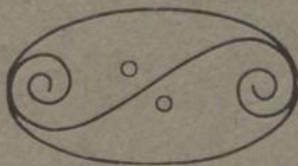


# Höchste und mittlere Niederschlags- maxima im Donaugebiete

Mitgeteilt von Ingenieur G. Bartošek, k. k. Ober-  
ingenieur im k. k. hydrographischen Zentralbureau  
des Ministeriums für öffentliche Arbeiten

Hiezu vier Tafeln

Sonderabdruck aus der „Österr. Wochenschrift für den öffentl. Baudienst“,  
Heft 18, Jahrgang 1914. — Jeder Nachdruck des Artikels oder jede Vervielfältigung der Illustrationen ist mit Rücksicht auf das an die Redaktion dieser Zeitschrift ausdrücklich abgetretene Urheber- und Verlagsrecht verboten



Wien 1914

Im Selbstverlage des Verfassers

Druckerei- und Verlags-Aktiengesellschaft vorm. R. v. Waldheim, Jos. Eberle & Co.

5182

Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen.  
Bibliothek.



Kasten

Stallage

Fach

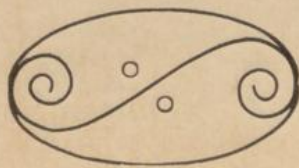
4

# Höchste und mittlere Niederschlags- maxima im Donaugebiete

Mitgeteilt von Ingenieur G. Bartošek, k. k. Ober-  
ingenieur im k. k. hydrographischen Zentralbureau  
des Ministeriums für öffentliche Arbeiten

Hiezu vier Tafeln

Sonderabdruck aus der „Österr. Wochenschrift für den öffentl. Baudienst“,  
Heft 18, Jahrgang 1914. — Jeder Nachdruck des Artikels oder jede Vervielfältigung der Illustrationen ist mit Rücksicht auf das an die Redaktion dieser Zeitschrift ausdrücklich abgetretene Urheber- und Verlagsrecht verboten



Wien 1914

Im Selbstverlage des Verfassers

Druckerei- und Verlags-Aktiengesellschaft vorm. R. v. Waldheim, Jos. Eberle & Co.

C-392936



DS-2026-1055

In den letztvergangenen Jahren ist des öfteren das Bedürfnis empfunden worden, für gewisse hydrologische Projektgrundlagen, welche bisher mangels direkter Beobachtungen zumeist nur auf einer hypothetischen Basis aufgebaut werden mußten, eine einheitliche und den wirklichen Verhältnissen möglichst Rechnung tragende Lösung zu finden.

Besonders empfindlich offenbart sich dieser Mangel einer einheitlichen hydrologischen Berechnungsweise bei der Projektierung von solchen Objekten, welche einen weitestgehenden Sicherheitsgrad gewährleisten müssen, wie z. B. bei Talsperrenüberfällen, Überbrückungen, Wehrbauten u. dergl., außerdem aber auch für den Hochwasserschutz von Ortschaften und Städten. Diese Anlagen müssen wegen ihrer hohen Bedeutung, falls sie unter allen Umständen ihrem Zwecke entsprechen sollen, für ein nach menschlicher Voraussicht größtmögliches, also ein katastrophales Hochwasser bemessen werden.

Diese Grundbedingung wird aber in der Praxis kaum je erfüllt. Dem Projektanten stehen nur in den seltensten Fällen Angaben über lokale extreme Hochwässer zur Verfügung und dann wird es ihm noch schwer fallen, sich über ihre relative Ergiebigkeit, das ist über ihr Verhältnis zum größtmöglichen Hochwasser ein klares Bild zu machen. Gewöhnlich sind aber keine Hochwasserdaten vorhanden und der Projektant sieht sich gezwungen, Hochwasserabflüsse anderer Gebiete zu verwenden.

Es liegt nahe, daß eine derartige, die Eigenheiten des Gebietes vernachlässigende Berechnungsmethode zu irrtümlichen Ergebnissen führen muß. Deswegen war das Bestreben der Hydrographen stets dahin gerichtet, eine von willkürlichen Annahmen unabhängige Beziehung zwischen dem Niederschlagsgebiete und dem maximalen Abflusse aufzustellen, welche bei Berücksichtigung aller das Gebiet charakterisierenden Verhältnisse eine allgemeine Geltung haben würde.

Durch einfache empirische Formeln, wie solche in Mengen von älteren Autoren anempfohlen wurden, kann jedoch der komplizierte Abfluvvorgang nicht in zufriedenstellender Weise dargestellt werden. Auch ist heute ohne Zweifel das allgemeine Verständnis für die Bedürfnisse der Hydrographie schon so weit fortgeschritten, daß derartige Universalformeln wohl kaum eine Nachahmung finden dürften. Die in der letzten Zeit gesammelten Erfahrungen über die Entstehung und den Verlauf der Hochwässer haben vielmehr zu einer gewissen Dezentralisation des Rechnungsproblems geführt, indem vorerst die einzelnen, das Hochwasser bestimmenden Faktoren nach allgemeinen Grundsätzen ermittelt und dann erst mit Rücksicht auf ihre gegenseitige Beeinflussung zur Aufstellung des Endresultates, der gesuchten Hochwassermenge, verwendet werden.

Den Ausgangspunkt dieser Berechnungsweise bildet naturgemäß die Bemessung der Niederschlagsintensität. Für die Ermittlung des größtmöglichen Hochwassers eines Gebietes von gegebener Ausdehnung wird dann das höchste Niederschlagsmaximum maßgebend sein.

#### Höchste Niederschlagsmaxima.

Das höchste Niederschlagsmaximum, welches sich während einer gewissen Zeitdauer in einem Gebiete von bestimmter Mindestausdehnung ereignen kann, ist, wie die Erfahrung lehrt, keineswegs

als ein unveränderlicher Höchstwert aufzufassen. Das bisher als größtes bekannte Regenmaximum kann über kurz oder lang noch immer übertroffen werden, wie dies z. B. beim gewaltigen Regenerguß vom 8. bis 14. September 1899 im Donaugebiete geschah, welcher in zahlreichen Orten das in der Zeit vom 26. bis 31. Juli 1897 verzeichnete Maximum um ein wesentliches übertraf.

Aus diesem Grunde kann auch den in der vorliegenden Studie nach einer Interpolationsformel dargestellten Maximalwerten, welche doch nur auf einer Verarbeitung der höchstbekanntesten Niederschlagsmengen beruhen, kein definitiver Charakter zugesprochen werden, vielmehr erscheint es notwendig, nach jeder Regenkatastrophe die Gültigkeit dieser Formel zu kontrollieren und diese eventuell einer Korrektur zu unterziehen.

Die in den verschiedenen Zeiträumen sich ereignenden höchsten Niederschlagsmaxima lassen sich durch eine Funktion der normalen Jahresniederschlagshöhe (Normalzahl) in Millimetern und der Zeitdauer in Stunden darstellen. Diese Darstellungsweise stellt an und für sich kein Novum dar, denn die Behauptung, daß eine gewisse Beziehung zwischen der mittleren Jahresniederschlagshöhe und dem Niederschlagsmaximum bestehe, ist schon zum wiederholtenmale von verschiedenen Forschern ausgesprochen worden. Es wäre hier vor allem auf die Arbeiten von A. Specht und Dr. G. Hellmann<sup>1)</sup> zu verweisen, in welchen diese Relation zum Ausdrucke kommt.

Die Abhängigkeit des Niederschlagsmaximums von der normalen Jahresniederschlagshöhe hat insofern eine Berechtigung, als diese von der Höhen- und Wetterlage des Ortes abhängige Zahl die Regenverhältnisse in weitgehendem Maße charakterisiert. Ob aber außer der Normalzahl und der Niederschlagsdauer noch andere Faktoren an der Ausbildung des extremen Niederschlagsmaximums einen Anteil haben, läßt sich aus dem für die Beantwortung dieser Frage noch allzu spärlichen Beobachtungsmateriale nicht schließen.

Bei der Aufstellung der erwähnten Interpolationsformel für die Niederschlagsmaxima mußte die allgemein geübte Annahme über die Möglichkeit des Eintreffens eines höchsten Niederschlagsmaximums auch für solche Gebiete gemacht werden, in welchen ein derartiges Maximum bisher noch nicht beobachtet wurde. Für die Wahrscheinlichkeit dieser Annahme spricht das weder an zeitliche noch räumliche Begrenzung gebundene Auftreten der extremen Niederschlagsmaxima in Gebieten von der verschiedensten mittleren Jahresniederschlagshöhe. Bei dem heutigen Stande der Niederschlagsforschung wäre es auch schwer, von einer bestimmten Prädestination gewisser Gebiete für maximale Niederschläge zu reden und wohl noch schwerer, den Nachweis zu erbringen, daß andere Gebiete von der Möglichkeit des Eintreffens eines ähnlichen, anderwärts beobachteten höchsten Niederschlagsmaximums auszuschließen wären.

Unter Benützung des für das Donaugebiet im X. Hefte der Beiträge zur Hydrographie Österreichs systematisch geordneten

<sup>1)</sup> Abhandlungen des Königl. Bayerischen Hydrotechnischen Bureaus. A. Specht, größte Regenfälle in Bayern. München 1905; Professor Dr. G. Hellmann: Die Niederschläge in den norddeutschen Stromgebieten, Berlin 1906.

Beobachtungsmaterials wurde die Stundenintensität des höchsten Niederschlagsmaximums an einem Orte von einer gegebenen mittleren

Jahresniederschlagshöhe  $H$  (Normalzahl in Millimetern) während der Regendauer von  $t$  Stunden durch die Interpolationsformel

$$i_{\max} = 1000 \left( \frac{H}{100.000} \right) \log \left[ \left( 10 H \right)^{0.146 t} \left[ 1.63 t^{-0.021} \right] \right] \quad I_a)$$

ausgedrückt. Die Gesamthöhe in Millimetern des während der Dauer von  $t$  Stunden gefallen Niederschlages ist dann

$$h_{\max} = t i_{\max} \quad I_b)$$

Diese Gleichungen gelten für alle im Donaugebiete vorkommenden normalen Jahresniederschlagshöhen und für Regendauern von 5 Minuten bis zu einem Jahre, also von 0.0833 bis 8760 Stunden.

Die Zahlenwerte von  $I_a)$  und  $I_b)$  sind in den Tabellen I und II zusammengestellt worden. Eine graphische Auftragung dieser Zahlenreihen ist in den Tafeln 1 und 2 enthalten.

Zur Ermittlung des Ausdruckes  $I_a)$  wurde der Übersichtlichkeit und Bequemlichkeit halber vorwiegend das graphische Verfahren verwendet. Mit Rücksicht auf die Menge des zu verarbeitenden Beobachtungsmaterials haben auch die einzelnen Konstruktionsbehelfe für diese Formel einen ziemlichen Umfang angenommen, so daß eine Wiedergabe derselben im Rahmen dieser Abhandlung untunlich wäre. An dieser Stelle wird es wohl genügen, auf die bei der Aufstellung der Formel maßgebenden Momente zu verweisen und ihre Verwendbarkeit auch für solche Fälle darzulegen, wo dies vielleicht auf den ersten Blick nicht sofort klar wäre.

Bei der Gleichung  $I_a)$  wird es auffallen, daß die Niederschläge von weniger als 60 Minuten Dauer auf die Zeiteinheit von einer Stunde reduziert und daher so hohe Stundenintensitäten erreicht werden, wie sie eigentlich im Donaugebiete niemals vorkommen. Diese im allgemeinen nicht übliche Zugrundelegung der Zeiteinheit von einer Stunde für Regendauern von weniger als einer Stunde wurde jedoch nur zu dem Zwecke beibehalten, weil hiedurch die Kontinuität der Funktion  $f(H, t) = i_{\max}$  auch für Regendauern von weniger als einer Stunde ersichtlich wird und weil doch in der Praxis hauptsächlich mit Gesamtreghöhen, wie sie in  $I_b)$  zum Ausdrucke gelangen, gerechnet wird, wobei eine irrtümliche Vorstellung über die Regenintensität nicht aufkommen kann.

Die Umwandlung der Formel  $I_a)$  auf Minutenintensitäten würde lauten:

$$i'_{\max} = 16.6 \left( \frac{H}{100.000} \right) \log \left[ \left( 10 H \right)^{0.146 \left( \frac{t_1}{60} \right)} \left[ 1.63 \left( \frac{t_1}{60} \right)^{-0.021} \right] \right]$$

wenn  $t_1$  die Regendauer in Minuten bezeichnet.

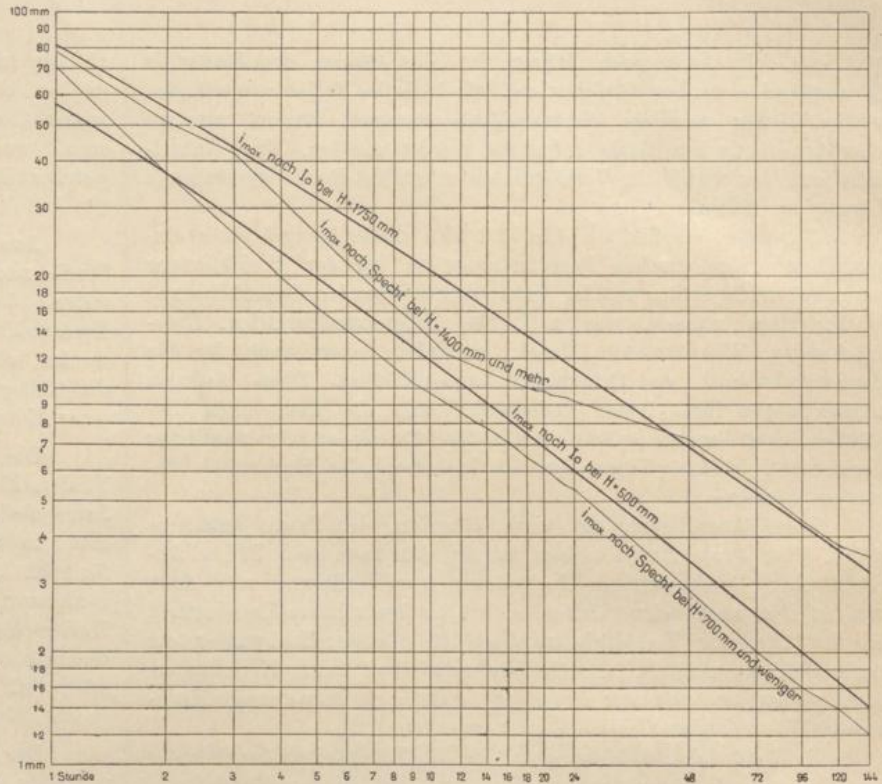
Die Stundenintensitäten für längere Regendauern haben selbstverständlich einen rein theoretischen Wert und dienen, um die Kontinuität des Ausdruckes  $I_a)$  darzulegen.

Bei der Bestimmung des  $i_{\max}$  waren folgende Grundsätze maßgebend:

1. Nur jene höchsten Maxima, welche, der Leitidee dieser Abhandlung entsprechend, auf dem Gebiete, welches durch sie begrenzt wird, den größtmöglichen Abfluß erzeugt hätten, finden Berücksichtigung.

2. Ist für ein längeres Intervall von  $t$  und  $H$  eine Kontinuität der Funktion  $i_{\max} = f(t, H)$  offensichtlich nachgewiesen, so gilt auch dieselbe Kontinuität für kleinere Abschnitte von  $t$  und  $H$  innerhalb dieses Intervalles selbst dann, wenn die vorhandenen Beobachtungsdaten nicht stets das für diese Abschnitte berechnete  $i_{\max}$  erreichen.

Auf Grund des Satzes 1) wurden einige bisher beobachtete höchste Niederschlagsmaxima, welche das durch die Formel  $I_a)$  gegebene  $i_{\max}$  noch überschritten hatten, ausgeschaltet, weil sie wegen ihrer im Verhältnisse zur Dauer allzugeringen Ausbreitung nur eine gleiche oder kleinere Hochwasserkulmination erzeugt hätten,



Figur 1.

als Regen von kürzerer Dauer, denen nach der Formel  $I_a)$  eine mindestens gleiche oder aber, was des öfteren der Fall ist, eine noch höhere Stundenintensität entspricht.

Diese exzessiven Platzregen befolgen offenbar ein anderes Gesetz oder lassen überhaupt eine Gesetzmäßigkeit nicht zu.

Im Interesse einer richtigen Beurteilung der Formel  $I_a)$  wird unter Hinweis auf ihre Ergebnisse für die Zeitdauern von 24 Stunden (1 Tag) 720 Stunden (1 Monat) nachstehendes bemerkt.

Aus der Tatsache, daß die für 24 Stunden berechneten Werte von  $i_{\max}$  nur in den seltensten Fällen von den beobachteten Werten erreicht beziehungsweise übertroffen werden, könnte der Schluß gezogen werden, daß die berechneten Werte im Vergleiche zu den sich wirklich ereignenden allzu groß sind. Nun muß aber bedacht werden, daß unter der Bezeichnung „Tagesniederschlag“ meistens Niederschlagshöhen angeführt werden, welche nicht einem 24 Stunden ununterbrochen andauernden Regen entsprechen, sondern nur die Niederschlagshöhen in dem 24 stündigen Zeitintervall von einer Messung zur anderen angeben. Werden aber diese für weniger als 24 Stunden Regendauer geltenden Niederschlagshöhen auf die vollen 24 Stunden gleichmäßig verteilt, so resultieren naturgemäß kleinere Stundenintensitäten, wodurch die vorhin geschilderte Unstimmigkeit der Formel ihre Erklärung findet.

Bei den für 720 Stunden (also für ein Monat) aus der Formel resultierenden Stundenintensitäten fällt es auf, daß sie von keiner der bisher beobachteten höchsten Stundenintensitäten erreicht werden und daß das Maximum der während eines Monats beobachteten

mittleren Stundenintensitäten nur 85% der berechneten beträgt. Auch hier ist die Erklärung dieses Widerspruches ziemlich einfach, indem die beobachteten Stundenintensitäten während eines Monats sich nur auf Kalendermonate beziehen, wogegen aber in der Rechnung ein Zeitraum von 720 Stunden eingeführt wird, welcher zu einem beliebigen Zeitpunkte beginnen kann.

Es ist wohl ohne weiteres klar, daß der Zeitraum für einen 30-tägigen Niederschlag sich nur in den seltensten Fällen mit dem Kalendermonate deckt.

Die einzelnen maximalen Kalendermonatssummen bieten daher keine genügende Charakteristik für die innerhalb eines beliebigen 30-tägigen Zeitraumes möglichen maximalen Regen, weshalb die aus der Formel resultierenden und gegenüber den beobachteten eine 15%ige Erhöhung aufweisenden Werte der höchsten mittleren Stundenintensitäten als vollkommen zulässig erachtet werden können.

Aus den Zusammenstellungen in den Tabellen I und II geht der alte Erfahrungssatz hervor, daß Trockengebiete, das sind Gebiete mit geringer normaler Jahresniederschlagshöhe, besonders zu exzessiven Niederschlägen neigen. Das höchste Niederschlagsmaximum ist während derselben Regendauer in trockenen Orten stets relativ größer als in nassen und die Zunahme der Regenintensität ist bei wachsendem  $t$  und  $H$  eine relativ geringere.

Diese allgemeinen Grundsätze über die Zunahme der Regenintensität sind schon in den beiden vorher erwähnten Werken bei verschiedenen Anlässen öfters zitiert worden. Es wäre daher von Interesse, insoweit dies möglich ist, auch die Angaben der beiden Autoren über die höchsten Niederschlagsmaxima mit den Resultaten der Gleichungen I a) und I b) zu vergleichen.

Bei den „größten Regenfällen in Bayern“ ist dies ohne weiteres möglich, da es sich hier um dasselbe Flußgebiet, nämlich die Donau, handelt. In Textfigur 1 werden die beiden Stundenintensitätskurven für regenreichere Gebiete mit einem durchschnittlichen Jahresniederschlag von 1400 mm und mehr und für regenärmere Gebiete mit einem durchschnittlichen Jahresniederschlag von 700 mm und weniger, welche das Resultat der erwähnten Spechtschen Studie darstellen, mit den Kurven der nach Formel I a) resultierenden Stundenintensitäten für die mittleren Jahresniederschlagshöhen von 1750 mm und 500 mm verglichen. Bei der Jahressumme von 1750 mm scheinen die geringeren Werte der korrespondierenden bayerischen Kurve zwischen 3 und 48 Stunden nur auf dem Mangel an diesbezüglichen Beobachtungen maximaler Niederschläge zu beruhen. Aus der gegenseitigen Lage der bayerischen Kurve für  $H$  unter 700 mm und der Kurve von  $t_{\max}$  nach I a) für  $H = 500$  mm könnte vielleicht gefolgert werden, daß die Kurve für  $H$  unter 700 mm wahrscheinlich für eine etwas geringere Jahresniederschlagshöhe als  $H = 500$  mm zu gelten hätte.

Sonst sind die Intensitätskurven ziemlich gleichlaufend.

Nicht ohne Interesse ist auch ein Vergleich der in gegenständlicher Abhandlung entwickelten Werte mit den von Professor Dr. G. Hellmann für Norddeutschland aufgestellten maximalen Niederschlagsmengen, obzwar hier wegen der Verschiedenheit der Gebiete keine unmittelbaren Schlußfolgerungen hinsichtlich der Übereinstimmung der Werte gemacht werden können. In dem Graphikon auf Seite 147, Band I, seines Werkes: „Die Niederschläge in den norddeutschen Stromgebieten“, begrenzt Dr. Hellmann die stärksten Platzregen nach unten durch eine Kurve, deren Werte in der nachfolgenden Tabelle angeführt werden. Da sie die untersten Werte darstellen, so könnten sie ungefähr mit den nach der Formel I b) resultierenden Werten bei  $H = 500$  mm verglichen werden

Dauer	5'	15'	30'	45'	60'	2 <sup>h</sup>	3 <sup>h</sup>
Stärkste Platzregen in Millimetern nach Hellmann	13	28	41	48	56	69	75
Formel I <sub>b</sub> bei $H = 500$ mm	16.9	30.8	42.8	50.9	57.2	73.7	89.2

Ferner hat Professor Hellmann für das Verhältnis zwischen dem mittleren jährlichen Tagesmaximum  $M$  und der mittleren Jahresniederschlagshöhe  $H$  die Beziehung:

$$M = 21.38 + 0.0211 H$$

aufgestellt, wobei die Werte  $M$ , die mittleren Tagesmaxima, sich zu den absoluten Tagesmaxima durchschnittlich wie 1:2.75 verhalten. Ähnliche Werte der mittleren Tagesmaxima bei wachsendem  $H$  können auch aus der Formel I b) abgeleitet werden, nur ist in diesem Falle das mittlere Verhältnis 1:4.55 oder rund 22% anstatt 1:2.75.

$H$	500	750	1000	1250	1500	1750	2000
1. $M = 21.38 + 0.0211 H$	32	37.25	42.5	47.76	53.02	58.28	63.58
2. $h_{\max}$ nach I <sub>b</sub>	143.2	169.1	194.7	220.1	245.2	270.4	295.5
1. in Prozenten von 2.	22.3	22.0	21.8	21.7	21.6	21.6	21.5

Schließlich teilt Dr. Hellmann auf Seite 137 des Bandes I vorerwähnten Werkes mit, daß die höchsten Tagesmaxima in trockenen Gegenden 20 bis 30% in feuchten Gegenden aber nur 15 bis 19% der jeweiligen mittleren Jahresmenge betragen. Die aus der Formel I b) resultierenden Werte des höchsten Tagesmaximums stehen aber auch, wie die folgende Tabelle zeigt, in einem ähnlichen Verhältnisse zur mittleren Jahresniederschlagshöhe.

$H$	500	750	1000	1250	1500	1750	2000
$h_{\max}$ in 24 Stunden	143.2	169.1	194.7	220.1	245.2	270.5	295.5
$h_{\max}$ in Prozenten von $H$	28.7	22.5	19.5	17.6	16.35	15.45	14.8

#### Die räumliche Ausbreitung der höchsten Niederschlagsmaxima.

Die räumliche Ausbreitung einzelner höchster Niederschlagsmaxima, sowohl lokaler exzessiver Sturzregen als auch ausgedehnter Rogenkatastrophen, ist bereits in zahlreichen Monographien beschrieben worden. Alle diese Studien bestätigen den allgemeinen Erfahrungssatz, daß die Regenintensität in einem umgekehrten Verhältnisse zur Regendauer und zur räumlichen Ausdehnung stehe. Eine allgemeine zahlenmäßige Darstellung dieses Verhältnisses ist jedoch, soviel bekannt ist, noch nicht versucht worden. Die vereinzelt Bestrebungen, eine Beziehung zwischen der Regenintensität und der überregneten Fläche aufzustellen, hatten, da es sich nur um Stadtentwässerungen handelte, bloß Regen von sehr kurzer Dauer und geringer Ausdehnung zum Gegenstande.

Der Grund, warum die für die Höchstwasserberechnungen so wichtige Frage der räumlichen Ausbreitung der Niederschlagsmaxima noch keine Lösung gefunden hat, ist wohl ausschließlich in der allzugerungen Auswahl des notwendigen Beobachtungsmaterials zu suchen. Für die Bestimmung der Intensitätsabnahme länger andauernder Regen, welche ein Areal von 1000 km<sup>2</sup> und mehr umfassen, genügen wohl die auf Grund der Ombrometerangaben gezeichneten Regenkarten. Für die Beurteilung kürzerer Maximalregen, welche schon bei einem geringen Gebietszuwachs bedeutende Intensitätsänderungen aufweisen, wären jedoch dichte Netze selbstregistrierender Regenmesser eine notwendige Vorbedingung. Die wenigen Netze solcher Ombrographenstationen, welche wir ausschließlich in den größeren Städten besitzen, haben aber keinen so langen Bestand, um auch über die höchsten Maxima eine hinreichende Auskunft zu geben und liegen auch in wenig verschiedenen Jahresniederschlagshöhen, um die durch die Flächenausbreitung bewirkte Reduktion der Regenintensität in allen Jahresniederschlagsstufen treffend zu charakterisieren.

Wenn nun trotz des empfindlichen Mangels an Beobachtungsdaten auch die weniger als 24 Stunden andauernden Regen in den Bereich der folgenden Abhandlung mit einbezogen wurden, so geschah dies einzig nur aus dem Grunde, weil der aus den Beobachtungsdaten von einem Jahre bis 24 Stunden sich ergebende Aufbau, der die Reduktion der Intensität bei wachsender Ausbreitung darstellenden Interpolationsformel eine gewisse Orientierung innerhalb der kürzeren Regendauern ermöglichte, so daß für kurze Regendauern statt Beobachtungsreihen nur vereinzelte Daten benützt werden konnten.

Die Zusammenstellung von Regen gleicher Falldauer ergab, daß die Durchschnittsintensität der maximalen Regen mit der Zunahme der überregneten Fläche abnehme und der Reduktionskoeffizient, welcher diese Abnahme der durchschnittlichen Intensität über der gesamten überregneten Fläche zum Ausdruck bringt, eine Funktion der mittleren Jahresniederschlagshöhe  $H$ , der Regendauer  $t$  und der Größe des überregneten Gebietes  $F$  von der allgemeinen Form

$$\varphi = \left(\frac{H}{100}\right) \left[ f(t) \cdot \left(\frac{F}{100.000}\right)^{f'(t)} \cdot \left(\frac{F}{100.000}\right)^n \right]$$

sei.

Der Vergleich der Zusammenstellungen der Regendauern von einem Jahr bis 24 Stunden zeigte, daß die Funktionen  $f(t)$

$$\varphi = \left(\frac{H}{100}\right) \left[ 10 t - \left(1.22 t^{-0.092}\right) \right] \left[ \left(\frac{F}{100.000}\right) \left\{ 0.009 t \left(0.76 t^{-0.107}\right) \right\} \left\{ \left(\frac{F}{100.000}\right)^{-0.607} \right\} \right] \quad \dots \dots \dots \text{II}$$

wobei  $H$  die mittlere Jahresniederschlagshöhe in Millimetern,  $t$  die Regendauer in Stunden und  $F$  die gesamte überregnete Fläche in Quadratkilometern bedeuten.

Die Berechnung dieses Ausdruckes für die einzelnen Werte von  $H$ ,  $t$  und  $F$  ist, wenn auch einfach, so doch ziemlich zeit-

und  $f'(t)$  stetige Funktionen und der Exponent  $n$  eine Konstante sei.

Aus den Niederschlagsdaten der Regen von weniger als 24 Stunden Dauer, insoweit höchste Niederschlagsmaxima in Betracht kamen, lassen sich Reduktionskoeffizienten ableiten, welche in die oben angeführte allgemeine Form hineinpasse. Nichtsdestoweniger bleibt der berechnete Reduktionskoeffizient in dem Zeitintervall unter 24 Stunden noch eine ziemlich vage Größe, deren Stichhaltigkeit erst durch ein ausreichendes Beobachtungsmaterial bestätigt werden kann.

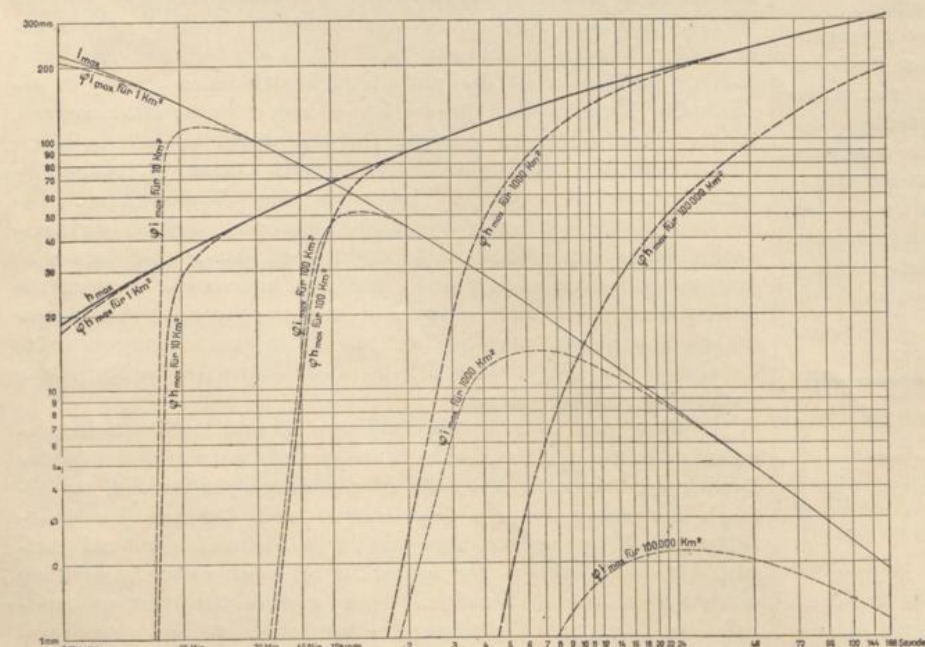
Die Interpolationsformel des Reduktionskoeffizienten, welcher die Abnahme der durchschnittlichen Regenintensität über der gesamten überregneten Fläche angibt, hat nach Einsetzung der ermittelten Werte für die Funktionen  $f(t)$  und  $f'(t)$  sowie den Exponenten  $n$  folgende Form:

Nach 1b) ist bei  $H = 1494 \text{ mm}$  und  $t = 48$  Stunden,  $h_{\text{max}} = 299 \text{ mm}$ . Aus Tafel 3 ist bei  $t = 48 \text{ St.}$  und  $F = 6100 \text{ km}^2$  der Exponent für  $\frac{H}{100}$  gleich  $0.139$  zu entnehmen. Auf Tafel 4 wird nun auf der Ordinate von  $H = 1000 \text{ mm}$  der mit der Zahl

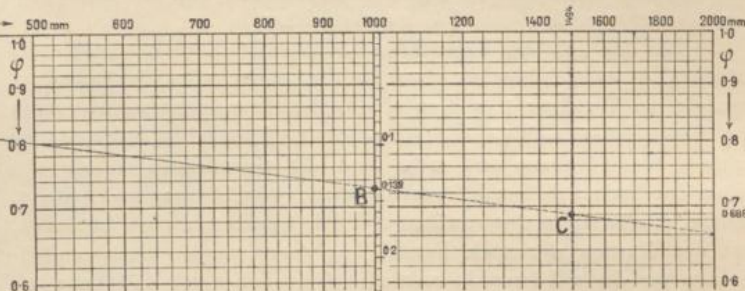
raubend, weshalb für die graphische Ermittlung des Reduktionsfaktors die Tafeln 3 und 4 angefertigt wurden. In der Tabelle III sind die der Konstruktion der Tafel 3 zugrundegelegten Rechnungswerte des Exponenten von  $\frac{H}{100}$  bei verschiedenen  $t$  und  $F$

zusammengestellt. In der Tafel 4 wird  $\frac{H}{100}$  zu dem aus der Tafel 3 entnommenen negativen Exponenten erhoben.

Ein Beispiel, Textfigur 2, möge den Gebrauch dieser Tafeln näher erklären: Zu suchen wäre die maximale Niederschlagshöhe eines zweitägigen Regens über dem  $6100 \text{ km}^2$  großen Ennsgebiete, dessen mittlere Jahresniederschlagshöhe  $1494 \text{ mm}$  beträgt.



Figur 3.



Figur 2.

$0.139$  bezeichnete Punkt  $B$  aufgesucht, mit dem Punkte  $A$  verbunden und der Schnittpunkt  $C$  der Geraden  $AB$  auf der Ordinate von  $H = 1494 \text{ mm}$  bestimmt. Der dort abzulesende Wert von  $\varphi$  beträgt  $0.688$ .

Die gesuchte maximale Niederschlagsmenge ist also  $h'_{\text{max}} = \varphi h_{\text{max}} = 206 \text{ mm}$ .

Aus der Formel II lassen sich folgende, die Ausbreitung maximaler Regen betreffende Sätze ableiten.

1. Jeder maximale Niederschlag umfaßt ein gewisses Areal, in welchem die Intensität das höchste Maximum erreicht, für welches also der Reduktionskoeffizient gleich 1 wird. Die Größe dieser maximal überregneten Fläche ist in allen Jahresniederschlagsstufen ungefähr dieselbe und nimmt mit wachsender Niederschlagsdauer zu.

2. In gleichen Jahresniederschlagsstufen nimmt die Intensität bei gleichbleibender Regendauer und zunehmender überregneter Fläche (Abnahme des Reduktionskoeffizienten) ab. Bei Maximalregen von kurzer Dauer nimmt die Intensität unverhältnismäßig rascher ab und wird bei einer gewissen Ausbreitung des Regens gleich Null. Dieses Ergebnis der Formel II kann, da genaue Angaben über Regen von kurzer Dauer und über  $100 \text{ km}^2$  Ausdehnung nicht vorliegen, durch Beobachtungsdaten nicht bestätigt werden.

3. In Gebieten höherer Jahresniederschlagsstufen ist die Abnahme der maximalen Regenintensität eine größere als in solchen von einer geringeren Jahresniederschlagshöhe. Diese Abnahme wird intensiver bei gleichbleibender Regendauer und zunehmender überregneter Fläche — also bei abnehmendem Reduktionskoeffizienten.

Es wäre nur noch darzulegen, inwieweit die Formel II mit Rücksicht auf den unsicheren, weil nur durch wenige Daten begründeten Verlauf des Reduktionskoeffizienten in den Zeitdauern unter 24 Stunden für Hochwasserberechnungen verwendbar ist. Zu diesem Zwecke sind in Textfigur 3 für Gebiete einer mittleren Jahresniederschlagshöhe von beispielsweise  $H = 1000 \text{ mm}$  und von 1, 10, 100, 1000 und 100.000  $\text{km}^2$  Ausdehnung die diesen Gebieten entsprechenden höchsten stündlichen Niederschlagsintensitäten sowie die diesen korrespondierenden Niederschlagshöhen für die Dauer von 5 Minuten bis zu 7 Tagen aufgetragen worden.

Wie aus dieser Darstellung zu entnehmen ist, kommt bei den Maximalregen von einer kürzeren Dauer als ungefähr 20 Stunden, welche über Gebieten bis rund 1000  $\text{km}^2$  niedergehen, der Reduktionsfaktor nur bei so kurzen Zeiträumen zur Geltung, daß mit Rücksicht auf die Größe der gesamten überregneten Fläche diese Regendauern nur einen Bruchteil der zum Ansammeln der gesamten Regenmengen notwendigen Zahl darstellen. Wird nun zum Zwecke der Höchstwasserbestimmung für ein Gebiet von weniger als 1000  $\text{km}^2$  Ausdehnung die Regendauer so lang gewählt, daß sie entsprechend der Gebietsform der Ablaufszeit aus der gesamten Einzugsfläche oder einem großen Teile derselben entspricht, so kommt bei dieser praktisch verwendbaren Regendauer ein Reduktionskoeffizient nicht mehr zur Verwendung und das  $i_{\text{max}}$  der Formel I a) bleibt unverändert.

Bei Höchstwasserbestimmungen, welchen, der geringen Einzugsgebiete wegen, kurze Regendauern bis ungefähr 20 Stunden zugrunde gelegt werden, hat also der Reduktionskoeffizient keine praktische Bedeutung und seine oben geschilderte Unsicherheit für kurze Zeitintervalle kommt demnach bei Höchstwasserbestimmungen nicht zur Geltung.

Für Gebiete über 1000  $\text{km}^2$  und die ihnen entsprechenden Regendauern von über 20 Stunden sind die Reduktionsfaktoren ziemlich verlässlich, allerdings nur insoweit, als sie nicht durch eventuelle künftig sich ereignende, noch heftigere Regengüsse eine Änderung erfahren.

Es wird daher notwendig sein, nach jeder Regenkatastrophe nicht nur die Gültigkeit der Formel I a) sondern auch die der Formel II zu kontrollieren.

#### Mittlere Niederschlagsmaxima.

Die Darstellung des höchsten Niederschlagsmaximums durch die während einer gewissen Falldauer erreichte Intensität und die Abnahme dieser Intensität bei zunehmender überregneten Fläche gibt zwar eine hinreichende Aufklärung über das höchste Ausmaß und den Umfang einer zeitlich und räumlich begrenzten Regenkatastrophe. Um jedoch das Wesen und die Bedeutung eines solchen höchsten Maximums genau zu erfassen, wäre es notwendig, auch seine anderen, bisher nur rudimentär bekannten Eigenschaften, wie z. B. seine Häufigkeit und jahreszeitliche Verteilung, in einer allgemeinen Form zu präzisieren. Vom Standpunkte der Hochwasserberechnung wird es aber vor allem interessieren, das Verhältnis des höchsten Niederschlagsmaximums zum mittleren festzustellen.

Zu diesem Zwecke wurden die mittleren Maxima nach den Regendauern und mittleren Jahresniederschlagshöhen zusammen gestellt, um in analoger Weise, wie bei Formel I a), die Beziehung zwischen dem mittleren Intensitätsmaximum, der mittleren Jahresniederschlagshöhe und der Falldauer zu erhalten.

Diese Zusammenstellungen ergaben, daß das mittlere Maximum während einer bestimmten Regendauer in allen mittleren Jahresniederschlagshöhen einen ziemlich konstanten Bruchteil des höchsten Maximums darstelle. Die Abweichungen von diesem durchschnittlichen Verhältnisse sind sehr gering, bei derselben mittleren Jahresniederschlagsstufe einmal positiv, einmal negativ, so daß sie weniger dem Einflusse des Jahresmittels als der Unsicherheit in der Bestimmung des Mittels des Niederschlagsmaximums zuzuschreiben sind.

Diese Verhältniszahlen zeigen ferner ein langsames Wachsen bei zunehmender Regendauer und lassen sich, da sie also von  $H$  unabhängig sind, durch eine einfache Funktion von  $t$  in Stunden von der Form

$$\mu = 0.27 \cdot t^{0.49} \quad \dots \dots \dots \text{III}$$

ausdrücken.

Die Werte des  $\mu$  für die Regendauern von 5 Minuten bis zu einem Jahre sind in der Tabelle IV enthalten.

Da die Verhältniszahl  $\mu$  unabhängig,  $i_{\text{max}}$  aber abhängig von  $H$  ist, so ergibt sich, daß auch für die mittleren Niederschlagsmaxima dieselbe Gesetzmäßigkeit der Zunahme bei wachsender mittlerer Jahresniederschlagshöhe bestehe, wie für die höchsten Niederschlagsmaxima.

Aus dem reichlichen Beobachtungsmateriale läßt sich aber auch nachweisen, daß noch geringere Maxima als die mittleren dieselbe Gesetzmäßigkeit der Zunahme bei wachsender mittlerer Jahresniederschlagshöhe befolgen, also ebenfalls nur ein Bruchteil des entsprechenden höchsten Maximums sind. Es sei hier z. B. auf die Maxima der mittleren Monatsintensitäten hingewiesen, welche in den einzelnen Monaten in allen mittleren Jahresniederschlagshöhen ziemlich genau einen Teil des höchsten Monatsmaximums nach Formel I a) betragen.

Das Verhältnis der einzelnen mittleren Monatsmaxima zum höchsten Monatsmaximum ist in der nachstehenden Tabelle ersichtlich.

Monat	Jänner	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
Mittleres Monatsmaximum in % des höchsten Monatsmaximums	14.6	15.6	18.5	17.4	24	28	34	30.6	23.5	17.8	14.7	18.1

Eigene Formeln für mittlere Niederschlagsmaxima sind auch von Dr. Hellmann in seinem öfters zitierten Werke für mittlere Platzregen und, wie schon im ersten Abschnitt erwähnt wurde, für mittlere Tagesmaxima aufgestellt worden.

Die Werte seiner Formel für mittlere Platzregen  $h = -0.311 t + 0.3532 \sqrt[3]{t^2}$  stehen für die Regendauern von 30 Minuten bis zu drei Stunden, wie aus der folgenden, beispielsweise für  $H = 750 \text{ mm}$  aufgestellten Tabelle hervorgeht, in einem ziemlich konstanten Verhältnis zu den Werten nach Formel 1b).

$t$ in Minuten	5	15	30	45	60	120	180
1. $h = -0.311 t + 0.3522 \sqrt[3]{t^2}$	8	17	26	33	37	48	53
2. $h = \mu \cdot h_{\text{max}}$ bei $H = 750 \text{ mm}$	17.8	33	46.3	55.6	62.8	82.1	94.6
1. in Prozenten von 2	45	51.5	56.2	59.4	58.8	58.5	56.1

Diese Ergebnisse besagen, daß, falls die Gültigkeit der Hellmannschen Formel auch auf das Donaugebiet übertragen werden könnte, die mittleren Platzregen von 30 Minuten bis drei Stunden Dauer sich zu den mittleren Niederschlagsmaxima verhalten wie rund 0.57 : 0.27 oder fast wie 2 : 1.

Das Verhältnis der mittleren Tagesmaxima aus der Hellmannschen Formel

$$M = 21.38 + 0.0211 H$$

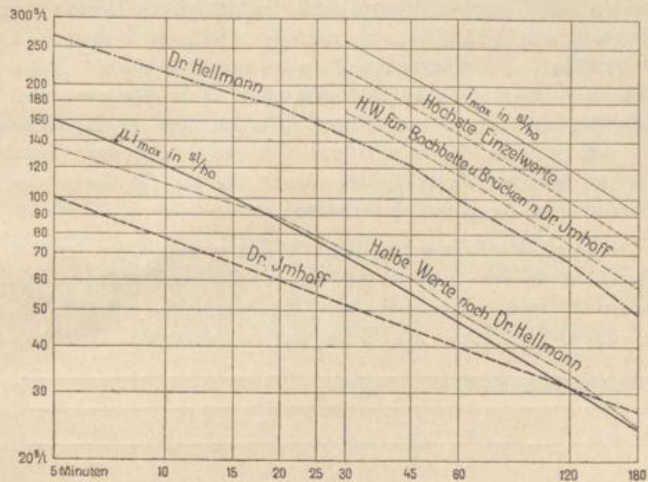
zu den höchsten Maxima aus Formel 1b) ist bereits im ersten Abschnitte mit 0.22 : 100 angegeben worden. Daraus folgt, daß die Hellmannschen mittleren Tagesmaxima sich zu den mittleren Tagesmaxima  $\mu \cdot h_{\text{max}}$  nach Formel 1b) und III wie 22 : 27.6 oder wie 0.8 : 1 verhalten. Es zeigt also in diesem Falle ein geringeres Maximum dieselbe relative Zunahme bei wachsender mittlerer Jahresniederschlagshöhe, wie ein mittleres Maximum, was jedoch, wie schon angeführt wurde, auch im Donaugebiete nachweisbar ist.

Mittlere Regenmaxima finden eine ausgedehnte Verwendung bei der Projektierung von Kanalisationen. In vielen Städten sind auf Grund jahrelanger Beobachtungen der Stärke und Dauer kürzerer maximaler Niederschläge eigene Regenkurven konstruiert worden, welche zumeist mittlere Maxima, das sind solche Maxima, welche nur einmal im Jahre erreicht beziehungsweise überschritten werden, darstellen. Da nun die durch den Faktor  $\mu$  reduzierten höchsten



Maxima aus der Formel Ia) ungefähr solchen Regengüssen entsprechen, so wäre mit Rücksicht auf ihre praktische Verwendbarkeit ein Vergleich mit den erwähnten Regenkurven auch dann von Interesse, wenn die unten angeführten Städte auch in andern Flußgebieten liegen.

Die Vergleichswerte wurden entnommen aus dem Handbuche der Ingenieurwissenschaften III. Teil, IV. Band, aus A. Friedrich: Kulturtechnischer Wasserbau, II. Band, aus Gürschner und Benzel: Der städtische Tiefbau, III., aus Dr. K. Imhoff: Taschenbuch für Kanalisationsingenieure 1907 und aus dem Technický Obzor XXI. Auf Grund der Formeln Ia) und III) wurden die Regenmengen  $sl/ha$  für die den einzelnen Städten entsprechenden Jahresniederschlagsmittel berechnet und sowohl numerisch als auch graphisch mit den verschiedenen Regenkurven verglichen.



Figur 4.

Textfigur 4. Dr. Imhoff, Emschergebiet,  $H = 770\text{ mm}$ .  
Dr. Hellmann, Norddeutschland,  $H = 750$ .

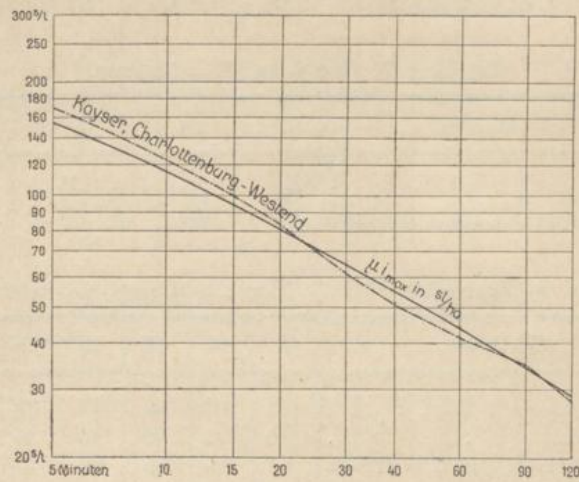
$t$ in Minuten	5	10	15	20	30	45	60	120	180
Imhoff	100	78	67	60	52	45	40	31	27
Hellmann	266	216	189	175	145	122	100	67	49
Hellmann, halbe Werte	133	108	94.5	87.5	72.5	61	50	33.5	25.5
Aus Ia) und III) bei $H = 750\text{ mm}$	160	122	100	87	69.5	55.5	47	31	24

für die Berechnung des Koeffizienten  $\varphi^1$ ).

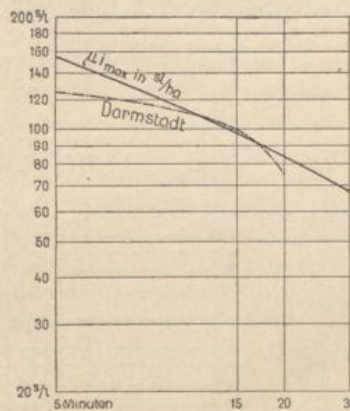
	$F$ in $\text{km}^2$									
	500	200	100	50	20	10	5	2	1	0.5
0.00001182										
0.00002713										
0.00009021										
0.0007286										
0.0009467										
0.001260										
0.001727										
0.002451										
0.003637	0.00001293									
0.005711	0.00002890									
0.007351	0.00001664									
0.009672	0.00007340									
0.01307	0.0001245									
0.01822	0.0002226									
0.02644	0.0004249									
0.04036	0.0008801									
0.06591	0.002029	0.00001811								
0.1183	0.005420	0.00008301								
0.2450	0.01799	0.0005219								
0.6508	0.08571	0.005488	0.00005867							
3.0459	0.8788	0.1629	0.01008	0.00001393						
	2.0586	0.5363	0.05815	0.0003038						
		2.3855	0.4924	0.01178	0.00008365					
			8.9448	1.2856	0.09835	0.001516				
						2.0432	1.2392	0.03186	0.00008930	

Textfigur 5. Kayser, Charlottenburg-Westend,  $H = 583\text{ mm}$ .

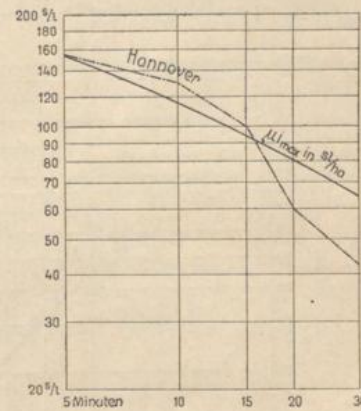
$t$ in Minuten	5	10	15	20	30	40	60	90	120
Kayser	171	125	100	84	62	52	42	35	28
Aus Ia) und III) bei $H = 583\text{ mm}$	155.3	116.94	94.5	82.65	66	55.44	42	34	28.8



Figur 5.



Figur 6.



Figur 7.

Textfigur 6. Th. Heyd, Darmstadt,  $H = 665 \text{ mm}$ .

$t$ in Minuten	5	15	20	30
Heyd	125	100	75	...
aus I a) und III) bei $H = 665 \text{ mm}$	157	97	84	67.5

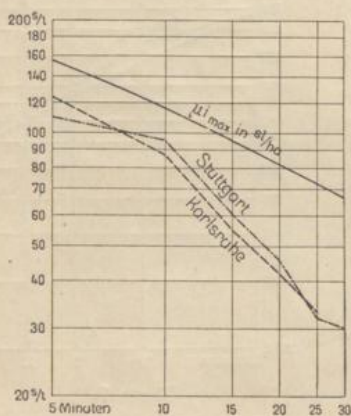
Textfigur 7. Hannover,  $H = 583 \text{ mm}$ .

$t$ in Minuten	5	10	15	20	30
Hannover	156	131	93	60	43
aus I a) und III) bei $H = 583 \text{ mm}$	155	116	95	81	65

Textfigur 8. Karlsruhe:  $H = 670 \text{ mm}$ ; Stuttgart:  $H = 634 \text{ mm}$ .

$t$ in Minuten	5	10	15	20	25	30
Karlsruhe . . . . .	125	87	55	42	33	...
Stuttgart . . . . .	110	95	60	46	32	30
aus I a) und III) bei $H = 670 \text{ mm}$	156	116	95	82	73	67

Die beiden ersten in Textfigur 4 dargestellten Regenkurven gelten in Deutschland als Grenzwerte für die Berechnung städtischer



Figur 8.

Kanalisationen. Dr. Ing. H. Keller empfiehlt, die Hellmannsche Kurve für die Berechnung von Durchlässen und ihre ungefähr halben Werte für die Bemessung der städtischen Kanalnetze zu verwenden. Die bei  $H = 750 \text{ mm}$  aus Formel I a) und III) berechnete Regenkurve fällt so ziemlich mit den halben Hellmannschen Werten zusammen und liegt auch zwischen den beiden Grenzwerten von Dr. Hellmann und Dr. Imhoff.

Dem Taschenbuche Dr. Imhoffs können auch die Werte für die Berechnung von Bach- und Brückenprofilen sowie auch höchste Einzelwerte entnommen werden. Die Regenwerte Dr. Hellmanns und Dr. Imhoffs für Überbrückungen für die Regendauern von 30 Minuten bis 3 Stunden stehen in einem konstanten Verhältnis von 0.56:1 und 0.63:1 zu den höchsten Regenmengen nach Formel I a). Die höchsten Einzelwerte Imhoffs sind ebenfalls ein konstanter Bruchteil des höchsten Maximums nach I a) und verhalten sich zu diesen wie 0.89:1.

Die Kayserische Regenkurve für Charlottenburg - Westend, Textfigur 5, fällt ebenfalls fast genau mit der bei  $H = 583 \text{ mm}$  aus Formel I a) und III) gerechneten Kurve zusammen. Dagegen haben die in Textfigur 6, 7, 8 dargestellten Regenkurven von Darmstadt, Hannover, Karlsruhe und Stuttgart nicht nur einen sehr abweichenden Verlauf von den für Deutschland ziemlich allgemein geltenden Kurven nach Imhoff und Hellmann, sondern auch von den nach Formel I a) und III) gerechneten.

Auch die von Knauff durch den Ausdruck:

$$t_r = \frac{8000 \cdot H}{q^3} + \frac{0.1 \cdot H}{\sqrt{q}}$$

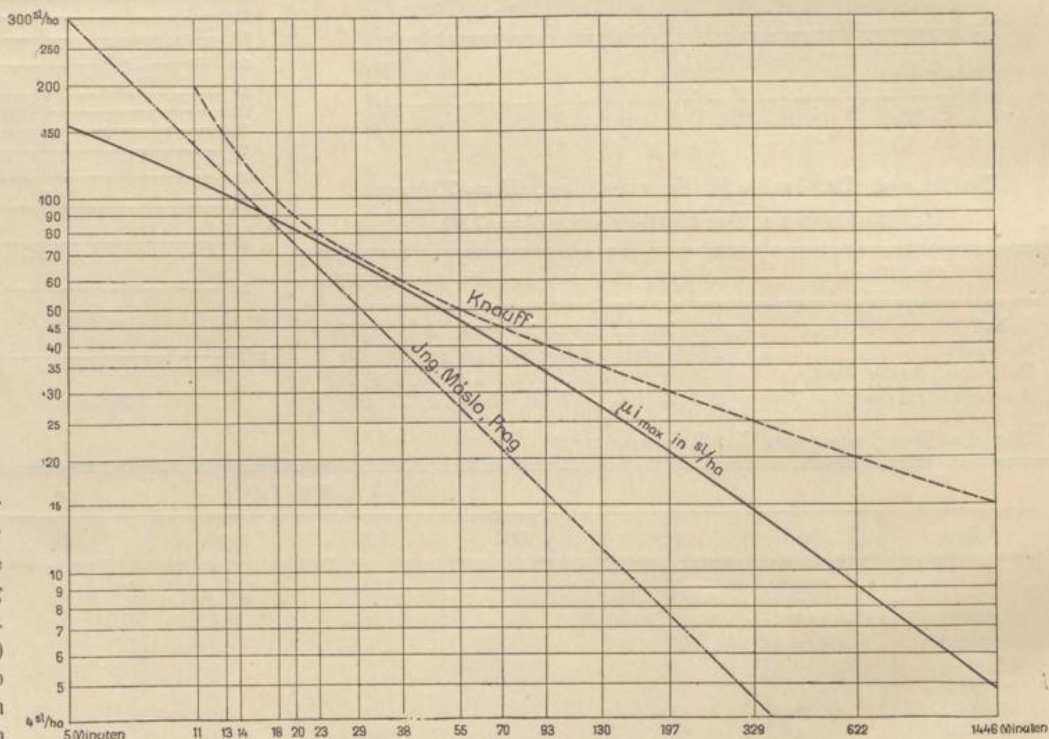
und von Ingenieur E. Máslo für Prag durch die Formel:

$$t \cdot m_r = 1500$$

gegebenen Regenkurven stimmen z. B. bei  $H = 600 \text{ mm}$  mit der nach  $\mu \cdot i_{\text{max}}$  gerechneten nicht überein und divergieren, wie Textfigur 9 zeigt, von diesen Werten sowohl bei kurzen als auch bei längeren Regendauern.

Die Stadt Wien projiziert ihre Kanäle in dichtverbauten Stadtteilen unter Zugrundelegung eines halbstündigen Regens von der Ergiebigkeit von 125 sl/ha, in weniger dicht verbauten Gebieten eines 20 Minuten andauernden Regens von 100 sl/ha. Nach den Formeln I a) und III) ergibt sich für  $H = 670 \text{ mm}$  und für 30 Minuten eine Regenmenge von 68 sl/ha, für 20 Minuten eine solche von 86 sl/ha. Wien wäre also für Gebiete, deren Ablaufzeit 20 bis 30 Minuten beträgt, auf das 1.16 bis 1.84fache des allgemein üblichen Regenmaßes kanalisiert.

Obzwar die Bemessung der Regenwassermengen auf Grund der Regenkurven ein direktes und einwandfreies Verfahren darstellt, wird sehr oft und auch dort, wo jahrelange Regenstatistiken vorliegen, die Regenmenge mit Hilfe der sogenannten Verzögerungs-



Figur 9.

koeffizienten aus einer höchstbekannten Stundenintensität berechnet. (Vergl. Dr. Salomon: Die städtische Abwasserbeseitigung in Deutschland. I. Band, Seite 506 ff.)

Diese Verzögerungskoeffizienten besitzen die allgemeine Form

$$\psi = \frac{1}{n \sqrt{F}}$$

wobei nach Imhoff  $n$  von 4 bis 8 variiert, sind auf Grund von Regenbeobachtungen aufgestellt worden und könnten daher unter gewissen Voraussetzungen mit den Reduktionsfaktoren der Regenintensitäten, welche aus Formel I a) und III) resultieren, verglichen werden.

Das höchste stündliche Maximum der Regenintensität verhält sich zu den in den einzelnen Falldauern von 5, 15, 30, 45 und 60 Minuten sich ereignenden mittleren Intensitätsmaxima im Durchschnitte, das ist bei  $H = 750 \text{ mm}$  wie

$$1 : 0.92, 0.57, 0.4, 0.32, 0.27.$$

Tabelle IV.

$$\mu = 0.27 t^{0.49} \dots \dots \dots \text{III.)}$$

<i>t</i>	$\mu$	<i>t</i>	$\mu$	<i>t</i>	$\mu$	<i>t</i>	$\mu$	<i>t</i>	$\mu$	<i>t</i>	$\mu$
8760	0.80008	72	0.28347	20	0.27496	14	0.27366	8	0.27219	2	0.27037
720	0.34030	48	0.27993	19	0.27475	13	0.27343	7	0.27192	1	0.27000
168	0.29493	24	0.27576	18	0.27454	12	0.27319	6	0.27163	0.75	0.26991
144	0.29232	23	0.27557	17	0.27433	11	0.27295	5	0.27134	0.50	0.26981
120	0.28957	22	0.27537	16	0.27411	10	0.27270	4	0.27104	0.25	0.26973
96	0.28664	21	0.27516	15	0.27389	9	0.27245	3	0.27071	0.083	0.26972

Der Reduktionsfaktor, auf Grund dessen die mittleren Intensitätsmaxima von 5 bis 60 Minuten Dauer durch das höchste Maximum ausgedrückt werden könnten, ist also ungefähr

$$\psi = 0.27 t^{-0.5}$$

Da nun der eine Reduktionsfaktor durch die entwässerte Fläche (*F*) und der andere durch die Regendauer (*t*) — hier übereinstimmend mit der Entwässerungsdauer — ausgedrückt ist, so kann ein Vergleich der beiden Faktoren bezüglich ihrer Übereinstimmung auf Grund der Beurteilung des Ausmaßes der während einer bestimmten Zeitdauer entwässerten Fläche vorgenommen werden. Sollte also für die Regenverhältnisse eines langgestreckten Gebietes von sehr schwachem Gefälle, für welches der Verzögerungskoeffizient

$$\psi = F^{-0.25}$$

verwendet wird, auch der Reduktionsfaktor

$$\psi = 0.27 \cdot t^{-0.5}$$

Geltung haben, so müßte

$$F = 188 \cdot t^2$$

sein.

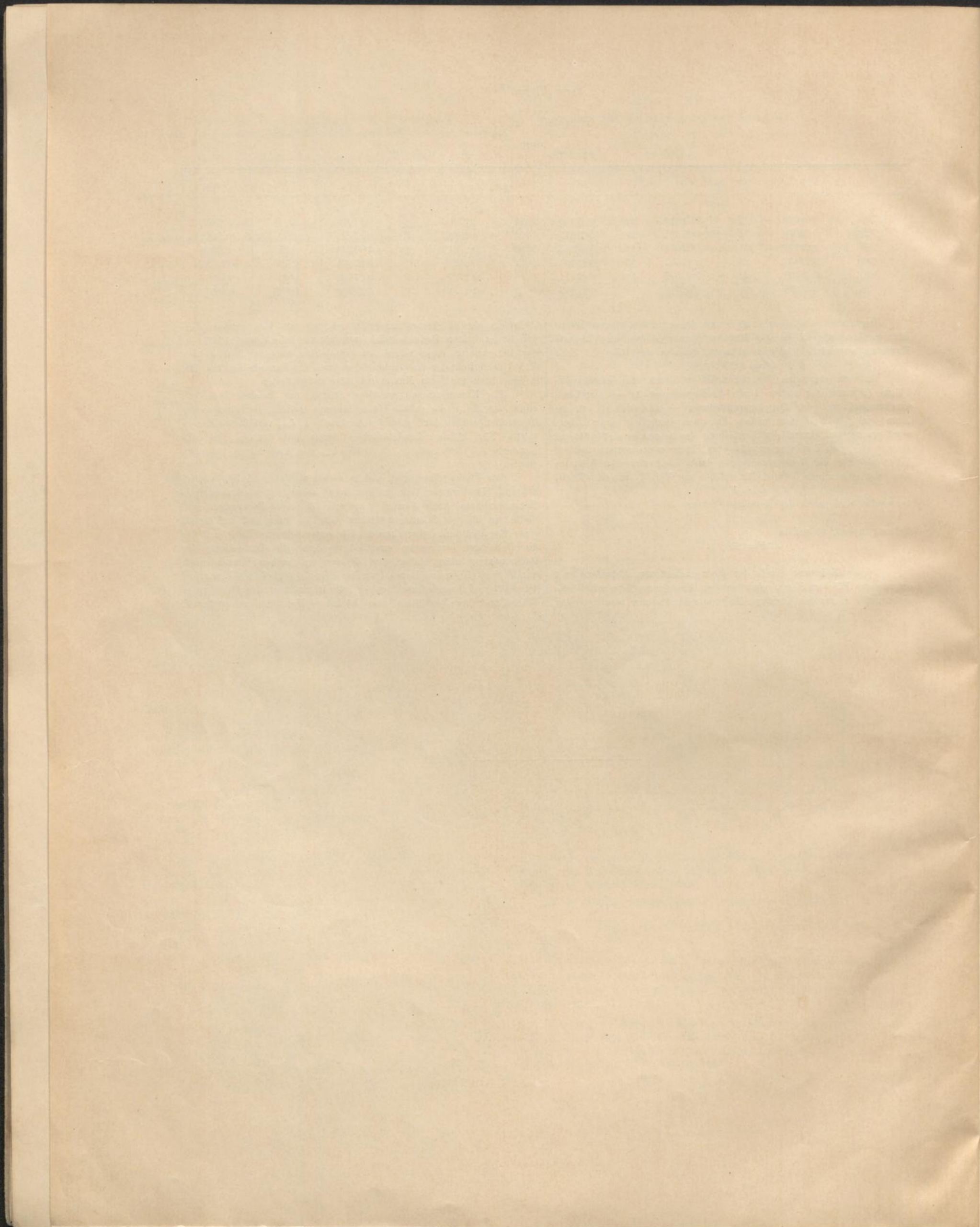
Diese Gleichung ergibt für die verschiedenen Ablaufzeiten *t* entwässerte Flächen *F* von einer solchen Ausdehnung, die mit Rücksicht auf die aus den geringen Neigungsverhältnissen resultierenden

Ablaufgeschwindigkeiten immerhin möglich ist. Ein genauer Vergleich der beiden Reduktionsfaktoren könnte jedoch nur auf Grund der Berechnung eines Kanalisationsprojektes vorgenommen werden.

Bezüglich der Verwendung des durch die Formeln I a) und III) dargestellten mittleren Maximums wäre anzuführen:

Für Kanalisationen größerer Städte, bei welchen höchstens einmal im Jahre die größte Wasserführung erreicht, beziehungsweise übertroffen werden darf, gibt der Ausdruck  $\mu \cdot i_{\max}$  verlässliche Regenwerte. Für kleinere Landstädtchen dürfte mit  $0.2 \cdot i_{\max}$  und für Landorte schlimmstenfalls mit  $0.15 \cdot i_{\max}$  das Auskommen gefunden werden.

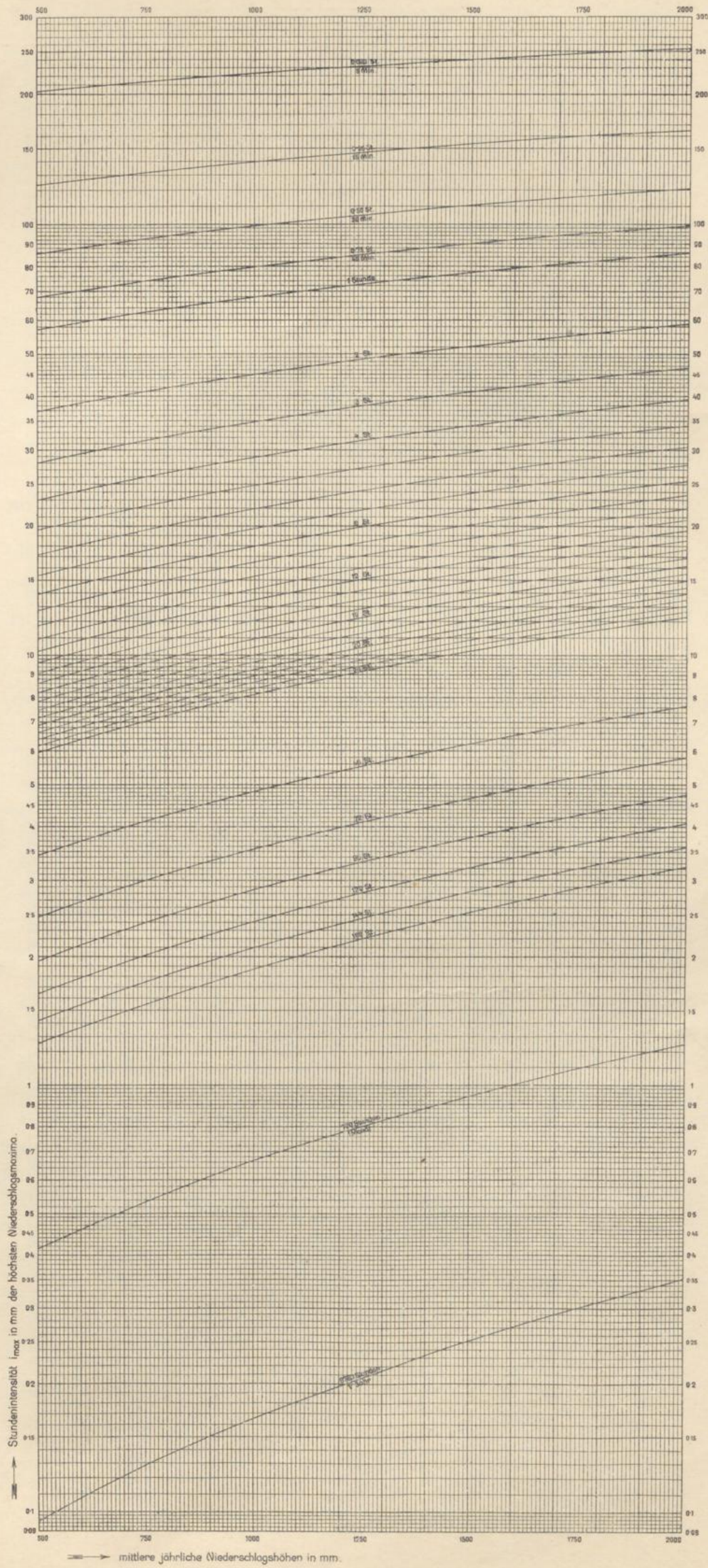
Für Flußregulierungen, welche gegen mittlere, jährlich wiederkehrende Hochwässer Schutz gewähren sollen, wäre das mittlere Regenmaximum nach Formel I a) und III ebenfalls ausreichend. Sollte ein höherer Schutz erwünscht sein, so kann erst auf Grund einer Regenhäufigkeitsberechnung das entsprechende Regenmaß für die Hochwasserbemessung ermittelt werden. Die Darstellung der Regenmaxima wäre daher aus diesem praktischen Grunde noch durch eine allgemeine Darstellung der Regenhäufigkeit mit Bezug auf die mittlere Jahresniederschlagshöhe, die Regendauer, die überregnete Fläche und das Verhältnis zum höchsten Maximum zu ergänzen.

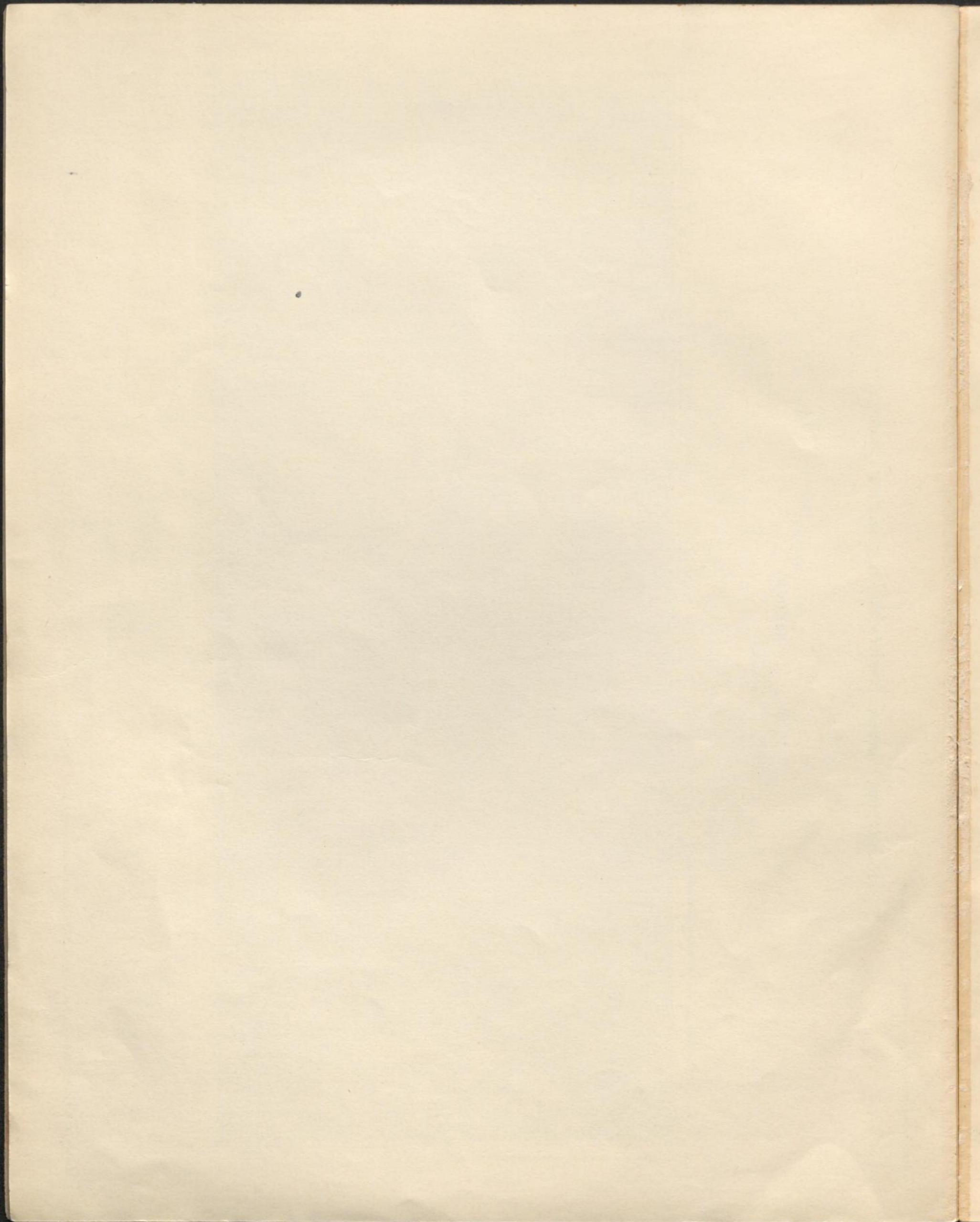


Höchste und mittlere Niederschlagsmaxima im Donaugebiete.

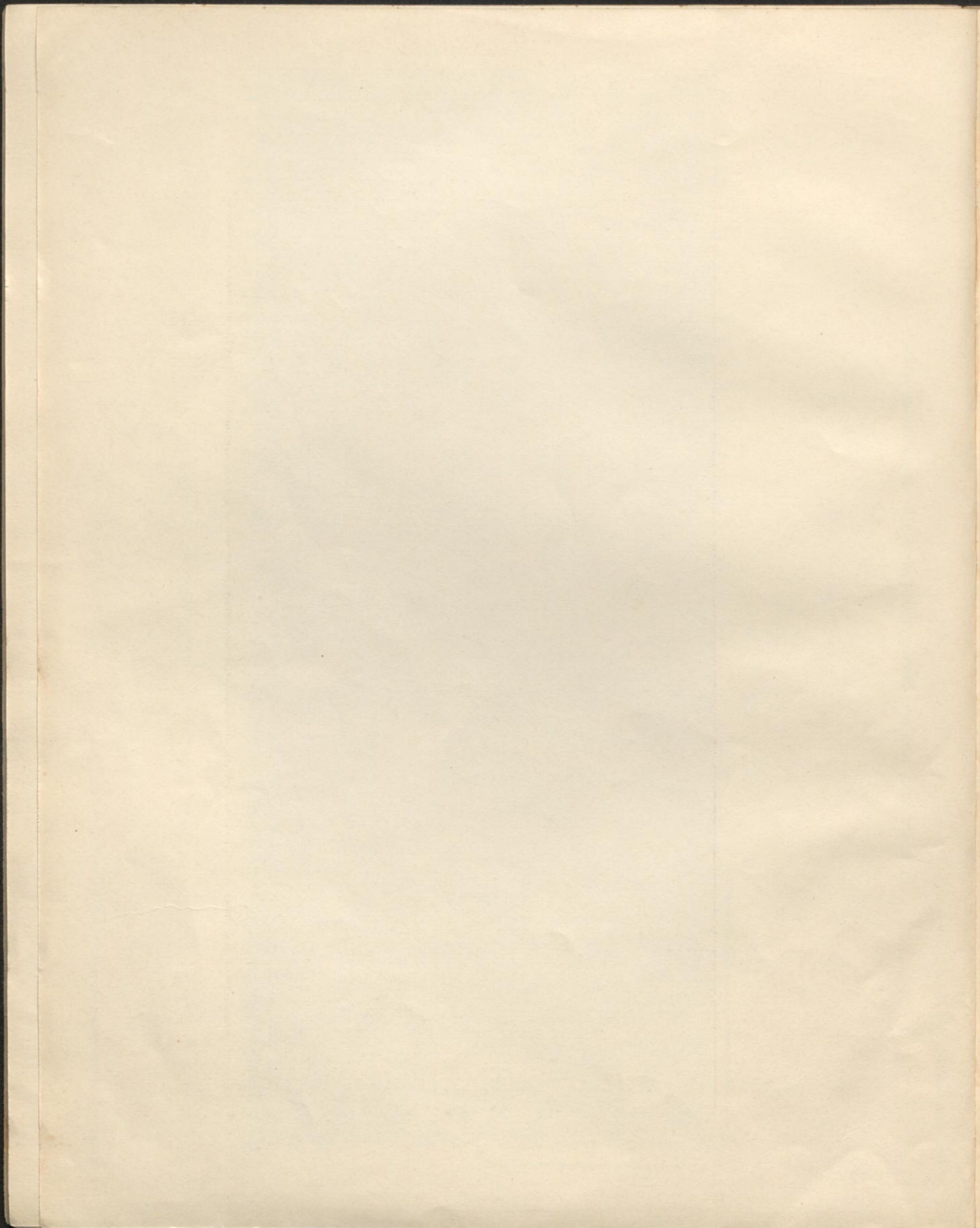
$$i_{\max} = 1000 \left( \frac{H}{100.000} \right)^{\log \left[ \left( \frac{H}{100.000} \right)^{0.146} \right] \log \left[ 1.63 t^{-0.021} \right]}$$

. . . . . I a.



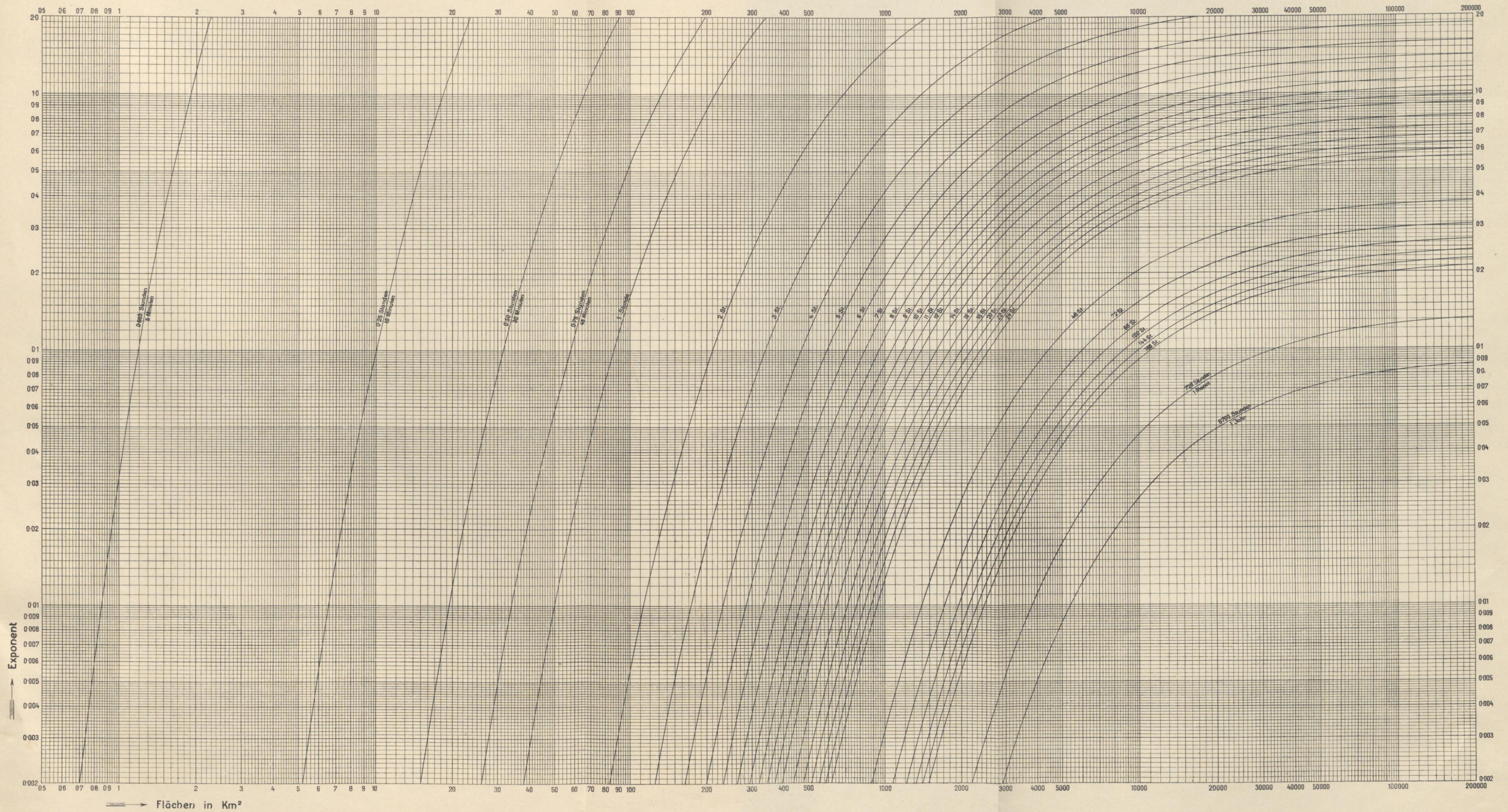


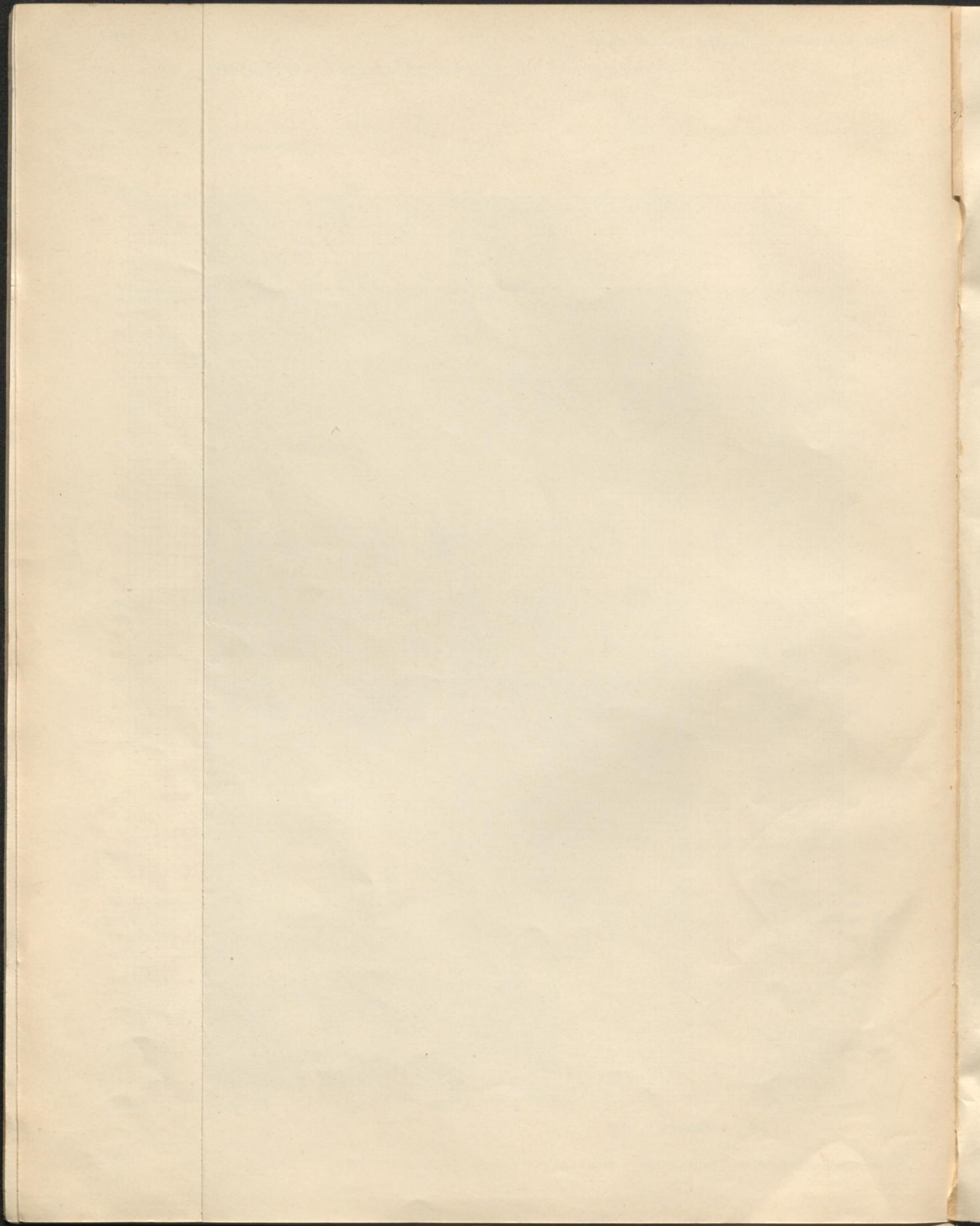




Höchste und mittlere Niederschlagsmaxima im Donaugebiete.

$$\text{Exponenten von } \left(\frac{H}{100}\right) \dots \dots \left[10 t^{-\left(1.22 t^{-0.092}\right)}\right] \left[\left(\frac{F}{100.000}\right)^{\left\{0.009 t^{(0.76 t^{-0.107})}\right\}}\right] \left[\left(\frac{F}{100.000}\right)^{-0.607}\right]$$





### Höchste und mittlere Niederschlagsmaxima im Donaugebiete.

