

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 109/110 (1937)
Heft: 15

Artikel: Die Internationale Rheinregulierung vor der Illmündung bis zum Bodensee
Autor: Müller, Robert
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-49132>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 19.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Die Auswertung von (5) erfolgt derart, dass für verschiedene Isolierstärken sowohl die linke als auch die rechte Seite von (5) ausgerechnet werden. $-\frac{\Delta Q}{\Delta s}$ wird je aus der Differenz der Wärmeverluste Q_1 und Q_2 zweier um den Betrag Δs verschiedener Isolierstärken s_1 und s_2 berechnet und dem Mittelwert $s_m = \frac{s_1 + s_2}{2}$ zugeordnet. Es ist zu bemerken, dass $\frac{dQ}{ds}$ (siehe Gleichung 5) nichts anderes ist als die Tangente an $Q = F(s)$, und diese Tangente ist für den Mittelwert s_m mit ausreichender Genauigkeit durch $\frac{Q_2 - Q_1}{s_2 - s_1} = \frac{\Delta Q}{\Delta s}$ gegeben. Für diesen Mittelwert wird dann auch die rechte Seite von (5) ausgewertet, wobei sich ΔP aus der Differenz der beiden, den Isolierstärken s_1 und s_2 zugeordneten m^2 -Preise ergibt. Diese Auswertung für y ist auch dann praktisch genügend genau, wenn die P -Kurve zwischen s_1 und s_2 gekrümmt verläuft. Für das angegebene Beispiel ergibt sich folgende Tabelle:

Tabelle 2.

| 1 | s | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 |
|---|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 2 | Q^2 | 56,0 | | 49,9 | | 45,4 | | 41,9 |
| 3 | $-\Delta Q$ | | 6,1 | | 4,5 | | 3,5 | |
| 4 | $-\frac{\Delta Q}{\Delta s}$ | | 0,61 | | 0,45 | | 0,35 | |
| 5 | da | | 250 | | 270 | | 290 | |
| 6 | P^2 | 5,90 | | 6,50 | | 7,00 | | 7,40 |
| 7 | ΔP | | 0,60 | | 0,50 | | 0,40 | |
| 8 | P | | 6,20 | | 7,75 | | 7,20 | |
| 9 | y | | 0,43 | | 0,42 | | 0,41 | |

²⁾ Siehe Tabelle 1.

Aus der 4. und 9. Zeile der Tabelle ist zu entnehmen, dass die wirtschaftlichste Isolierstärke zwischen 65 und 70 mm liegt, da in diesem Bereich an einer Stelle $-\frac{\Delta Q}{\Delta s} = y$ wird. In Abb. 1 sind die beiden, durch die Werte in besagten Zeilen bestimmten Kurven $y(s)$ und $-\frac{\Delta Q}{\Delta s}(s)$ eingetragen; sie überschneiden sich bei der wirtschaftlichsten Stärke $s_w = 67,5$ mm. (Praktisch wird man 65 oder 60 mm wählen).

Nach dem Gesagten hängt s_w vom Verlauf der Preischarakteristik $P(s)$ ab. Um dies zu veranschaulichen, sind in der Abbildung ausser der sich aus Tabelle 2 ergebenden Charakteristik $P(s)$ noch zwei weitere Charakteristiken $P_I(s)$ und $P_{II}(s)$ angenommen, denen die Funktionen $y_I(s)$ und $y_{II}(s)$ entsprechen. Die im Vergleich zu $P(s)$ niedriger und flacher verlaufende Kurve $P_I(s)$ ergibt eine grössere wirtschaftlichste Stärke: $s_{wI} > s_w$. Im gleichen Sinne wirkt gemäss Gl. (4) eine Verkleinerung des Quotienten $\frac{q}{zW}$ bzw. eine Vergrösserung von zW/q , d.h. eben eine Verbilligung der Isolierungskosten gegenüber den Wärmekosten. Das Beispiel der Charakteristik $P_{II}(s)$ zeigt,

dass zwei verschiedene Charakteristiken $P(s)$ und $P_{II}(s)$ zu der gleichen wirtschaftlichsten Isolierstärke führen können $-s_{wII} = s_w$, nämlich dann, wenn der Ausdruck $\left(2P + da \frac{\Delta P}{10}\right)$ für $s = s_w$ den nämlichen Wert annimmt. Obwohl diese beiden Isolierungen gleiches s_w aufweisen, ist die bei s_w die grössere Preissteigerung ΔP aufweisende Isolierung II in ihrer Anschaffung und im Kapitalaufwand k vorteilhafter, also wirtschaftlicher als die Isolierung mit der Charakteristik $P(s)$.

B. Ebene Wände

Besonders einfach wirkt sich die neue Methode zur Bestimmung der wirtschaftlichsten Isolierstärke auf ebene Wände aus, wo als Bezugsgrösse, auf die der Wärmeverlust und die Kosten der Isolierung bezogen werden, der m^2 gilt (bei den Rohren war es der lfm.). Mit $Q =$ stündlicher Wärmeverlust pro m^2 und $P =$ Preis der Isolierung pro m^2 ergibt sich unter Verwendung oben genannter Bezeichnungen:

$$k_1 = \frac{QzW}{10^6}; \quad k_2 = Pq$$

Hieraus:

$$\frac{dk_1}{ds} = \frac{dQ}{ds} \frac{zW}{10^6}; \quad \frac{dk_2}{ds} = q \frac{dP}{ds} = q \frac{\Delta P}{10}$$

Der minimale Gesamtkapitalaufwand ist durch die Bedingung $\frac{dk_1}{ds} + \frac{dk_2}{ds} = 0$ bestimmt, woraus folgt:

$$-\frac{dQ}{ds} \sim -\frac{\Delta Q}{\Delta s} = 10^5 \frac{q}{zW} \Delta P \dots (6)$$

Diese Formel sagt aus, dass für die Bestimmung der wirtschaftlichsten Isolierstärke die Kosten der Isolierung keine Rolle spielen, wohl aber die auf eine Einheit bezogene Steigerung des m^2 -Preises.

Beispiel: Gesucht ist die wirtschaftlichste Stärke der Isolierung eines von ebenen Wänden begrenzten, während des ganzen Jahres, d.h. während $z = 8760$ Stunden im Betrieb befindlichen Behälters, dessen Innentemperatur $= -20^\circ$ sei, bei einer mittleren Aussentemperatur von $+10^\circ$; $q = 0,2$, $W = 50$ Fr. pro 1 Million kcal. Aus diesen Werten ergibt sich nachstehende Tabelle:

Tabelle 3.

| s | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 | 160 mm |
|------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| P | 10 | | 12,50 | | 14,80 | | 16,80 |
| Q^3 | 9,43 | | 7,99 | | 6,94 | | 6,12 |
| ΔP | | 1,25 | | 1,15 | | 1,00 | |
| $-\Delta Q$ | | 1,44 | | 1,05 | | 0,82 | |
| $-\frac{\Delta Q}{\Delta s}$ | | 0,072 | | 0,052 | | 0,041 | |
| $10^5 \frac{q}{zW} \Delta P$ | | 0,057 | | 0,052 | | 0,045 | |

Wie aus den Zeilen 6 und 7 der Tabelle ersichtlich, ist die Gleichung (6) für die Isolierstärke $s = s_w = 130$ mm erfüllt.

³⁾ Dem bereits in Fussnote 1) erwähnten Tabellenwerk entnommen ($\lambda_{\text{Isolierung}} = 0,035 \text{ kcal/m. Std. } ^\circ\text{C.}$).

Die Internationale Rheinregulierung von der Illmündung bis zum Bodensee

(Schluss von S. 170)

V. Ueberprüfung des Geschiebegesetzes und der Berechnungsmethode der Versuchsanstalt für Wasserbau an der E. T. H. mit Hilfe der direkten Geschiebemessungen am Rhein

Von Dipl. Ing. ROBERT MÜLLER

1. Einleitung.

Die im Kapitel II B («SBZ» Bd. 109, S. 212*) beschriebene rechnerische Behandlung des Rheinproblems stützt sich auf das Geschiebetransportgesetz und die Berechnungsmethode der Versuchsanstalt für Wasserbau in Zürich. Die Durchführung dieser Berechnungen fällt zeitlich mit dem Beginn der Geschiebemessungen am Rhein zusammen, also in das Jahr 1934, sodass damals eine Ueberprüfung dieser Grundlagen mit Hilfe von Geschiebemessungen in der Natur selbst nicht möglich war. Wegen der Dringlichkeit der Aufgabe musste man sich damit begnügen, die Richtigkeit der Berechnungsmethode auf Grund der im Kapitel II A (Bd. 109, S. 199*) beschriebenen Rheinmodellversuche nachzuweisen. Diese Versuche waren also ein Ersatz für die damals noch fehlenden Geschiebemessungen in

der Natur selbst. Die Uebereinstimmung von Messung und Berechnung liefert nun den ersten Nachweis für die Anwendbarkeit der Methode auf stationäre Zustände.

Die bestehenden Verhältnisse am Rhein selbst ermöglichen dann eine indirekte Kontrolle mit Hilfe der gemessenen Ablagerungen in der Zwischenstrecke und im Diepoldsauer Durchstich. Die Differenz der für die beiden Musterstrecken berechneten Geschiebefrachten musste aus Kontinuitätsgründen gleich sein der Summe aus den gemessenen Ablagerungen zwischen den beiden Strecken und der Verminderung des Geschiebes durch Abtrieb. Nach dem ersten Nachweis durch die Modellversuche konnte die erfüllte Kontinuität als Beweis für die Anwendbarkeit der Methode auf die Natur betrachtet werden. Wegen der teilweise ungenügenden Berechnungsgrundlagen für die beiden Musterstrecken konnte dieser Beweis nicht in aller Strenge erbracht werden. Bei der Auswertung der morphologischen Untersuchungen der Rheinbauleitung Bregenz zeigte sich, dass die zahlreichen Messungen noch nicht genügen, um die mittlere Kornzusammensetzung des Rheingeschlebes und

den Abriebkoeffizienten einwandfrei festzustellen; dessen ungeachtet war das Resultat der Kontinuitätsberechnung sehr befriedigend. Die aus den gemessenen Ablagerungen ermittelte Kontinuität war erfüllt für massgebende Geschiebedurchmesser, die innerhalb der Grenzen liegen, die gemäss den gemessenen Geschiebemischungslinien in Frage kommen. Ferner entsprach der aus diesen massgebenden Durchmessern ermittelte Abriebkoeffizient den Werten, die für den Rhein und ähnliche Flüsse in der Literatur bekannt sind. Gemessen an den Schwierigkeiten und am allgemeinen Stand der Erkenntnisse im Gebiete des Flussbaues musste dieses Resultat sogar als überraschend gut betrachtet werden, indem es zeigte, dass die Berechnungsmethode im wesentlichen das Problem tatsächlich erfasst und zum mindesten der Grössenordnung nach richtige Resultate gibt.

Nach diesen Feststellungen war die Anwendung der Methode auf den Rhein unbedenklich. Es kommt hier aber noch ein weiterer Umstand hinzu, der unbedingt beachtet werden muss. Im allgemeinen wird bei einer flussbaulichen Aufgabe nur eine Musterstrecke gegeben sein. Die Berechnung muss also, ausgehend von dieser Strecke, nach oben oder unten erfolgen. Beim Rhein sind aber zwei Musterstrecken gegeben; diese liegen am Anfang und Ende der Regulierungsstrecke und sind wegen der dazwischen stattfindenden Verlandung zwei in der Geschiebeführung extreme Gleichgewichtszustände. Dadurch wird natürlich jede Berechnung mehr oder weniger zu einer Interpolation. Wenn dazu eine Berechnungsmethode verwendet wird, die für die beiden extremen Zustände auch nur der Grössenordnung nach richtige Resultate gibt, im übrigen aber die Kontinuität zwischen den beiden Strecken streng erfüllt wird, dann können doch die Ergebnisse unmöglich wesentlich unrichtig sein.

Diese Ueberlegungen über die Möglichkeit der rechnerischen Behandlung des Rheinproblems wurden dann auch durch die Ergebnisse der Berechnungen bestätigt. Es sei daran erinnert, dass die aus den Rhein-Modellversuchen gezogenen Schlüsse mit den Resultaten der Berechnung vollkommen übereinstimmen, und dass zudem die Rechnungsergebnisse bekannte Erfahrungen aus dem Flussbau bestätigen. Endlich gab die Berechnung erstmals eine Erklärung für die Ursache des Misslingens der heutigen Rheinregulierung, die sich mit den Beobachtungen vollständig deckt und deshalb geradezu selbstverständlich erscheint.

Angesichts dieser Tatsachen und wegen der Dringlichkeit von Abhilfemassnahmen hat Prof. Dr. E. Meyer-Peter die Verantwortung übernommen, der I.R.-K. (1935) ein Gesamtprojekt vorzuschlagen. Damit sollten die neuesten Untersuchungen und Erkenntnisse rechtzeitig der Sache dienen und durch bestmöglich begründete Richtlinien auf eine planmässige Korrektur hinwirken.

Inzwischen konnten, wie in den beiden vorstehenden Kapiteln III und IV gezeigt wurde, durch Zusammenarbeit der Versuchsanstalt mit dem österreichischen Rheinbauleiter die Schwierigkeiten, die die Geschiebemessungen in der Natur mit sich bringen, im wesentlichen behoben werden. Es gelang ferner, durch die Eichmessungen der Versuchsanstalt die Grös-

senordnung des Wirkungsgrades bei starrer Befestigung des Fangapparates festzustellen. Im folgenden soll deshalb untersucht werden, ob die Geschiebemessungen in der Natur selbst das Geschiebetriebgesetz und die Berechnungsmethode bestätigen. Wenn auch zu diesem Zweck nur die in Abb. 44 dargestellten Messungen aus dem Jahre 1936 zur Verfügung stehen, so zeigen diese doch eindeutig die Existenz einer Geschiebefunktion. Im übrigen handelt es sich hier vor allem darum, zu zeigen, ob die Berechnungsmethode wenigstens die Grössenordnung und die Gesetzmässigkeit des Geschiebetriebes richtig wiedergibt.

2. Grundlagen für die Kontrollrechnungen.

a) Lage der Messtelle und Form des Messprofils. Nachdem schon Oberbaurat Nesper hierüber eingehend berichtet hat, handelt es sich hier nur darum, das Wichtigste hervorzuheben.

Das Wandern der Kiesbänke bewirkt an einer bestimmten Stelle des Flusslaufes im allgemeinen eine periodische zeitliche Aenderung der Querprofilform. Dementsprechend ist auch der Geschiebetrieb diesem Wechsel unterworfen und die rechnerische Erfassung des mittleren Geschiebetriebes erforderte die Einführung einer mittleren Profilform, des sog. massgebenden Profils. Es ist aber bekannt, dass sich an der Innenseite jeder stärkeren Krümmung des Flusslaufes eine bleibende Kiesbank befindet. In deren Umgebung ändert sich deshalb die Profilform nur wenig, und der Geschiebetrieb stellt gewissermassen schon einen Mittelwert dar. Diese besondere Lage hat die Geschiebemessstelle bei der Bruggerbrücke; sie liegt in der Furt oberhalb einer bleibenden Kiesbank, sodass das Profil dauernd eine praktisch horizontale Sohle aufweist. Als Geschiebemessstelle ist diese Lage sehr günstig, weil die Mittelbildung aus den Geschiebemessungen über eine verhältnismässig kurze Zeit schon ein zuverlässiges Resultat ergibt. Auch für die Ueberprüfung der Berechnungsgrundlagen bietet die besondere und stabile Form des Messquerschnittes einen grossen Vorteil. Sie gestattet nämlich, wie später gezeigt wird, die getrennte Kontrolle des Geschiebetriebgesetzes und der Berechnungsmethode, indem zur Berechnung des Geschiebetriebes entweder das Messprofil selbst, oder aber das massgebende Profil aus der Umgebung der Messtelle verwendet wird.

b) Verhalten der Rheinsohle im Bereich der Messtelle. In den Rheinberechnungen spielte der Fussacher Durchstich die Rolle einer Musterstrecke. Die mittleren Sohlen der Profile 1932, 33 und 34 ergaben ein wenig veränderliches Sohlenbild mit einem Gefälle von 0,81 ‰ für den ganzen Abschnitt. Obschon in der am oberen Ende des Fussacher Durchstiches anschliessenden Zwischenstrecke das Gefälle im Mittel 0,96 ‰ betrug, zeigte sich in dieser Strecke eine zunehmende Verlandung mit der Tendenz, ein grösseres Sohlengefälle auszubilden. Die Berechnung ergab die Erklärung für diesen scheinbaren Widerspruch, indem sie zeigte, dass sich im Fussacher Durchstich mit der Zeit auch ein grösseres Gefälle einstellen wird, d. h. dass sich die Verlandungserscheinung gegen die Mündung vorschiebt. Wie die Abbildungen 5 und 6 (Bd. 109, Nr. 16, von denen die Abb. 6 hier wiederholt ist) zeigen, bestätigt die in den Jahren 1934 und 1935 eingetretene Sohlenausbildung im

Fussacher Durchstich diese Erscheinung. Man sieht, dass sich die Geschiebewalze im Jahre 1934 bis gegen Km 87, im Jahre 1935 bis Km 88, d. h. über die Mitte des Fussacher Durchstiches vorgeschoben hat. Dementsprechend hat das Gefälle im oberen Teil des Fussacher Durchstiches von 0,81 ‰ auf 0,86 ‰ zugenommen, in der Zwischenstrecke von 0,96 ‰ auf 1,02 ‰, was einer mittleren Verlandung von 30 cm innerhalb zweier Jahre entspricht. Dass diese Sohlenausbildung noch nicht abgeschlossen ist, ist selbstverständlich, sie ist aber auch nicht etwa dann beendet, wenn die heute beobachtete Walze die Mündung erreicht, denn es ist zu bedenken, dass der End- oder Gleichgewichtszustand

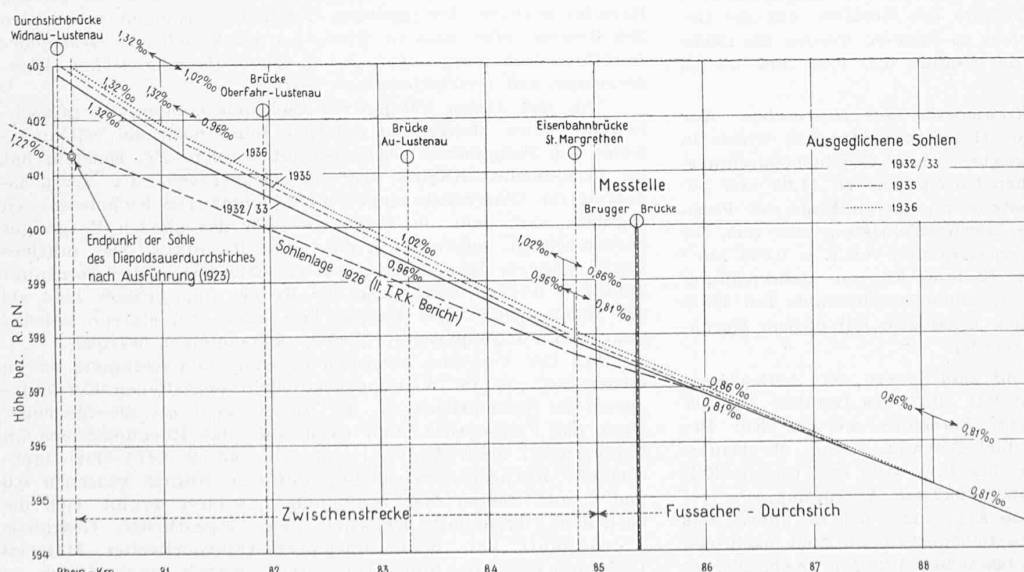


Abb. 6. Zwischenstrecke und Fussacher Durchstich. Längenprofile 1926, 1932/33, 1935 und 1936

erst dann erreicht ist, wenn sich auch in der Zwischenstrecke und im Diepoldsauer Durchstich kein Material mehr abgelagert. Solange sich die Walze vorschiebt, kann sich in diesen oberen Strecken das überschüssige Material ablageren ohne eine Gefällsänderung zu bewirken, die Sohle verschiebt sich parallel. Sobald aber die Walze die Mündung erreicht hat, ist das nicht mehr möglich. Die Sohle wird sich in sämtlichen Strecken aufrichten, und zwar solange, bis in jedem Abschnitt das für den vollständigen Abtransport des Geschiebes erforderliche Gefälle vorhanden ist. Diese Sohlensanbildung wird allerdings in den folgenden Jahren nicht mehr zu beobachten sein, wenn mit den auf Vorschlag der Versuchsanstalt schon im Winter 1936 probeweise begonnenen Baggerungen von 150000 m³ pro Winter fortgefahren wird.

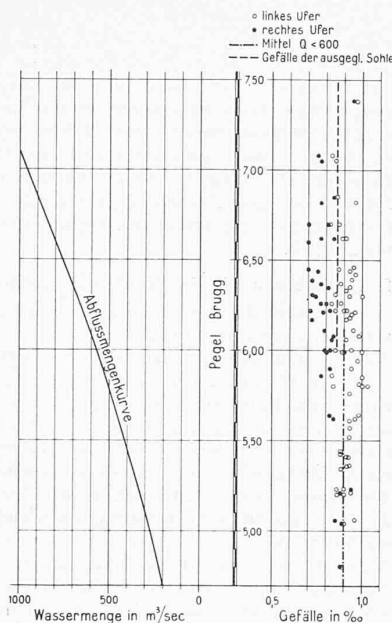


Abb. 57. Beziehung zwischen Pegelstand, Abfluss und Gefälle

Die Geschiebemesstelle bei Km 85,38 liegt also seit dem Winter 1933/34 im Verlandungsgebiet. Wenn trotzdem im Folgenden das Geschiebetriebgesetz und die Berechnungsmethode, die streng genommen nur für stationäre Zustände gelten, auf dieses Gebiet angewendet werden, dann muss man sich bewusst sein, dass die Berechnungsergebnisse nur näherungsweise gültig sind. Der Fehler kann aber nicht gross sein, weil, wie die Abbildung 6 zeigt, die Gefälle im Bereich der Messtelle im Jahre 1935 sich nicht geändert haben. Die Sohle hat sich nur parallel verschoben, sodass wenigstens bezüglich der Berechnungsgrundlagen doch ein vorübergehend stationärer Zustand vorhanden ist. In den Rheinberechnungen wurden allerdings nur streng stationäre Zustände untersucht.

c) *Gefällsverhältnisse.* Wie schon Oberbaurat Nesper ausführte, sind die örtlichen Wasserspiegelgefälle bei der Messstelle nicht sehr gut definiert. Seine in Abb. 57 dargestellten Messungen wurden über eine Strecke von 500 m ausgeführt. Sie zeigen den Einfluss der unterhalb der Messtelle liegenden Krümmung, indem durch die Ueberhöhung des Wasserspiegels am äußeren rechten Ufer der Krümmung das Gefälle kleiner ist als am linken Ufer. Mit Berücksichtigung der von Oberbaurat Nesper ermittelten Geschiebefracht-Summenlinie ergibt sich als mittleres für den Geschiebetrieb massgebendes Gefälle 0,88 ‰, also annähernd das Gefälle der ausgeglichenen Sohle. Um aber auch den Einfluss des Gefälles auf die Geschiebemessergebnisse überblicken zu können, werden die nachfolgenden Berechnungen für die Gefälle 0,8, 0,88 und 1,0 ‰ durchgeführt.

d) *Massgebender Korndurchmesser des Geschiebes.* Aus den Geschiebeanalysen und der Geschiebekontinuität wurde in den Rheinberechnungen der massgebende Geschiebedurchmesser für die Mitte des Fussacher Durchstichs zu 11,65 mm bestimmt. Für die Geschiebemesstelle am oberen Ende des Fussacher Durchstichs beträgt bei Berücksichtigung des aus der Kontinuität ermittelten Abtriebkoeffizienten von $c = 0,046 \text{ km}^{-1}$ der massgebende Durchmesser 12 mm. Für die Ueberprüfung der Berechnungsmethode und der Rheinberechnungen mit Hilfe der gefangenen Geschiebemengen muss also mit diesem Durchmesser von 12 mm gerechnet werden.

e) *Abflussmengenkurve und Dauerkurve der Abflussmengen.* Für die Messtelle können mit Hilfe des Gefälles und der Profilform die Rauheitswerte berechnet werden. Zur Bestimmung der jährlichen Geschiebefrachten stehen die Dauerkurven der Abflussmengen für das Jahr 1935 und für die Zeit vom 1. Januar bis 30. September 1936 zur Verfügung.

f) *Geschiebemessungen.* Die Ergebnisse der im Jahre 1936 am Rhein durchgeführten Geschiebemessungen sind nach den Angaben der österreichischen Rheinbauleitung in Abb. Nr. 44 (von S. 148) nochmals dargestellt. In diesem Diagramm sind

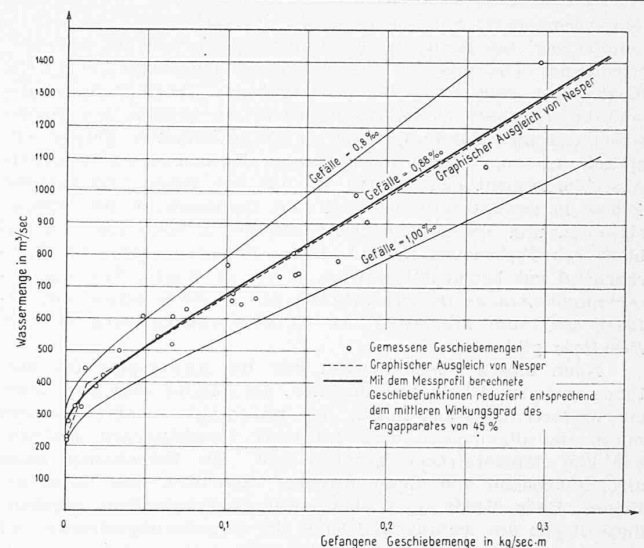


Abb. 58. Geschiebefunktionen nach dem Messprofil

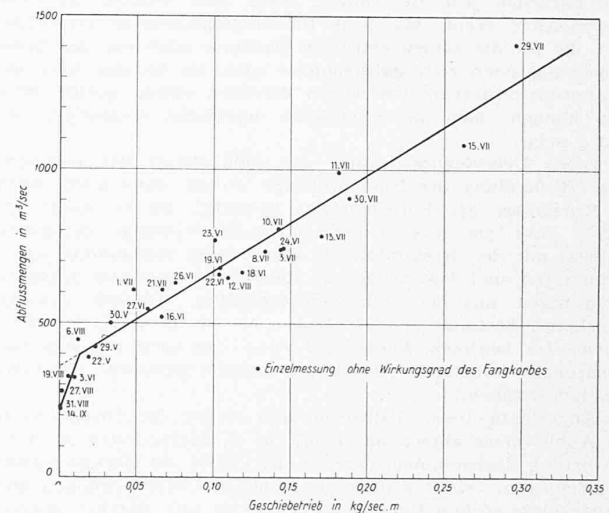


Abb. 44. Gemessene Geschiebemengen, mit Daten (vergl. S. 148)

die im Mittel pro Meter Sohlenbreite tatsächlich gefangenen Geschiebemengen in kg/sec-m in Funktion der Wassermenge dargestellt und jeder Messpunkt mit dem Datum der Messung gekennzeichnet. Obschon die Messungen noch nicht sehr zahlreich sind, erkennt man die Gesetzmässigkeit der Geschiebeführung. Man beachte ferner, dass Messungen vor und nach den einzelnen Hochwasserspitzen im Juli praktisch das gleiche Resultat ergeben. Die direkten Geschiebemessungen geben also den Beweis dafür, dass im Rhein wie im Modell eine Geschiebefunktion, d. h. ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Wassermenge und Geschiebemenge besteht.

Um aus diesen gefangenen Geschiebemengen die tatsächlich laufenden Mengen zu erhalten, muss noch die Wirkungsweise des Fangkorbes berücksichtigt werden. Dr. Einstein hat im vorstehenden Kapitel über die Eichversuche der Versuchsanstalt für Wasserbau eingehend berichtet. Die Eichmessungen ergaben, wenn man die Kompliziertheit des ganzen Vorganges berücksichtigt, eigentlich recht gute Resultate. Der mittlere Wirkungsgrad, bezogen auf den Geschiebetrieb, der überhaupt gefangen werden kann, also für Körner, die grösser sind als die Maschenweite des Fangkorbes, kann bei starrer Befestigung des Fangapparates zu 45 % angenommen werden.

Für den Vergleich zwischen Messung und Rechnung wären ferner noch die im Wirkungsgrad nicht enthaltenen Kornkategorien zu berücksichtigen, die kleiner sind als die Maschenweite des Fangkorbes. Nun weist aber das Rheingeschiebe im Feinmaterial unter 5 mm (siehe Abb. 43, S. 147) eine eigentümliche Kornzusammensetzung auf; die Körner zwischen 0,6 und 5 mm fehlen fast vollständig. Dadurch ergibt sich die natürliche Trennung zwischen dem eigentlichen Geschiebe (> 5 mm) und dem supendiert transportierten Material (Schlamm) < 0,6 mm, das wahrscheinlich nachträglich in die Sohle eingeschwemmt (infiltriert) wurde. Durch die ge-

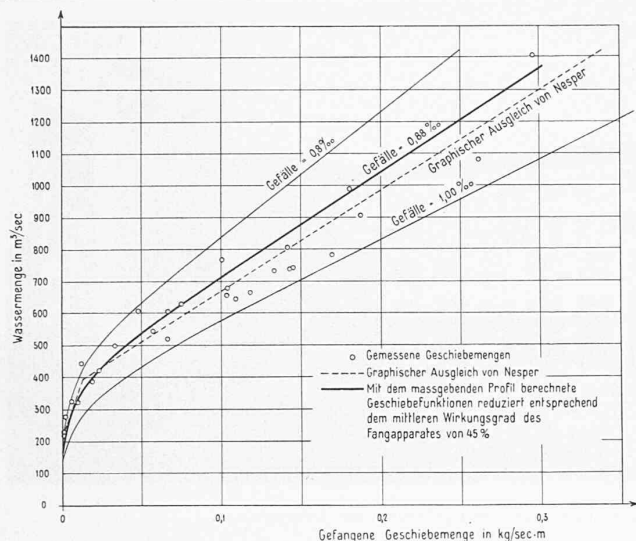


Abb. 60. Geschiebefunktion nach dem massgebenden Profil

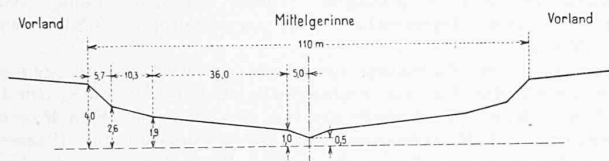


Abb. 59. Massgebendes Profil (überhöht)

wählte massgebende Maschenweite des Fangkorbes von 3,7 mm wird also praktisch alles Geschiebe aufgefangen. Um Missverständnisse zu vermeiden, sei hervorgehoben, dass für die Berechnung der von der Versuchsanstalt definierte massgebende Durchmesser aus dem Sohlengemisch einschliesslich des feinen Materials bestimmt wurde.

3. Ergebnisse der Kontrollrechnung.

a) *Überprüfung des Geschiebetriebgesetzes und Bestimmung der jährlichen Frachten.* Zur Kontrolle der gemessenen Geschiebefunktion kann einmal in der Berechnung das Messprofil verwendet werden. Da dieses Profil eine horizontale Sohle hat, ist die Berechnung nichts anderes, als die direkte Anwendung des Geschiebetriebgesetzes. Dieses lautet bekanntlich:

$$\frac{q^{2/3} \cdot J}{d} = a + b \cdot \frac{g^{2/3}}{d}$$

und liefert für das Profil mit horizontaler Sohle den mittleren Geschiebetrieb pro m Sohlenbreite.

In Abbildung 58 sind zunächst die gemessenen Geschiebemengen in kg/sec/m durch Kreise eingezeichnet; die voll ausgezogenen Linien für $J = 0,8, 0,88$ und $1,0 \text{ ‰}$ sind die mit Hilfe des Geschiebetriebgesetzes gerechneten Geschiebefunktionen, reduziert entsprechend dem Wirkungsgrad von 45 %. Man sieht, dass alle Messpunkte innerhalb des durch die Berechnungsgrundlagen gegebenen Streubereiches liegen. Die Punktfolge der Messergebnisse lässt sich sogar sehr gut durch die für das mittlere Gefälle von $0,88 \text{ ‰}$ gerechnete Geschiebefunktion ausgleichen; man erkennt dies aus dem in die Abbildung durch gestrichelte Linien eingezeichneten graphischen Ausgleich von Nesper. Das Ergebnis ist vor allem deshalb sehr gut, weil sich im ganzen Messbereich keine gesetzmässige Abweichung der Messresultate von der Berechnung feststellen lässt. Damit ist nämlich das aus den Modellversuchen ermittelte Geschiebetriebgesetz durch die Geschiebemessung in der Natur bestätigt.

Da sich die Profilform und das Gefälle in den Jahren 1935 und 1936 nicht geändert haben, können aus den gerechneten Geschiebefunktionen mit Hilfe der Dauerkurven der Wassermengen die jährlichen Frachten gerechnet werden. Das Ergebnis der Rechnung ist folgendes:

| | 1935 | 1936 (1. I. bis 30. IX.) |
|---------------------|-----------------------|--------------------------|
| bei $0,8 \text{ ‰}$ | 37 800 m ³ | 34 200 m ³ |
| $0,88 \text{ ‰}$ | 55 700 m ³ | 51 500 m ³ |
| $1,0 \text{ ‰}$ | 91 400 m ³ | 85 800 m ³ |

Nach dem graphischen Ausgleich der Messergebnisse von Oberbaurat Nesper, ergeben sich folgende Frachten:

| | 1935 | 1936 (1. I. bis 30. IX.) |
|--------|-----------------------|--------------------------|
| Fracht | 55 500 m ³ | 50 900 m ³ |

Diese stimmen, wie man sieht, mit den für das mittlere Gefälle von $0,88 \text{ ‰}$ gerechneten Frachten sehr gut überein.

b) *Überprüfung der für die Rheinregulierung verwendeten Berechnungsmethode.* Durch Nachrechnen von Modellversuchen wurde gezeigt, dass die jährliche Geschiebefracht, die eine Strecke durchläuft, mit Hilfe des «massgebenden Profils» gerechnet werden kann. Wenn dies der Fall ist, dann muss also die Anwendung der Berechnungsmethode bei der Verwendung des massgebenden Profils aus der Umgebung der Messstelle die selben jährlichen Frachten ergeben, wie bei der Anwendung des Geschiebetriebgesetzes auf das Messprofil selbst. In Abb. 59 ist das massgebende Profil der Messstrecke Km 85,15 bis 85,65 dargestellt; diese Strecke umfasst gerade eine Schwingung Kolk-Furt-Kolk, so dass die Länge von 500 m genügt. In Abb. 60 sind, wie für das Messprofil, die gerechnete Geschiebefunktion wie auch der graphische Ausgleich von Nesper eingezeichnet. Die Geschiebefunktionen verlaufen ungefähr gleich wie jene des Messprofils. Dass die Übereinstimmung mit der Messung weniger gut ist, hat nichts zu bedeuten, da die Messung eine örtliche Geschiebefunktion ergibt, die Berechnung mit dem maßgebenden Profil aber eine mittlere Geschiebefunktion. Wichtig ist der Vergleich der jährlichen Frachten. Die nachstehende Tabelle enthält die für die verschiedenen Gefälle gerechneten Frachten:

| | 1935 | 1936 (1. I. bis 30. IX.) |
|---------------------|------------------------------|--------------------------|
| bei $0,8 \text{ ‰}$ | Fracht 35 000 m ³ | 31 700 m ³ |
| $0,88 \text{ ‰}$ | 53 000 m ³ | 48 600 m ³ |
| $1,0 \text{ ‰}$ | 86 700 m ³ | 80 100 m ³ |

Für das mittlere Gefälle von $0,88 \text{ ‰}$ sieht der Vergleich wie folgt aus:

| | Graph. Ausgleich der Messungen | gerechnet mit Messprofil | gerechnet mit massgeb. Profil |
|------|--------------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| 1935 | Fracht 55 500 m ³ | 55 700 m ³ | 53 000 m ³ |
| 1936 | 50 900 m ³ | 51 500 m ³ | 48 600 m ³ |

Wenn auch die mit dem massgebenden Profil berechneten Frachten etwas kleiner sind, so beweisen diese Zahlen doch, dass die *Berechnungsmethode* richtig ist. Es ist übrigens zu bedenken, dass, streng genommen, eigentlich nicht ein Jahr als Vergleichsperiode gewählt werden sollte, sondern die Zeit, die erforderlich ist, damit an einer bestimmten Stelle des Flusslaufes die ganze Schwingung Kolk-Furt-Kolk vorübergeht. In der Rheinberechnung wurde diesem Umstand durch die Verwendung eines Mitteljahres Rechnung getragen. Hier ist das aber nicht möglich, weil sich die Messstelle im Verlandungsgebiet befindet und deshalb die berechneten und gemessenen Geschiebefunktionen nur zeitlich beschränkt gültig sind.

c) *Zusammenhang zwischen der Rheinrechnung 1934 und den heutigen Kontrollrechnungen.* Für den Fussacher Durchstich, der noch 1934 auf die ganze Länge ein Gefälle von $0,81 \text{ ‰}$ hatte, ergab sich für das Mittel der Jahre 1919 bis 1931 die gegenüber den bisherigen Schätzungen überraschend kleine mittlere jährliche Geschiebefracht von 31 000 m³. Die inzwischen eingetretene Verlandung der oberen Hälfte des Fussacher Durchstichs gestattet nun, zusammen mit den vorstehenden Berechnungen für das Messprofil, eine Kontrolle der damals berechneten Geschiebefunktionen und damit auch der mittleren jährlichen Geschiebefracht.

Der unterste Teil des Fussacher Durchstichs von Km 88 bis zur Mündung (ungefähr Km 90) hatte im Jahre 1935 immer noch ein Gefälle von $0,81 \text{ ‰}$, so dass die für die Jahre 1932/34 gerechnete Geschiebefunktion in diesem Abschnitt auch für 1935 gültig ist. Die Auswertung dieser Geschiebefunktion mit Hilfe der Dauerkurve der Abflussmengen für das Jahr 1935 ergibt, dass diese Abflussmengen im Jahr 1935 im untersten flachen Teil des Fussacher Durchstichs eine Fracht von 39 500 m³ in den Bodensee transportieren konnten. Andererseits ergaben die vorstehenden Berechnungen und auch die Messungen, dass im selben Jahre rund 55 000 m³ das Messprofil passiert haben. Die Differenz dieser Frachten von rund 15 500 m³ muss sich somit zwischen dem Messprofil und der untersten Flachstrecke abgelagert haben. Man kann auch hier wieder die genauen Zahlen für die laut Berechnung einzutretende Verlandung angeben:

| | |
|--|-----------------------|
| nach dem graphischen Ausgleich der Messungen | 16 000 m ³ |
| gerechnet mit Messprofil | 16 200 m ³ |
| gerechnet mit massgebendem Profil | 13 500 m ³ |

Aus den Profilaufnahmen der österreichischen Rheinbauleitung ergibt sich von der Messtelle an nach abwärts die in Abb. 61 aufgezeichnete Summenlinie der im Jahre 1935 beobachteten Ablagerungen. Wenn man sich bei der Interpretation der berechneten Ablagerungen streng an den Gefällswechsel

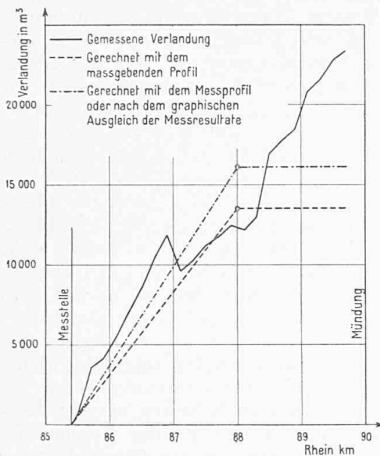


Abb. 61. Summenlinien der Ablagerungen im Fussacher Durchstich

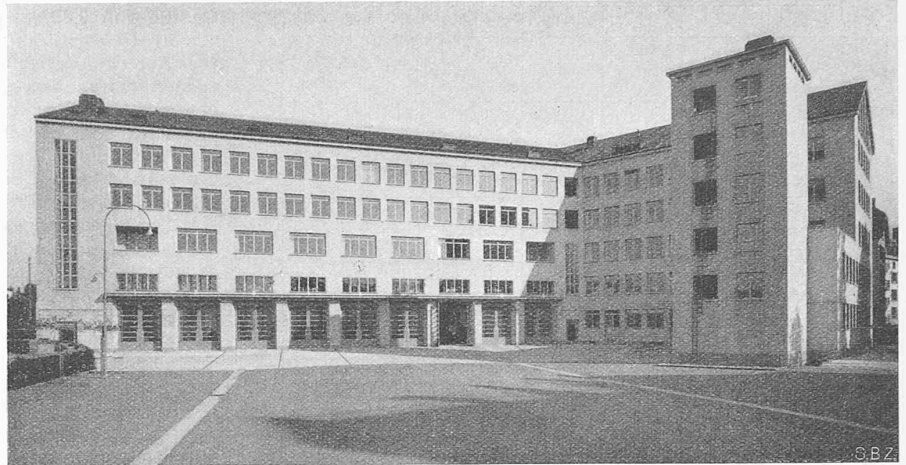


Abb. 8. Hofansicht, Einfahrtseite in die Gerätehalle, rechts der Übungsturm

bei Km 88,0 hält, dann zeigen die in die Abb. 61 eingezeichneten strichpunktlierten bzw. gestrichelten Summenlinien die Ergebnisse der Berechnung. Obschon es sich hier um die Differenz zweier gerechneter Frachten handelt, ist die Uebereinstimmung mit der beobachteten Verlandung augenscheinlich.

Damit ist aber auch die Geschiebefunktion des Fussacher Durchstichs, die sich in der Rheinberechnung aus den Kontinuitätsüberlegungen als einzige mögliche Lösung ergab, durch die Geschiebemessungen bestätigt. Dass auch unterhalb Km 88 eine Verlandung eingetreten ist, hat voraussichtlich eine ganz andere Ursache, nämlich den Einstau der Niederwasser durch den Bodensee. Da die Profilaufnahmen jeweils im Frühjahr, also nach der eigentlichen Niederwasserperiode, durchgeführt werden, ist die Verlandung infolge Einstau in dieser Zeit ein Maximum. Sie wird aber durch die bei den höheren Wasserständen bei der Mündung vorhandene Senkungskurve wieder abgetragen.

Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die besondere Lage der Messtelle in Brugg ermöglichte die getrennte Ueberprüfung des Geschiebetriebes und der Berechnungsmethode. Die Ergebnisse der Berechnungen stimmen in beiden Fällen sehr gut mit der Messung überein und liegen innerhalb der Genauigkeit der Messung selbst. Das selbe Resultat ergab sich aus einer dritten Kontrollmöglichkeit, die die beiden ersten ergänzt und gleichzeitig einen direkten Beweis für die Richtigkeit der Rheinberechnungen darstellt.

Trotz der zahlenmässig sehr guten Uebereinstimmung zwischen Messung und Rechnung, darf das Resultat nicht mehr sein, als ein Beweis für die richtige Grössenordnung der berechneten Zahlenwerte. Dies deshalb, weil für die rechnerische Behandlung durch die Lage der Messtelle im Verlandungsgebiet die Berechnungsgrundlagen unsicher sind, andererseits aber auch die Messung selbst und ihre Auswertung Unsicherheiten aufweisen. Dessen ungeachtet ist aber der Beweis für die Richtigkeit der Grössenordnung der berechneten Geschiebe-

frachten, die mit einem Fehler von $\pm 10\%$ angegeben werden können, einwandfrei gelungen. Dieser mögliche Fehler entspricht einer Unsicherheit im ermittelten Gefälle von $\pm 0,03\text{ ‰}$.

Wie in der Einleitung eingehend erläutert wurde, genügt dies vollständig für die rechnerische Behandlung des Rheinproblems. Man wird deshalb gut tun, den aus den Rhein-Modellversuchen und Berechnungen der Versuchsanstalt für Wasserbau erhaltenen Resultaten die nötige Beachtung zu schenken. Wenn man also eine weitere beträchtliche Sohlenerhöhung der Rheinsohle im Diepoldsauer Durchstich vermeiden will, muss man auf jene bauliche Lösung, die sich durch die eingehenden Studien der Versuchsanstalt als unwirksam erwiesen hat, verzichten, und stattdessen eine Verengerung des Mittelerinnes vornehmen, oder dann auf die von der Versuchsanstalt ebenfalls untersuchte und vorgeschlagene Lösung dauernder Baggerungen eintreten.

Zürich, den 8. Juli 1937.

Die ständige Brandwache in Zürich

Architekt Stadtbaumeister HERMANN HERTER, Zürich

Unsere Leser erinnern sich der Darstellung der Zürcher Sportanlagen im Sihlhölzli (Bd. 101, S. 99* u. 114*, März 1933). Der in jenem Zusammenhang gezeigte Bebauungsplan des Quartiers ist nun durch die Ausführung des Brandwachegebäudes an der Manessestrasse (Abb. 25 auf S. 115, Block X) seiner Verwirklichung wieder um ein Stück näher gekommen. Die Anpassung des Baues an diese Bauordnung erforderte die Erstellung von mehr Geschossen, als für Brandwache, Feuerwehrinspektorat und Feuerpolizei erforderlich waren; die weiteren Räume fanden Verwendung zur Unterbringung von Abteilungen des Wohlfahrtsamtes. Auf diese Räume des zweiten und dritten Stockes soll hier nicht näher eingetreten werden, hingegen entnehmen wir einer ausführlichen Festschrift des Hochbauamtes die folgenden Angaben über Anlage und Betrieb der Brandwache.

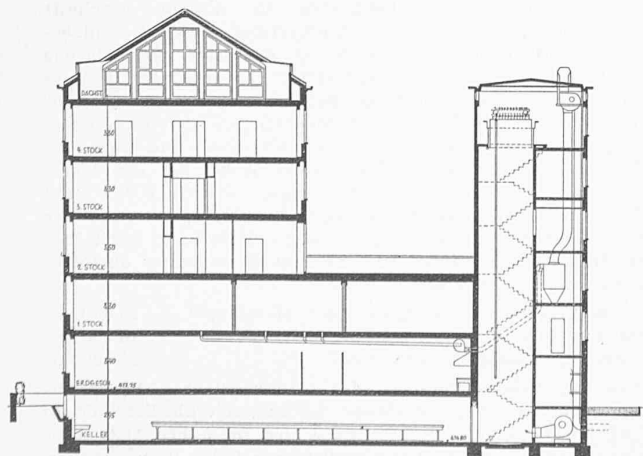


Abb. 1. Schnitt durch Westflügel und Übungsturm, 1:400

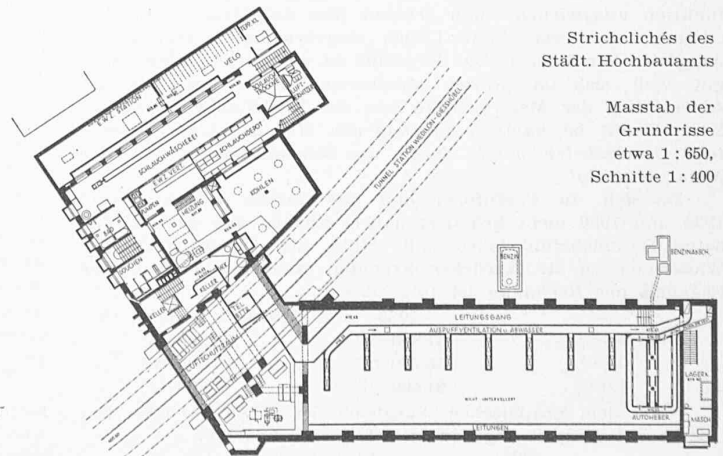


Abb. 2. Grundriss vom Untergeschoss, darunter der Sihltalbahnhof-Tunnel

Strichliches des Städt. Hochbauamts

Masstab der Grundrisse etwa 1:650, Schnitte 1:400