

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Article, Published Version

Felkel, Karl

Gemessene Abflüsse in Gerinnen mit Weidenbewuchs

Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103137>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Felkel, Karl (1960): Gemessene Abflüsse in Gerinnen mit Weidenbewuchs. In: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 15. 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.



Gemessene Abflüsse in Gerinnen mit Weidenbewuchs

Von Regierungsbaumeister Dr.-Ing. Karl FELKEL

1. Einleitung

Erfreulicherweise wendet man sich in neuerer Zeit bei der Gestaltung und Ufersicherung der Flüsse mehr den naturverbundenen Bauweisen zu und bevorzugt in zunehmendem Maße die lebende Verbauung. Ihre Vorteile liegen sowohl auf landschaftsgestalterischem als auch auf technischem und wirtschaftlichem Gebiet. In ersterer Hinsicht bieten sich dabei zahlreiche Möglichkeiten an, den das Bild der gesamten Tallandschaft maßgeblich beeinflussenden Uferstreifen in vorteilhafter Weise durch Bäume und Strauchgruppen zu beleben und zu bereichern.

Im Rahmen der Lebendverbauung nimmt die Bepflanzung mit Weiden einen hervorragenden Platz ein, da sich die Weide infolge ihres raschen Wachstums, ihrer Elastizität, anspruchslosigkeit und Regenerationsfähigkeit sowie weiterer für den Uferschutz vorteilhafter Eigenschaften für die Anpflanzung am Wasser wie keine andere der einheimischen Straucharten eignet.

Trotz der zahlreichen mit Weiden ausgeführten Uferbauten steht der entwerfende Ingenieur auch heute noch vor der schwierigen Frage nach dem Einfluß des Weidenbewuchses auf den Abfluß, ohne sie klar beantworten zu können. Er ist bei der Bemessung der Durchflußquerschnitte auf Schätzungen angewiesen, wobei er den für das unbepflanzte Gerinne errechneten oder gemessenen Durchfluß je nach den Gegebenheiten um einen gewissen Betrag vermindern wird, d.h., daß bei Benutzung etwa der Gauckler-Manning-Strickler'schen Abflußformel

$$v = k \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2} \quad [\text{m/s}] ,$$

der heute bei Berechnungen von Flußläufen häufig der Vorzug gegeben wird, der Rauigkeitsbeiwert k kleiner angenommen wird. Da jedoch die errechnete Fließgeschwindigkeit v und mit ihr der bei einem

bestimmten Abflußquerschnitt F zu erwartende Durchfluß $Q = F \cdot v$ [m^3/s] direkt proportional zu k sind, ist es von großer Bedeutung, ob bei dieser Schätzung k etwa um 20 % oder um 60 % verringert wird, denn im letzteren Falle ist der errechnete Durchfluß nur noch halb so groß wie im ersten bzw. der erforderliche Fließquerschnitt doppelt so groß. Eine experimentelle Klärung dieser Frage war daher notwendig.

Die nachstehend behandelten Modellversuche wurden von Herrn Professor Dr.-Ing. E. K i r w a l d , Freiburg i.Br., veranlaßt, von der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanziert, und in der Bundesanstalt für Wasserbau in Karlsruhe ausgeführt.

Ohne der eingehenderen Auswertung und Berichterstattung durch Herrn Prof. Dr.-Ing. Kirwald vorgreifen zu wollen, seien mit seinem Einverständnis im folgenden die wichtigsten Ergebnisse mitgeteilt.

2. Versuchseinrichtungen und Versuchsdurchführung

Die Versuchsanlage wurde auf einem Freigelände aufgebaut. Die Hauptteile der Anlage sind (vgl. Bild 1 und Abb. 1): ein Tiefbehälter in der benachbarten Versuchshalle; 3 Pumpen mit einer Förderleistung von insgesamt rd. $1,0 m^3/s$; das Einlaufbecken mit 3 Meßwehren von 1,0 m Höhe und Kronenbreiten von 1,5, 2,0 und 3,0 m, mit darüber angebrachten Absperrklappen; die Sturzbetten unterhalb der Wehre mit je 2 hintereinander angeordneten Querwänden aus aufeinandergesetzten tönernen Dränröhren $\varnothing 65$ mm, die zur Beruhigung und Gleichrichtung des über die Wehre stürzenden Wassers dienen; die drei nebeneinanderliegenden Versuchsrinnen mit trapezförmigem Querschnitt, die seitlich gegeneinander mittels verputzter Backsteinwände gedichtet sind; der durch Staubleche regulierbare Auslauf, sowie die zum Tiefbehälter führende Rücklauftrinne. Die gesamte Anlage sitzt auf einer dichten Betonplatte.

Die 3 je 15 m langen Versuchsrinnen besitzen Sohlenbreiten von 0,5, 1,0 und 2,0 m und 1:1 geneigte Böschungen (vgl. Abb. 2).

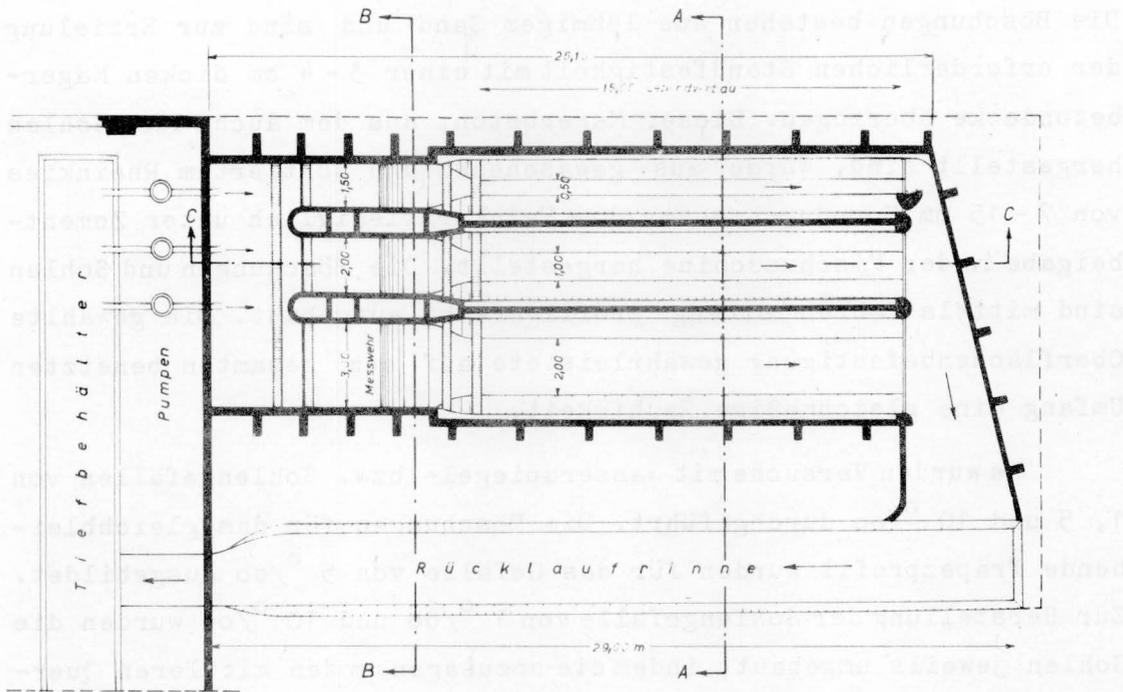


Abb. 1 Grundriß der Versuchseinrichtung

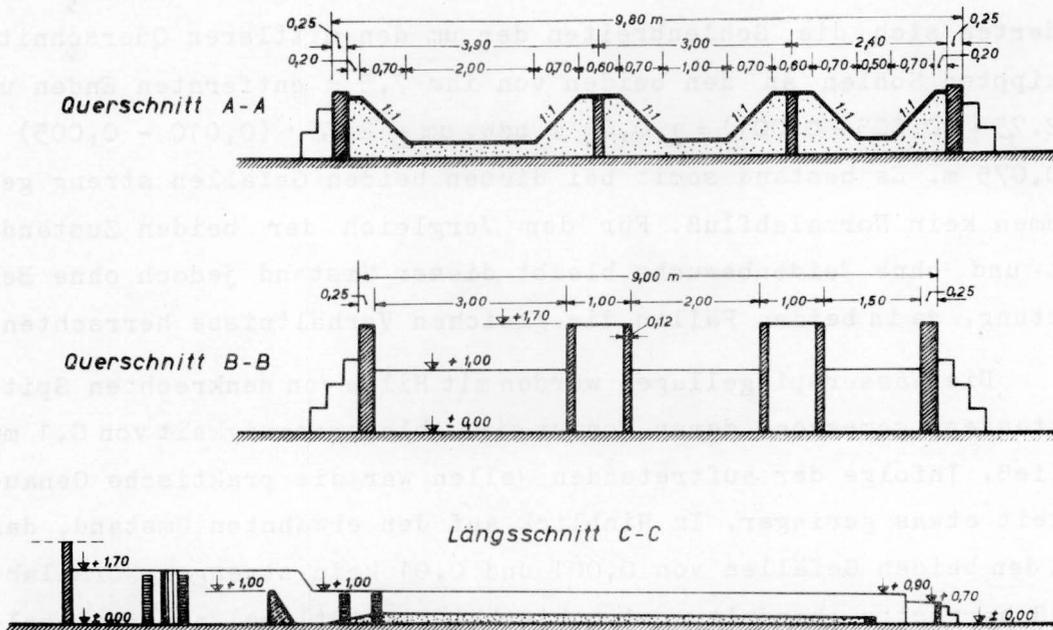


Abb. 2 Schnitte durch die Versuchsanlage

Die Böschungen bestehen aus lehmigem Sand und sind zur Erzielung der erforderlichen Standfestigkeit mit einer 3-4 cm dicken Magerbetondecke überzogen. Dieser Magerbeton, aus dem auch die Sohlen hergestellt sind, wurde aus gewaschenem und sortiertem Rheinkies von 7-15 mm Korndurchmesser ohne Feinkorn lediglich unter Zementbeigabe in der Mischmaschine hergestellt. Die Böschungen und Sohlen sind mittels Lehren streng profilgerecht aufgebaut. Die gewählte Oberflächenbefestigung gewährleistete auf dem gesamten benetzten Umfang eine gleichmäßige Rauigkeit.

Es wurden Versuche mit Wasserspiegel- bzw. Sohlengefällen von 1, 5 und 10 ‰ durchgeführt. Die Böschungen für das gleichbleibende Trapezprofil wurden für das Gefälle von 5 ‰ ausgebildet. Zur Herstellung der Sohlengefälle von 1 ‰ und 10 ‰ wurden die Sohlen jeweils umgebaut, indem sie sozusagen um den mittleren Querschnitt gekippt wurden, nicht jedoch die Böschungen, da dies im Hinblick auf den Bewuchs undurchführbar war. Dadurch ergab sich allerdings bei den beiden letztgenannten Sohlengefällen eine Veränderung der Sohlenbreiten längs der Rinnen. Während der Querschnitt in der Mitte der Rinnenlänge für alle 3 Gefälle gleich blieb, veränderten sich die Sohlenbreiten der um den mittleren Querschnitt gekippten Sohlen an den beiden von ihm 7,5 m entfernten Enden um $\pm 2,75 \cdot (0,005 - 0,001) = \pm 0,06$ m bzw. um $\pm 2,75 \cdot (0,010 - 0,005) = \pm 0,075$ m. Es bestand somit bei diesen beiden Gefällen streng genommen kein Normalabfluß. Für den Vergleich der beiden Zustände mit und ohne Weidenbewuchs bleibt dieser Umstand jedoch ohne Bedeutung, da in beiden Fällen die gleichen Verhältnisse herrschten.

Die Wasserspiegellagen wurden mit Hilfe von senkrechten Spitzentastern gemessen, deren Nonius eine Ablesegenauigkeit von 0,1 mm zuließ. Infolge der auftretenden Wellen war die praktische Genauigkeit etwas geringer. Im Hinblick auf den erwähnten Umstand, daß bei den beiden Gefällen von 0,001 und 0,01 kein strenger Normalabfluß herrschte, handelt es sich hierbei um mittlere Wasserspiegelgefälle.

Die Versuche wurden derart durchgeführt, daß jeweils nacheinander Wassertiefen von 0,20, 0,35 und etwa 0,45 m (die größte

Wassertiefe wurde durch die verfügbare Pumpenleistung beschränkt) eingestellt und der dabei auftretende Durchfluß bestimmt wurde und zwar einmal am Meßwehr und außerdem durch eine größere Anzahl punktförmiger Flügelmessungen mit einem Ott'schen Flügel in dem in der Mitte gelegenen Querschnitt. Es ergab sich stets eine gute Übereinstimmung zwischen den an den Meßwehren abgelesenen und den durch die Auswertung der Flügelmessungen ermittelten Durchflußmengen.

Die Versuche ohne Weidenbewuchs wurden im Herbst 1958 durchgeführt (Versuchsreihe A). Im Mai 1959 erfolgte die Bepflanzung. Die Anordnung der Weidenstecklinge (rd. 20 cm lange Rutenabschnitte) ist aus Abb.3 und Bild 2 ersichtlich. Zur Einführung der Steck-

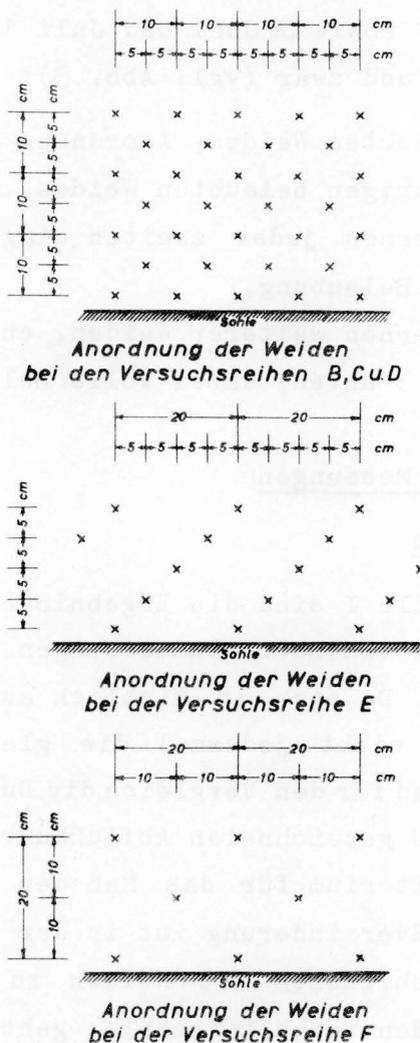


Abb. 3 Schema der Anordnung der Weiden

linge in die Böschung wurden in den Magerbetonbelag fingerdicke Löcher geschlagen. Da die Stecklinge vor dem Pflanzen schon mehrere Wochen lagerten, schlug ein Teil davon nicht aus und wurde anfangs Juni 1959 durch frischgeschnittene ersetzt. Dennoch war bereits 3 Monate später ein üppiger, annähernd gleichmäßiger Bewuchs entstanden. Die Aufnahme Bild 3 wurde im August 1959 gemacht. Die meisten Ruten besaßen unmittelbar an der Böschung im Mittel einen Durchmesser von ca. 10 mm.

Die ersten Versuche mit voll belaubten Weiden in Abständen von 10 cm (Versuchsreihe B gemäß Abb. 3) wurden im September 1959 durchgeführt.

Weitere Varianten wurden in der ersten Märzhälfte 1960 (mit unbelaubten Weiden) sowie im Juni und Juli 1960 nur für das Gefälle von 1 % untersucht und zwar (vgl. Abb. 3):

- C) mit unbelaubten Weiden, Anordnung wie bei B,
- D) mit einjährigen belaubten Weiden, Anordnung wie bei B,
- E) nach Entfernen jeder zweiten diagonalen Weidenreihe; dabei volle Belaubung,
- F) nach Entfernen weiterer Weiden, entsprechend der Anordnung nach Abb. 3 unten, dabei volle Belaubung.

3. Ergebnisse der Messungen

3.1 Durchflußmengen

In der Tabelle I sind die Ergebnisse der in den Jahren 1958 und 1959 durchgeführten Durchflußmessungen für die Versuchsreihen A und B enthalten. Da sich im Hinblick auf die vorhandenen Versuchseinrichtungen nicht jedesmal die gleiche größte Wassertiefe einstellen ließ, sind für den Vergleich die Durchflüsse bei $t = 0,44$ m erforderlichenfalls gezeichneten Abflußkurven entnommen und mit a) bezeichnet. Als Kriterium für das Maß der durch den Weidenbewuchs entstandenen Abflußverminderung ist in der Spalte 8 das Verhältnis des jeweiligen Durchflusses mit Weiden zu demjenigen ohne solche $\frac{Q_B}{Q_A}$ berechnet. Aus den Verhältniszahlen geht hervor, daß in den Gerinnen mit Weidenbewuchs unter sonst gleichen Voraussetzungen (Ge-

Tabelle I

Zusammenstellung der Meßergebnisse der Versuchsreihen A und B

Sohlenbreite B [m]	Wassertiefe t [m]	Querschnittsfläche F [m ²]	A) ohne Weiden		B) mit Weiden		$\frac{Q_B}{Q_A} = \frac{v_B}{v_A}$	Datum der Messung von Q _B
			Durchfluß Q _A [m ³ /s]	mittl. Geschw. v _A [m/s]	Durchfluß Q _B [m ³ /s]	mittl. Geschw. v _B [m/s]		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Sohlen- und Wasserspiegelgefälle J = 0,001 (1 ‰)								
0,5	0,20	0,1400	0,064	0,457	0,0258	0,185	0,403	2.9.59
	0,35	0,2975	0,183	0,616	0,0559	0,188	0,506	2.9.59
	0,44	0,4136	0,273 a)	0,662	0,0798	0,194	0,292	3.9.59
	0,45	0,4275	0,284	0,665				
1,0	0,20	0,2400	0,117	0,487	0,0664	0,276	0,569	3.9.59
	0,35	0,4725	0,334	0,704	0,1294	0,274	0,388	3.9.59
	0,44	0,6336	0,492	0,776	0,1754	0,278	0,356	3.9.59
Sohlen- und Wasserspiegelgefälle J = 0,005 (5 ‰)								
0,5	0,20	0,1400	0,116	0,83	0,076	0,543	0,655	21.9.59
	0,35	0,2975	0,290	0,975	0,157	0,528	0,542	21.9.59
	0,45	0,4275	0,467 a)	1,091	0,208	0,487	0,446	22.9.59
	0,475	0,463	0,527	1,137				
1,0	0,20	0,2400	0,257	1,07	0,1738	0,725	0,675	22.9.59
	0,35	0,4725	0,659	1,395	0,3372	0,714	0,512	22.9.59
	0,42	0,5964	0,898	1,507	0,4404	0,738	0,491	23.9.59
2,0	0,20	0,4400	0,446	1,013	0,3669	0,834	0,822	23.9.59
	0,25	0,5625	0,657	1,168	0,4958	0,882	0,754	24.9.59
	0,30	0,6900	0,973	1,41	0,6129	0,887	0,630	24.9.59
	0,39	0,9321			0,8274			
	0,43	1,0449			0,9195			
Sohlen- und Wasserspiegelgefälle J = 0,01 (1 ‰)								
0,5	0,20	0,1400	0,162 b)	1,16	0,1055	0,755	0,650	12.10.59
	0,35	0,2975	0,445 b)	1,50	0,231	0,777	0,519	12.10.59
	0,42	0,3824	0,628 b)	1,64	0,292	0,764	0,465	13.10.59
1,0	0,20	0,2400	0,302	1,258	0,214	0,892	0,710	13.10.59
	0,30	0,3900	0,613	0,572	0,3822	0,980	0,623	13.10.59
	0,35	0,4725	0,807	1,710	0,4768	1,010	0,588	14.10.59
2,0	0,20	0,4400	0,633	1,440	0,4602	1,050	0,727	14.10.59
	0,26	0,5876	0,919	1,565	0,6354	1,081	0,691	15.10.59
	0,30	0,6900	1,133 a)	1,648	0,7602	1,102	0,671	16.10.59

Bemerkung: Die mit a) bezeichneten Werte sind gekennzeichneten Abflußkurven entnommen,

die mit b) bezeichneten sind berechnet.

fälle, Wassertiefe, Oberflächenbeschaffenheit) die Durchflüsse die 0,30- bis 0,82-fache Größe der entsprechenden Durchflüsse in Gerinnen ohne Weiden aufwiesen. Die Abminderung wächst mit zunehmender Wassertiefe. Ein Einfluß der Gerinnebreite ist zunächst nicht ausgeprägt.

Die Tabelle II enthält die Ergebnisse der Versuchsreihen C bis F. Es ist in Spalte 6 das Verhältnis der jeweiligen Durchflüsse bzw. mittleren Geschwindigkeiten zu denjenigen der Versuchsreihe A (Gerinne ohne Weiden), in Spalte 7 zu denjenigen der Versuchsreihe B berechnet.

Hervorzuheben ist bei den Ergebnissen der Versuchsreihe C, daß sich die bei gleichen Wassertiefen und Gefällen gemessenen Abflüsse bei unbelaubten Weiden nicht wesentlich von denen bei voller Belaubung unterscheiden.

Desgleichen wirkt sich das Alter des Bewuchses kaum auf die Abflußminderung aus (Versuchsreihe D).

Bei der Versuchsreihe E, bei der jede zweite diagonale Weidenreihe entfernt wurde, enthält die Projektion in der Fließrichtung die gleiche Anzahl von Weiden wie bei den drei vorangegangenen Versuchsreihen. Dabei haben sich die Durchflußmengen im Mittel nicht erheblich verändert.

Erst bei der letzten Versuchsreihe (F), bei der auch in der vertikalen Richtung jede zweite Weide bündig mit der Böschungsoberfläche herausgeschnitten wurde, vergrößern sich die Durchflüsse gegenüber denjenigen nach B um 5 bis 44 %. Bezogen auf die unbepflanzten Gerinne (Zustand A) fließt hierbei das 0,67 bis 0,91-fache ab.

Im allgemeinen vermindert der Weidenbewuchs die Durchflußleistung bei kleinen mittleren Geschwindigkeiten stärker als bei größeren.

3.2 Die Beeinflussung der örtlichen Geschwindigkeiten

In der Abb. 4 ist das Ergebnis einer Geschwindigkeitsmessung für den Zustand mit Weiden (Versuchsreihe B) wiedergegeben. Die An-

Tabelle II

Zusammenstellung der Meßergebnisse der Versuchsreihen C bis F

Das Sohlengefälle und das mittlere Wasserspiegelgefälle beträgt 1 ‰

Sohlenbreite B [m]	Wassertiefe t [m]	Querschnittsfläche F [m ²]	Durchfluß Q _N [m ³ /s]	mittl. Geschw. v _N [m ³ /s]	$\frac{Q_N}{Q_A} = \frac{v_N}{v_A}$	$\frac{Q_N}{Q_B} = \frac{v_N}{v_B}$	Datum der Messung von Q _N
1	2	3	4	5	6	7	8
C) Unbelaubte Weiden in Abständen von e = 10 cm gemäß Abb. 3 oben							
0,5	0,20	0,1400	0,106	0,757	0,655	1,002	3.3.1960
	0,35	0,2975	0,231	0,777	0,519	1,000	3.3.1960
	0,42	0,3824	0,303	0,792	0,482	1,011	4.3.1960
1,0	0,20	0,2400	0,219	0,910	0,725	1,020	10.3.1960
	0,30	0,3900	0,400	1,025	0,650	1,042	10.3.1960
	0,35	0,4725	0,493	1,042	0,610	1,031	10.3.1960
2,0	0,20	0,4400	0,460	1,045	0,727	1,000	11.3.1960
	0,26	0,5876	0,635	1,080	0,691	1,000	14.3.1960
	0,30	0,6900	0,765	1,110	0,675	1,004	15.3.1960
D) Belaubte, 1-jährige Weiden in Abständen von e = 10 cm gemäß Abb. 3 oben							
0,5	0,20	0,1400	0,103	0,725	0,626	0,960	7.6.1960
	0,35	0,2975	0,222	0,747	0,498	0,960	7.6.1960
	0,42	0,3824	0,273	0,714	0,435	0,935	7.6.1960
1,0	0,20	0,2400	0,223	0,930	0,738	1,040	8.6.1960
	0,30	0,3900	0,395	1,012	0,644	1,030	8.6.1960
	0,35	0,4725	0,480	1,000	0,595	1,005	8.6.1960
2,0	0,20	0,4400	0,445	1,010	0,702	0,965	9.6.1960
	0,26	0,5876	0,618	1,052	0,661	0,955	9.6.1960
	0,30	0,6900	0,748	1,083	0,658	0,980	10.6.1960
E) Belaubte Weiden in Abständen gemäß Abb. 3 mitte							
0,5	0,20	0,1400	0,104	0,728	0,642	0,987	20.6.1960
	0,35	0,2975	0,253	0,851	0,569	1,095	20.6.1960
	0,42	0,3824	0,324	0,845	0,515	1,110	21.6.1960
1,0	0,20	0,2400	0,238	0,991	0,788	1,111	21.6.1960
	0,30	0,3900	0,405	1,040	0,660	1,058	22.6.1960
	0,35	0,4725	0,510	1,061	0,632	0,993	22.6.1960
2,0	0,20	0,4400	0,452	1,026	0,714	0,980	23.6.1960
	0,26	0,5876	0,652	1,110	0,710	1,030	23.6.1960
	0,30	0,6900	0,778	1,128	0,687	1,021	24.6.1960
F) Belaubte Weiden in Abständen von e = 20 cm gemäß Abb. 3 unten							
0,5	0,20	0,1400	0,122	0,870	0,755	1,156	13.7.1960
	0,35	0,2975	0,306	1,030	0,688	1,325	13.7.1960
	0,42	0,3824	0,420	1,098	0,670	1,440	18.7.1960
1,0	0,20	0,2400	0,274	1,141	0,909	1,281	18.7.1960
	0,30	0,3900	0,476	1,220	0,776	1,242	19.7.1960
	0,35	0,4725	0,602	1,252	0,745	1,262	19.7.1960
2,0	0,20	0,4400	0,483	1,098	0,764	1,050	21.7.1960
	0,26	0,5876	0,824	1,400	0,903	1,301	21.7.1960

Versuchsreihe B
Belaubte Weiden in 10 cm Abstand. $J = 0,001$

Geschwindigkeiten in den Meßstellen.
(cm/s)

	XVII	XVI	XV	XIV	XIII	XII	XI	X	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
1	~0	~0	~0	~0	10,40	23,42	27,32	29,91	35,16	34,90	28,79	23,86	11,08	10,00	3,30	~0	~0
2	—	~0	~0	~0	18,18	28,55	34,67	35,90	35,90	37,99	37,12	35,65	19,48	13,65	3,20	3,20	~0
3	—	—	~0	~0	19,80	32,71	39,57	38,35	38,35	39,33	41,78	39,57	28,55	19,42	8,57	3,40	—
4	—	—	—	—	3,90	22,30	31,00	33,43	33,20	37,12	37,99	35,65	39,57	18,21	23,33	11,70	—

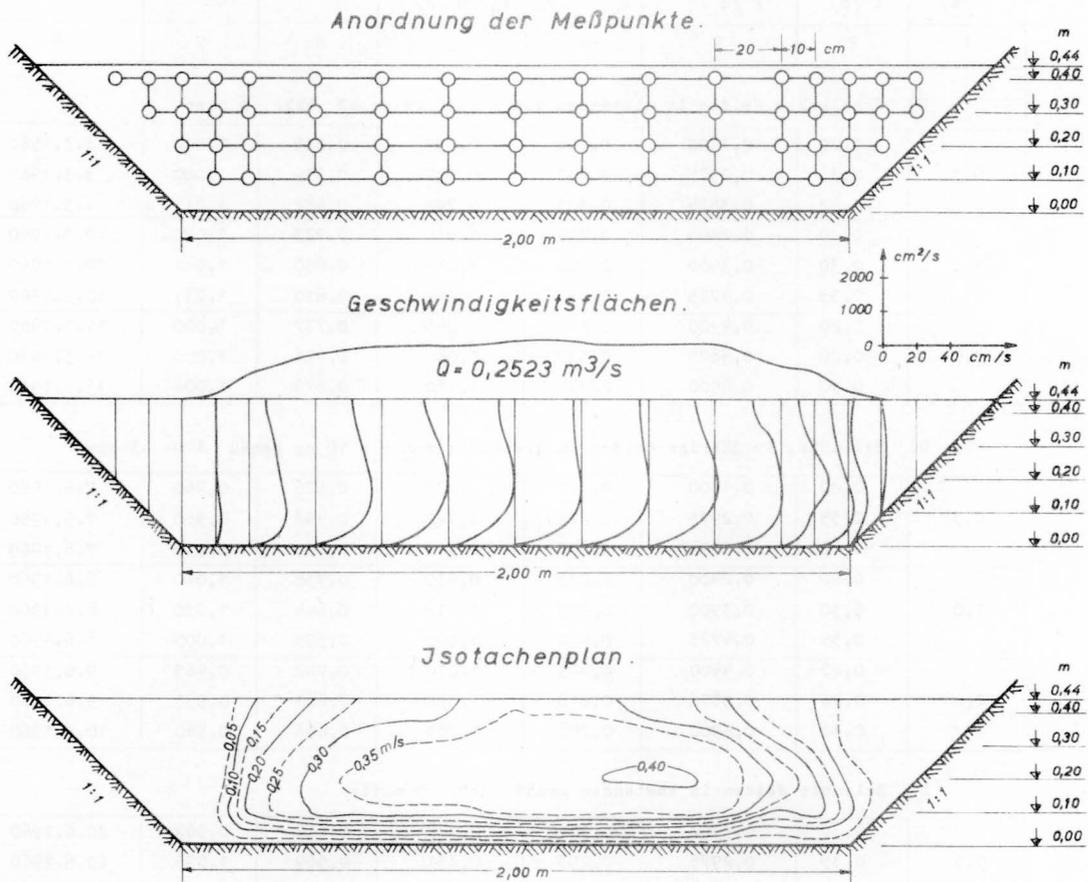


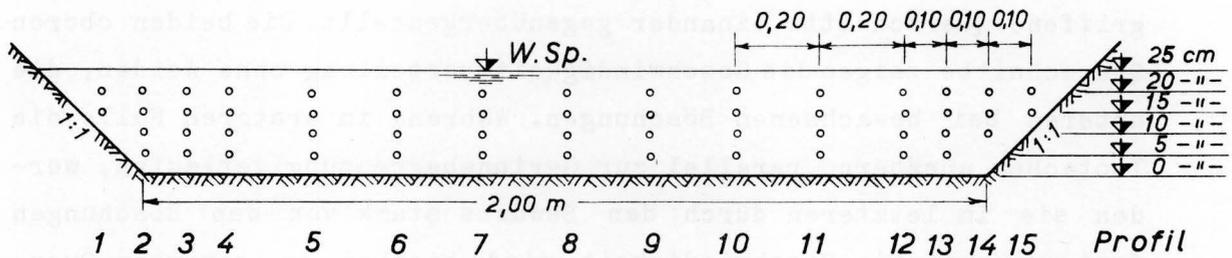
Abb. 4 Typische Geschwindigkeitsverteilung im Querschnitt bei Weidenbewuchs

ordnung der Meßpunkte für die Ermittlung der Größe der örtlichen Fließgeschwindigkeit ist im oberen Trapez der Abb. eingetragen. Die darüber befindliche Tabelle enthält die in den einzelnen Punkten mittels Flügelmessung festgestellten Geschwindigkeiten. Das mittlere Trapez dieser Abb. zeigt die Geschwindigkeitsverteilungen in den Meßlotrechten. Es wurde nur die Geschwindigkeitskomponente in der Richtung der Gerinneachse gemessen.

Tabelle III

Örtliche Geschwindigkeiten (cm/s) in den Meßpunkten
Versuchsreihe F. Beltaubte Weiden. $J = 0,001$

Anordnung der Meßpunkte



Beide Böschungen bepflanzt

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
31	65	92	132	160	163	173	172	175	162	176	153	117	70	69
26	64	104	150	151	157	165	163	168	176	171	155	118	54	66
	69	119	151	137	145	151	151	148	136	159	145	106	51	
	66	118	121	101	125	111	123	116	100	132	117	101		

Nur die rechte Böschung ist bepflanzt

123	156	176	189	164	172	184	172	176	167	172	157	133	68	74
104	140	168	186	151	167	178	168	171	153	178	158	133	45	70
	100	149	174	131	154	168	155	168	120	167	150	127	70	
	78	120	134	108	122	143	133	134	109	141	130	115		

Beide Böschungen ohne Bewuchs

126	168	180	199	173	181	195	188	182	180	182	191	196	169	123
100	189	175	191	184	178	191	182	172	168	177	185	182	159	116
	127	152	176	140	163	178	163	162	149	168	166	163	135	
	91	123	144	114	137	145	143	139	145	141	133	131		

Der unterste Querschnitt schließlich enthält die Linien gleicher Geschwindigkeit (Isotachen).

Die Zone unmittelbar über den Böschungen, die von den Weiden eingenommen wurde, wies hierbei keine mit dem Ott'schen Flügel noch meßbare Durchflußgeschwindigkeit auf. Auf die Oberfläche gestreute Papierschnitzel ließen hier vielmehr an vielen Stellen kleine drehende Wasserwalzen mit örtlichen Rückströmungen erkennen.

In der Abb. 5 ist der Verlauf der Linien gleicher Wassergeschwindigkeit mit und ohne Bewuchs für zwei willkürlich herausgegriffene Querschnitte einander gegenübergestellt. Die beiden oberen Querschnitte zeigen die Geschwindigkeitsverteilung ohne Weiden, die unteren bei bewachsenen Böschungen. Während im ersteren Falle die Isotachen annähernd parallel zur Gerinnebegrenzung verlaufen, werden sie im letzteren durch den Bewuchs stark von den Böschungen fortgedrängt. Die Geschwindigkeit wird hierbei im gesamten Querschnitt erheblich verringert. Die größte Geschwindigkeit wird nicht mehr in der Nähe des Wasserspiegels, sondern in der unteren Querschnittshälfte angetroffen. Die gleiche Erscheinung weisen auch alle übrigen, hier nicht wiedergegebenen Messungen auf.

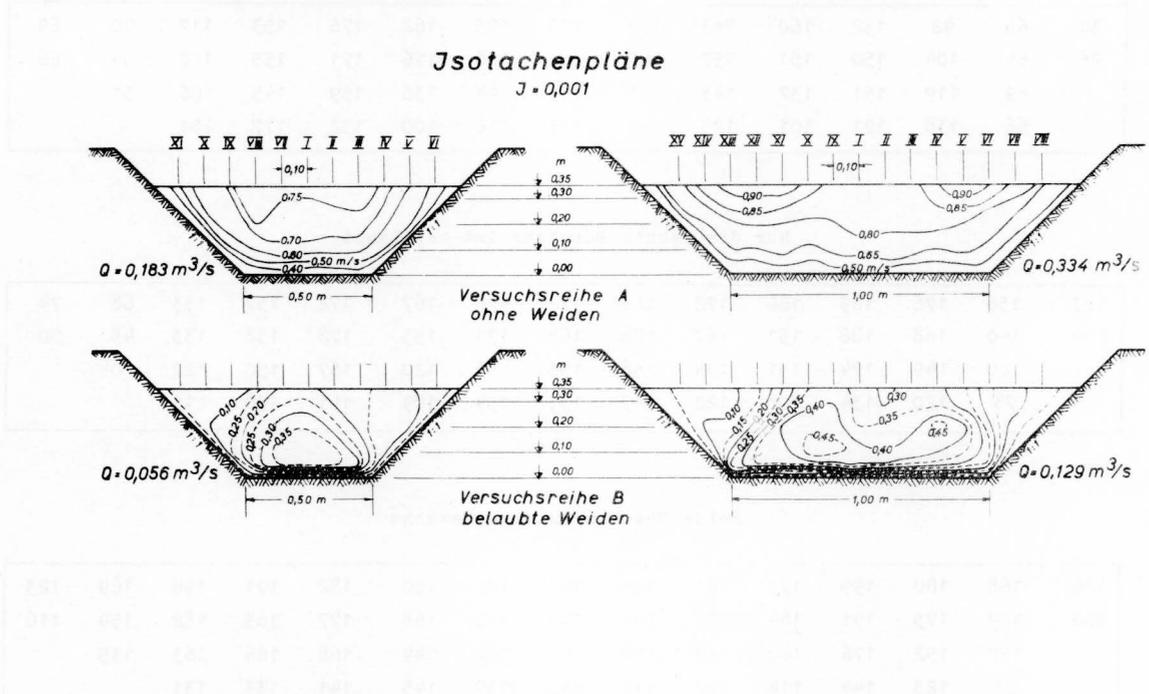


Abb. 5 Gegenüberstellung der Isotachen der Versuchsreihen A und B

Aus den in den Tabellen I und II enthaltenen Ergebnissen läßt sich der Einfluß der Gerinnebreite auf den Abfluß nicht eindeutig erkennen. Um die durch den Bewuchs bedingte Abminderung der örtlichen Fließgeschwindigkeiten als Funktion ihrer Entfernung von der bewachsenen Böschung zu messen, wäre die Durchführung entsprechender Versuche in einer sehr breiten Rinne erforderlich gewesen. Um eine solche zu betreiben, reichten jedoch die auf Grund der vorhandenen Pumpleistung zur Verfügung stehenden Durchflußwassermengen nicht aus. Es wurde daher versucht, die Beantwortung dieser Frage dadurch zu ermöglichen, daß in der breitesten Rinne der Bewuchs gemäß Versuchsreihe F nur auf einer Böschung belassen und auf der anderen entfernt wurde. Dadurch wurde es möglich, die Auswirkung bis zu einer Entfernung von rd. 2 m festzustellen, indem die in den Meßpunkten beobachteten Fließgeschwindigkeiten bei beiderseitigem, bei einseitigem und ohne Bewuchs einander gegenübergestellt wurden (Tabelle III).

Die in den einzelnen Meßpunkten festgestellte Verminderung der Fließgeschwindigkeit wurde hierauf in der Abb. 6 graphisch aufgetragen. Verglichen wurde einmal der Zustand mit beiderseitigem mit demjenigen mit einseitigem Bewuchs, wobei die Abminderung in Prozenten der Geschwindigkeiten bei letzteren berechnet und aufgetragen wurde, zum anderen die Zustände mit einseitigem und ohne Bewuchs. Hierbei beziehen sich die Prozentzahlen wiederum auf die größeren Geschwindigkeiten, nun also auf diejenigen im unbewachsenen Gerinne. Die Entfernungen sind jeweils von der Böschung mit größerer Abminderung aus aufgetragen.

Die Ergebnisse streuen. Dennoch läßt sich die Tendenz gut erkennen. Die mittlere Abminderung der Fließgeschwindigkeit verringert sich unmittelbar neben der Böschung innerhalb weniger dm erheblich; im vorliegenden Falle von ca. 60 % auf ca. 10 %. Hierauf bleibt sie bis in größerer Entfernung annähernd konstant; beim untersuchten Zustand F beträgt sie im Mittel etwa 6 bis 4 % über die ganze restliche Breite von rd. 2 m.

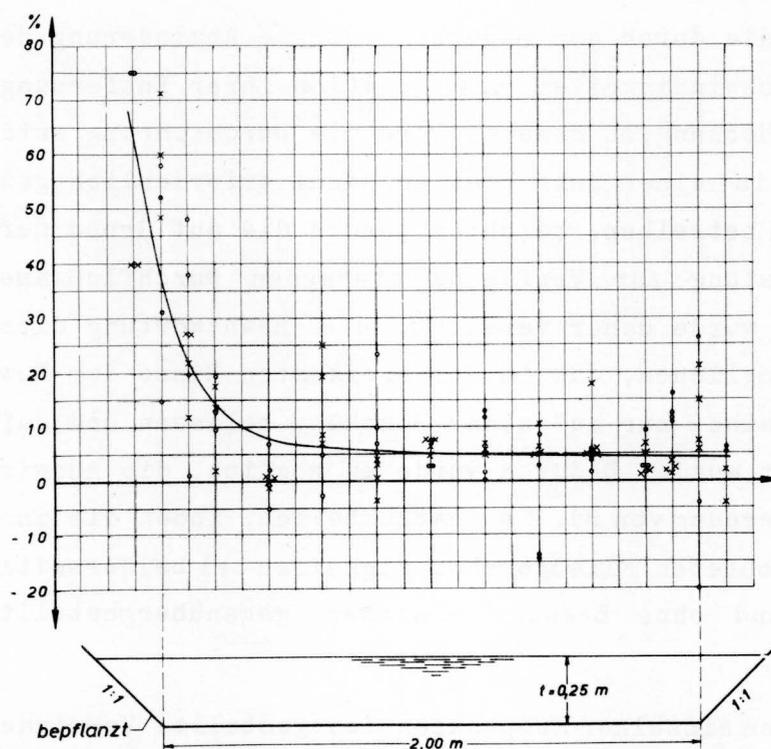


Abb. 6 Verminderung der örtlichen Fließgeschwindigkeiten bei Weidenbewuchs auf nur einer Böschung in Prozenten der Geschwindigkeiten im unbepflanzten Gerinne

Es ergibt sich daraus, daß der Weidenbewuchs der Ufer in Bächen von einigen Metern Breite die Abflußgeschwindigkeit innerhalb des gesamten Profils verringert. Der Einfluß ist nicht auf einen engen Streifen längs der Böschungen begrenzt.

4. Die Berechnung des Abflusses

Die physikalischen Ursachen der durch den Weidenbewuchs bewirkten Abflußminderung liegen u.a. in der dabei hervorgerufenen Verstärkung der Turbulenz. Der Verfasser gibt sich nicht der Hoffnung hin, die sich dabei abspielenden komplizierten Vorgänge mathematisch einwandfrei erfassen zu können, sondern möchte sich

mit dem Versuch begnügen, für die Berechnung der Auswirkungen eine mehr oder weniger grobe empirische Faustformel zu entwickeln.

Es soll dabei von der Geschwindigkeitsformel von Gauckler-Manning-Strickler ausgegangen werden:

$$v = k \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2} \quad (1)$$

Aus der Versuchsreihe A läßt sich der Rauigkeitsbeiwert ohne Bewuchs ermitteln zu

$$k_A = \frac{v_A}{R^{2/3} \cdot J^{1/2}} \quad (2)$$

Für die anschließenden Versuchsreihen, die durch Weidenbewuchs der Böschungen und eine bewuchsfreie Sohle gekennzeichnet sind, kann der Gesamtrauhigkeitsbeiwert in die beiden entsprechenden Teile zerlegt werden, nämlich in

k_A für die unbepflanzte Sohle, deren Breite B beträgt und

k_w für die mit Weiden bepflanzten Böschungen mit der Gesamtlänge $2t\sqrt{m^2 + 1}$, wenn die Böschung 1 : m geneigt ist.

Es ist dann

$$v_{B \text{ bis } F} = \frac{k_A \cdot B + k_w \cdot 2t\sqrt{m^2 + 1}}{B + 2t\sqrt{m^2 + 1}} \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2} \quad (3)$$

oder allgemein

$$v = \frac{k_o \cdot L_o + k_w \cdot L_w}{U} \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2} \quad (4)$$

Hierin bedeuten:

- v = die mittlere Fließgeschwindigkeit [m/s]
- k_o = der Rauigkeitsbeiwert ohne Weidenbewuchs $\left[\frac{m^{1/3}}{s} \right]$
- L_o = der von Bewuchs freie Längenanteil des benetzten Umfanges [m]
- k_w = der Rauigkeitsbeiwert des Weidenbewuchses $\left[\frac{m^{1/3}}{s} \right]$

L_w = der mit Weiden bestandene Längenanteil des benetzten
Umfanges [m]

U = $L_o + L_w$ = der gesamte benetzte Umfang [m]

R = $\frac{F}{U}$ = der hydraulische Radius [m]

F = der gesamte Fließquerschnitt [m²]

J = das Gefälle.

Aus den Gleichungen (2) und (3) folgt für unsere Trapezgerinne:

$$k_w = \frac{1}{2t \sqrt{m^2 + 1}} \left(v_B \frac{B + 2t \sqrt{m^2 + 1}}{R^{2/3} \cdot J^{1/2}} - k_A \cdot B \right) . \quad (5)$$

Die mit Hilfe dieser Gleichung berechneten k_w - Werte der Versuchsreihen B bis E schwanken etwa zwischen $\pm 16 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$. Es schwanken jedoch auch die k_o - Werte, obwohl in sämtlichen Fällen eine gleichartige Rauigkeit der Gerinnewandungen vorhanden war. Letzteres ist in den Unzulänglichkeiten der Abflußgleichung begründet, mit denen sich bereits Arbeiten zahlreicher Autoren (z.B.¹⁾) beschäftigt haben.

Der Zustand eines natürlichen Bewuchses ändert sich laufend. Es ist daher in der Praxis nicht sinnvoll, seine Auswirkungen mit großer Präzision zu berechnen. Das Ziel der hydraulischen Berechnung kann vielmehr nur in der Ermittlung der Größenordnung dieser Auswirkungen liegen. Hierfür kann auf Grund der Auswertungen der Meßergebnisse der mittlere Wert $k_w = 0$ vorgeschlagen werden.

Gleichung (4) lautet dann:

$$v = k_o \cdot \frac{L_o}{U} \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2} \quad (6)$$

Ist der gesamte Umfang des Querschnittes bewachsen und somit $L_o = 0$, ergibt die Gleichung (6) das offensichtlich unzutreffende Ergebnis $v = 0$. Die Ausgangsgleichung (4) nimmt in diesem Falle die Form

$$v = k_w \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2}$$

an, wobei k_w zwischen 0 und etwa 16 liegt, je nach Dichte des Bewuchses.

1) HORST, H.: Die Geschwindigkeitsverteilung in offenen Gerinnen bei turbulenter Strömung und ihre Beziehung zum Geschiebetrieb. Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen 4(1960) H. 3, S.63.

Der Quotient $\frac{L_0}{U}$ ergibt somit das Verhältnis

$$\frac{k_N}{k_A} = \frac{Q_N}{Q_A} = \frac{v_N}{v_A},$$

wobei der Index N auf die Versuchsreihen B bis E hinweist. Die größten Abweichungen der berechneten Quotienten $\frac{B}{U}$ vom Verhältnis $\frac{v_N}{v_A}$ der gemessenen Werte betragen für die breite Rinne rund - 20 % bis + 12 %. Bei der schmalen Rinne muß bei der Nachrechnung der sich auf das Ergebnis stärker auswirkende Umstand berücksichtigt werden, daß die untersten Weiden je nach Sohlenneigung nicht unmittelbar an der Unterkante der Böschung standen, sondern wenige cm darüber, so daß $L_0 > B$ ist. Die Gegenüberstellung von Berechnung und Messung ergibt dabei maximale Abweichungen von ähnlicher Größenordnung.

Gewiß lassen sich gegen diese Berechnungsweise Einwände vorbringen, etwa der, daß der Weidenbewuchs, der in das Gerinne hineinragt, etwas anderes ist als die übliche hydraulische Rauigkeit der Gerinnewandungen, was auch aus dem Umstand hervorgeht, daß k_w negative Werte annehmen kann. Das Verfahren ist jedoch handlich und ermöglicht dem praktisch tätigen Ingenieur die als Folge des Weidenbewuchses zu erwartende Abflußminderung bequem abzuschätzen. Gegenüber der selbst in neuen Standardwerken (z.B. ²⁾) beibehaltenen Gepflogenheit, die Rauigkeit bewachsener Gerinne durch einen einzigen, sich über den gesamten Querschnitt erstreckenden konstanten Beiwert zu beschreiben, dürfte die hier empfohlene Methode einen gewissen Fortschritt bedeuten. Wenngleich gegen die empirischen Abflußformeln im allgemeinen Vorbehalte berechtigt sind, so sind sie dennoch gut brauchbar, wenn man sich der Grenzen ihrer Genauigkeit, die für viele Aufgaben des Flußbaues ausreicht, bewußt ist.

2) CHOW, Ven Te: Open-channel Hydraulics.
New York - Toronto - London:
McGraw-Hill Book Company 1959

5. Schlußwort

Die Versuchsergebnisse zeigen, daß bei engen Bachläufen durch Weidenbewuchs der Ufer eine sehr erhebliche Abflußbehinderung auftritt. Sie zeigen ferner, daß die Fließgeschwindigkeit vor allem im unmittelbaren Bereich des Bewuchses um mehr als die Hälfte des bei unbepflanzten Böschungen auftretenden Wertes zurückgeht. Neben der Verfestigung des Bodens durch die Weidenwurzeln bildet vor allem dieser Umstand den Grund für die schützende Wirkung der Weiden, indem die örtliche Verringerung der Fließgeschwindigkeit eine verminderte Schleppkraft und damit geringere Uferangriffe zur Folge hat. Dieser Vorteil wird jedoch durch die Verkleinerung des Abflußvermögens bei gleichen Fließquerschnitten erkauft.

Als Folgerung für die Praxis geht daraus hervor, daß es u.U. unzweckmäßig sein kann, beide Ufer gleichförmig mit Weiden zu bepflanzen, sondern daß diese vor allem an denjenigen Stellen vorteilhaft sind, wo überdurchschnittlich starke Uferangriffe auftreten bzw. zu erwarten sind, also vor allem an konkaven Außenufer von Krümmungen oder als Schutz gegen Kolkbildungen vereinzelter Bäume oder sonstigem im Hochwasserprofil stehenden Objekten. An den Innenseiten von Krümmungen, wo ohnehin die Tendenz zu Feststoffablagerungen besteht, dürften Weiden im allgemeinen unerwünscht sein, da sie diese begünstigen und die Strömung noch stärker an das dem Angriff ausgesetzte Außenufer drängen. Diese Folgerung aus den Modelluntersuchungen deckt sich mit den Empfehlungen des Arbeitsausschusses Ingenieurbio-logische Bauweisen der KDT ³⁾.

Ein gleichförmiges Weidenband längs des Wasserlaufes wirkt jedoch nicht nur in hydraulischer, sondern oft auch in landschaftsgestalterischer Hinsicht unvorteilhaft, da es monoton ist. Seine Auflockerung in einzelne Strauch- und Baumgruppen, zwischen denen ein freier Durchblick offen bleibt, ist meist erstrebenswert, wobei die Weiden vorwiegend auf die einbuchtenden Uferstrecken (Prallufer) beschränkt bleiben.

³⁾ Anleitung Nr. 2. Gehölzverwendung an fließenden Gewässern und an zugehörigen Uferhängen.
Wasserwirtschaft-Wassertechnik 10(1960) H.7, S.325-332

Bei bestimmten örtlichen Gegebenheiten hingegen kann die Zusammendrängung des Durchflusses in ein engeres Gerinne durchaus der Erreichung des Korrektionszieles dienen, wobei die durchgehende Weidenanpflanzung ein wirkungsvolles und wirtschaftliches Mittel darstellt.

Durch die mit den vorstehend beschriebenen Meßergebnissen gewonnenen zahlenmäßigen Aufschlüsse werden dem an den Wasserläufen tätigen Ingenieur Unterlagen geboten, um die zu erwartende Wirkung eines wertvollen Hilfsmittels des Flußbaus genauer beurteilen und dieses Instrument zielsicher einsetzen zu können.

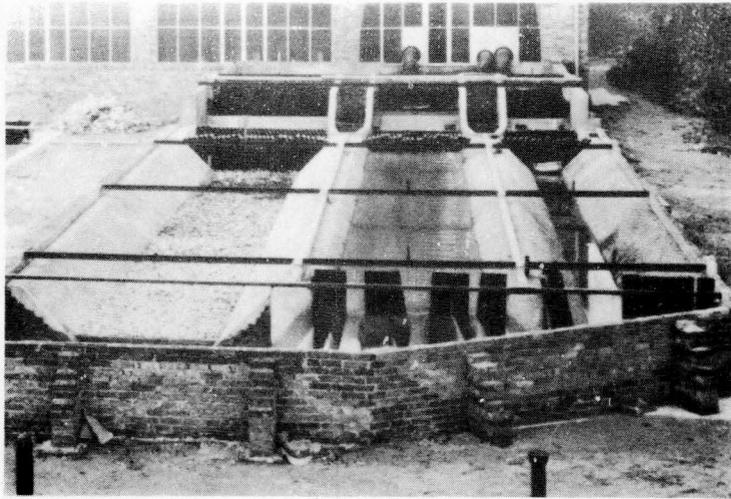


Bild 1 Die Gesamtanlage

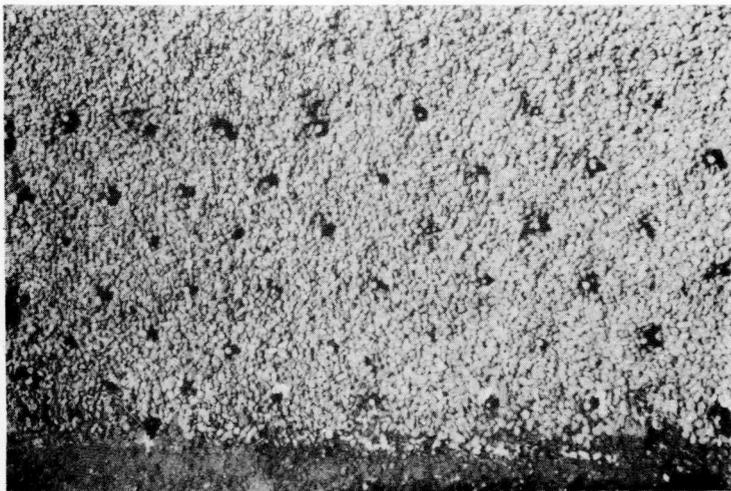


Bild 2 Die Weidenstecklinge in der Böschung

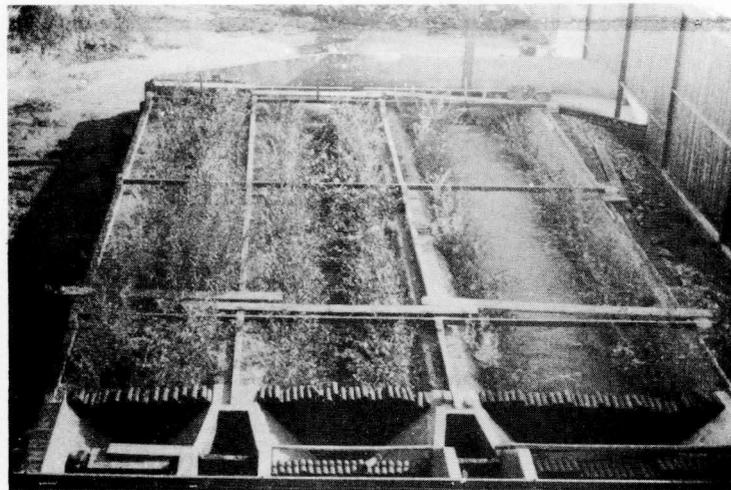


Bild 3 Die Versuchsrinnen mit 4 Monate
altem Weidenbewuchs



Bild 4 Die Durchführung der Flügelmessungen



Bild 5 Unbelaubte Weiden (Zustand C)

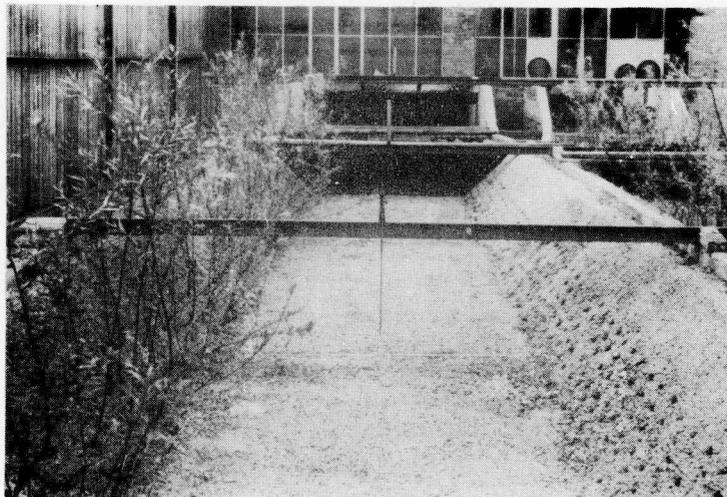


Bild 6 Nur eine Böschung der breiten Versuchsrinne ist mit Weiden (Zustand F) bepflanzt