

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Article, Published Version

**Schleiermacher, Ernst**

## **Versuch einer morphologischen Begründung von Rauhigkeitsbeiwerten für die Berechnung des Wasserspiegelgefälles**

Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103169>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Schleiermacher, Ernst (1957): Versuch einer morphologischen Begründung von Rauhigkeitsbeiwerten für die Berechnung des Wasserspiegelgefälles. In: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 9. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 28-39.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Versuch einer morphologischen Begründung  
von Rauigkeitsbeiwerten für die Berechnung  
des Wasserspiegelgefälles.

Von o.Prof. i.R. Dr.-Ing. Ernst Schleiermacher

Von einem Wasser- und Schifffahrtsamt ist der Abteilung Wasserbau der Bundesanstalt für Wasserbau die Berechnung des Wasserspiegelgefälles in einer rd. 30 km langen Flußstrecke mit Wasserspiegelgefällen I zwischen 0,00025 und 0,0006 zur Begutachtung vorgelegt worden. Der Berechnung lag die Formel von Bazin für die Ermittlung des Rauigkeitsbeiwertes

$$k_B = c = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}} = \frac{87 R}{\gamma + \sqrt{R}}$$

zu Grunde. Als Rauigkeitszahlen waren gewählt:

$$\begin{aligned} \gamma_{Fl} &= 2,4 \text{ für den Flußschlauch,} \\ \gamma_{Vorld} &= 2,7 \text{ für das Vorland.} \end{aligned}$$

Nach Einsetzen der entsprechenden hydraulischen Radien R wurden gefunden:

$$\begin{aligned} k_{B Fl} &= 41,2 \text{ bis } 44,4 \text{ für den Flußschlauch,} \\ k_{B Vorld} &= 20,1 \text{ bis } 39,5 \text{ für das Vorland.} \end{aligned}$$

Ein Vergleich mit entsprechenden Tabellenwerten liess die gewählten  $\gamma$ -Werte recht hoch erscheinen, jedenfalls in Bezug auf die morphologischen Verhältnisse des betreffenden Flusses. Es geben z.B. Weyrauch-Strobel<sup>1)</sup> und O. Streck<sup>2)</sup> an:

$$\begin{aligned} \gamma = 1,75 - 2,3 & \quad \text{Grobes Geröll, rauhe Felsufer, Gebirgsflüsse, Alpenrhein} \\ \gamma \text{ bis } 3,5 & \quad \text{Vorländer und Täler} \end{aligned}$$

1) Weyrauch-Strobel, Hydraulisches Rechnen, 6. Auflage, Stuttgart 1930 bei Konrad Wittwer, Tabelle 100.

2) O. Streck, Grund- und Wasserbau in praktischen Beispielen, 2. Bd. Berlin/Göttingen/Heidelberg 1950 im Springer-Verlag. Tafel 1

- $\gamma$  etwa 1,75 Kanäle mit unregelmässigem Bett, viel Wasserpflanzen. Kies grob 50/100/150 mm bzw. Feinkies mit grobem Geröll von über 100 bis 150 mm. Bäche, Flüsse bei ruhender Geröllbewegung ( $\gamma = 1,30$  bis 1,75).
- $\gamma$  bis 2,20 u. darüber Erdkanäle, schlecht unterhalten, viel Pflanzen, Sohle schlammig und steinig. Drängräben ( $\gamma = 1,75 - 2,50$ ). Gebirgsflüsse mit grobem Geröll ( $\gamma = 1,75 - 2,30$ ), desgl. Gewässer mit sehr viel Pflanzen, unregelmässig, schlecht unterhalten. Roher Felsausbruch, durch Nacharbeit abgeglichen.
- $\gamma \sim 2,5$  Roher Felsausbruch ohne jede weitere Bearbeitung (je nach Felsart  $\gamma = 2,50 - 3,50$ ), Vorländer, Talböden ( $\gamma = 2,80 - 3,70$ ). Alpenflüsse ( $\gamma$  bis etwa 6,5 z.B. Alpenrhein bei Disentis).

Vor einigen Jahren war die Abteilung Wasserbau der Bundesanstalt beauftragt worden, für Bauarbeiten in dem gleichen Fluss Modellversuche durchzuführen. Dabei wurden aus modelltechnischen Gründen die Vorländer nicht in der vollen Breite dargestellt. Es musste daher für HQ der verbleibende Anteil auf den Modellvorländern berechnet werden. Dazu wurde folgendes Verfahren angewandt. Es wurde zunächst in einem Querschnitt etwa 7 km oberhalb der eingangs erwähnten Flußstrecke für das künftige Mittelwasserbett und für den höchsten schiffbaren Wasserstand (HschW) der Rauigkeitsbeiwert nach Kutter

$$k_K = \frac{HschQ}{F \cdot \sqrt{RJ}}$$

berechnet. Dieser Wert  $k_K$  wurde in die sogenannte kleine Kuttersche Formel

$$k_K = \frac{100\sqrt{R}}{m_K + \sqrt{R}}$$

eingesetzt und damit die Rauigkeitszahl für den Flußschlauch

$$m_K = \frac{100\sqrt{R}}{k_K} - \sqrt{R}$$

ermittelt. Mit dieser Rauigkeitszahl wurde die Wassermenge  $HQ_{F1}$

berechnet, die bei HW im Flußschlauch abfließt. Die Differenz  $HQ - HQ_{Fl}$  ergab den Hochwasserabfluss  $HQ_{World}$  über die Vorländer. Daraus wurden der Rauigkeitsbeiwert  $k_K World$  und die Rauigkeitszahl  $m_K World$  gefunden, mit deren Hilfe die Abflussmenge durch die reduzierten Vorlandflächen festgestellt werden konnte. Für die Natur wurden berechnet:

bei HschW	$k_K Fl$	= 30	$m_K Fl$	= 3,96 $\cong$ 4,0
bei HW	$k_K Fl$	= 37	$m_K Fl$	= 4,0
	$k_K World$	= 10,6	$m_K World$	= 11,7

Zum Vergleich werden aus den schon erwähnten Werken angeführt:

$m = 2,5$	Gewässer mit grobem Geröll, rauhe Felsufer, Gebirgsflüsse, Alpenrhein
$m = 3,5$ bis 5	Vorländer und Täler
$m = 2,55$	Iller bei Kellmünz, HW 16.7.1910
$m = 3,46$	Alpenrhein bei Mastrils und entsprechend
$k = 42,8$	Iller bei Kellmünz, HW 16.7.1910
$k = 33,37$	Alpenrhein bei Mastrils <sup>3)</sup>
$m$ etwa 2,5	Erdkanäle, schlecht unterhalten, viel Pflanzen, Sohle schlammig und steinig. Drängräben ( $m = 2,0$ bis 2,8). Gebirgsflüsse mit grobem Geröll ( $m = 2,0$ bis 2,5), desgl. Gewässer mit viel Pflanzen, unregelmässig, schlecht unterhalten. Rauher Felsausbruch, durch Nacharbeit abgeglichen
$m$ etwa 3,0	Roher Felsausbruch ohne jede weitere Bearbeitung (je nach Felsart $m = 2,9$ bis 3,7). Vorländer und Talböden ( $m = 3,0$ bis 4,0). Alpenflüsse ( $m$ bis 7,0 z.B. Rhein bei Disentis $m = 7,4$ ). <sup>4)</sup>

Rein zahlenmässig weichen nur die von der Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe für das Vorland berechneten Werte  $k_K World = 10,6$  und  $m_K World = 11,7$  unwahrscheinlich stark von den Tabellenwerten ab. Die Frage nach der Ursache führte zu einer kritischen Betrachtung des Lageplanes. Diese zeigte, dass für die Berechnung der wasserführende Querschnitt  $F_w$  dem benetzten Querschnitt  $F_b$  gleichgesetzt worden war, dass also der Abstand der beiderseitigen

---

3) Vgl. Anm. 1, Tabellen 32 und 100

4) Vgl. Anm. 2, Tafeln 2 und 2a

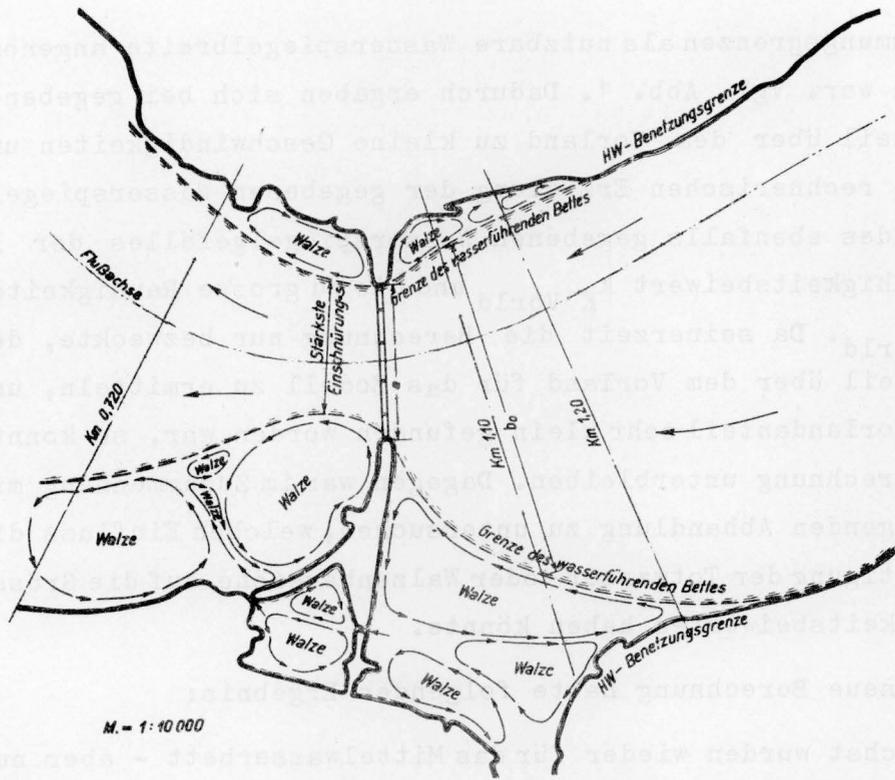


Abb. 1. Wasserführendes Bett und benetztes Bett bei einem Fluss mit starker Einschränkung des Hochwasser-Querschnittes durch eine Brücke mit langen Zufahrtsrampen.

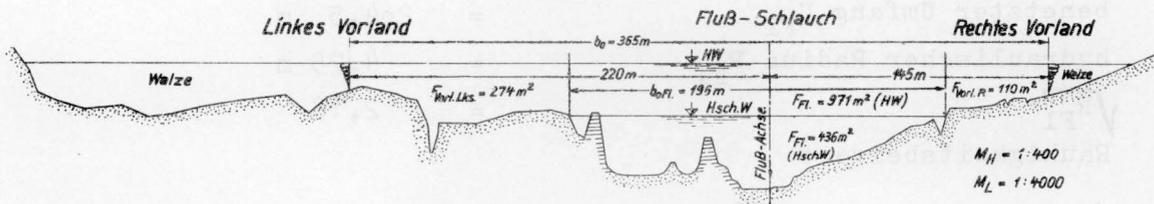


Abb. 2. Der Berechnungsquerschnitt km 0,720.

Überschwemmungsgrenzen als nutzbare Wasserspiegelbreite angenommen worden war. Vgl. Abb. 1. Dadurch ergaben sich bei gegebenem Abflussanteil über dem Vorland zu kleine Geschwindigkeiten und damit zur rechnerischen Erzielung der gegebenen Wasserspiegel-lage und des ebenfalls gegebenen Wasserspiegelgefälles der zu kleine Rauigkeitsbeiwert  $k_{K \text{ Vorld}}$  und die zu grosse Rauigkeits-zahl  $m_{K \text{ Vorld}}$ . Da seinerzeit die Berechnung nur bezweckte, den Abflussanteil über dem Vorland für das Modell zu ermitteln, und da dieser Vorlandanteil sehr klein gefunden worden war, so konnte eine Neuberechnung unterbleiben. Dagegen war im Zusammenhang mit der vorliegenden Abhandlung zu untersuchen, welchen Einfluss die Berücksichtigung der Totwasser- oder Walzenbereiche auf die Grösse des Rauigkeitsbeiwertes haben könnte.

Die neue Berechnung hatte folgendes Ergebnis:

Zunächst wurden wieder für das Mittelwasserbett - aber nun in seiner Gestalt vor Beginn der Regulierungsarbeiten, vgl. Abb. 2 - und für HschW

der Rauigkeitsbeiwert  $k_{K \text{ Fl}} = 26,7$  und  
die Rauigkeitszahl  $m_{K \text{ Fl}} = 4,07$

berechnet, also Werte, die den auf Seite 30 erwähnten sehr nahe-lagen. Damit konnte der Anteil ermittelt werden, der von einem  $HQ = 1800 \text{ m}^3/\text{s}$  im Mittelwasserbett abfließt. Aus den Werten

wasserführender Querschnitt $F_{\text{Fl}}$	=	971	$\text{m}^2$
benetzter Umfang $U_{\text{Fl}}$	=	204,5	m
hydraulischer Radius $R_{\text{Fl}}$	=	4,75	m
$\sqrt{R_{\text{Fl}}}$	=	2,18	
Rauigkeitsbeiwert			

$$k_{K \text{ Fl}} = \frac{100\sqrt{R_{\text{Fl}}}}{m_{K \text{ Fl}} + \sqrt{R_{\text{Fl}}}} = 34,9$$

Wasserspiegelgefälle $J$	=	0,000289
$\sqrt{J}$	=	0,017

erhielt man die Wassermenge im Flußschlauch

$$Q_{\text{Fl}} = F_{\text{Fl}} \cdot k_{K \text{ Fl}} \cdot \sqrt{R_{\text{Fl}}} \cdot \sqrt{J} = 971 \cdot 34,9 \cdot 2,18 \cdot 0,017 = 1255 \text{ m}^3/\text{s}$$

Daraus ergab sich der Abfluss über die Vorländer

$$Q_{\text{World}} = 1800 - 1255 = 545 \text{ m}^3/\text{s}$$

Es war nun zu versuchen, auf dem Lageplan die Grenzen zwischen wasserführendem Bett und von Wasserwalzen erfülltem Totwasserraum festzulegen.

Nur etwa 270 m oberhalb des Berechnungsquerschnittes kreuzt eine Brücke den Fluss, deren weit in das Hochwasserbett vorspringende Rampen den Abflussquerschnitt stark einengen. Vgl. Abb. 1.

Der Idealfall einer solchen Strahleinschnürung durch einen scharfkantigen Staurand ist das Problem des zweidimensionalen Ausflusses einer Potentialströmung, das von Helmholtz und Kirchhoff behandelt haben.

Dabei liegt die Stelle der stärksten Strahleinschnürung

$$s = \mu \cdot a$$

nicht in der Ebene des Staurandes, sondern um ein gewisses Mass flussabwärts. Theoretisch liegt  $s$  im Unendlichen, da die Strahlbegrenzungen sich asymptotisch der Symmetrieachse nähern. Praktisch, d.h. in einer mit Reibung und Energieverlust behafteten Strömung stellt sich  $s$  viel früher, etwa im Abstand  $a$  von dem Staurand ein.

Kirchhoff hat für  $b_0 = \infty$  berechnet

$$\mu = \frac{\pi}{\pi + 2} = 0,611$$

Von Mises gibt folgende Werte  $\mu$  in Bezug auf das Verhältnis  $b_0 : a$  bei Ausfluss in Wasser an:

$b_0 : a =$	10	5	2,5	2
$\mu$ bei Ausfluss in Wasser =	0,612	0,616	0,633	0,644

Die zähe Flüssigkeit verhält sich somit sehr ähnlich der Potentialströmung. Beim Ausfluss unter einem scharfkantigen Schütz (Abb. 3, obere Hälfte über der Symmetrieachse) ist die Strahl-

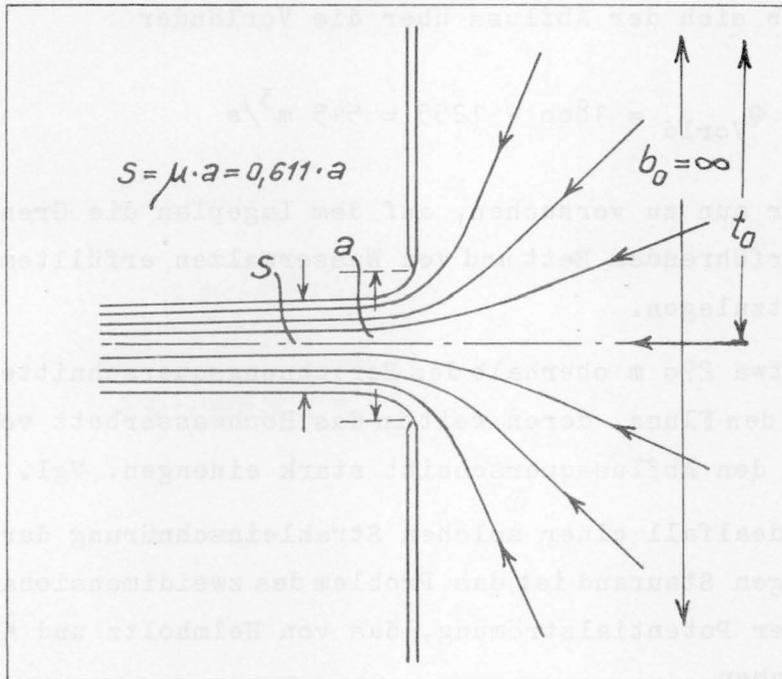


Abb. 3 Strahleinschnürung durch scharfkantigen Staurand bei Potentialströmung.

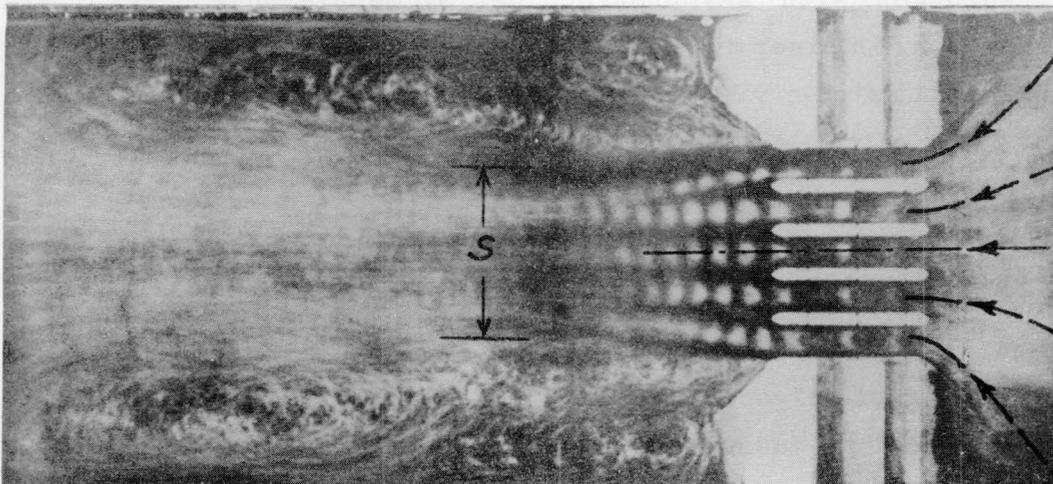


Abb. 4. Strömungsbild beim Ausfluss aus den Entwässerungsschleusen im Abschluß-Damm der Zuider-Zee.

stärke  $\frac{s}{2} \cong 0,62 \cdot$  Spalthöhe  $\frac{a}{2}$  bei einer Oberwassertiefe  $t_0 \cong 5 \cdot \frac{a}{2}$ . Bei den Modellversuchen von Th. Rehbock für den Abschluss der Zuider Zee<sup>5)</sup> war die Erscheinung ähnlich zu beobachten. Vgl. Abb. 4. Nur war beim Ausfluss aus den Entwässerungsschleusen in das Wattenmeer keine Strahleinschnürung entstanden, weil die Widerlager auf der Oberwasserseite ausgerundet waren und die langen Schleusenkammern wie Leitbleche oder Gleichrichter in Windkanälen wirkten. Die Breite des Wasserstromes  $s$  war auch an der engsten Stelle etwa 100 m unterhalb der Pfeilerenden immer noch gleich der Summe der lichten Durchflussbreiten der 5 Schleusenkammern. Die Einschnürungszahl  $\mu$  erreichte in diesem Fall den Wert 1,0.

Für das behandelte Beispiel war bei der zeichnerischen Ermittlung der Grenzen des wasserführenden Bettes zu beachten, dass der Fluss auf der betreffenden Strecke eine Rechtskrümmung durchläuft, dass das Hochwasserbett sehr unsymmetrisch zur Achse des Mittelwasserbettes, und zwar vorwiegend links von ihr liegt, dass gerade die linke Brückenrampe etwa fünfmal so lang ist als die rechte, und dass infolgedessen die Einschnürung des wasserführenden Bettes fast nur von links erfolgt. Die zeichnerische Festlegung ergab die Werte

$$b_0 \text{ (Querschn. bei km 1,10) : } a \text{ (Abstand der Rampenköpfe) } \cong 2,2$$
$$\mu = s \text{ (stärkste Einschnürung) : } a \cong 0,86$$

(Nach vorstehenden Ausführungen muss sein:  $0,633 < \mu < 1,0$ )

Die zeichnerische Weiterführung der beiderseitigen Grenzen des wasserführenden Bettes schnitt aus dem Berechnungsquerschnitt km 0,720 eine Nutzbreite des Wasserspiegels  $b_0 \cong 365$  m aus. Vgl. Abb. 2. Nun konnten ähnlich wie für das Mittelwasserbett auch für die Vorländer links und rechts die folgenden Werte ermittelt werden:

$$\begin{aligned} \text{der wasserführende Querschnitt } F_{lks} &= 274 \text{ m}^2 \\ \text{der wasserführende Querschnitt } F_r &= 110 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

---

5) Th. Rehbock, Wasserbauliche Modellversuche zur Klärung der Abflussscheinungen beim Abschluss der Zuider-Zee. Ausgeführt im Flussbaulaboratorium der Technischen Hochschule zu Karlsruhe. Rapporten en Mededeelingen betreffende de Zuiderzeewerken Nr. 3. Uitgegeven op Last van het Ministerie van Waterstaat. S'Gravenhage 1931. Algemeene Landsdrukkerij.

ferner unter der Annahme, dass sich die Wassermenge  $Q_{\text{World}}$  proportional zu den Flächen auf links und rechts verteilt,

$$Q_{\text{links}} = \frac{545 \cdot 274}{384} = 389 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{r}} = \frac{545 \cdot 110}{384} = 156 \text{ m}^3/\text{s}$$

und für das Vorland links

$$U_{\text{links}} = 121,7 \text{ m}; \quad R_{\text{links}} = 2,26 \text{ m}; \quad \sqrt{R_{\text{links}}} = 1,5$$

$$k_{\text{links}} = \frac{389}{274 \cdot 1,5 \cdot 0,017} = 55,7$$

$$m_{\text{links}} = \frac{100 \cdot 1,5}{55,7} = 1,5 = 1,19$$

für das Vorland rechts

$$U_{\text{r}} = 59,5 \text{ m}; \quad R_{\text{r}} = \frac{110}{59,5} = 1,85; \quad \sqrt{R_{\text{r}}} = 1,36$$

$$k_{\text{r}} = \frac{156}{110 \cdot 1,36 \cdot 0,017} = 61,2$$

$$m_{\text{r}} = \frac{100 \cdot 1,36}{61,2} = 1,36 = 0,61.$$

Aus den oben schon benützten Tabellen werden wieder zum Vergleich angeführt:

$m = 1,0$       Grobes Bruchsteinmauerwerk, älteres Beton- oder Mauerwerk (moos- und pflanzenfrei) und schlammige Sohle in Kanälen, glatter Fels ohne Wasserpflanzen, feiner Kies und viel Sand

$m = 1,2$       Feiner Kies, etwa 10/20/30 mm

$m = 1,25$      Felsiger Boden (nicht rauh), wenig Pflanzen, kopfgrosse Steine

bzw.

$m = 0,45$  bis  $0,75$       Ziegelmauerwerk, ungefugt

$m = 0,55$  bis  $0,75$       Beton, rauh, unverputzt, gut geschalt.  
Glattes Pflaster. 6)

---

6) Vgl. Anm. 1, Tabelle 100.

Für die Vorländer haben sich wesentlich kleinere Rauhezahlen  $m$  als für den Flußschlauch ergeben. Allerdings soll der Wert  $m_{K Fl}$  wegen seiner Höhe noch im Folgenden untersucht werden. Zunächst würde das Ergebnis z.B. mit den Erfahrungen und den daraus abgeleiteten Berechnungsverfahren der badischen Wasserwirtschaftsverwaltung übereinstimmen. Bei den Schwarzwaldflüssen, die nach einem Doppelprofil reguliert worden sind, sind für die rasenbedeckten Vorländer geringere Rauhezahlen als für das kiesige Mittelwasserbett festgestellt worden. Die Grashalme auf den Vorländern legen sich mit der Strömungsrichtung um und wirken dann wie kleinste Gleitschienen, die ausserdem dachziegelartig übereinanderliegen. Im Mittelwasserbett dagegen bietet der Kies einen grösseren Fließwiderstand als Gras, der dazu noch nach den Untersuchungen von Strickler sprunghaft beim Beginn der Kornbewegung steigt, die bei Wasserständen, die auf die Vorländer ausufern, schon voll im Gange ist.

Durch Untersuchungen für Wasserbauarbeiten an der gleichen Flußstrecke ist die Abteilung für Erd- und Grundbau der Bundesanstalt für Wasserbau im Besitze von Bodenproben, Bohrlochproben, die den Vorländern im Bereich des Berechnungsquerschnittes entnommen worden sind, werden bis zu Tiefen von 1,5 bis 2 m und mehr klassifiziert als Humus, sandiger Lehm, brauner Lehm, lehmiger Sand, darunter Flußsand und Kies. Proben von einer 40 km flussabwärts gelegenen Baustelle zeigten bis zu Tiefen von 2 bis 3 m sandigen Humus, sandigen Löss, Lehm mit Einlagerungen, feinen Sand, humushaltigen Feinsand, braunen tonigen Feinsand. Die Klassifizierung der berechneten Rauhezahlen  $m_{lks} = 1,19$  und  $m_r = 0,61$  nach der Tabelle als feiner Kies mit viel Sand, als feiner Kies etwa 10/20/30 mm bzw. als rauher, unverputzter Beton passt gut zu den Bohrlochproben.

Es bleibt noch die Frage zu erörtern, warum die Berechnung für das Mittelwasserbett den verhältnismässig sehr kleinen Rauheitsbeiwert  $k_{K Fl} = 26,65$  und die entsprechend zu grosse Rauheitszahl  $m_{K Fl} = 4,05$  ergeben hat.

Nach den Bohrlochproben von der zweiten Baustelle stehen allerdings im Bereiche des Mittelwasserbettes einschliesslich der Traversenfelder zwischen Ufer und Leitwerk und im Bereiche der Uferkanten, teilweise überdeckt von einer 0,30 bis 0,50 starken Humusschicht, Kalkgerölle, grober Flußsand, Sand-Kies-Gerölle, Muschelkalk, Mergel- und Kalkgeröll an. Trotzdem hätte der berechnete Wert die Rauigkeitszahl der Tabelle  $m = 2,5$ , die für grobes Geröll, rauhe Felsufer, Gebirgsflüsse, Alpenrhein gilt, nicht überschreiten dürfen. Die Lösung dieses Widerspruches scheint darin zu liegen, dass in den Fluss auf der Strecke des Berechnungsquerschnittes Leitwerke eingebaut sind, die durch Traversen mit dem Ufer verbunden sind. Die Traversen besitzen einen Abstand von durchschnittlich 60 m und ihre Kronen liegen wie die Kronen der Leitwerke etwa 2 m über der mittleren Höhe der Flußsohle. Sie bieten somit einen beträchtlichen Fliesswiderstand, der sich auf die Grösse des Rauigkeitsbeiwertes und der Rauigkeitszahl auswirkt. Der Beweis für die Richtigkeit dieser Annahme dürfte dadurch erbracht sein, dass die Berechnung der Werte  $k_{K Fl}$  und  $m_{K Fl}$  für zwei weitere Querschnitte, die aber jeweils 400 m flussabwärts von der nächsten Traversenreihe lagen, sehr viel geringere Rauigkeiten des Mittelwasserbettes ergeben haben. Es wurden gefunden:

etwa 7 km flussabwärts  $k_{K Fl} = 51$        $m_{K Fl} = 1,12$       und  
etwa 10 km flussabwärts  $k_{K Fl} = 57,9$        $m_{K Fl} = 1,14$

allerdings bei Wasserspiegellagen, die sich bei einem Abfluss von nur etwa der Hälfte des Hschw eingestellt hatten. Die Werte bedeuten eine geringere Sohlenrauigkeit als nach den vorstehenden Angaben über die Bohrlochproben im Flussbett zu erwarten war. Sie liegen vielmehr im Bereiche der für das linke Vorland berechneten und auf Seite 35 und 36 angeführten Rauigkeitsbeiwerte bzw. -zahlen. Dieses etwas überraschende Ergebnis darf wohl auf zwei Gründe zurückgeführt werden. Einmal und vor allem fehlte hier der Einfluss der Traversen auf die Rauigkeit. Daneben kann angenommen werden, dass bei der kleinen Abflussmenge, für die Naturmessungen vorlagen, noch keine Bewegung der Sohle eingesetzt hatte. Eine durchlaufende Bewegung der Sohle beginnt wohl erst im Bereiche höherer Wasserstände, etwa bei HschW, während bei der kleinen Abflussmenge Sand

und Feinkies die Zwickel zwischen dem gröberen Geröll glättend ausfüllen. Die obenerwähnte Feststellung Stricklers, dass sich die Rauhmigkeit beim Einsetzen der vollen Kiesbewegung erhöht, würde demnach auch für unser Beispiel zutreffen.

Bei der Berechnung des Wasserspiegelgefälles, die Anlass zu vorstehender Untersuchung war, sind auf der ganzen Strecke die gleichen Rauhmigkeitszahlen  $\delta_{Fl}$  für den Flußschlauch und  $\delta_{Vorl}$  für die Vorländer verwendet worden. Dagegen hätte für den Flußschlauch zwischen den Strecken innerhalb oder ausserhalb des Einflusses von Einbauten wie Buhnen, Traversen usw. unterschieden werden müssen. Die vorstehende Untersuchung hat ferner gezeigt, dass bei derartigen Berechnungen des Wasserspiegelgefälles der wasserführende Querschnitt vom benetzten Querschnitt zu unterscheiden ist, und dass beachtet werden muss, ob bei der Berechnungswasserführung schon eine allgemeine Bewegung der Kiessohle eingesetzt hat oder nicht. Schliesslich hat sich eine gute Übereinstimmung zwischen den Rauhmigkeitszahlen einschlägiger Tabellenwerke und den Korngemengen der Flußsohle bzw. der Vorländer ergeben. Man wird also derartigen Berechnungen mit Erfolg die Ergebnisse von Bodenproben aus dem betreffenden Flussabschnitt zu Grunde legen können.