

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Article, Published Version

Tödten, H.

Beitrag zur Energiedissipation von Tosbecken im Modellversuch

Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103014>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Tödten, H. (1973): Beitrag zur Energiedissipation von Tosbecken im Modellversuch. In: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 35. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 34-54.

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.



Dipl.-Ing. H. Tödten

BEITRAG ZUR ENERGIEDISSIPATION VON TOSBECKEN
IM MODELLVERSUCH

Investigation of energy dissipation in stilling basins
by model tests

Zusammenfassung

Zur Beurteilung der Dissipation in einem Tosbecken bei Modellversuchen ist es oft wünschenswert, neben der Kolkbildung weitere Entscheidungskriterien heranziehen zu können. Aus diesem Grunde wird ein Verfahren beschrieben, das es ermöglicht, durch Ermittlung des Geschwindigkeitsgradienten hinter dem Tosbecken zu Aussagen über die Dissipation zu kommen.

Summary

To test energy dissipation of stilling basins it is often useful to have another criteria then the scour. For this reason a method is discribed which permits to judge the dissipation by measuring the fluid velocity downstream of the stilling basin.

Copyright © 1988

REPORT FOR THE INVESTIGATION OF THE

INVESTIGATION

Investigation of the

Investigation

Investigation

The investigation was conducted in accordance with the provisions of the Act on the Investigation of the

Summary

The investigation was conducted in accordance with the provisions of the Act on the Investigation of the

I n h a l t

	Seite
1. Einleitung	36
2. Die Beziehung zwischen Turbulenz, Energie und Energiedissipation	36
2.1 Vorgänge im Tosbecken	36
2.2 Die Strömung hinter dem Tosbecken	39
2.21 Das Energiespektrum	39
2.22 Der Geschwindigkeitsgradient	40
2.23 Abbau der Turbulenz	40
3. Versuchsergebnisse	41
3.1 Analogie zur Strömung hinter Gittern	44
4. Zusammenfassung	47
5. Schrifttum	47

1. Einleitung

Zur Beurteilung der Energieumwandlung in Tosbecken wird bei Modelluntersuchungen i.a. der Kolk herangezogen, der sich hinter dem Sturzbett ausbildet. Man kann hierbei Beziehungen aufstellen zwischen den charakteristischen Größen des Kolkes C_n und der Energie des in das Tosbecken einströmenden Wassers etwa in der Form

$$C_n = f_n(\rho \cdot q, \Delta H),$$

wobei ΔH die Differenz zwischen Ober- und Unterwasserspiegel ist und q der Abfluß. Die bauliche Gestaltung des Tosbeckens stellt dann beim Vergleich der Ergebnisse einen Parameter dar.

Bei der Auswertung der Kolke in der oben beschriebenen Form betrachtet man das Ergebnis der dynamischen Vorgänge, nicht aber die Ursache, die Turbulenz selbst. Außerdem hat sich gezeigt, daß die Kolke nicht immer sehr empfindlich auf die Veränderungen im Tosbecken reagieren. Diese Untersuchungen können abgerundet und ergänzt werden durch eine Betrachtung der turbulenten Strömungsvorgänge.

Die zweifellos beste Methode, ein Tosbecken in seiner Wirkung zu beurteilen ist, das Abklingen der turbulenten Schwankungen in der anschließenden Flußstrecke durch direkte Turbulenzmessungen zu verfolgen. Diese Möglichkeit ist jedoch nicht immer gegeben, sei es, daß geeignete Meßeinrichtungen fehlen, sei es, daß die Versuchsbedingungen so sind, daß eine Messung nicht durchführbar ist. Hier bietet sich der Ausweg, durch Ermittlung von Geschwindigkeitsprofilen - die letztlich durch die Turbulenz gestaltet werden - indirekte Aussagen über die nicht meßbaren Größen zu machen.

Der folgende Aufsatz soll diese Zusammenhänge aufzeigen und damit eine Möglichkeit schaffen, im Zusammenhang mit den Kolkuntersuchungen ergänzende Aussagen über die Wirkung eines Tosbeckens zu machen.

Es sei betont, daß es nicht das Ziel der Arbeit ist, Formeln zur Bemessung von Tosbecken zu liefern, etwa zu Entwurfszwecken (wenn auch einige allgemeine Grundsätze abgeleitet werden können), sondern lediglich eine Hilfe bei Modellversuchen darstellt.

Die folgenden Betrachtungen beschränken sich auf den zweidimensionalen Strömungsvorgang und setzen voraus, daß die Annahme einer lokal-isotropen Turbulenz gerechtfertigt ist. Der Abfluß wird stationär angenommen, wie es bei Tosbeckenuntersuchungen i.a. üblich ist.

2. Die Beziehung zwischen Turbulenz, Energie und Energiedissipation

2.1 Vorgänge im Tosbecken

Grundsätzlich ist zunächst festzustellen, daß die Energiedissipation, d.h. die Umwandlung von mechanischer Energie in nichtmechanische Energieformen in den kleinsten Turbulenzelementen am wirksamsten ist [5]. Die Ursache liegt darin, daß die turbulenten Schubspannungen - und damit verbunden die scheinbare

Zähigkeit - in diesen kleinen Elementen am größten ist und somit den entscheidenden Beitrag an der Dissipation liefert. Der Grund dafür ist, daß in den kleinen Wirbeln der Geschwindigkeitsgradient größer ist als in den großen Turbulenzelementen. Der Gradient aber ist ein direktes Maß für die turbulenten Schubspannungen:

$$\overline{u'_1 u'_2} = \epsilon \frac{\partial u_1}{\partial x_1} \quad (1)$$

und die Dissipation:

$$\Phi = \mu \frac{\partial u_1}{\partial x_2} \left(\frac{\partial u_1}{\partial x_2} + \frac{\partial u_2}{\partial x_1} \right) \quad (2)$$

Führt man in Gleichung (2) die zeitlichen Mittelwerte und die Schwankungen ein, so ergibt sich nach Mittelung, daß die Dissipation aus zwei Anteilen besteht.

$$\Phi = \rho \left[\nu \frac{\partial \bar{u}_1}{\partial x_2} \left(\frac{\partial \bar{u}_1}{\partial x_2} + \frac{\partial \bar{u}_2}{\partial x_1} \right) + \nu \overline{\frac{\partial u'_1}{\partial x_2} \left(\frac{\partial u'_1}{\partial x_2} + \frac{\partial u'_2}{\partial x_1} \right)} \right] \quad (3)$$

Der erste Summand stellt die Dissipation je Masseneinheit dar, die durch den Gradient der mittleren Strömungsgeschwindigkeit bewirkt wird (direkte Dissipation) während der zweite Summand die turbulente Dissipation angibt.

Der Zusammenhang zwischen der Größe der Turbulenzelemente und dem Geschwindigkeitsgradient in diesen Elementen geht aus der Arbeit von WEIZSÄCKER [1] hervor: Der Ausdruck für den Gradienten im Turbulenzelement und der Größe L_n des Elementes mit der mittleren Geschwindigkeit u_n , relativ zur Umgebung, lautet:

$$u'_n = \alpha \frac{u_n}{L_n} \quad (4)$$

mit

$$u'_n = \sqrt{\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_n^2}$$

wobei α eine reine Zahl ist. Nehmen wir noch das Spektralgesetz hinzu

$$\frac{u_n}{u_0} = \left(\frac{L_n}{L_0} \right)^{1/3} \quad (5)$$

so erhalten wir aus (4) und (5):

$$\frac{u'_n}{u'_0} = \left(\frac{L_0}{L_n} \right)^{2/3} \quad (6)$$

Gleichung (6) zeigt den Zusammenhang auf zwischen den Geschwindigkeitsgradienten - und damit der Dissipation - und der Größe vergleichbarer Elemente.

Nach WEIZSÄCKER bezeichnet L_n die Kantenlänge eines Volumenelementes, das der Ausdehnung eines Turbulenzelementes entspricht. Da über die Bewegungsvorgänge im Element selbst keine Voraussetzungen gemacht wurden, können wir uns dieses als Wirbel vorstellen. Die Gleichung (4) kann dann auch folgendermaßen geschrieben werden:

$$\sqrt{\left(\frac{\partial u_n}{\partial r_n}\right)^2} = \alpha \frac{u_n}{L_n} \quad (7)$$

und gibt damit die Verbindung zwischen Gradient und Wirbelgröße deutlicher an.

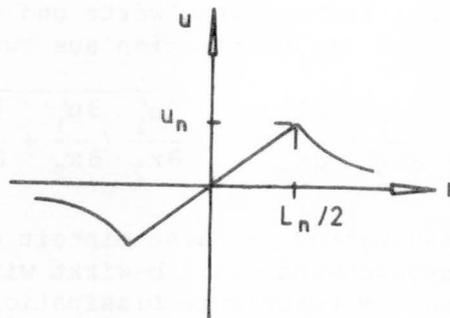


Abb. 1 Der Geschwindigkeitsgradient im Turbulenzelement

Zwar geben auch die großen Wirbel Energie ab, jedoch wird diese nicht umgewandelt, sondern nur in die kleinen Wirbel übertragen, so daß man hier nicht von einer echten Dissipation sprechen kann. Aus den Ausführungen in [1] geht hervor, daß ein Energieaustausch nur zwischen Turbulenzelementen vergleichbarer Größe stattfindet. Praktisch bedeutet das für die Gestaltung des Tosbeckens, daß eine große ausgeprägte Walze hinsichtlich der Energieumwandlung solange nutzlos ist, solange nicht durch den Zerfall dieses "Groß-Elementes" oder durch andere Umstände kleinere Wirbel erzeugt werden, welche die Energie übertragen.

Für die Vorgänge im Tosbecken sowie für seine bauliche Gestaltung ist noch eine weitere Ausführung nützlich: Wir betrachten zwei Meßquerschnitte, die in Fließrichtung um die Strecke X_0 voneinander entfernt sind. Die Größe von X_0 liege in der Größenordnung der größten Turbulenzelemente. Innerhalb der beiden Meßstellen existiere eine statistische Verteilung, was heißen soll, daß Turbulenzelemente aller Größen vorkommen, wobei keine ausgezeichnet ist. Der Verlust der kinetischen Energie der Gesamtströmung auf der Strecke X_0 sei vernachlässigbar klein und die Strömung stationär. Da alle Frequenzen auftreten, muß eine Dissipation stattfinden, wobei die Energie aufgrund des lückenlosen Frequenzspektrums kontinuierlich von den großen Elementen auf die kleinen übertragen und dort umgewandelt wird.

Da die Bewegungsenergie der Gesamtströmung nach Voraussetzung konstant bleibt und der Zustand stationär ist, muß dauernd von außen Energie in das System hineingetragen werden. Dies ist aber nur möglich durch ein Druckgefälle. Das bedeutet, daß der Gesamtdruck im Querschnitt dann kleiner sein muß als bei einer statischen Druckverteilung.

Diese "Energieabsorption" ist umso größer, je stärker die Turbulenzintensität und die damit verbundene Dissipation ist. Dieser Druckabbau hat eine geringere konjugierte Wassertiefe zur Folge und kann somit ausgenutzt werden, um Tosbecken flacher zu gestalten oder die Sicherheit zu erhöhen[7].

2.2 Die Strömung hinter dem Tosbecken

2.2.1 Das Energiespektrum

Die Strömung im Flußbett in unmittelbarer Nähe des Tosbeckens ist weitgehend beeinflusst durch die Vorgänge im Tosbecken selbst. Aussagen über die Turbulenz im anschließenden Flußabschnitt erlauben also Rückschlüsse auf die Wirkung des Sturzbettes.

Betrachten wir das Energiespektrum über den Wellenzahlenbereich, so gilt für die Energieverteilung folgendes Gesetz:[1] [2] [4].

$$E(k) \sim k^{-5/3} \quad (8)$$

mit der Wellenzahl $k = 2\pi/\lambda$, die zur Wellenlänge λ gehört. Aus dieser Definition der Wellenzahl ergibt sich, daß die großen energiereichen Elemente kleine Wellenzahlen liefern und umgekehrt.

Es ist nun

$$\overline{u_i'^2} = 2 \int_k E(k) dk \quad (9)$$

bzw. mit Gleichung (8):

$$\overline{u_i'^2} = 3 C k^{-2/3} \quad (10)$$

Der qualitative Verlauf der Funktion (10) geht aus der Abb.2 hervor.

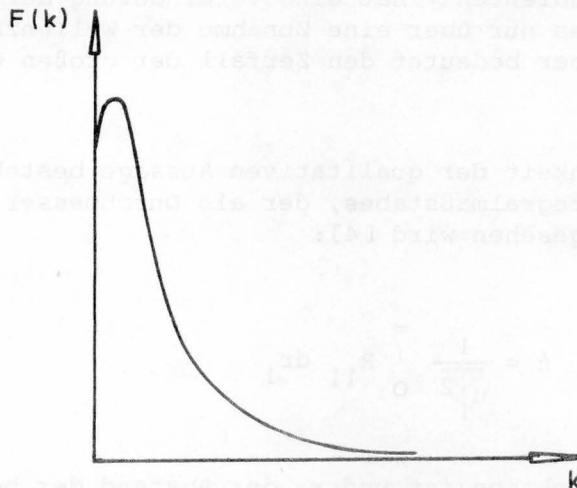


Abb.2 Das Energiespektrum über dem Wellenzahlenbereich

2.22 Der Geschwindigkeitsgradient

Der Zusammenhang zwischen den turbulenten Schubspannungen $\overline{u_1' u_2'}$ und dem Geschwindigkeitsprofil zeigt eindeutig das Geschwindigkeitsverteilungsgesetz:

$$\frac{\bar{u}_1}{u^*} = A_1 \ln\left(\frac{x_2}{x_0}\right) \quad (11)$$

Die Schwankungsgeschwindigkeiten sind über die Schubspannungsgeschwindigkeit u^* in (11) enthalten.

$$u^* = \sqrt{\frac{|\tau_t|}{\rho}} = \sqrt{u_1' u_2'} \quad (12)$$

Mit (12) folgt aus Gleichung (11):

$$\bar{u}_1 = \sqrt{u_1' u_2'} A_1 \ln\left(\frac{x_2}{x_0}\right) \quad (13)$$

Trägt man auf halblogarithmischem Funktionspapier die Meßergebnisse $\bar{u}_1 = f(x_2)$ auf, so ist der Anstieg der Geraden ein direktes Maß für die turbulenten Schubspannungen.

2.23 Der Abbau der Turbulenz

Mit den Gleichungen (10) und (11) haben wir die Möglichkeit, den Abbau der Turbulenzintensität bzw. den Zerfall der Turbulenzelemente zu beobachten. Eine Abnahme der Schubspannungen nach Gleichung (11) bzw. (13) - ermittelt über den Geschwindigkeitsgradienten - hat eine Verminderung der Energie nach Gleichung (10) zur Folge, was nur über eine Zunahme der Wellenzahl bzw. der Frequenz möglich ist. Das aber bedeutet den Zerfall der großen Wirbel in kleinere (s. Abb. 2).

Eine weitere Möglichkeit der qualitativen Aussage besteht über die Definition des Makro- oder Integralmaßstabes, der als Durchmesser eines Turbulenzballens oder Wirbels angesehen wird [4]:

$$\Lambda = \frac{1}{u_1'^2} \int_0^{\infty} R_{11} dr_1$$

wobei R_{11} die Korrelationsfunktion ist und r_1 der Abstand der beiden Beobachtungspunkte. Aber auch die Korrelationsfunktion allein böte die Möglichkeit,

den Zerfall zu verfolgen, wenn man die Distanz r_1 entlang der x_1 -Achse ermittelt, die zu einem konstanten R_{11} -Wert gehört.

Während der Integralmaßstab und die Korrelationsfunktion nur durch Turbulenzmessungen ausgewertet werden können oder bestenfalls qualitative Aussagen zulassen, bietet das Geschwindigkeitsprofil die Möglichkeit, in gewissem Umfang konkrete Angaben zu machen: Einmal - wie bereits erwähnt - über den Anstieg des Gradienten und zum anderen, indem man die Änderung der kinetischen Energie

$$\frac{\partial}{\partial x_1} \left(\frac{\bar{u}_1^2}{2g} \right)$$

in Fließrichtung verfolgt, wobei die Werte $\bar{u}_1^2/2g$ für verschiedene Abstände vor der Flußsohle getrennt aufgetragen werden. Hier kann man sich auf den sohlennahen Bereich beschränken, da dieser für die Erosion maßgebend ist. Es ist dann i.a. festzustellen, daß $\bar{u}_1^2/2g$ vom Tosbecken in Fließrichtung abnimmt. Das bedeutet, daß auf dieser Strecke Energie dissipiert wird. Eine Energieumwandlung kann aber nur dann stattfinden, wenn größere Wirbel vorhanden sind, die ihre Energie an die kleinen abgeben. Das besagt aber, daß in Bereichen stark abfallender Energiegradienten noch große Wirbel aus dem Tosbecken auftreten.

Parallel mit der Verminderung der Werte $\bar{u}_1^2/2g$ läuft ein Ausgleich des Geschwindigkeitsgradienten zu seiner Normalform.

3. Versuchsergebnisse

In der BAW wurden Versuche zur Gestaltung des Tosbeckens für ein Wehr durchgeführt. Die Gesamtanlage ist in Abb.3 dargestellt.

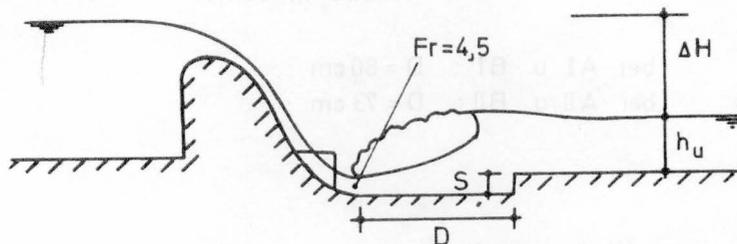


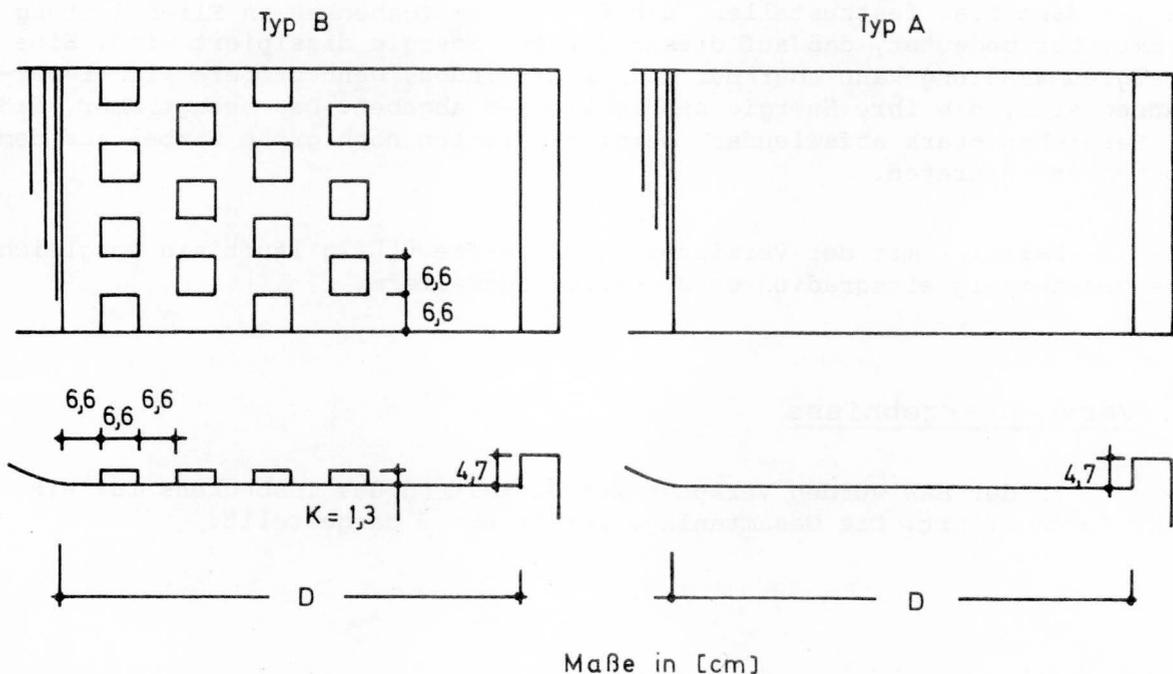
Abb. 3 Untersuchte Wehranlage

Neben Kolkuntersuchungen wurden auch Geschwindigkeitsmessungen mit einem Flügel vorgenommen. Die Wassermenge betrug im Modell 100 l/s, der Unterwasserstand 19 cm, und die mittlere Geschwindigkeit nach der Kontinuitätsgleichung 52,6 cm/s. Die FROUDE'sche Zahl am Tosbeckeneinlauf wurde zu $Fr=4,5$

errechnet. Die Geschwindigkeiten sind für vier Typen ausgewertet worden.

Zur Flügelmessung wurde die bewegliche Sohle der Kolkuntersuchungen durch eine glatte, feste Sohle ersetzt. Bei diesen Messungen ging es lediglich darum, die Änderungen des Geschwindigkeitsprofils als Folge von baulichen Änderungen des Tosbeckens festzustellen, also ein Vergleich von Ergebnissen. Aus diesem Grunde werden alle konstanten Faktoren - wie z.B. die Sohlenrauigkeit - eliminiert und brauchten deshalb im Modell nicht berücksichtigt zu werden. Die Abb. 8 bis 10 zeigen den Verlust an kinetischer Energie hinter dem Tosbecken. Die Ausbildung des Sturzbettes geht aus der Skizzen Abb.4 hervor. Die REYNOLDS'sche Zahl am Tosbeckeneinlauf, bezogen auf die Rauigkeit k , betrug

$$Re^* = \frac{\bar{u} \cdot k}{\nu} \approx 35\ 800.$$



bei AI u. BI : $D = 80$ cm
 bei AII u. BII : $D = 73$ cm

Abb.4 Untersuchte Tosbeckenvarianten

Es zeigt sich sehr deutlich, daß einmal das Energieniveau beim Tosbeckentyp AII wesentlich höher liegt als beim Typ AI und daß zum andern bei AII die Dissipation hinter dem Tosbecken noch auf einer bedeutend längeren Strecke stattfindet.

Bei den Tosbeckentypen BI und BII mit Rauigkeitskörpern ist im wesentlichen dasselbe zu beobachten (Abb.9). Einen Vergleich der Tosbecken mit

und ohne Rauigkeiten zeigt die Abb.10.

In der Abb.11 sind die Geschwindigkeitsgradienten im sohlennahen Bereich für die Typen BI und BII aufgetragen. Es ist deutlich zu erkennen, daß die turbulenten Schubspannungen für das Tosbecken BI schneller abgebaut werden als für BII, was übereinstimmt mit dem Vergleich der Energiegradienten.

Ähnliche Versuche, die allerdings die Messungen der Schwankungsgeschwindigkeiten einschlossen, wurden von LIPAY und PUSTOVOIT [6] durchgeführt. Die Autoren verfolgten den Abbau der turbulenten Schubspannungen $\overline{u_1' u_2'}$, der Turbulenzintensität

$$\sqrt{\overline{u_1'^2}} \text{ und } \sqrt{\overline{u_2'^2}}$$

sowie die Entwicklung der mittleren Geschwindigkeiten \bar{u}_1 und \bar{u}_2 . Sie stellten fest, daß der Ausgleich der Turbulenzintensität langsamer verläuft als der Ausgleich des Geschwindigkeitsprofils, während dessen Entwicklung etwa parallel läuft mit dem Abbau der Schubspannungen. Die langsamere Entwicklung von

$$\sqrt{\overline{u_1'^2}}$$

führen die Autoren auf den anisotropen Charakter der Strömung zurück. Ein Vergleich des Zerfalls der Turbulenz hinter einem Tosbecken und hinter einem Gitter zeigt eine Ähnlichkeit. Bis zu einem gewissen Abstand hinter dem Sturzbett haben beide Funktionen einen gleichen Verlauf. Abb.9 stellt schematisch die Ergebnisse nach [6] dar.

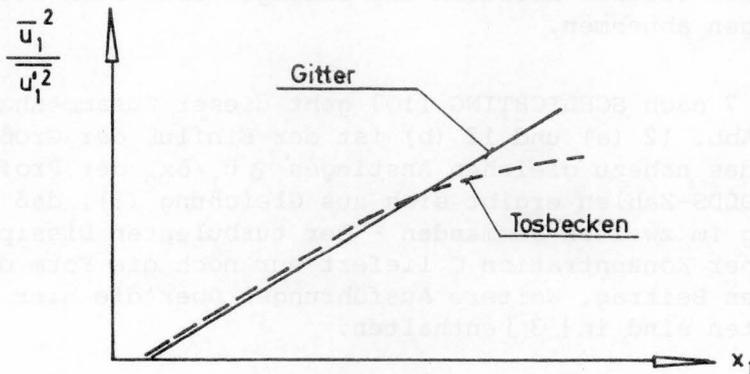


Abb.5 Vergleich der Gitterturbulenz mit der Turbulenz hinter einem Tosbecken

Versuche mit unterschiedlicher Anordnung der Rauigkeitskörper wurden in der BAW in diesem Zusammenhang nicht durchgeführt. Einen Aufschluß über diese Einflüsse geben jedoch die Untersuchungen in [9], die auf die inneren Vorgänge im Tosbecken anwendbar sind. Hier werden die Auswirkungen der "Rauigkeitskonzentration" auf das Geschwindigkeitsprofil dargestellt. Als Rauigkeitskonzentration C ist die Projektion F_r der Gesamtfläche der

Körper auf eine Ebene senkrecht zur Fließrichtung zu verstehen im Verhältnis zur Grundfläche F der Sohle. Die Ergebnisse wurden in der Form

$$\bar{u}_1/u^* = f(\text{Re}^*, y/k, C)$$

aufgetragen mit der REYNOLDS'schen Zahl $\text{Re}^* = ku^*/\nu$ und der Konzentration C als Parameter. Der Faktor k gibt die absolute Rauigkeit an. (Abb.6 u. 12).

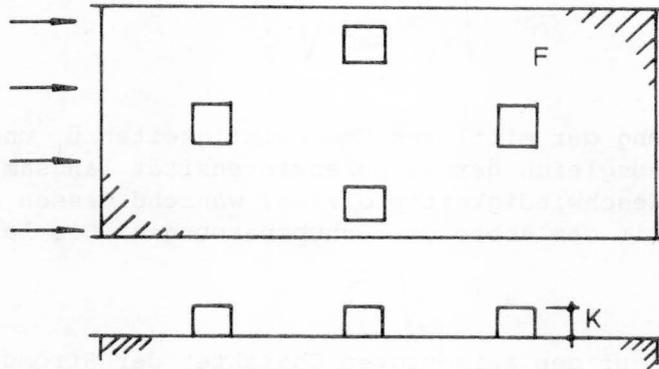


Abb.6 Zur Definition der Rauigkeitskonzentration

Zunächst zeigt sich, daß die Rauigkeit bei dichter Anordnung der Körper ($C = 1/64$) nicht mehr wirksam ist, da hier die Vorgänge bereits im hydraulisch glatten Bereich ablaufen und infolgedessen auch die turbulenten Schubspannungen abnehmen.

Aus Abb. 7 nach SCHLICHTING [10] geht dieser Zusammenhang sehr gut hervor. Bei der Abb. 12 (a) und 12 (b) ist der Einfluß der Größe k gut zu sehen. Aufgrund des nahezu gleichen Anstieges $\partial \bar{u}_1 / \partial x_2$ der Profile bei verschiedenen REYNOLDS-Zahlen ergibt sich aus Gleichung² (3), daß die hauptsächlichste Wirkung im zweiten Summanden - der turbulenten Dissipation - liegt. Bei zu hoher Konzentration C liefert nur noch die Form des Profiles einen wesentlichen Beitrag. Weitere Ausführungen über die hier infrage kommenden Rauigkeiten sind in [3] enthalten.

3.1 Analogie zur Strömung hinter Gittern

Die beschriebenen Versuche in der BAW sowie die Ergebnisse nach [6] legen es nahe, die Strömung hinter einem Gitter mit der hinter einem Tosbecken zu vergleichen.

Nach [8] gilt für den Zerfall der energiereichen Wirbel hinter Gittern:

$$\frac{1}{\bar{u}_1^2} \sim (x_1 - x_0)$$

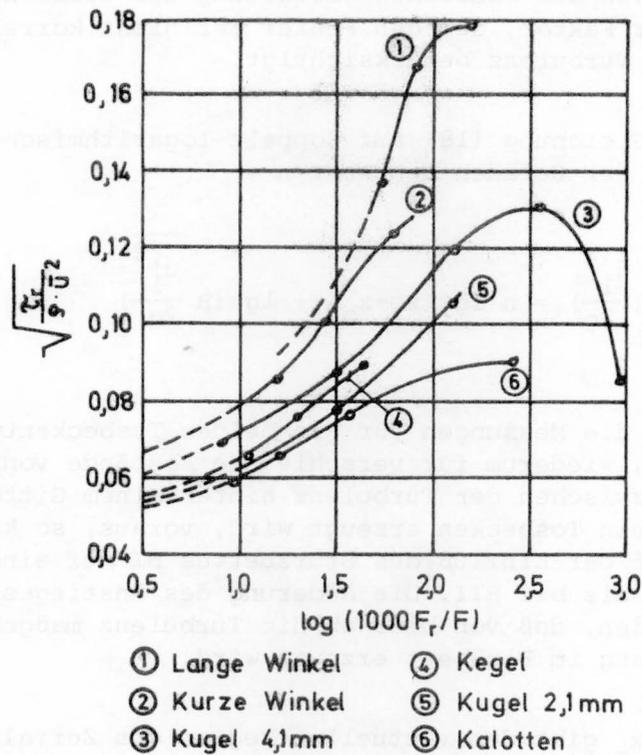


Abb. 7 Die turbulenten Schubspannungen als Funktion der Rauheitskonzentration (nach [10])

Unter Berücksichtigung der Maschenweite M und der mittleren Strömung \bar{u}_1 ergibt sich

$$\frac{\bar{u}_1^2}{u_1'^2} = a \left(\frac{x_1}{M} - \frac{x_0}{M} \right) \quad (15)$$

Die Gleichung kann umgeformt werden:

$$\bar{u}_1^2 = A (x_1 - x_0) \overline{u_1'^2} \quad (16)$$

Die Größe A ist eine Konstante, welche die Form des Gitters berücksichtigt. Überträgt man die Gleichung (16) auf das Tosbecken, so kann sie in der Form geschrieben werden

$$\bar{u}_1^2 = B (x_1 - x_0)^n \overline{u_1'^2} \quad (17)$$

oder um den Zusammenhang zwischen der kinetischen Energie und den Geschwindigkeitsschwankungen deutlicher zu machen:

$$\frac{\bar{u}_1^2}{2g} = B (x_1 - x_0)^n \frac{\overline{u_1'^2}}{2g} \quad (18)$$

Die Größe B hängt von der baulichen Gestaltung des Tosbeckens ab und n ist ein zu bestimmender Faktor, der den Fehler der nicht korrekten Annahme einer lokalisotropen Turbulenz berücksichtigt.

Trägt man Gleichung (18) auf doppelt-logarithmischem Papier auf, so ergibt der Anstieg der Geraden den Wert n :

$$\lg \left(\frac{\bar{u}_1^2}{2g} \right) = n \lg (x_1 - x_0) + \lg \left(B \frac{u_1'^2}{2g} \right) \quad (19)$$

In der Abb.13 sind die Messungen für die beiden Tosbeckentypen BI und BII ausgewertet worden, wiederum für verschiedene Abstände von der Sohle. Setzt man eine Analogie zwischen der Turbulenz hinter einem Gitter und der Turbulenz, die durch ein Tosbecken erzeugt wird, voraus, so kann man aus Abb.13 ablesen, daß der Einfluß des Sturzbettes BI auf einer kürzeren Strecke abgeklungen ist als bei BII. Die Änderung des Anstieges nach $(x_1 - x_0) = 70\text{cm}$ läßt darauf schließen, daß von hier ab die Turbulenz maßgebend ist, die beim normalen Fließvorgang im Flußbett erzeugt wird.

Die Größe x_0 gibt den virtuellen Beginn des Zerfalles an, d.h. also, ein positives x_0 bedeutet, daß von der Erzeugung der Turbulenz bis zum Beginn ihres Zerfalles eine gewisse Zeit vergeht. Während bei Gittern dieser Abstand zu $5M$ bis $15M$ gewählt wird [8], wobei M die Maschenweite angibt, ist es bei Tosbecken schwierig, diesen Wert festzulegen, bevor keine äquivalente Größe für M gefunden ist. Insofern ist $x_0 = 10\text{ cm}$ eine etwas willkürliche Festlegung, die sich aus der Beobachtung der Strömung ergab.

Durch Umformung aus Gleichung (17) erhält man weiterhin:

$$\frac{u_1'^2}{B} = \frac{\bar{u}_1^2}{B} (x_1 - x_0)^{-n} \quad (20)$$

was mit [6] übereinstimmt. Schreibt man die Gleichung in der Form

$$\sqrt{B} \sqrt{u_1'^2} = \bar{u}_1 \sqrt{(x_1 - x_0)^{-n}} = f(x_1) \quad (21)$$

so stellt sie ein weiteres Mittel dar, den Abbau der Turbulenzintensität hinter dem Sturzbett zu zeigen, nachdem n aus Gleichung (19) ermittelt wurde. Die Geschwindigkeit \bar{u}_1 ist hier der Mittelwert nach der Kontinuitätsgleichung. Da allerdings die Tosbeckenform durch den Faktor B implizit enthalten ist, kann Gleichung (19) in dieser Gestalt nicht herangezogen werden, um den Wirkungsgrad einzelner Tosbecken zu vergleichen. Dagegen ist sie gut geeignet, um für ein und dasselbe Sturzbett die Wirkung bei verschiedenen Abflüssen zu untersuchen und damit festzustellen, in welchem Abflußbereich die beste Dissipation erzielt wird. Allgemein kann man sagen, daß die Wirkung umso besser ist, je größer n wird.

4. Zusammenfassung

Neben theoretischen Überlegungen zum Zerfall der Turbulenzelemente und zur Energiedissipation im Tosbecken wurden die Vorgänge in der Strömung hinter dem Tosbecken besprochen. Das Verhalten der Turbulenz im Flußbett in unmittelbarer Nähe des Sturzbettes wird bestimmt durch die Energieumwandlung im Tosbecken. Die theoretische Abhandlung wurde ergänzt durch Geschwindigkeitsmessungen. Dabei zeigte sich, daß der Geschwindigkeitsgradient ein geeignetes Mittel ist, um die Verhältnisse im Tosbecken indirekt zu beurteilen. Das Verfahren stellt somit eine zusätzliche Möglichkeit dar, den Wirkungsgrad im Modellversuch zu überprüfen.

Aus den theoretischen Zusammenhängen lassen sich einige allgemeine Grundsätze zur Gestaltung von Sturzbetten ableiten, die auch teilweise durch die Messungen bestätigt wurden. Daraus ergibt sich, daß es günstiger ist, anstelle einer stark ausgeprägten Deckwalze mehrere Walzen geringeren Durchmessers zu erzeugen, die bezüglich der Dissipation wesentlich mehr leisten. Dies kann z.B. erreicht werden durch den Einbau von Störkörpern, wobei allerdings bei der Bemessung dieser Körper darauf zu achten ist, daß sie ihrerseits nicht wieder große, energiereiche Wirbel erzeugen.

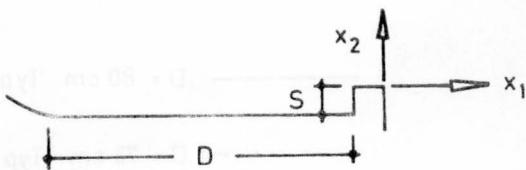
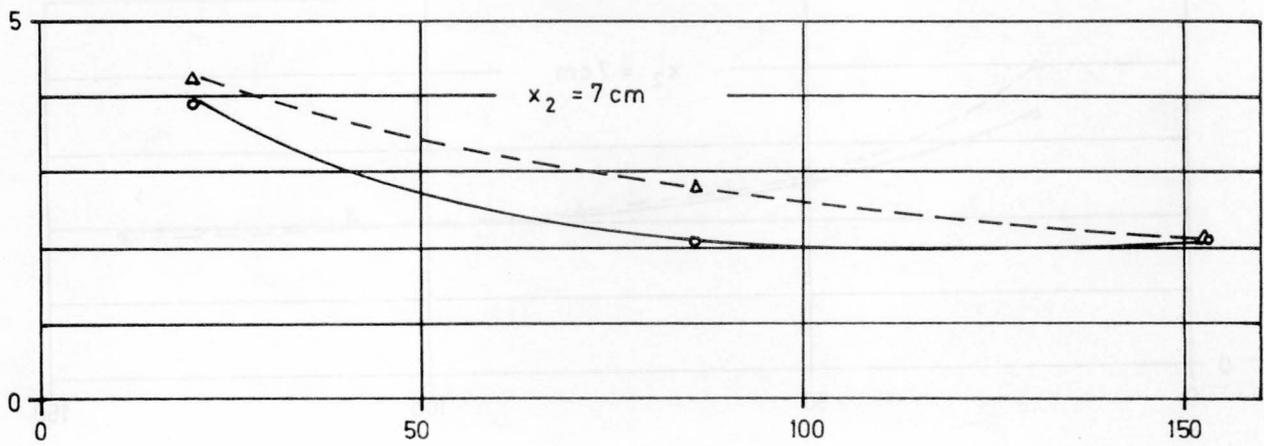
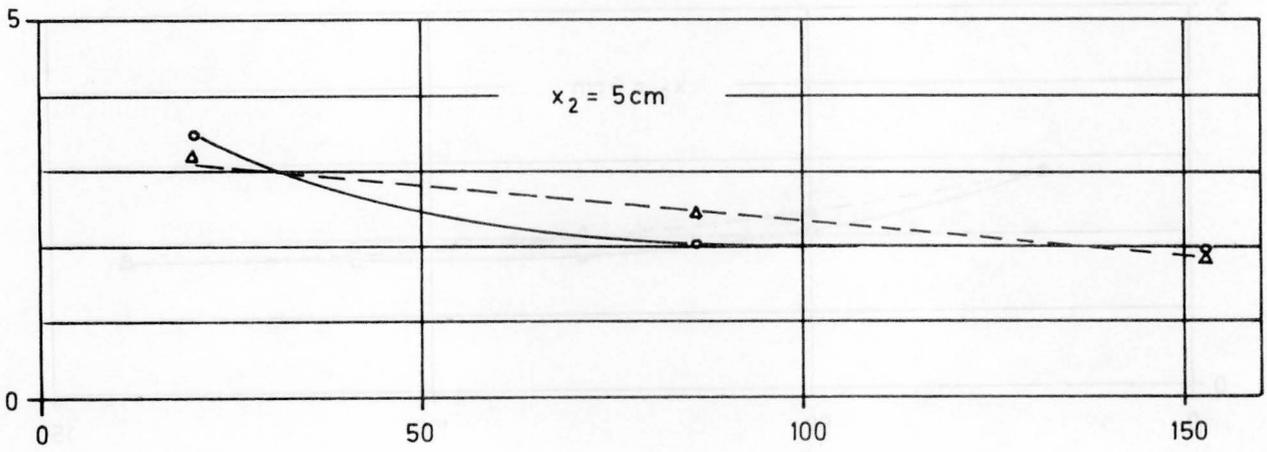
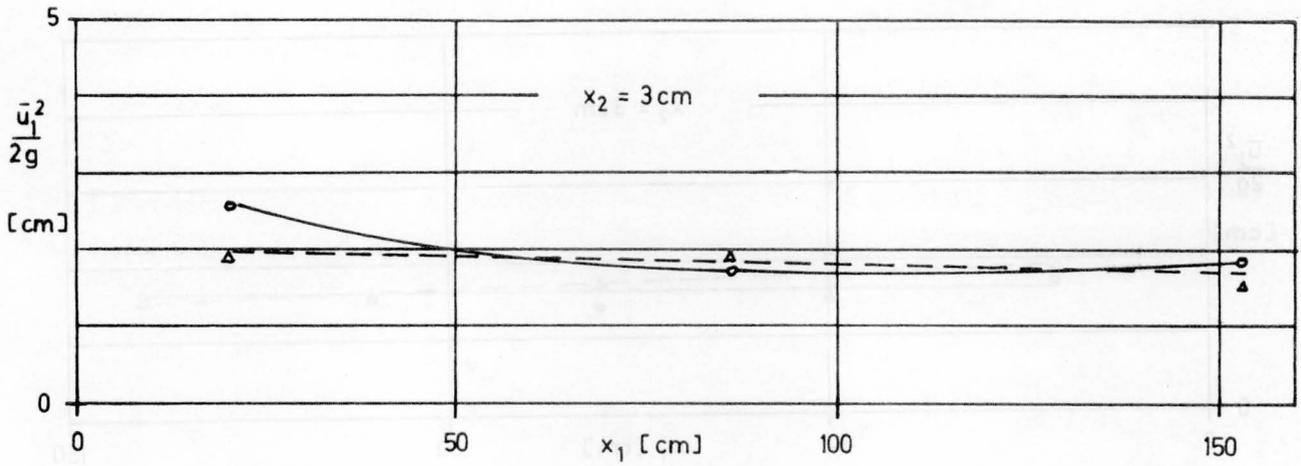
Die erhöhte Energieumwandlung bewirkt, daß sich im Unterwasser eine geringere konjugierte Tiefe einstellt, was dazu benutzt werden kann, das Tosbecken flacher zu gestalten oder seine Sicherheit zu erhöhen.

Die Länge sollte so bemessen werden, daß besonders die großen Turbulenzelemente noch im Tosbecken zerfallen und nicht auf die Flußsohle gelangen. Dies vor allem, sowie die Wirkung der Störkörper, kann mittels des Geschwindigkeitsgradienten beurteilt werden.

5. Schrifttum

- | | | | |
|-----|---------------------------------|---|--|
| [1] | WEIZSÄCKER, C.F. v. | : | Das Spektrum der Turbulenz bei großen REYNOLDS'schen Zahlen. Z.f.Physik 124, 1948, S.614-627 |
| [2] | HEISENBERG, W. | : | Zur statistischen Theorie der Turbulenz. Z.f.Physik 124, 1948, S.628-657 |
| [3] | SCHLICHTING, H. | : | Grenzschichttheorie. Karlsruhe:G.Braun, 1965 |
| [4] | ROTTA, J.C. | : | Turbulente Strömungen. Stuttgart: B.G. Teubner, 1972 |
| [5] | HINZE, J.O. | : | Turbulence. New York: McGraw-Hill, 1959 |
| [6] | LIPAY, I.E./
PUSTOVOIT, V.F. | : | On the vanishing of intensiv macroturbulence in open channel below hydraulic structure. Proc. 12.Congr.IAHR, Fort Collins Colorado, 1967, Vol. 2 |
| [7] | UNNY, T.E. | : | Zum Entwurf von Tosbecken, die Entwicklung in Indien und Amerika. Wasserwirtschaft-Wassertechnik 13, 1963, Nr.1 u. 2, S.38-42 und S.91-94 |

- [8] BATCHELOR, G.K. : The Theorie of homogeneous turbulence
Cambridge: University Press, 1956
- [9] ÓLOUGLIN, E.M./ : Flow phenomena near rough boundaries.
SHASTRI ANNAMBHOTLA, V.S. J.of Hydraulic Research IAHR, Vol. 7
1969, Nr.2, S.231-250
- [10] SCHLICHTING, H. : Experimentelle Untersuchungen zum Rauhig-
keitsproblem. Ingenieur-Archiv 7, 1936
Nr.1 S.1-34.



— D = 80 cm Typ AI
 - - - D = 73 cm Typ AII

Abb.8 Energieabnahme hinter dem Tosbecken

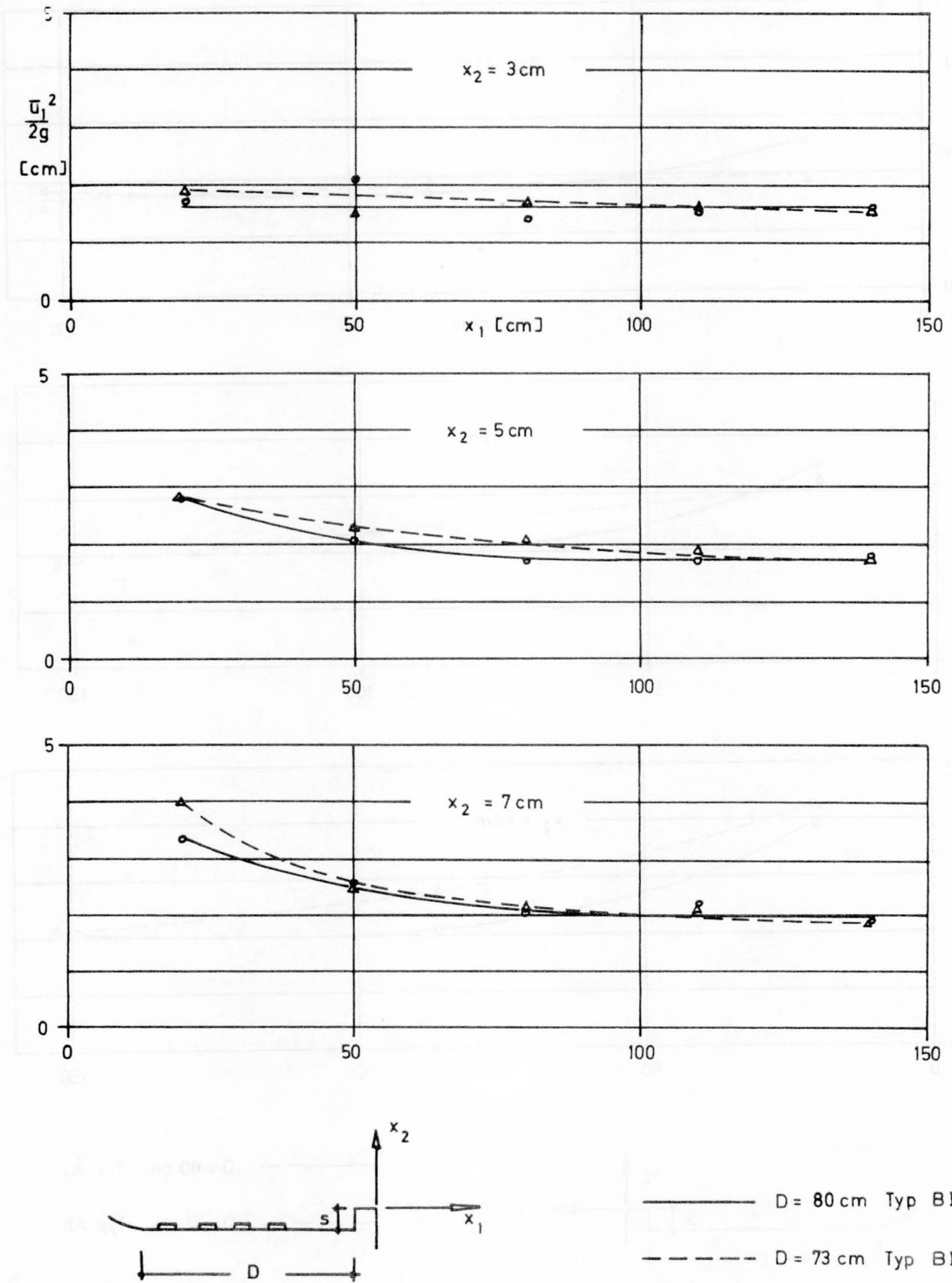


Abb.9 Energieabnahme hinter dem Tosbecken

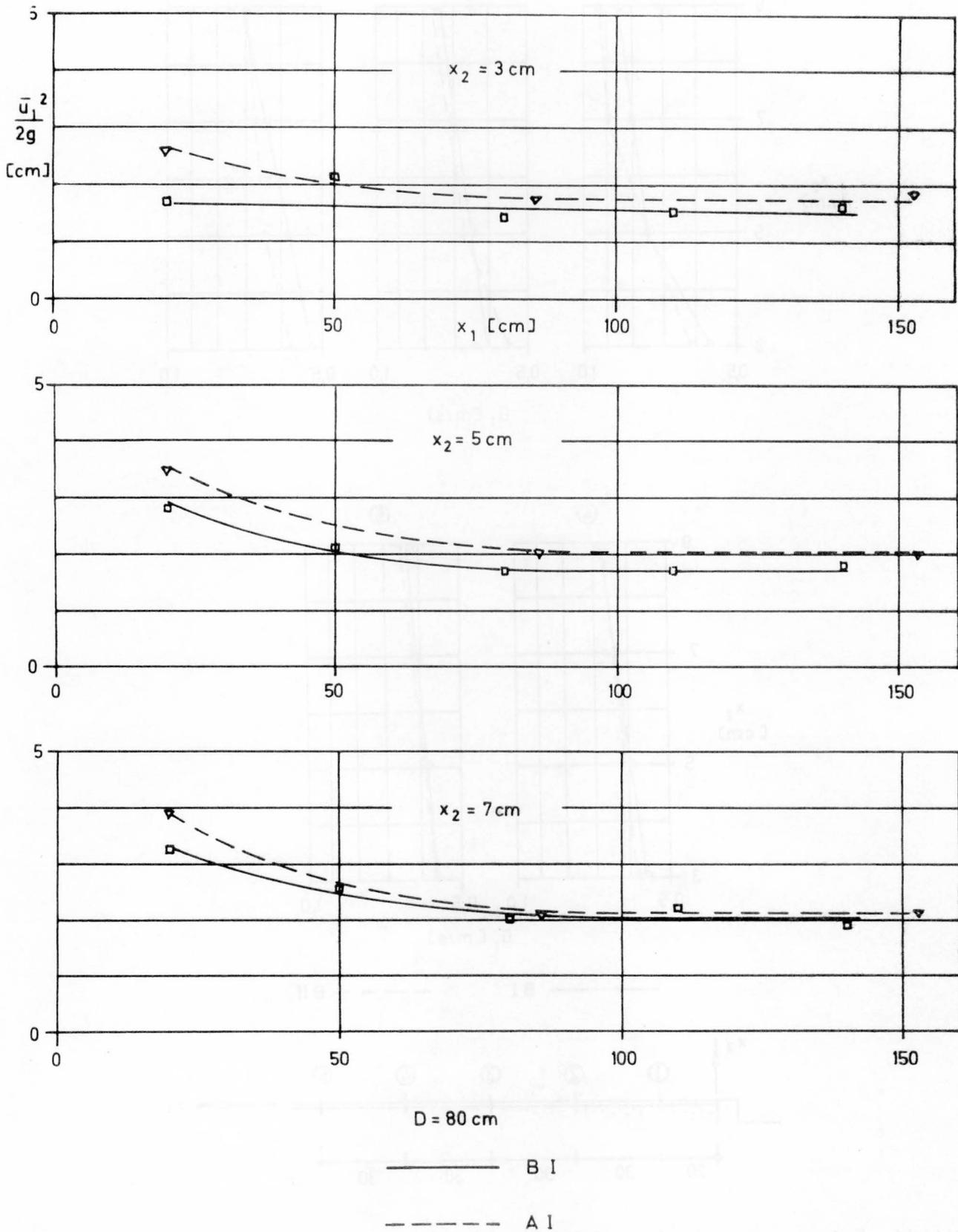


Abb.10 Energieabnahme hinter dem Tosbecken

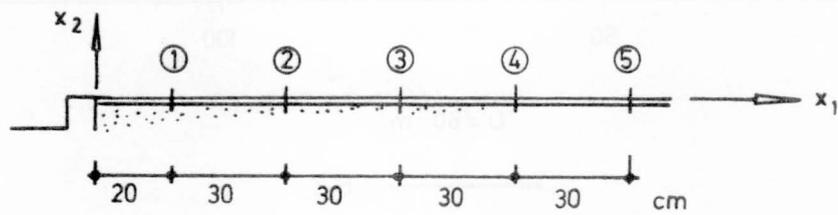
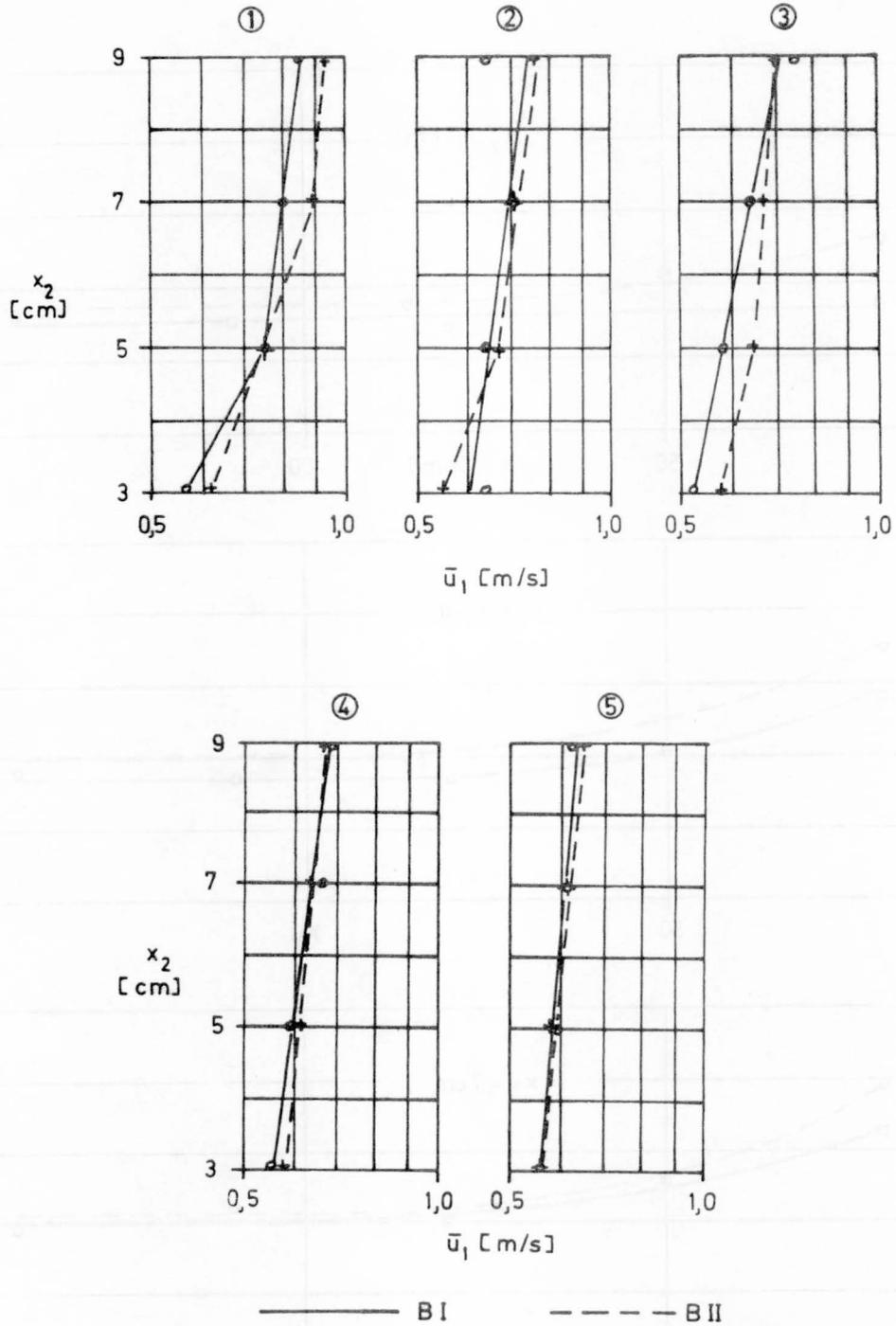


Abb. 11 Änderung des Geschwindigkeitsgradienten hinter dem Tosbecken

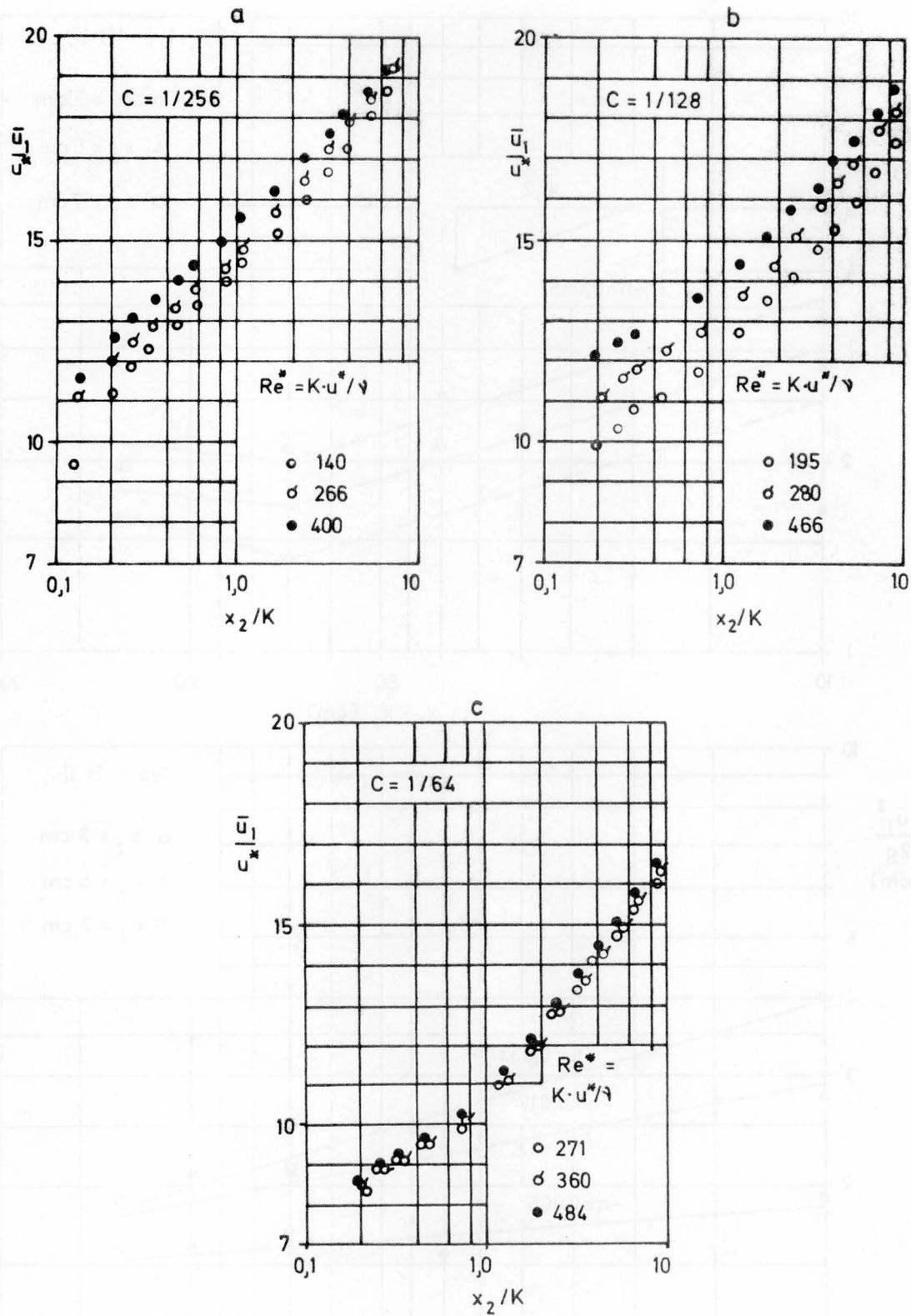


Abb.12 Änderung des Geschwindigkeitsgradienten nach Untersuchungen in 9

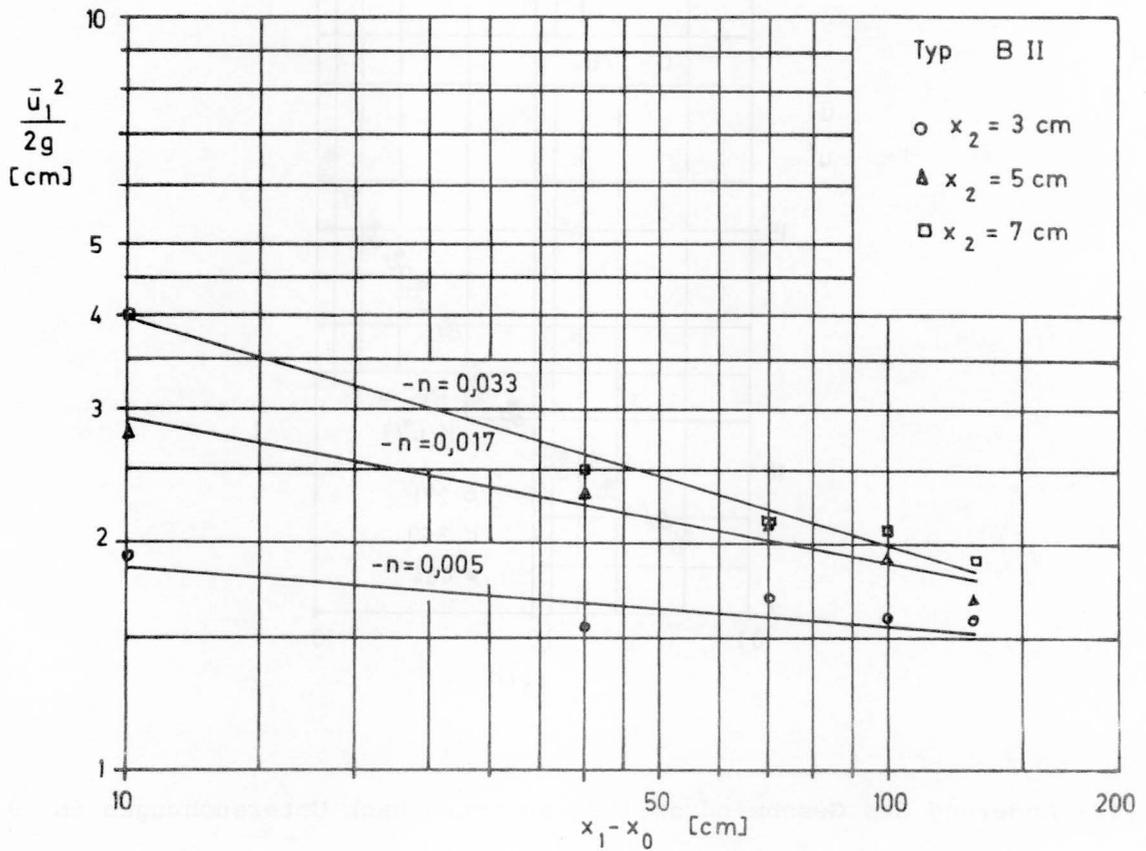
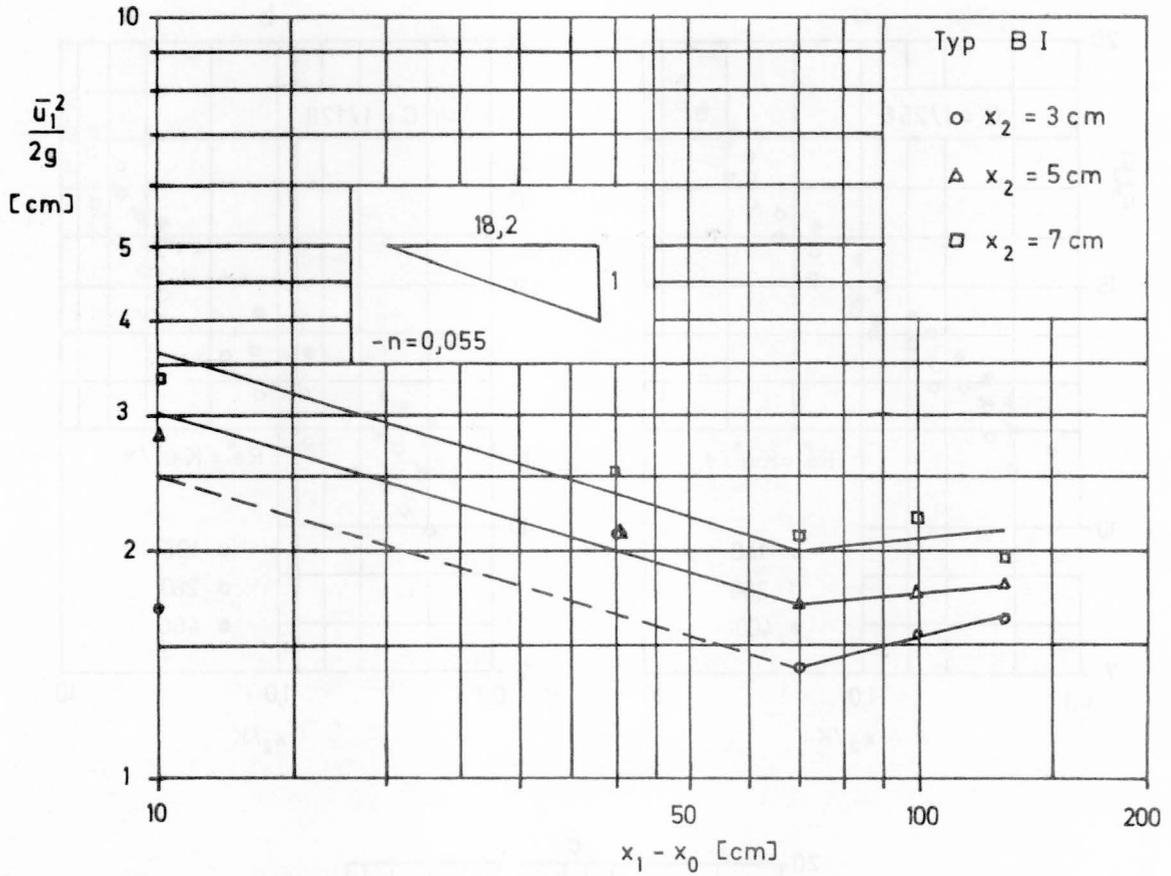


Abb.13 Analogie zur Gitterturbulenz