

Durchflußmessung von Abwasser in offenen Gerinnen und Freispiegelleitungen

Venturi-Kanäle

DIN
19 559
Teil 2

Flow measurement of wastewater in open channels and gravity conduits; venturi-flumes

Mesure de débit des eaux d'égout dans des caniveaux à ciel découvert et des conduites à écoulement libre; canaux venturi

Inhalt

	Seite		Seite
1 Anwendungsbereich	2	6.2 Berührungslose Wasserstandsmessung	9
2 Grundlagen	2	7 Genauigkeitsanforderungen	9
3 Begriffe und Formelzeichen	2	7.1 Maximale systematische Abweichung	9
3.1 Benennungen und Definitionen	2	7.2 Fehlergrenzen	10
3.2 Formelzeichen und Einheiten	3	7.2.1 Metrologische Klassen	10
4 Entwurfskriterien	4	7.2.2 Garantiefehlergrenzen	10
4.1 Bemessung der Einengung	4	7.2.3 Verkehrsfehlergrenzen	10
4.1.1 Wahl der Querschnittsform	4	8 Kontrollmaßnahmen	
4.1.2 Verbauungsverhältnis	4	und Kontrolleinrichtungen	11
4.1.3 Hydraulische Nachweise	4	8.1 Bau- und Funktionsabnahme	
4.2 Konstruktive Durchbildung	6	nach Fertigstellung der Anlage	11
4.2.1 Einlaufstrecke	6	8.1.1 Prüfung	
4.2.2 Verziehung und Drosselstrecke	6	auf ordnungsgemäße Ausführung	11
4.2.3 Übergang ins Unterwasser	6	8.1.2 Funktionsüberprüfung	11
4.3 Lage des Meßwertaufnehmers	6	8.1.3 Kontrollmessungen	11
4.4 Probenahme	6	8.1.4 Kontrolle auf Rückstaufreiheit	11
5 Durchflußbestimmung	7	8.2 Betriebsüberwachung	11
5.1 Abflußformel	7	9 Berechnungsbeispiele	11
5.1.1 Beiwerte für einzelne Bauformen	8	9.1 Venturi-Kanal mit Rechteckquerschnitt	11
5.1.2 Korrekturfaktoren	8	9.2 Venturi-Kanal mit Trapez-Querschnitt	
6 Meßwertaufnehmer	8	in einem U-Profil	12
6.1 Meßwertaufnehmer in Kontakt		9.3 Systematische Abweichung infolge	
mit dem Meßmedium	8	fehlerhafter Bestimmung der	
6.1.1 Standmeßverfahren	8	Oberwassertiefe und Korrekturfaktor	
6.1.2 Wasserstandsmessung		für die Reibung	13
als abgeleitete Größe	9	Weitere Normen und andere Unterlagen	15

Fortsetzung Seite 2 bis 15

Normenausschuß Wasserwesen (NAW) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

1 Anwendungsbereich

Diese Norm ist anwendbar für die Ermittlung des Durchflusses mittels Venturi-Kanälen in öffentlichen und privaten Einrichtungen zur Abwasserableitung und -behandlung. Sie soll allen an der geordneten Abwasserbeseitigung Beteiligten (Planer, Erbauer, Betreiber, Überwachungsbehörde) als eine Grundlage für die Bestimmung der ab- und eingeleiteten Abwasservolumina dienen¹⁾.

2 Grundlagen

Der Venturi-Kanal ist eine definierte Fließstrecke zur Durchflußmessung in offenen Gerinnen. Wesentlicher Bestandteil ist eine symmetrisch angeordnete seitliche Einschnürung des Gerinnequerschnittes mit strömungsgünstig gestalteten Verziehungen auf der Anströmseite.

Die Einengung sollte so ausgebildet sein, daß im gesamten Meßbereich die Grenzverhältnisse durchlaufen werden. Dies ist nur bei rückstaufreiem Durchfluß möglich. Rückstaufreiheit ist gegeben, wenn der Oberwasserstand durch das Unterwasser nicht beeinflusst wird.

Über die Messung des Oberwasserstandes wird der Durchfluß ermittelt.

Als Vorteile sind zu nennen:

Der Venturi-Kanal hat keine beweglichen Teile und unterliegt daher keiner verstärkten Abnutzung. Er ist wegen der durchgehenden Gerinnesohle besonders für die kontinuierliche Durchflußmessung in offenen Gerinnen mit feststoffhaltigem Wasser geeignet. Im Vergleich mit Meßwehren ist bei der Durchflußbestimmung mit dem Venturi-Kanal im allgemeinen ein geringerer Aufstau verbunden.

Durch Variationen des Einengungsverhältnisses und der Form der Einengung kann der Venturi-Kanal entsprechend dem gewünschten Meßbereich ausgelegt werden.

Venturi-Kanäle können vorgefertigt oder am Einbauort hergestellt werden. Bei vorgefertigten Venturi-Kanälen sind wegen der größeren Maßhaltigkeit und der vor dem Einbau möglichen Kalibrierung (Eichung) genauere Meßergebnisse zu erzielen.

Die Bestimmung der Oberwassertiefe kann durch die Wahl des Meßwertaufnehmers dem Einsatzfall angepaßt werden.

Folgende Grenzen der Anwendbarkeit sind zu beachten: Venturi-Kanäle können nicht eingesetzt werden bei unzureichenden Platzverhältnissen und bei zu erwartendem Rückstau vom Unterwasser her.

Der kleinste meßbare Durchfluß bei feststofffreiem Abwasser in kleinen Venturi-Kanälen beträgt etwa 0,5 l/s; für Rohabwasser liegt dieser Wert bei etwa 5 l/s. Die zulässige Mindestwassertiefe zur Bestimmung des Abflusses wird dabei mit 3 cm festgelegt. Das Verhältnis vom kleinsten zum größten erfaßbaren Durchfluß kann in der Regel den Wert 0,1 nicht unterschreiten. Kleinere Verhältnismerte sind nur in Sonderfällen (Formgebung, Verbauungsverhältnis) erzielbar (siehe auch Abschnitt 7).

Wenn mit der Gefahr von Ablagerungen im Zulauf durch mitgeführte Stoffe gerechnet werden muß, ist eine Mindestfließgeschwindigkeit festzulegen, bei der noch eine ausreichende Spülung (Schleppspannung) erfolgt.

¹⁾ Siehe auch Gesetz über Abgaben für das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserabgabengesetz) vom 13. 09. 1976, Bundesgesetzblatt Teil I (1976), Nr 118, S. 2721

Hierdurch ergibt sich ein kleinster praktisch erfaßbarer Durchfluß, der den nutzbaren Meßbereich des Gerinnes erheblich verkleinert (siehe auch Abschnitt 9).

Venturi-Kanäle sind ferner nicht einsetzbar, wenn im Oberwasser kein strömender Abfluß erreicht werden kann oder wenn das Abwasser so grobsperrige Stoffe führt, daß im Bereich der Einengung mit Verstopfungen gerechnet werden muß.

3 Begriffe und Formelzeichen

3.1 Benennungen und Definitionen

Benennung	Definition
Abflußkurve (Q/h -Kurve, Schlüsselkurve)	Bezugskurve zwischen den Wasserständen und den zugehörigen Abflüssen in einem Abflußmeßquerschnitt
benetzter Umfang	Teil des Umfangs eines Gerinnes, der von der darin abfließenden Flüssigkeit benetzt wird
Drosselstrecke des Venturi-Kanals	prismatisches Gerinne im Bereich der Einengung, in dem die Grenztiefe durchlaufen wird
Durchfluß, Abfluß, Volumenstrom	Quotient aus Wasservolumen, das einen bestimmten Fließquerschnitt durchfließt, und der dazu benötigten Zeit
Energiehöhe	Summe aus Geschwindigkeitshöhe, Druckhöhe und geodätischer Höhe
Froude-Zahl	Kenngroße, die dadurch erhalten wird, daß die mittlere Fließgeschwindigkeit durch die Quadratwurzel aus dem Produkt aus einer charakteristischen Länge und der Fallbeschleunigung dividiert wird $\left(Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot l}} \right)$
Grenzgeschwindigkeit	Fließgeschwindigkeit bei Grenztiefe
Grenztiefe	Wassertiefe in Gerinnen bei Abflüssen mit minimaler Energiehöhe
Grenzverhältnisse	Die Grenzverhältnisse werden beim kontinuierlichen Übergang vom Strömen zum Schließen unter minimaler Energiehöhe durchlaufen ($Fr = 1$)
Meßbereich	Bereich von Meßwerten, in dem bestimmte Fehlergrenzen eingehalten werden

Benennung	Definition
mittlere Geschwindigkeit	Über einen Querschnitt gemittelte Fließgeschwindigkeit
Reynolds-Zahl	Kenngroße, die aus dem Produkt von mittlerer Geschwindigkeit und einer charakteristischen Länge und Division durch die kinematische Viskosität erhalten wird $\left(Re = \frac{lv}{\nu} \right)$
Rückstau vom Unterwasser	Anstieg der Oberwassertiefe, verursacht durch die Abflußverhältnisse unterstrom der Einengung
Schießen	Gerinneströmung, bei der die Wassertiefe kleiner ist als die Grenztiefe ($Fr > 1$)
seitliche Einengung	Verringerung der Breite eines offenen Gerinnes
Staulänge	Länge einer Staulinie vom Ort des Aufstaus bis zu einer unerheblichen Stauhöhe
Strömen	Gerinneströmung, bei der die Wassertiefe größer ist als die Grenztiefe ($Fr < 1$)
Übergangsdurchfluß	Durchfluß, bei dem sich der Wert der größten zulässigen Abweichung ändert
Verbauungsverhältnis	Verhältnis der Querschnittsfläche im Bereich der Drosselstrecke gegenüber der des unverbauten Querschnitts (siehe Abschnitt 4.1.2)
Verdrängungsdicke	durch Reibungseinflüsse bedingte Abdrängung der Potentialströmung von der Gerinnewand
Verziehung	Übergang vom unverbauten Querschnitt zum Querschnitt der Drosselstrecke
Wasserspiegelbreite	Breite der oberen Berandung des Fließquerschnittes senkrecht zur Strömungsrichtung gemessen
Wechselsprung	Unstetiger, sprungartiger Übergang vom Schießen zum Strömen bei Gerinneströmungen
zulässige Unterwassertiefe	größtmögliche Unterwassertiefe für rückstaufreien Abfluß

3.2 Formelzeichen und Einheiten

Formel- zeichen	Einheit	Benennung
A	m^2	Fließquerschnitt
b	m	Gerinnebreite
b_{So}	m	Sohlenbreite
b_{Sp}	m	Wasserspiegelbreite
C_1	$m^{(3-x)}/s$	Beiwert in der Abflußformel
C_2	$m^{(3-y)}/s$	Beiwert in der Abflußformel
G	1	Fehlergrenze
G_g	1	Garantiefehlergrenze
G_v	1	Verkehrsfehlergrenze
F	kN	Kraft
F_I	kN	Impulskraft
F_w	kN	Wasserdruckkraft
Fr	1	Froude-Zahl
g	m/s^2	Fallbeschleunigung
h	m	Wassertiefe
h_E	m	Energiehöhe
h_k	m	Geschwindigkeitshöhe, $h_k = v^2/2g$
I_{So}	1, m/m	Sohlengefälle
k	mm	absolute Rauheit
l	m	charakteristische Länge
l_e	m	Länge der Drosselstrecke
l_{St}	m	Staulänge
$1 : n$	1, m/m	Neigung der Gerinnewand
Q	$l/s, m^3/h$	Durchfluß
$Q_{ü^2})$	$l/s, m^3/h$	Übergangsdurchfluß
Re	1	Reynolds-Zahl
l_u, U	m	benetzter Umfang
v	m/s	Fließgeschwindigkeit
x	1	Exponent in der Abflußformel
y	1	Exponent in der Abflußformel
α	1	Geschwindigkeitshöhenbeiwert
β	1	Druckhöhenbeiwert
δ_*	m	Verdrängungsdicke
ν	m^2/s	kinematische Viskosität
ϱ	kg/m^3	Dichte
φ	1	Korrekturfaktor für den Durch- fluß
Indizes	zu verwenden für:	
e	Werte in der Einengung	
gr	Werte bei minimaler Energiehöhe	
n	Werte für stationär gleichförmigen Abfluß	
o	Werte oberstrom der Einengung	
s	Werte im Schießen unmittelbar am Ende der Aufweitung	
u	Werte unterstrom der Einengung	
*	Werte unter Berücksichtigung der Reibungs- verluste	

2) In der Eichordnung als Q_t bezeichnet.

4 Entwurfskriterien

Beim Entwurf einer Venturi-Abflußmeßeinrichtung sind die Einzelbestandteile Venturi-Kanal, Meßwertaufnehmer, Meßumformer und Ausgabeeinrichtung sinnvoll aufeinander abzustimmen.

4.1 Bemessung der Einengung

Durch die Vorgabe des Querschnittes der Einengung werden die wesentlichen hydraulischen Eigenschaften der Meßanordnung bestimmt. Dabei sind die Anforderungen an die Wirkungsweise (Durchlaufen der Grenztaufe, Rückstaufreiheit) und die Auswirkung der Einengung oberstrom der Meßanordnung zu berücksichtigen.

Im Staubeereich oberstrom der Einengung wird die mittlere Fließgeschwindigkeit im Vergleich zum unverbauten Zustand verringert. Zugleich wird eine Anhebung der Wasserspiegellage in Form einer Staulinie eingeleitet, deren Länge mit der Größe des Aufstaus zunimmt.

4.1.1 Wahl der Querschnittsform

Zur Durchflußbestimmung mit Hilfe des Venturi-Kanals wird als Meßwert die Oberwassertiefe benötigt. Dieser Meßwert kann nur mit einer vorgegebenen Genauigkeit erfaßt werden; daher beeinflusst die Querschnittsform die erzielbare Meßgenauigkeit (siehe Abschnitt 9.3).

Bei der Auswahl der Querschnittsform sind die Genauigkeitsanforderungen innerhalb des Meßbereiches zu berücksichtigen. Zum Beispiel können stark veränderliche Abflüsse mit zeitlich dominierenden kleinen Werten eine höhere Meßgenauigkeit für Abflüsse im unteren Meßbereich erfordern als beim Maximalabfluß. Eine Querschnittsform, bei der die Breite der Einengung nach oben zunimmt, wird dieser Anforderung besser gerecht als ein Rechteckquerschnitt.

Die Meßaufgabe ist in vielen Anwendungsbereichen mit vorgefertigten Venturi-Kanälen bzw. Fertigungsformen lösbar.

4.1.2 Verbauungsverhältnis

Das Verbauungsverhältnis ist der Quotient aus der Fläche A_e in der Einengung und der Fläche A_o des unverbauten Querschnittes.

Als maßgebliche Höhe über Gerinnesohle wird hierbei für die Bemessung die maximale Oberwassertiefe $h_{o,max}$ angesetzt. Beim Rechteckquerschnitt wird das Verbauungsverhältnis durch das Breitenverhältnis b_e/b_o wiedergegeben und liegt häufig im Bereich zwischen 0,3 und 0,6.

Eine Verkleinerung des Verbauungsverhältnisses bewirkt zugleich eine Verringerung der Anströmgeschwindigkeit. Damit wird die Ablagerungsgefahr erhöht. Ihr kann nur durch einen entsprechenden Wartungsaufwand begegnet werden. Bei unzureichender Wartung wird durch ein kleineres Verbauungsverhältnis daher nur eine scheinbare Verbesserung der erzielbaren Genauigkeit erreicht.

Das Verbauungsverhältnis muß so gewählt werden, daß der maximale Abfluß im Gerinne abgeführt werden kann.

4.1.3 Hydraulische Nachweise

Für den gewählten Einengungsquerschnitt ist nachzuweisen, daß das Meßprinzip des rückstaufreien Durchflusses unter Durchlaufen der Grenzverhältnisse gewährleistet ist und sich ausreichende Oberwasserbedingungen (Minimalgeschwindigkeit, Staulänge) einstellen können. Dieser Nachweis wird für den rechnerisch ermittelten Durchfluß im Einengungsquerschnitt

$$Q_{gr} = v_{gr}(h) A_{gr}(h) \quad (1)$$

geführt, wobei für die mittlere Geschwindigkeit unter Grenzverhältnissen

$$v_{gr}(h) = \sqrt{\frac{A_{gr}(h) g}{b_{sp}(h)}} \quad (2)$$

gilt. Hierbei ist die Durchflußfläche

$$A_{gr}(h) = \int_0^{h_{gr}} b_e(h) dh \quad (3)$$

(siehe auch Bild 2). Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird in den folgenden Gleichungen die Abhängigkeit einzelner Größen von der Wassertiefe nicht mehr dargestellt. Bei Gleichung (2) liegt die Annahme zugrunde, daß für die minimale Energiehöhe

$$h_{E,gr} = \beta h_{gr} + \alpha \frac{v_{gr}^2}{2g} \quad (4)$$

der Druckhöhenbeiwert β und der Geschwindigkeitshöhenbeiwert α gleich 1 gesetzt werden können. Bei ungenügender Länge der Drosselstrecke ist insbesondere die Annahme von $\beta = 1$ nicht mehr möglich. Unter den Voraussetzungen $\alpha = 1$ und $\beta = 1$ wird unter Beachtung von Gleichung (2)

$$h_{E,gr} = h_{gr} + \frac{A_{gr}}{2b_{sp}} \quad (5)$$

Die Ermittlung der zu Q_{gr} gehörigen Oberwassertiefe h_o kann zunächst unter Vernachlässigung der Reibungseinflüsse durch die Annahme

$$h_{E,gr} = h_{E,o} \quad (6)$$

erfolgen. Demnach ist

$$h_{gr} + \frac{A_{gr}}{2b_{sp}} = h_o + \alpha_o \frac{v_o^2}{2g} \quad (7)$$

wobei der Druckhöhenbeiwert für die Oberwassertiefe $\beta_o = 1$ gesetzt wurde. Wegen des kleinen Betrages der Geschwindigkeitshöhe im Oberwasser wird normalerweise auch $\alpha_o = 1$ gesetzt. Bei unzureichender Einlaufstrecke können im Oberwasser des Venturi-Kanals unsymmetrische Geschwindigkeitsverteilungen vorliegen. Hierbei ist dann die ungleichförmige Verteilung der kinetischen Energie im Querschnitt durch eine Korrektur mit Hilfe des Beiwertes α_o vorzunehmen.

Die grundsätzliche Forderung, daß $h_{E,o} > h_{E,n}$ sein muß, ist bei kleinen Sohlengefällen zusätzlich zu kontrollieren.

Werden die Reibungsverluste zwischen dem Querschnitt (o) im Oberwasser und dem Querschnitt mit der minimalen Energiehöhe am Ende der Drosselstrecke berücksichtigt, so ist

$$h_{E,o} > h_{E,gr} \quad (8)$$

Näherungsweise kann die erforderliche Energiehöhe im Oberwasser berechnet werden, wenn die sogenannte Verdrängungsdicke δ_* bestimmt wird. Die Verdrängungsdicke δ_* ist abhängig von der Rauheit k des Gerinnes, der Länge l_e der Drosselstrecke und der kinematischen Viskosität ν des Wassers. Über die Reynolds-Zahl

$$Re = \frac{l_e v_{gr}}{\nu} \quad (9)$$

und die relative Rauheit k/l_e ist aus dem als Bild 1 beigefügten Diagramm ein Wert für δ_*/l_e zu entnehmen. Die erforderliche Oberwasserenergiehöhe kann dann zu

$$h_{E,o,*} = h_{gr} + \frac{A_{gr}}{2b_{sp}} + \frac{U_{gr}}{b_{sp}} \delta_* \quad (10)$$

errechnet werden. Für den aus Gleichung (1) ermittelten Durchfluß wird dann die zugehörige Oberwassertiefe $h_{o,*}$ unter näherungsweise Berücksichtigung der Reibung durch die Beziehung

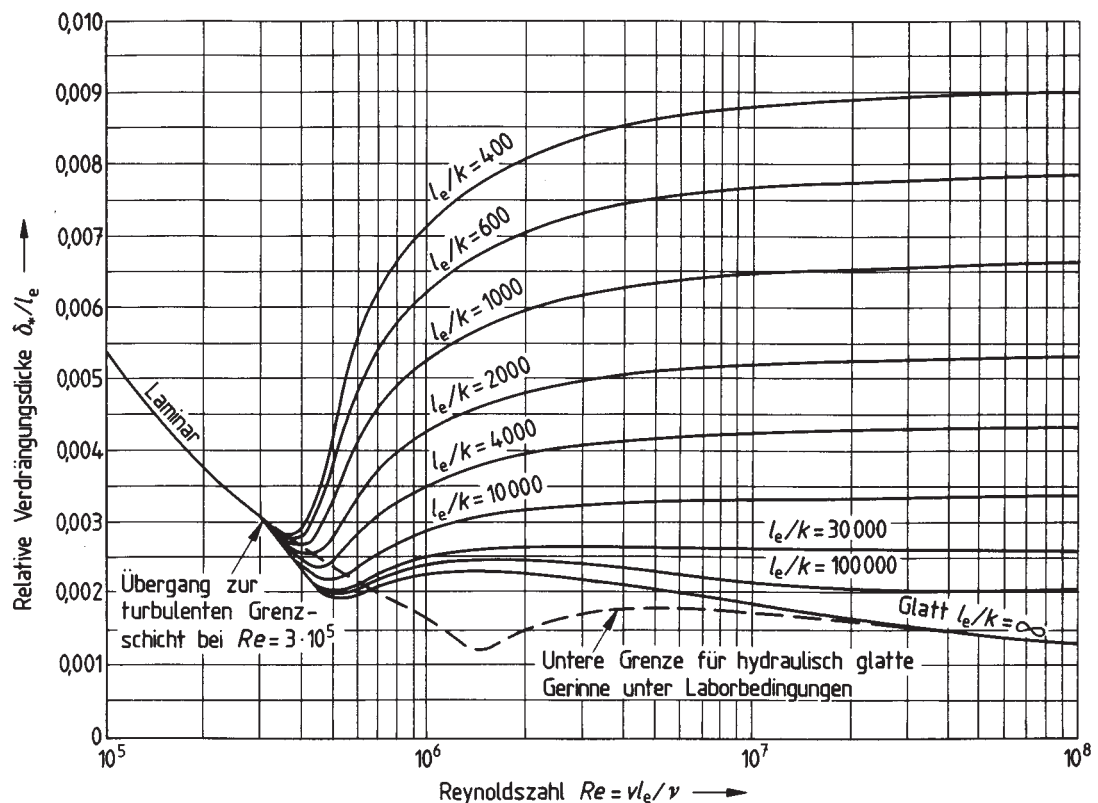


Bild 1. Relative Verdrängungsdicke in Abhängigkeit von der Reynolds-Zahl und der relativen Rauheit

$$h_{E,0*} = h_{0*} + \frac{Q_{gr}^2}{2gA_{0*}^2} \quad (11)$$

bestimmt.

Ausgehend von der korrigierten Oberwassertiefe h_{0*} können die zugehörigen Staulängen l_{st} oberstrom der Einengung und die entsprechenden minimalen Fließgeschwindigkeiten erhalten werden.

Zum Nachweis des rückstaufreien Durchflusses wird über den Ansatz

$$h_{E,gr} = h_{E,s} \quad (12)$$

zunächst die Wassertiefe des Schußstrahles am Ende der unterstromigen Verziehung unter Vernachlässigung der Reibungskräfte berechnet. Es gilt hierbei

$$h_{E,gr} = h_s + \frac{v_s^2}{2g} \quad (13)$$

Da der Übergang vom Schießen zum Strömen unterstrom des Venturi-Kanals über einen Wechselsprung erfolgt, ist bei der Berechnung der zulässigen Unterwassertiefe der Impulssatz anzuwenden. Hierbei genügt es, wiederum ohne Reibungsansatz, in den Querschnitten (s) und (u) die Summe aus Wasserdrukraft F_w und Impulskraft F_I zu bilden. Allgemein gilt hierfür

$$\Sigma F = F_w + F_I = \rho g \int h dA + \rho Q v \quad (14)$$

(A)

Die zur Wassertiefe h_s des Schußstrahles korrespondierende Wassertiefe h'_u wird dann erhalten, wenn der Ausdruck ΣF für beide Querschnitte gleichgroße Werte ergibt.

Anmerkung: Für den Sonderfall des Rechteckquerschnittes kann die Wassertiefe h'_u direkt zu

$$h'_u = \frac{h_s}{2} \left(\sqrt{1 + 8 Fr_s^2} - 1 \right) \quad (15)$$

berechnet werden, wobei für die Froude-Zahl des Schußstrahles

$$Fr_s = \frac{v_s}{\sqrt{gh_s}} \quad (16)$$

anzusetzen ist.

Der Abfluß bleibt dann rückstaufrei, wenn

$$h'_u \geq h_n \quad (17)$$

ist.

Diese Bedingung muß für den gesamten Meßbereich erfüllt sein.

Die mit der korrespondierenden Wassertiefe h'_u zu vergleichende Wassertiefe h_n für den stationär gleichförmigen Abfluß ist anhand des vorgegebenen Sohlengefälles I_{So} , des Gerinnequerschnittes und der Rauheit k ebenfalls für den gesamten Meßbereich zu bestimmen.