem zeitlichen Verlauf durch Sprengungen beschleunigt werden können, von welchem Vorgange unter anderem die finnländischen Staatseisenbahnen bei der Erweiterung des Bahnhofes Helsingfors und Friedrichsberg Gebrauch gemacht haben. Will man aber einen nicht unbedingt zu befürchtenden Erddurchbruch, statt ihn künstlich zu beschleunigen, ganz vermeiden, dann mag man die Kenntnis der Wellenbildungsgesetze benützen, indem man Gegendämme an den Stellen errichtet, welche bei einem etwaigen Durchbruch sich hochheben müßten. Diese Methode wurde ebenfalls bei denselben Bauausführungen gelegentlich angewendet.

Ein besonders interessanter Typ von Erdverschiebungen sind die von Thord Brenner behandelten Durchbrüche der Trockenschicht des Tons oder Lehms unter schweren Erddämmen, auf die wir andeutungsweise oben schon hinwiesen. Auch bei dem oben angeführten Beispiel einer Rutschung am See war ja ein Durchbruch der Oberflächenschicht festgestellt; dort war es aber eine sekundäre Erscheinung nach der Rutschung, wogegen Brenner seine Aufmerksamkeit auf Fälle richtet, deren Unsymmetrie nicht so ausschlaggebend ist, also auf in ihrem primären Verlauf annähernd oder vorwiegend symmetrische Vorgänge. Brenner stellt fest, daß auch solche typische Erddurchbrüche doch im wesentlichen den Charakter von Rutschungen besitzen, und zwar manchmal einfache, vielfach aber zusammengesetzte Rutschungen sind; in letzterem Falle sind sie stets vorwärtsschreitend, wie es aus der Natur der Sache klar ist. Es gelang Brenner, außerordentlich schöne Beobachtungen über den Vorgang dieser zusammengesetzten Rutschungen zu sammeln (Abb. 17a, b und c), unter anderem hat er festgestellt, daß in vielen Fällen der Einbruch des Dammes trotz anfänglicher Symmetrie der Anordnung in abwechselnden, links- und rechtsseitigen Einzelgleitungen vor sich geht¹³⁾. Auch über die mit dem Trocken-

Außer den bleibenden Formänderungen haben die schwedischen und finnländischen Geotechniker auch die charakteristischen elastischen Formänderungen von Dämmen auf Torf bei dem Durchfahren von Zügen untersucht. Die Methoden dieser umfangreichen, bemerkenswerten Untersuchungen finden sich ebenfalls im Kapitel H des schwedischen Endgutachtens¹⁴⁾.

¹³⁾ Die scheinbar vollständige Symmetrie eines gegebenen Gebildes bedingt bei Labilitätserscheinungen keineswegs immer die Symmetrie des Ablaufes. Vergl. z. B. die Erscheinung der Kármánschen Wirbelstraße.

¹⁴⁾ An dieser Stelle mag eine Bemerkung über den Umfang der geleisteten praktischen Arbeit der geotechnischen Kommission und Abteilung der schwedischen Staatseisenbahnen eingeschaltet werden. In dem 1926 erschienenen Bericht für 1925 der Bahnabteilung der Staatsbahnen ist in Landkartenform eine Gesamtübersicht über das bisher Untersuchte gegeben. Daraus kann man abschätzen, daß schon bis 1926 nahezu ein Viertel des gesamten bestehenden und damals im Bau befindlichen Staatseisenbahnnetzes vom geotechnischen Standpunkt systematisch

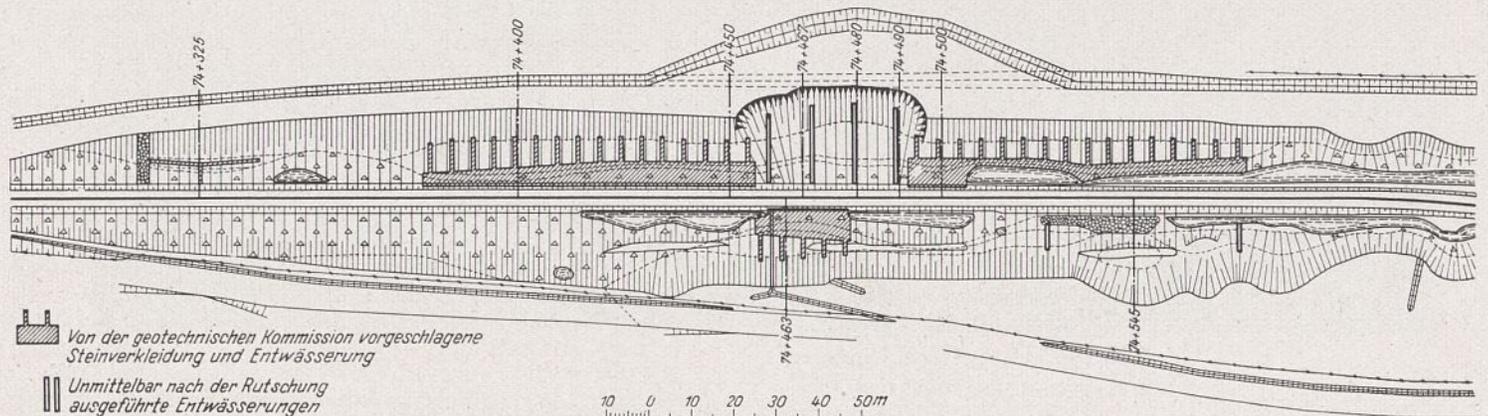


Abb. 16. Rutschung im Einschnitt Vallby 1916.

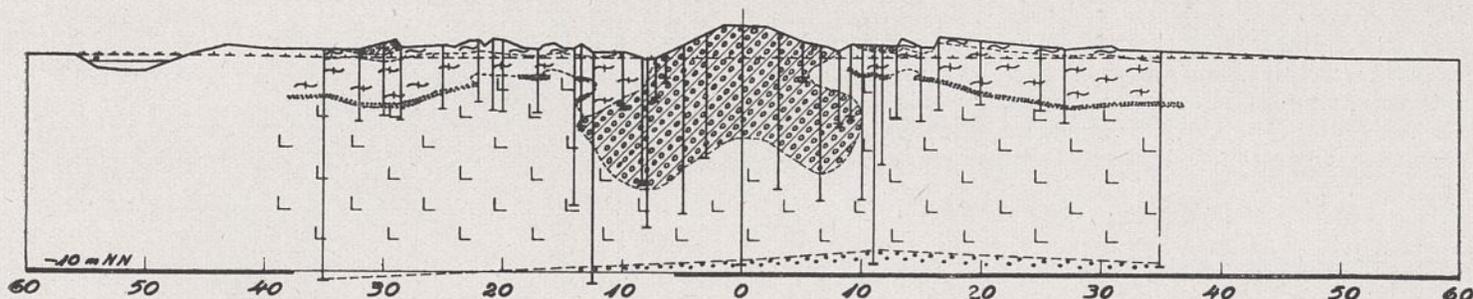


Abb. 17a. Symmetrische Massenverdrängung.

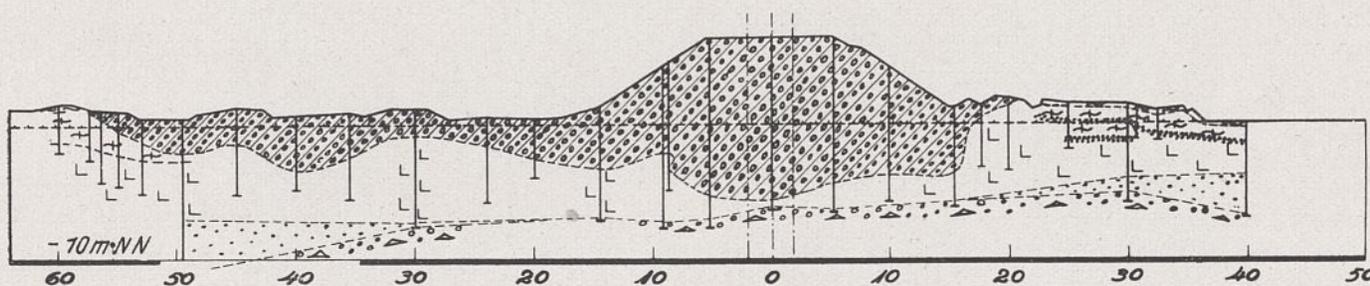


Abb. 17b. Unsymmetrische Massenverdrängung.

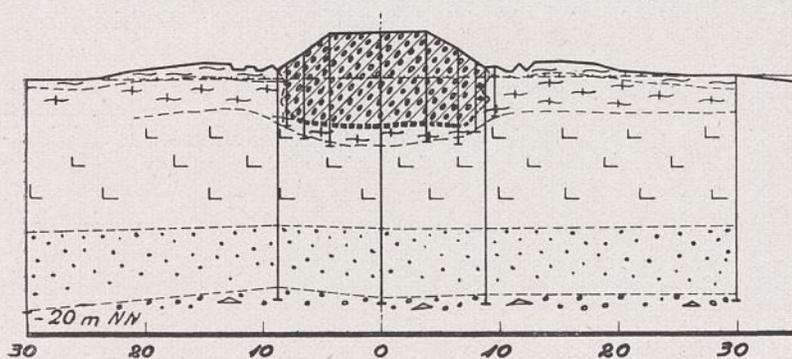


Abb. 17c. Einfluß der Anordnung eines Schwellrostes auf die Massenverdrängung.

1	5	9
2	6	10
3	7	11
4	8	12
		13

Zeichenerklärung.

1 = Bohrlöcher, 2 = ehemalige Bodenoberfläche, 3 = Torf, 4 = Gyttja, 5 = tonhaltige Gyttja, 6 = Ton, 7 = Schluff („Mo“-Erde), 8 = Sand, 9 = Kies („Grus“), 10 = Moräne, 11 = Fels, 12 = Füllmaterial, 13 = hölzerner Gründungsrost.

VI. Beobachtung der Erdarbeiten, Rutschungswarnung, Sicherheitsfragen.

Die Rutschungen treffen meist nicht ganz ohne Vorboten ein. Die Kairutschungen in Göteborg haben sich Tage vorher durch geringe, auf Reißbildungen zurückzuführende Verschiebungen bemerkbar gemacht. — Die schwedische geotechnische Kommission hat die systematische Beobachtung aller gefährdet erscheinenden Stellen angeordnet, und zwar sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung. Aus dem Charakter der zeitlichen Verlaufes der Verschiebungen kann man feststellen, ob es sich um eine Zusammendrückung des Dammaterials, eine Verdichtung des Untergrundes oder um Reißbildungen als Vorboten von Verschiebungen handelt. — Die Beobachtungen geschehen normalerweise mit Hilfe geodätischer Meßinstrumente. Für nur lotrechte Beobachtungen, falls sie in sehr kurzen Intervallen erfolgen müßten, hat die geotechnische Kommission eine neuartige Anordnung getroffen, die es gestattet, die lotrechte Verschiebung eines Damm- oder Einschnittpunktes in bezug auf den festen Untergrund jederzeit abzulesen. Das Gerät, Bodenpegel genannt, geht aus Abb. 18 hervor, die keiner näheren Erläuterung bedarf. — Liegt die Trasse an der Berglehne, so können Bodenpegel auch in wagerechter Richtung angeordnet werden.

Das abgebildete Gerät ist von der Kommission weiter entwickelt worden, damit es auch als Alarmapparat dienen und somit bei etwa plötzlich eingetretener Bodenverschiebung ein Zugunglück verhüten könne. Diese Anordnung, welche als Rutschungswarnungssystem bezeichnet wird, be-

und lückenlos untersucht wurde und außerhalb dieser Strecken über 100 Einzeluntersuchungen vorlagen. Unter letzteren sind mehrere eingehende Tunneluntersuchungen hervorzuheben, die zu Verstärkungsvorschlägen geführt haben, worüber indes zurzeit noch keine Veröffentlichungen vorliegen.

steht darin, daß ein oder mehrere Bodenpegel an eine elektrische Leitung angeschlossen werden, durch welche dauernd Strom hindurchgeht, so lange die Pegel nur unerhebliche Verschiebungen anzeigen. Nach bestimmten Zeiträumen wird der Pegel von den Bahnwächtern wieder auf die Ausgangslage eingestellt. Uebersteigt nun die Bewegung des Pegels nach vorherigem Einstellen einen bestimmten Betrag (z. B. 1 cm), so wird der Strom unterbrochen und irgendein Signal in Tätigkeit gesetzt.

Diese Anordnung wird überall, sowohl bei den schwedischen als neuerdings auch bei den finnländischen Staatsbahnen dort eingerichtet, wo man auf Grund der Beobachtungen eine gewisse Rutschgefahr anzunehmen gezwungen ist, und dabei aus wirtschaftlichen Gründen auf eine vollständige Sicherung der Standfestigkeit verzichtet. Die geotechnische Kommission ist nämlich durch eingehendes Studium zur Erkenntnis gekommen, daß es wirtschaftlich nicht angängig ist, eine vollständige Sicherung der Stabilität der Eisenbahnerdarbeiten zu fordern (etwa in dem Sinne, wie unsere Brücken und Staumauern „vollständige“ Sicherheit haben, indem die der Rechnung zugrunde gelegten Wind- bzw. Wasserdrücke alles bisher Beobachtete erreichen oder überschreiten und die zugelassenen Beanspruchungen alle beobachteten Festigkeiten erheblich unterschreiten). Denn bei Erdarbeiten kann vielfach eine geringfügige Steigerung der Sicherheit ganz unverhältnismäßig große Mehrkosten verursachen. Nach einer Ueberschlagsberechnung der Kommission würde eine „vollständige“ Sicherung des gesamten schwedischen Staatsbahnnetzes rd. 100 Millionen schwedische Kronen kosten, wogegen die gesamten Kosten die durch alle bisherigen Rutschungen verursacht wurden, nur einen kleinen Bruchteil dieses Betrages bilden. Da nun durch das Rutschungswarnungssystem jegliche Gefahr für Menschenleben und rollendes Material ausgeschaltet ist, kann bei dem Neuanlegen von Eisenbahnen durch rein

zahlenmäßigen Vergleich des kapitalisierten Wertes der durch Rutschungen zu erwartenden erhöhten Unterhaltungskosten mit der Differenz in den Anlagekosten die zu wählende Anordnung bestimmt werden, wobei allerdings auch noch die eventuellen Verkehrsunterbrechungen zu Lasten der weniger gesicherten Anordnung zu berücksichtigen sind.

Wie schon an anderer Stelle angedeutet wurde, wird die Sicherheit im allgemeinen bei freien, d. h. nicht gesicherten Erdarbeiten durch Vergleich mit anderen ähnlichen, in ihrer praktischen Bewährung bekannten Erdbauten beurteilt. Bei gesicherten Erdbauten wird bekanntlich der Mauerkörper für die vollen, im Augenblick des Gleitens wirkenden Erddruckkräfte berechnet. Für ungestützte Erdbauten fehlten indessen bislang Anhaltspunkte für eine solche Sicherheitsbeurteilung. Fellenius behandelt am Schlusse seiner neuesten, unter IV besprochenen Arbeit auch diese Frage.

Für reine Kohäsion (ohne Reibung) schlägt er folgenden annehmbaren Ansatz vor: man untersuche das vorhandene Erdbauwerk daraufhin, bei welchem Kohäsionsbeiwert es gerade noch im indifferenten Zustande sich befindet, also die Grenze der Labilität. Wenn diesem Zustand eine Kohäsionszahl K entspricht und die durch Messung ermittelte Zahl K_1 ist, dann nenne man $\frac{K_1}{K} = n$ die Sicherheit. Man wähle diese Sicherheitszahl für Neubauten etwa zwischen 1,1 und 1½, je nachdem, in welchem Maße man sich auf das dauernde Vorhandensein der im Laboratorium ermittelten Kohäsion verlassen kann. — Für Böden nur mit Reibung (oder mit Reibung und Kohäsion) ist es leicht einzusehen, daß eine ähnliche Begriffsbestimmung keine zweckmäßige wäre, denn das Rechnen mit $\frac{1}{n}$ -fachem Reibungsbeiwert

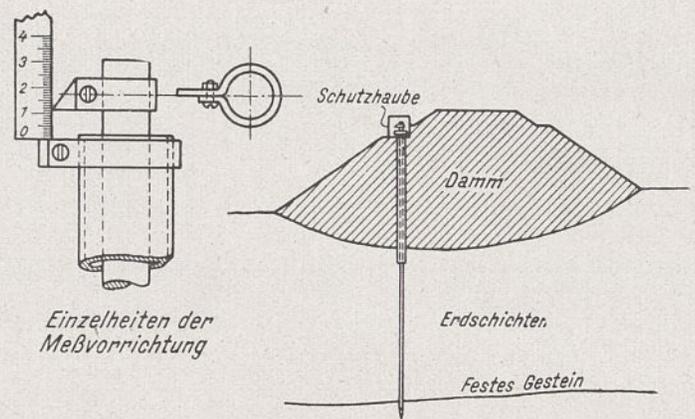


Abb. 18. Bodenpegel.

bedeutet keineswegs immer $\frac{1}{n}$ -fache Sicherheit (noch weniger wenn man dasselbe mit dem Reibungswinkel machen wollte). Für solche Bodenarten schlägt Fellenius ganz andere Definitionen für den Sicherheitsgrad n vor, in welchen die Begriffe „störende“ und „stabilisierende“ Kräfte eine Rolle spielen (ähnlich etwa, wie man die Kipp-sicherheit eines Brückenpfeilers mit Hilfe einer derartigen Unterscheidung der Kräfte definiert). Für die Definitionen selbst und deren nähere Begründung mag auf die Original-schrift von Fellenius hingewiesen werden, die nicht nur für die graphische Statik der Erdbauwerke wichtige, z. T. abschließende Resultate enthält, sondern auch einige grundsätzliche Fragen der Erdbaumechanik durch wertvolle sinnreiche Überlegungen der Lösung näherbringt.

Literaturverzeichnis.

1. Kungl. Järnvägsstyrelsen, Geol. Kommission Slutbetänkande. Statens järnvägar Geotekniska meddelanden 2. Maj 1922.
2. John Olsson. Kolvborr, ny borrhyp för upptagning av lerprov. Teknisk tidskrift 28. Febr. 1925, S. 16.
3. John Olsson: Om grundundersökningar vid våra järnvägar Nordisk Järnbanetidskrift 1927, S. 17.
4. Banavdelningens berättelse (Statens Järnvägars publikation), År 1925.
- 5, 6, 7, 8. Finska statens Järnvägsstyrelsens berättelse, 1923, 1924, 1925, 1926.
9. Thord Brenner: Några karaktärsdrag hos sydvästra Finlands leravlagringar. Fennia 45, No. 5, 1925.
10. Thord Brenner: Varviger överlagrad av morän från trakterna öster om Jyväskylä stad i Finland. Fennia 47, No. 9, 1927.
11. Thord Brenner: Beispiele von Massenverdrängung durch Bodenbelastung. Fennia 50, No. 19, 1928.
12. Thord Brenner: Exempel på markgenombrott genom bankbelastning. Särtryck ur tekniska föreningens i Finland förhandlingar 1928.
13. Thord Brenner: Jordarterna i geotekniken. Tekniska föreningens i Finland förhandlingar. Febr. 1925, S. 21.
14. Thord Brenner: Banvallen i Djurgården. Tekniska föreningens i Finland förhandlingar Juli 1925, S. 124.
15. Sven Odén: Studien über Tone; 1. Allg. Einleitung zur Chemie und physikalischen Chemie der Tone, Upsala 1916; 2. Automatisch registrierende Methode zur mechanischen Bodenanalyse.
16. Atterberg: Die Plastizität und Bindigkeit liefernden Bestandteile der Tone.
17. V. M. Goldschmidt: Undersökelse over Lersedienenter Nordisk Jordbruksforskning 1926. Heft 4—7.
18. Statens Råstoffkommitté: Undersökelse over norske lerer.
19. Johs. Grenness: Undersökelse over kornstørrelser hos lerer. Teknisk Ukeblad, 27. Januar 1928 (Nr. 4), u FF. 5. Febr. 1928 (Nr. 5).
20. O. L. Hals: Utmuring av råtegang i bukkefjell tunnel. Meddelelser fra Norges statsbaner. 1927 Aug. Nr. 4, S. 66.
21. Carl C. Lon Caldenius: Bidrag till kännedomen om relationen mellan markbeskaffenhet, och markbärighet sådan den registreras genom hållfasthetstals bestämningar. Ingeniörs Vetenskaps Akademien Handlingar Nr. 42, 1925.
22. Carl Forssell: Jordtryk: en elasticitetsproblem. In der „Hyllningskrift J. G. Richert tillägnad“, Stockholm.
23. Hörnell: Kajraset i Göteborg. Teknisk Tidskrift 1916.
24. Fellenius: Kajraset i Göteborg. Teknisk Tidskrift 1916.
25. Petterson: Kajraset i Göteborg. Teknisk Tidskrift 1916.
26. Sven Hultin: Hrusfyllningar för Kajbyggnader, bidrag till deras Stabilität. Teknisk Tidskrift 1910.
27. Göteborgs Hamnstyrelse: Handlingar rörande 1916 Års, kajkommission.
28. Fellenius: Kajbyggnader för Trondhjems hamn. Teknisk Tidskrift 1918.
29. Westerberg: Jordtryk i kohesionära Jordarter Teknisk Tidskrift, väg- och vattenbyggnadskonst 1921.
30. Fellenius: Jordstatiska beräkningar med friktion och kohäsion för cirkuläre cylindriska klidytor (Aufsatz 7, in kongl. väg- och vattenbyggnadskårens 75 Årsskrift 1926).
31. Fellenius: Erdstatische Berechnungen mit Reibung und Kohäsion für kreiszylindrische Gleitflächen. W. Ernst und Sohn. Berlin 1927.
32. Knut E. Petterson: Erfarenheter från provning av pålar (Aufsatz 14 in Kongl. väg- och vattenbyggnadskårens 75 Årsskrift 1926).
33. Per Gullander: Teori för grundpålningar. 1914, Stockholm (Citert bei Carl Forssell: siehe Nr. 36).
34. Sven Hultin: Om beräkning av grundpålningar (Ind. Norden 1911). (Citert bei C. Forssell: siehe Nr. 36).
35. Nøkkentved: Beregning af Pæleverker. Köpenhamn 1924 (Citert bei C. Forssell: siehe Nr. 36).
36. Carl Forssell: Knäcksäkerhet hos pålar och pålgrupper. (Aufsatz 10 in Kungl. väg- och vattenbyggnadskårens 75 Årsskrift 1926).

Druckfehlerberichtigung:

Auf Seite 235 muß durchweg und in der 19. Zeile der linken Spalte von Seite 234 statt $v = v$ gesetzt werden. Auf Seite 234 linke Spalte 5. Zeile von unten heißt es statt „zugespitzte“ = zugehörige.

Unter Abb. 10 Seite 235 ist statt „Berechnung“ = Bestimmung zu setzen.