

Ein Beispiel zur Erosionsleistung kleinerer Fließgewässer : die Geschiebefracht im Lauftenbach bei Bischofszell TG

Autor(en): **Hipp, Raimund**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft**

Band (Jahr): **46 (1985)**

PDF erstellt am: **16.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-594111>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Beispiel zur Erosionsleistung kleinerer Fliessgewässer: Die Geschiebefracht im Lauftenbach bei Bischofszell TG

Raimund Hipp

Mitt. thurg. naturf. Ges.	46	18 Seiten	2 Tab. 10 Abb.	Frauenfeld 1985
---------------------------	-----------	-----------	----------------	-----------------

Dank

Diese Arbeit wurde unterstützt durch das Amt für Umweltschutz und Wasserwirtschaft des Kantons Thurgau.

Besonders danken möchte ich

- den Herren Fröhlich und Wieland für die ständige Beratung während der ganzen Dauer des Versuches und für die kritische Durchsicht des Manuskriptes.
- Herrn Minowsky für die Installation und Betreuung des automatischen Messpegels
- dem Kanton Thurgau für die finanzielle Unterstützung beim Einsetzen und Ausbaggern des Geschiebefangs

Ausserdem danke ich der Familie Engler, Tobelmühle, für die Geduld und das freundliche Entgegenkommen während der fast zweijährigen Feldarbeiten.

1. Einleitung

1.1. Problemstellung

Ein korrigierter Flusslauf kann sein Gefälle nicht mehr durch Mäandrieren verändern. Er wird deshalb, sofern er noch kein Kräftegleichgewicht erreicht hat, je nach Fliessgeschwindigkeit und Geschiebebelastung akkumulieren oder sein Bett durch Erosion tieferlegen. Beides ist auf die Dauer unerwünscht:

Eine stark aufgeschotterte Flusssohle verringert den Querschnitt des Gerinnes und fördert so die Überschwemmungsgefahr. Starke Tiefenerosion führt zur Unterspülung der seitlichen Verbauungen und kann auf diese Weise bei Hochwasser zu Damnbrüchen führen. Ausserdem wird der Grundwasserspiegel tiefergelegt, was weitere negative Folgen hat. Die Tiefenerosion kann durch den Einbau von Schwellen oder durch eine erhöhte Geschiebezufuhr gedämpft werden.

Die Thur hat in ihrem Mittellauf, oberhalb von Pfyn, ein Geschiebedefizit, neigt hier also zur Erosion. Weiter flussabwärts, vor allem im zürcherischen Abschnitt des Unterlaufs, besteht aber ein Geschiebeüberschuss. Ein erheblicher Teil der Grobsedimente im Thurbett stammt aus den Tobeln der Seitenbäche. Gelingt es hier, die Zufuhr je nach Bedarf zu erhöhen (keine Verbauung des Seitenbachs) oder zu drosseln (einbauen eines Geschiebefangs), so könnte die Geschiebefracht der Thur ohne grosse Eingriffe reguliert und die oben erwähnten Probleme wenn nicht behoben, so doch abgeschwächt werden. Bedingung für ein solches Vorgehen ist aber, dass man über die Erosionsleistung der Seitenbäche wenigstens annähernd Bescheid weiss. Vor diesem Hintergrund ist die vorliegende Arbeit zu sehen. Da eine auch nur einigermaßen genaue Berechnung des Geschiebetransportes von natürlichen Fliessgewässern nach wie vor nicht möglich ist (vergleiche zum Beispiel *Dracos*, 1981), lag es nahe, einen Versuch zur empirischen Ermittlung von Abtragswerten in Bezug auf die Seitenbäche von Thur und Sitter zu machen.

Für den Versuch wurde ein Bach ausgewählt, dessen Einzugsgebiet punkto Geologie, Topographie und Bodennutzung repräsentativ sein sollte für eine grössere Gruppe von Gerinnen entlang Sitter und Thur. Dies bedingt etwa die folgenden Eigenschaften:

- Haupteinzugsgebiet in schwachem Relief (kuppige Grundmoränenlandschaft), Wiesland dominiert, Abtrag gering.
- Abfluss via Steilstufe (Tobel) zum Vorfluter durch freigelegte Molasseschichten. Nagelfluh, Sandstein und Mergel abwechselnd, hohe Erosionsleistung.
- Natürlicher, nicht verbauter Bachlauf.

Da die Messstation ausserdem so intensiv wie möglich beobachtet werden sollte, waren die Zufahrtswege für den Betreuer der Anlage kurz zu halten. So fiel die Wahl auf den Lauftenbach. Die Messungen, die diesem Aufsatz zugrunde liegen, wurden in den Jahren 1983 und 1984 durchgeführt.

1.2. *Beschreibung des Untersuchungsgebietes*

Das Einzugsgebiet des Lauftenbaches umfasst 777 ha. Der Bach mündet etwa vier Kilometer östlich Bischofszell bei der Tobelmühle (Koord. 739.500/262.300) in die Sitter. Relief und Höhenstufenverteilung sind in Abbildung 1 und 2 dargestellt. Einzige grössere Ortschaft im Einzugsgebiet ist Waldkirch (sonst Streusiedlung). Das Gebiet wird in erster Linie land- und forstwirtschaftlich genutzt. Da der Schwerpunkt der Landwirtschaft eindeutig auf Obstbau und Viehhaltung liegt, ist die Ackerfläche vergleichsweise unbedeutend. Stark vereinfacht können die Bodennutzungsverhältnisse so geschildert werden:

Landwirtschaftsgebiet (vor allem Wiese/Weide mit Obstanlagen)	573 ha	74%
Wald	177 ha	23%
Überbauungen (ohne Überlandstrassen)	27 ha	3%
Total	777 ha	100%

Die Geologie entspricht dem Forderungskatalog, der unter 1.1. geschildert wurde: Der grösste Gebietsabschnitt wird von kuppiger Grundmoränenlandschaft (Quartär) eingenommen. Er weist eine geringe Reliefenergie auf und ist entsprechend kaum erosionsgefährdet.

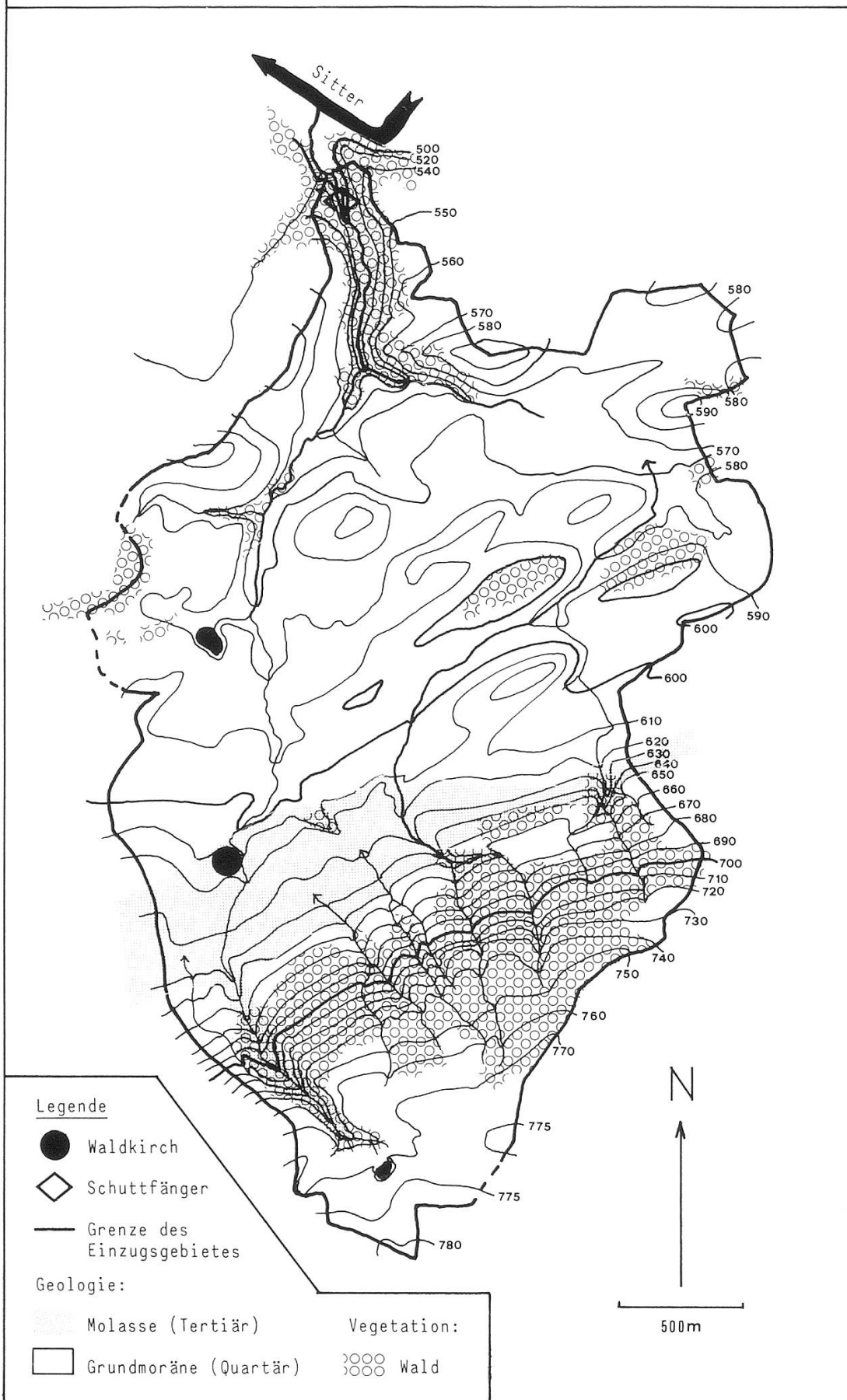
In den Steilstufen des Geländes ist der Felsuntergrund freigelegt. Hier befinden sich die Zonen intensiver Erosion. Die Gefällsverhältnisse mögen dies veranschaulichen: Der Hauptbach legt ab Oberkante Wasserfall bei Lauften (Koord. 739.550/261.150) bis zum Geschiebeanfang eine Strecke von zirka einem Kilometer zurück bei einem Höhenunterschied von 47 m. Hinzu kommt noch der Seitenast aus dem Wolfhager Moos, der bis zur Mündung in den Hauptbach ab Eintritt in den Wald (vergleiche Abbildung 1) auf zirka 400 m eine Höhendifferenz von 37 m überwindet.

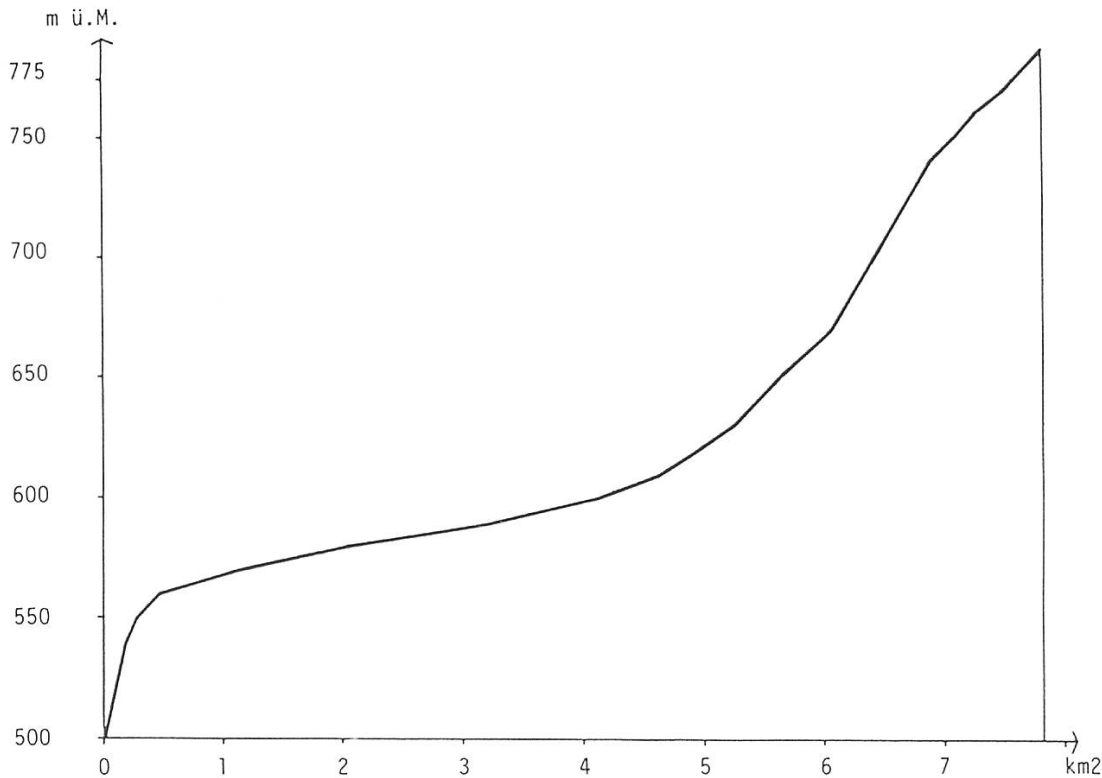
Der Felsuntergrund wird von der Molasse (Tertiär) gebildet. In erster Linie sind dies Wechsellagerungen von Nagelfluh-, Mergel- und in geringerem Ausmass von Sandsteinbänken unterschiedlichster Härte.

Flächenanteile:

Grundmoränengebiet (Quartär)	666 ha	86%
Molasse (Tertiär)	111 ha	14%
Total	777 ha	100%

Abbildung 1: Einzugsgebiet Lauftenbach.





Die Flächen zwischen den 10 m-Höhenlinien wurden aufsummiert. Deutlich kommt die Steilstufe im untersten Bachabschnitt zum Ausdruck.

Abbildung 2: Hypsographische Kurve.

1.3. Angewandte Messmethoden

Gemessen wurden: Niederschlag, Abfluss und Geschiebefracht.

Niederschlag *N*

Die Niederschlags-Werte wurden von der Messstation Bischofszell übernommen. Wie die Korrelation mit den Pegelwerten zeigt (vergleiche Abbildung 8.2.), sind diese Zahlen für das Einzugsgebiet des Laftenbachs genügend repräsentativ. Auch auf spezielle Witterungssituationen wie lokalen Gewitterregen im Sommer trifft dies zu.

Abfluss

Bei der Tobelmühle, zirka 250 m unterhalb des Schuttfängers wurde ein automatischer Messpegel installiert (Stromanschluss). Auf dieser Strecke mündet noch ein kleiner Seitenbach. Entsprechend musste der Schreibpegel noch mittels Einzelmessungen von Hand an den Wasserstand bei der Messstelle des Geschiebefangs angepasst werden. Wie der Verlauf der Regressionsgeraden in Abbildung 8.1. zeigt, ergeben sich Korrekturwerte bis zu 5 cm je nach Pegelhöhe.

Abflussmengenmessungen wurden nur drei durchgeführt. Wegen starker Turbulenzen erwiesen sich diese Messungen (Flügelmessungen) als schwierig. Für Korrelationen mit der Geschiebefracht und dem Niederschlag wurden deshalb immer die genaueren Pegelwerte benutzt. Dies mag etwas ungewohnt sein, bringt aber keine Nachteile mit sich, da die Abflussmenge indirekt durch den jeweiligen Pegelwert ausgedrückt wird.

Geschiebefracht G

Zur Bestimmung der Geschiebefracht wurde über der ganzen Breite des Baches ein Kasten installiert (vergleiche Abbildung 3). Bei einer Tiefe von einem Meter funktioniert dieser Kasten als Sedimentfalle: Sand und Gerölle werden darin abgesetzt und die Grube im Bachbett sedimentiert schubweise auf. Dabei ist von grundlegender Wichtigkeit, dass jedes Hochwasserereignis separat erfasst wird. Dies bedingt eine regelmässige, intensive Betreuung der Anlage.

Zur Bestimmung des Eintrags werden im Kasten mit einer Messlatte nach einem vorgegebenen Raster jeweils dreissig Tiefenmessungen ausgeführt. So kann eine Durchschnittstiefe n bestimmt werden. Subtrahiert man nun die n -Werte vor und nach einem Hochwasser voneinander, so erhält man den Betrag der zugehörigen Aufschotterung und kann daraus die Volumina in m^3 berechnen.

Der Messraster wies zu Anfang 38 Messpunkte auf. Es zeigte sich, dass n_{38} sich nicht grundlegend von n_{30} unterschied. So konnte der Messaufwand auf 30 Messungen reduziert werden. Mehrere Kontrollmessungen zu Anfang des Versuches belegen ausserdem, dass die n -Werte auf $\pm 0,5$ cm bestimmt werden können. Diese Genauigkeit bei Handmessung und stark variierendem Untergrund (zum Teil mit grossen Steinen) erstaunt etwas, konnte aber durch mehrere Nachmessungen bestätigt werden.

Bereits das erste Hochwasser zu Anfang April 1983 füllte den Messkasten auf, noch bevor der Pegelschreiber installiert war. Im Verlauf des Sommers 1983 musste der Kasten deshalb von Hand wenigstens soweit geleert werden, dass kleinere Ereignisse (Sommergewitter) noch erfasst werden konnten. Dies gelang glücklicherweise, so dass bis zur Ausbaggerung des Geschiebefangs im Herbst die Messreihe nicht unterbrochen wurde.

Mit ähnlichen Schwierigkeiten hatte auch ein Projekt der VAW (Versuchsanstalt für Wasserbau an der ETH Zürich) im Rietholzbach (Alt-Toggenburg) zu kämpfen, obwohl dort ein bedeutend grösserer Geschiebefang im Einsatz ist (Vortrag von Dr. M. Jäggi, 23. Januar 1985 an der ETH). Dies zeigt, dass sowohl Messmethoden als auch Erfahrung in bezug auf die Erosionsleistung kleinerer Gerinne noch in den Kinderschuhen stecken.

2. Messergebnisse

2.1. Niederschlag

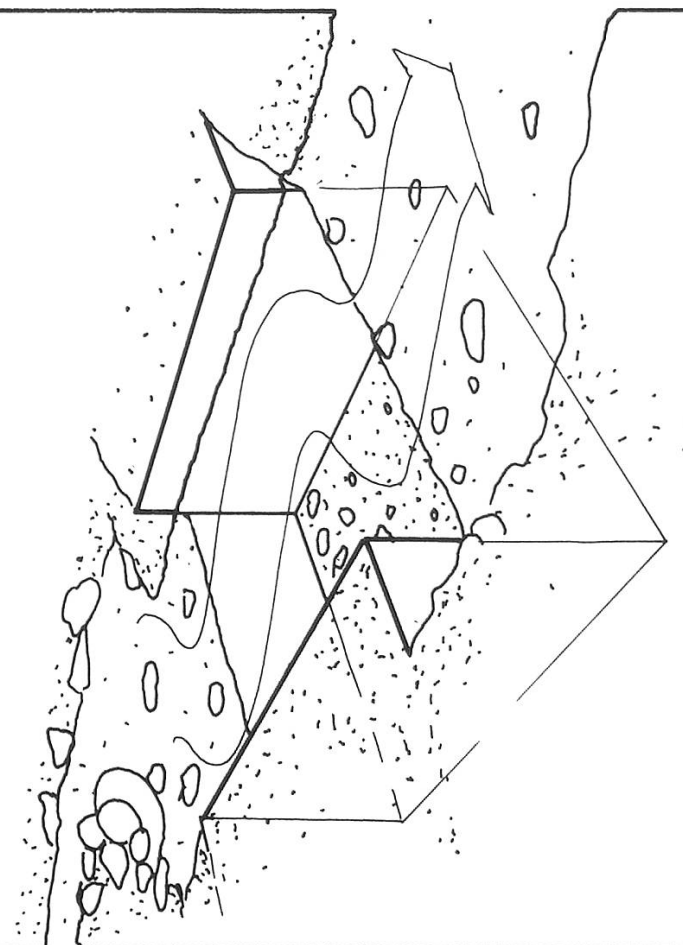
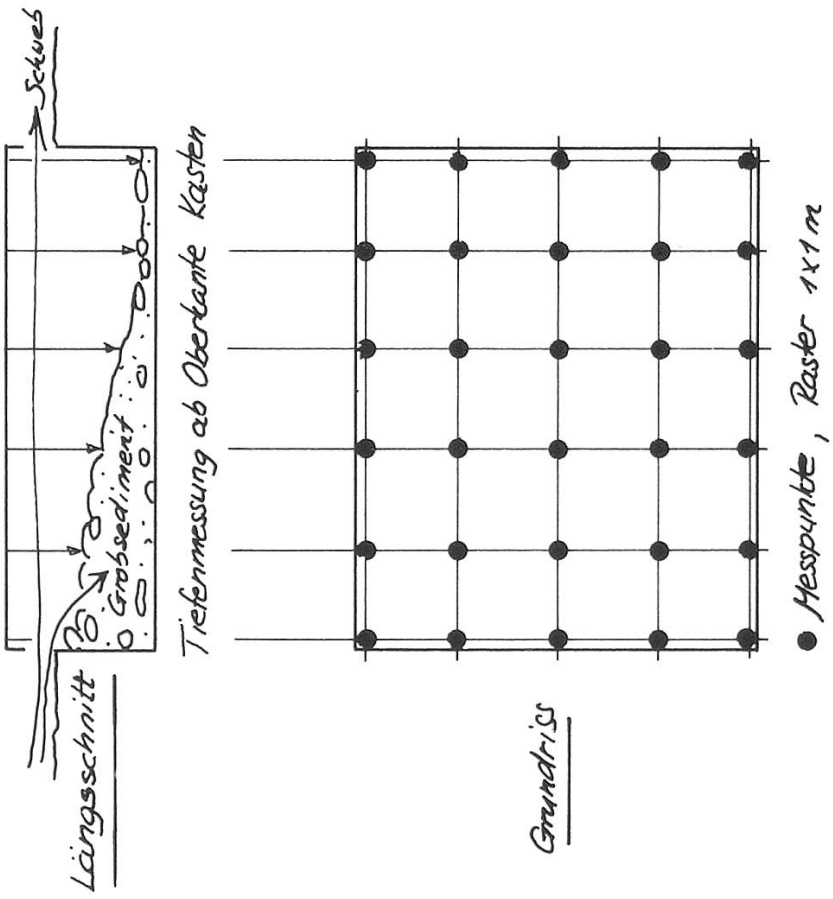
Wie schon in Kapitel 1.3 erwähnt, wurden die Werte von Bischofszell verwendet. Hierbei handelt es sich um Tagesmengen (vergleiche Tabelle 1). Die Niederschlagsintensität kann somit leider nicht bestimmt werden.

Abbildung 4 gibt einen Überblick zur Niederschlagsituation der Jahre 1983/84 im Vergleich zum langjährigen Mittel. Man beachte die Werte des Septembers 1984!

2.2. Abflusswerte

Es wurden in erster Linie Pegelmessungen gemacht und zur Auswertung herangezogen (vergleiche auch Kapitel 1.3). Die Abbildungen 5 und 6 zeigen den Bach beim Geschiebefang mit mittlerer Wasserführung und bei Hochwasser. Der Jahresgang seit Beginn der Pegelmessungen im April 1983 ist in Abbildung 7 dargestellt. Aufgetragen wurden die jeweiligen Tagesmaxima.

Abbildung 3: Geschiebefang Laufteufbach.



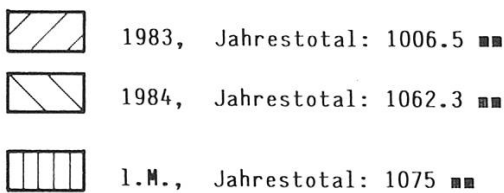
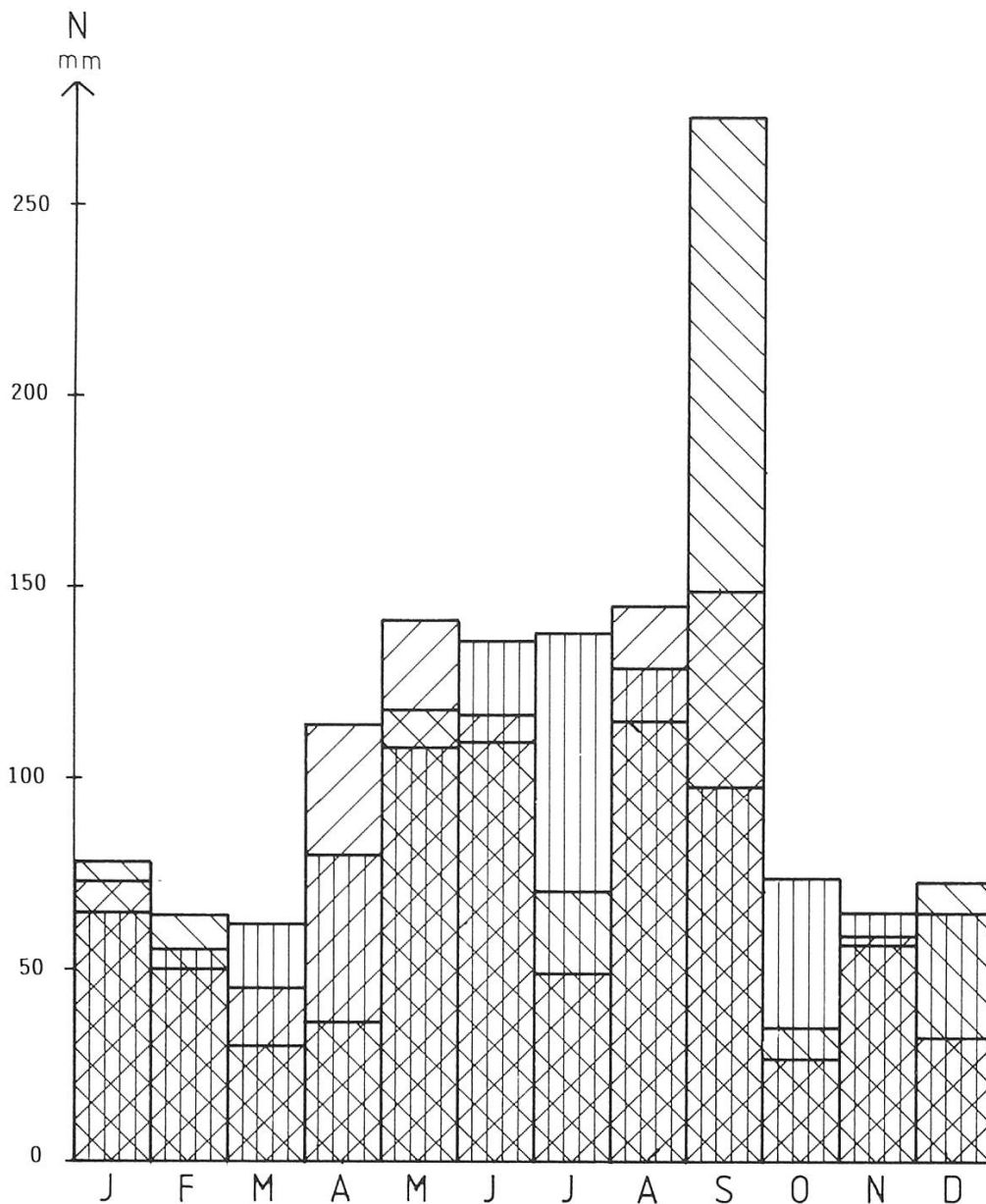


Abbildung 4: Monatsniederschlag 1983/84 im Vergleich mit dem langjährigen Mittel (l. M.) 1901–1960.

Grosse Abflüsse entstehen bei unterschiedlichsten Bedingungen (vergleiche zum Beispiel SHAW 1983):

- Kurze, heftige Niederschläge (vor allem Gewitterregen)
- Dicke Schneedecke, geschmolzen durch warmen Regen (zum Beispiel April 1983)
- Länger andauernde Regenfälle «normaler» Intensität auf gefrorenen oder wassergesättigten Boden (zum Beispiel September 1984).

Ausser im zweiten Fall wird die Abflusskurve etwa analog der Niederschlagsentwicklung verlaufen. Dies zeigt sich auch in den monatlichen Mittelwerten in Abbildung 10.

Abflussmengen wurden mit Flügelmessungen für drei Pegelhöhen bestimmt:

Pegelhöhe:	20 cm	30 cm	44 cm
Abflussmenge:	0,38 m ³ /sec	0,89 m ³ /sec	1,47 m ³ /sec

Demnach wäre für das Jahresmittel von 1984 die Werte wie folgt: Durchschnittspegel: 15,3 cm Abfluss: 0,18 m³/sec.

2.3. *Geschiebefracht*

Tabelle 2 und Abbildung 7 zeigen, wie unterschiedlich stark die Abtragereignisse übers Jahr verteilt sind. In der Tabelle sind nur die Abflussereignisse festgehalten, die zu einem messbaren Betrag der Aufschotterung im Kasten geführt haben. Normaler Wasserstand und/oder kleine bis mittlere Niederschlagsereignisse führen nicht zu Erosion, solange ein bestimmter Wert nicht überschritten wird (vergleiche Kapitel 2.4, Abbildung 9).

Der Geschiebefang wurde im August 1984 bereits zum zweiten Male aufgefüllt. So konnten für den sehr ergiebigen Herbst dieses Jahres leider keine Messwerte mehr ermittelt werden. Auf Grund der Korrelationen in Kapitel 2.4 wurden die restlichen Werte für 1984 abgeschätzt (vergleiche Abbildung 7 und 8 sowie Tabelle 2).

2.4. *Korrelationsanalysen*

Mittels Korrelationsanalysen konnte die gegenseitige Abhängigkeit der Messwerte aufgezeigt werden. Der unterschiedliche Erfolg der Analysen zeigt aber auch die Grenzen auf, die uns von seiten der Messmethodik und der Anzahl der Ergebnisse gesetzt sind. Für besser abgesicherte Aussagen sollten noch mehr Daten von Hochwasserereignissen ermittelt werden.

Folgende Werte wurden miteinander korreliert (abhängige Variable immer zuerst genannt, vergleiche auch Abbildung 8):

a) der Wasserstand in cm:

Automatischer Pegelmesser P ₁ (bei Tobelmühle)	mit Handmessung P ₂ (bei Geschiebefang)
--	---

b) Niederschlag N in mm
(Messstation Bischofszell) mit Abfluss P₁

c) Abfluss P₁ mit Geschiebefracht G
(in cm Aufschotterung im Messkasten oder umgerechnet in m³)

a) Diese Korrelation musste vorgenommen werden, um die Anwendbarkeit des automatischen Pegels auf die Messungen beim Geschiebefang zu testen (vergleiche Kapitel 1.3.). Die zum Teil starken Abweichungen der Einzelwerte sind oft durch technische Pannen des Laufpegels bedingt. Da wir aber einen hohen Korrelationskoeffizienten von 0,96 erhalten, kann doch klar gezeigt werden, dass der zwischen P₁ und P₂ mündende Seitenbach die Pegelschwankungen des Lauffenbaches mehrheitlich mitmacht und die Ergebnisse nicht wesentlich verfälscht. Die Messwerte von P₁ sind somit repräsentativ genug für eine weitere Verarbeitung.

b) Wie stark sich der Niederschlag in den Abflusswerten abzeichnet, hängt von verschiedenen Faktoren ab: Vegetation Geologie, Topographie, Temperatur, Sättigungsgrad des Bodens, Siedlungsdichte (überbaute Fläche) ... Solange wir unser Messgebiet nicht verlassen, dürfen Vegetation, Geologie,

Tabelle 1: Tagesniederschlag der Jahre 1983 und 1984 in Bischofszell.

Monat	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.	27.	28.	29.	30.	31.	Total	
Januar	4.4	5.5	2.9	2.4	2.6	4.3	1.6	0.1					6.3	1.7	7.3	4.8		1.4	1.5						3.2	0.7	0.4	0.5	4.0	17.5	4.5	73.2	
Februar	5.2	0.7	0.2	6.0	17.9	2.0	1.0		1.5	0.1	0.1					0.1									2.5	5.4	3.9	4.9				50.0	
März	0.7	14.0	25.1	4.1	2.8	22.1	9.4	6.3	4.3		0.2	1.9				1.6	4.1			0.1	5.4			5.9	12.3	0.9		5.1		2.3	45.7		
April	4.9	1.5	6.1	6.6	2.8	8.7	2.4	0.1	8.5		6.3	2.3	4.2	3.3	1.5		1.6			3.2	3.2	0.4		3.9	0.2						115.7		
Mai	1.4				5.1				40.4	9.1			4.6	0.8	2.5		2.8	0.2	2.6		3.3	41.1	22.0	8.7	4.1	11.0	0.1	0.1	3.6			141.8	
Juni	3.6				3.9		0.2					22.2							0.9		1.1	21.0	2.0	7.3	2.3	0.2	3.0	4.5	10.4	1.1		116.8	
Juli	27.1	10.6	28.0	2.8	4.1	6.6			1.4	7.8	0.0					13.1				0.0	35.0		0.1	0.0	0.1				3.2	3.3	2.4	49.1	
August	32.0	3.3	4.3						4.8	38.5	0.2	3.3	0.2		26.0	11.1	7.9		8.9	5.1			0.7							0.1		149.7	
September					0.4	4.8	1.4	5.0	0.2	4.2			0.7			7.8	1.7		0.3													26.5	
Oktober					0.1	0.1	0.1	0.1								0.1																	59.5
November					2.5	1.8			4.1								1.5		1.9		6.6	1.9	8.9		0.1	4.5				0.1		32.9	
Dezember																																	
Januar	0.1	8.2	2.7	0.1	0.5	5.6	0.5	0.9	0.1	0.1	0.1	4.9	7.4	4.0	0.2	12.5		4.8	2.6	4.0	8.3	7.3	1.0	0.3						0.8	1.5	78.4	
Februar	2.0	1.2	4.7	0.1	7.6	6.0	17.2	12.5	1.2	1.1	3.3								0.8	2.1	0.4	1.2	0.4			1.7	1.0					64.5	
März	5.1	1.1					4.6	1.8															1.0	0.4	3.5	2.5			4.6	6.2	0.2		30.0
April	2.7	7.6	0.8				2.2	0.1	5.2	1.1	2.6	4.6				9.0	0.4																36.3
Mai				0.8	0.8	0.5	11.7	9.8				0.2	0.8	1.8		21.0	2.8		24.4	0.7		10.8	0.2	1.0	0.1	2.5	4.6		24.0	0.3			118.8
Juni				3.4	0.2	13.1	12.2	3.0					2.8						0.4	17.0	14.5	21.5	6.0	0.3			3.7	9.7	1.5			109.8	
Juli	1.4	8.4	1.7								13.1	0.1	0.6	12.6	0.6	1.2		0.2					7.4	2.8	14.8	1.9	3.2			0.8		70.8	
August	2.7			9.2	1.3	15.0		0.1	6.5	60.2	10.5		4.5											1.9	3.5							115.4	
September				22.3	65.2	6.3	0.1	0.2	15.0	7.7	0.1			28.6	18.1	27.7	0.6	0.7			30.6	16.8	14.9	0.6	4.9	10.5	2.0	0.1				273.0	
Oktober	16.2			0.9	6.4	7.2							0.1	0.1					1.6		0.1					2.5						35.1	
November	0.1	0.1	1.0			0.1										0.5	3.7		1.4	1.3	4.5	7.3	5.5	0.1	3.2	27.2		0.1	0.1	0.1		56.3	
Dezember	16.2			0.9	6.4	7.2								0.1	0.1			1.6								2.5						35.1	



Abbildung 5: Der Geschiebefang bei mittlerem Wasserstand im Sommer 1984.



Abbildung 6: Der Geschiebefang bei Hochwasser (Pegel 48 cm) am 10. August 1984.

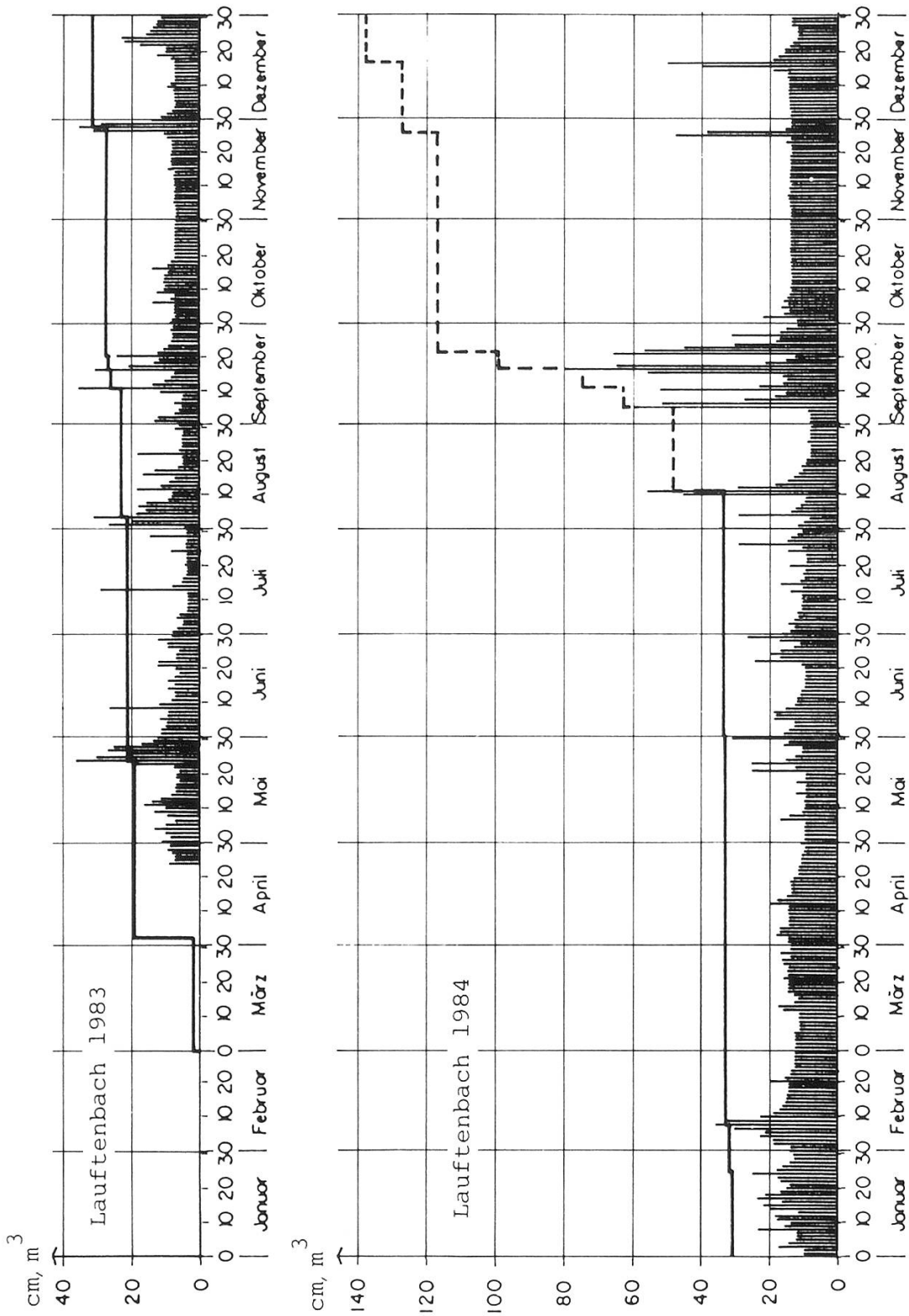


Abbildung 7: Pegelstände (Tagesmaxima) und Summationskurve der Aufschotterung

- gemessen
- - - geschätzt

Datum	Max. Pegelstand in cm	Pegelanstieg in cm/h	Σ N 3er Vortage in mm	Aufschotterung in m ³	Σ m ³
28.02.83	-	-	14.2	0	0
03.03.83	31	-	5.9	1.60	1.60
06.04.83	57	-	29.0	18.0	19.6
20.05.83	6	-	2.8	-0.32	19.28
23.05.83	35	14/6	66.4	1.44	20.7
09.06.83	26	17/2	40.4	0.06	20.76
13.07.83	27.5	23/2	22.2	0.18	20.94
01.08.83	26	22/6	27.1	0.38	21.32
03.08.83	30	17/2	65.7	0.42	21.74
26.08.83	6	-	0.1	-0.06	21.68
12.09.83	36	25/4	42.0	3.68	25.36
16.09.83	30	22/16	37.1	1.6	26.96
28.11.83	36	13/2	50.0	3.6	30.56
24.01.84	24.5	8/7	16.6	0.42	30.98
08.02.84	36	14/14	35.7	2.04	33.02
21.05.84	23.5	14/2	25.1	0.12	33.14
30.05.84	30	17/7	28.6	1.32	34.46
22.06.84	24	15/2	24.1	0.1	34.56
29.06.84	25	12/2	14.9	0.3	34.86
04.08.84	28	19/1	41.2	0.52	35.38
11.08.84	55	25/2		13.	48.38
05.09.84	60	50/20		15.4	63.78
10.09.84	52	35/2		11.4	75.18
16.09.84	80			24.	99.18
21.09.84	66			18.	117.18
26.11.84	48			10.	127.18
17.12.84	50			10.8	137.9

Tabelle 2: Die wichtigsten Messergebnisse.

Topographie und die überbaute Fläche für kurze bis mittlere Messperioden als konstant betrachtet werden. Für das Verhältnis Niederschlag/Abfluss sind somit vor allem die Variablen Temperatur und Sättigungsgrad des Bodens wichtig.

Verschiedene Konstellationen von Temperatur (fällt der Niederschlag als Schnee oder als Regen?) und Sättigung können bei gleichem Niederschlag stark unterschiedliche Abflusswerte bewirken (vergleiche auch Kapitel 2.2.). So wird zum Beispiel der Wechsel von Gefrieren und Auftauen im Winterhalbjahr die Korrelation N / Abfluss sicher negativ beeinflussen: Schmelzwasser kann ohne Niederschlag zu hohen Pegelwerten führen, oder Schneefall kann hohe N-Werte bei geringem Abfluss bringen. In beiden Fällen verhalten sich die Messwerte gegenläufig und sorgen so dafür, dass kein all zu hoher Korrelationskoeffizient erreicht werden kann.

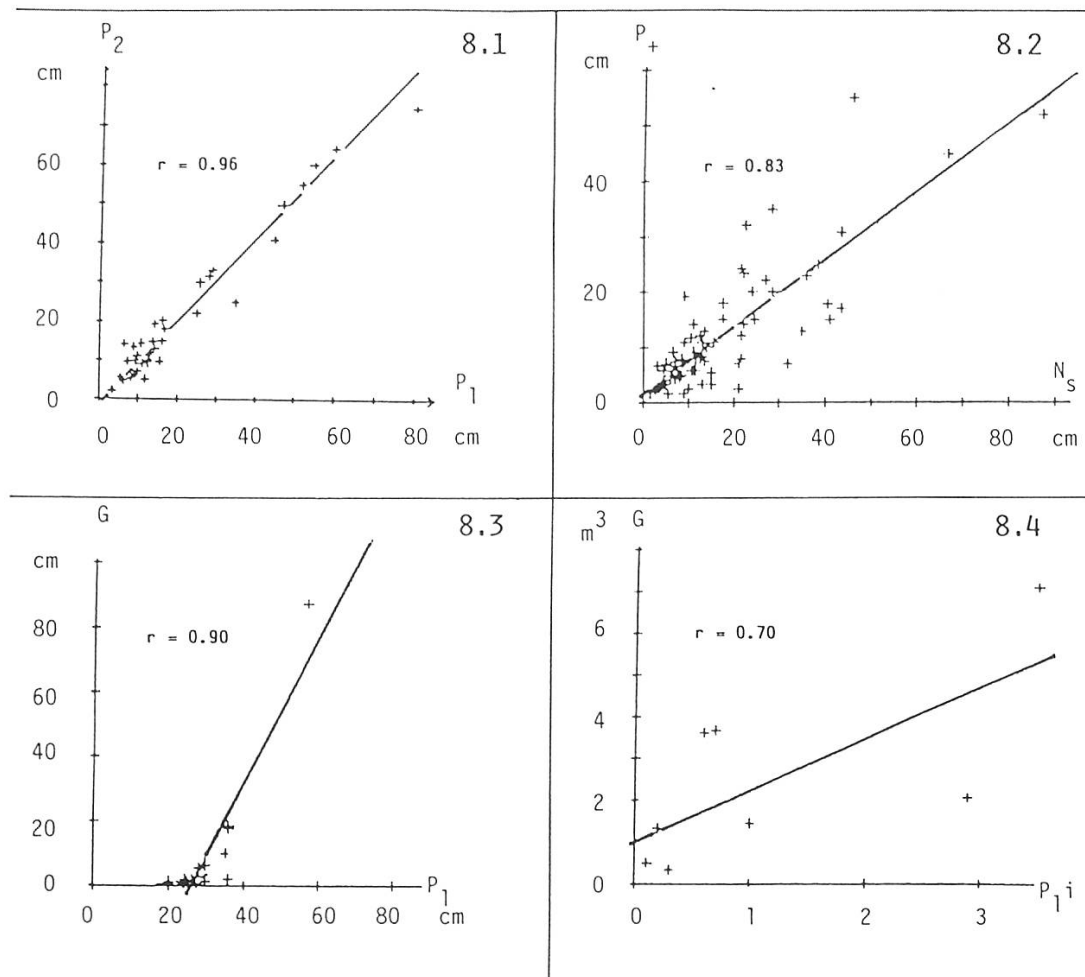


Abbildung 8: Korrelationen.

Es wurden korreliert:

- 1 Pegelmaximum P_{\max} / Niederschlagsmaximum innert dreier Tage vor P_{\max}
53 Wertepaare, $r=0.66$
- 2 P_{\max} / Summe der zugehörigen N-Werte N_s
69 Wertepaare, $r=0.74$
- 3 Pegelanstieg P_+ / N_s (vergleiche Abbildung 8.2)
74 Wertepaare, $\hat{y}=0.60x + 1.62$, $s_x=15.18$, $s_y=11.05$, $r=0.83$

Die Irrtumswahrscheinlichkeit P liegt für alle drei Fälle unter 1‰. Da bei der dritten Korrelation die unterschiedlichen Ausgangslagen (Pegelstand vor Niederschlag) mitberücksichtigt sind, resultiert auch ein höherer Korrelationskoeffizient. Die Abhängigkeit kann mit $r=0.83$ genügend genau belegt werden.

c) Abbildung 8.3 und 8.4 zeigen zwei verschiedene Methoden, mit denen die Beziehung P_1 / G untersucht wurden:

- 1 G in cm / P_1 (max. erreichter Pegelwert pro Ereignis in cm)
16 Wertepaare, $\hat{y}=2.22x - 57.28$
 $s_x=8.21$, $s_y=20.15$, $r=0.90$ ($P < 0.001$)
Neben der linearen Regression wurde auch versucht, via Exponential- und Potenzfunktion eine bessere Schätzgleichung zu finden. Beide Male resultierten aber schlechtere r -Werte (0.83).
- 2 Integralwerte der Abflusskurve P_{1i} / G in m³
(= Hochwasserfülle, Schwellenwert bei 25 cm)
9 Wertepaare, $\hat{y}=1.233x + 0.98$
 $s_x=1.17$, $s_y=2.05$, $r=0.70$ ($0.05 < P < 0.1$)

Natürlich ist die Geschiebemenge nicht allein abhängig von der Abflussmenge eines Fließgewässers. Will man diesbezüglich allgemeine Aussagen machen, so gerät man recht bald in einen Modellnotstand. Das Wissen auf diesem Gebiet ist noch sehr lückenhaft (vergleiche zum Beispiel *Zeller*, 1963 oder *Dracos*, 1981). Solange wir uns aber innerhalb unseres Testgebietes befinden und die erhaltenen Resultate nur auf ähnliche Gerinne übertragen wollen, ist es sicher zulässig, den Abfluss, beziehungsweise den Verlauf der Pegelkurve als den ausschlaggebenden Faktor in bezug auf die Geschiebefracht zu betrachten. Im ähnlichen Sinn äussert sich auch *Willi* 1965 auf S. 100: «Der Geschiebetransport ist der 3. Wurzel aus q^2 proportional» (q =spez. Abfluss). Eine Proportionalität im Sinne *Willis* konnte im vorliegenden Fall nicht nachgewiesen werden. Dass aber ein sehr direkter Zusammenhang zwischen P 1 und G besteht, zeigt der hohe r -Wert der Korrelation (0.90). Man sollte allerdings beachten, dass die Gerade sehr stark durch einen einzigen Wert beeinflusst wird, da in der ganzen Messperiode nur ein Hochwasser über 40 cm beobachtet werden konnte (vergleiche Abbildung 8.3).

Es ist in diesem Zusammenhang besonders bedauerlich, dass der Geschiebefang bereits im August 1984 zum zweitenmal aufgefüllt wurde und die interessanten Ereignisse im September dadurch nicht erfasst werden konnten. Diese mussten deshalb via die Regressionsgerade in Abbildung 8.3 abgeschätzt werden.

Die zweite Regression (vergleiche Abbildung 8.4) beruht auf der Überlegung, dass die Geschiebemenge nicht nur abhängt von der maximal erreichten Pegelhöhe, sondern auch von der Dauer des Hochwasserereignisses (also eigentlich vom Gesamtabfluss des Hochwassers). Ausschlaggebend dabei ist der Grenzwert Z , bei dem der Geschiebetransport einsetzt. So sollten zwei unterschiedlich lang andauernde Hochwasser, wie sie schematisch in Abbildung 9 dargestellt sind, auch einen Unterschied in der Abtragsleistung aufweisen. Entsprechend sollte man die Abtragsmengen mit einer Grösse vergleichen, die neben der maximalen Pegelhöhe auch die Dauer des Ereignisses beinhaltet. Es liegt nahe, dafür die Fläche zwischen Z -Wert und jeweiliger Pegelkurve – das Integral (=Hochwasserfülle) – zu verwenden. Die Hochwasserfülle kann auf dem Ausdruckstreifen des Pegelschreibers mit dem Planimeter auf einfache Weise bestimmt werden. Bedingung ist, dass Z (=Grenzschleppspannung) bekannt ist. In unserem Fall wurde Z auf zwei verschiedene Arten abgeschätzt:

- Rechnerisch: Die Werte der bekannten Hjulströmkurve (vergleiche *Hjulström*, 1932, und *Louis*, 1979) wurden via die gemessenen Abflussgeschwindigkeiten (vergleiche Kap. 2.2.) in eine kritische Pegelhöhe umgerechnet. Daraus resultierte ein Pegelstand für Z , der je nach angenommener Korngrösse um 20–25 cm liegt.
- Empirisch: Die Regressionsgerade in Abbildung 8.3 schneidet die x -Achse bei einer Pegelhöhe von 26 cm.

Für die Auswertung wurde $Z=25$ cm angenommen. Dass trotzdem, wie Abbildung 8.4 und die Irrtumswahrscheinlichkeit von $0,05 >P> 0.1$ zeigen, keine bessere Korrelation als bei Abbildung 8.3 erreicht wurde, hängt damit zusammen, dass keine grossen Ereignisse erfasst werden konnten (der Pegelschreiber war beim grössten gemessenen Ereignis noch nicht installiert, die Pegelspitze wurde damals von Hand gemessen). Alle Wertpaare bewegen sich somit zu nahe beim Messfehler von Planimeter und Pegelschreiber.

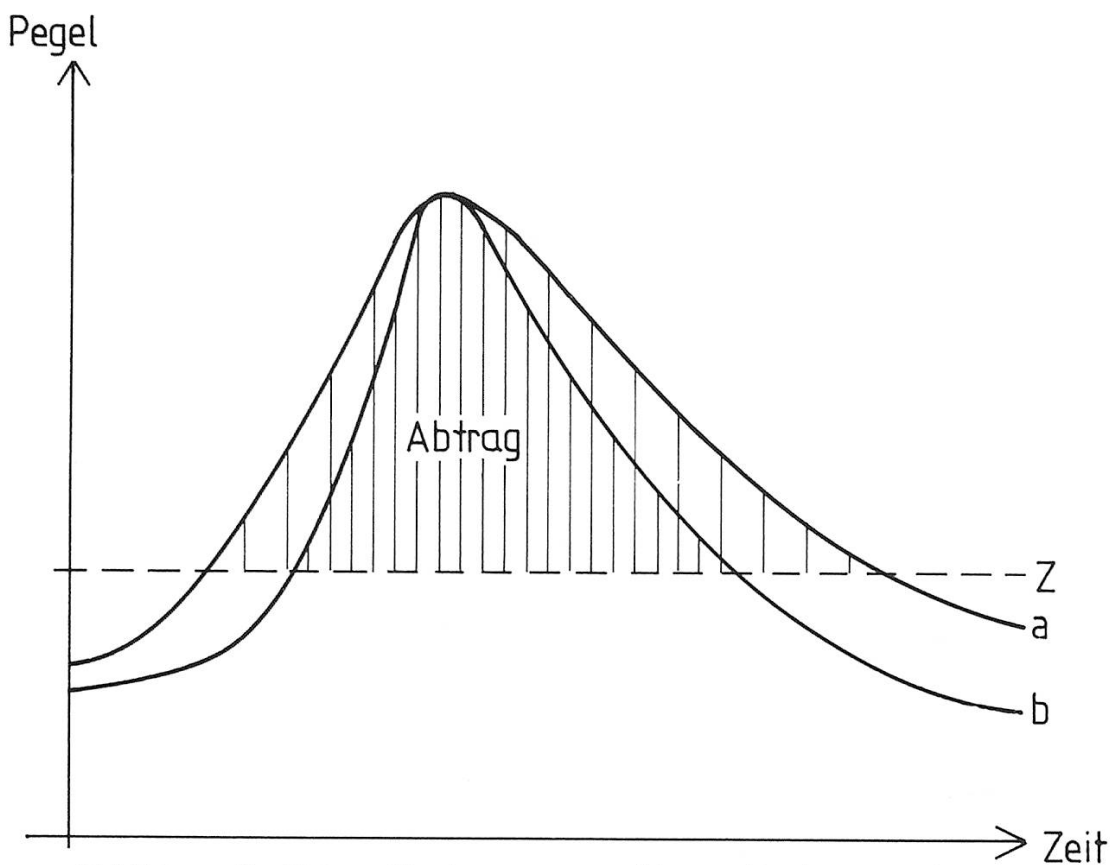


Abbildung 9: Abtrag Hochwasser a > Abtrag Hochwasser b.

2.5. Zeitreihen im Vergleich

Alle Messresultate wurden auf Monatswerte umgerechnet und in Form einer Zeitreihe in Abbildung 10 dargestellt. In einer weiteren Arbeit soll der Versuch unternommen werden, die Zeitreihe via die Monatsniederschlagswerte von Bischofszell über mehrere Jahre zurückzuverlängern, um so den Gesamtabtrag während dieser Zeit etwa abschätzen zu können. Es ist deshalb sinnvoll, mit Monatswerten zu arbeiten, denn Tageswerte sind über längere Zeiträume kaum zu bewältigen.

Im Moment soll Abbildung 10 lediglich einen größeren Überblick zum Verlauf unseres Versuches bieten (N=Summe des Monatsniederschlags, G=Aufschotterung des Messkastens in cm und P_{1d} =durchschnittlicher Monatspegel):

Bis auf drei Ausnahmen verhalten sich die Werte gleichsinnig, das heisst sie steigen und fallen miteinander, allerdings um unterschiedliche Beträge. Die Ausnahmen sind:

1983, A–M: Im April hohe G-Werte, da Regen zusammen mit Schneeschmelze zu einem starken Hochwasser führen. Im Mai steigt zwar der Monatswert von N noch an, da aber das Schmelzwasser fehlt, zeitigt dieser Anstieg keine Wirkung – der G-Wert sinkt ab.

1984, J–F: N sinkt, Pegel und G steigen, da eine wärmere Periode im Januar Schmelzwasser erzeugt.

A–M: Pegel und G sind etwa konstant, obwohl N steigt. Dies erklärt sich mit regelmässigen, aber nicht sehr intensiven Regenfällen (nur 9 Tage im Mai waren ohne Regen), die direkt durch die jahreszeitlich bedingte Erhöhung der Evapotranspiration wieder ausgeglichen werden konnten.

Ausnahmen treten vor allem im Winter und im Frühjahr auf und sind durch ungünstige Konstellation im Witterungsverlauf zu erklären.

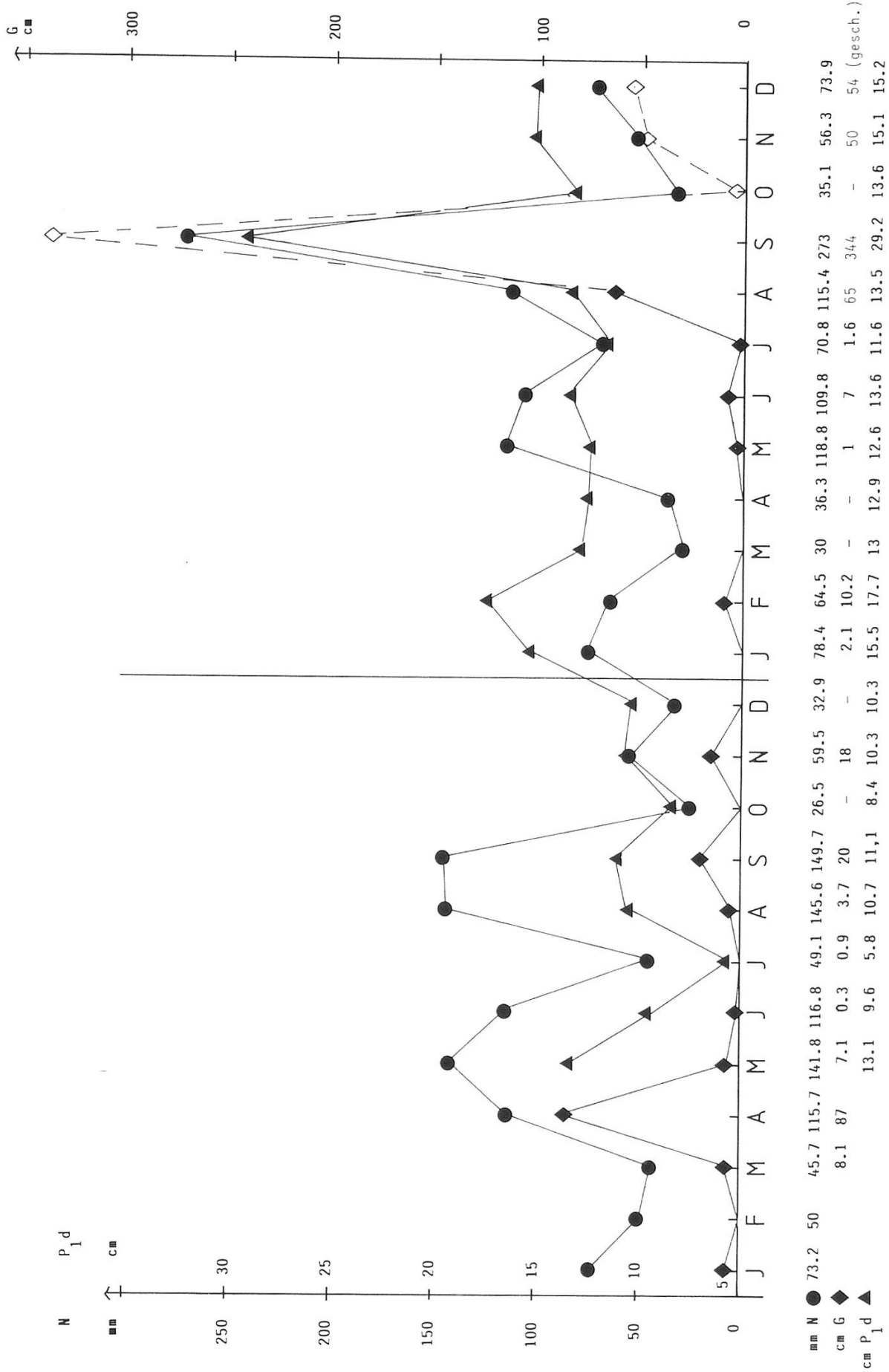


Abbildung 10: Monatswerte im Vergleich.

3. Zusammenfassung

Vom 1. März 1983 bis zum 10. August 1984 konnte im Testgebiet ein Gesamtabtrag von rund 45 m³ Grobsedimenten gemessen werden. Aufgrund von vorsichtigen Schätzungen (via Pegelkurve) können zu dieser Summe noch einmal zirka 100 m³ hinzugezählt werden, die bei zum Teil extremen Hochwassern im September, November und Dezember 1984 gefördert wurden.

Wie Abbildung 7 zeigt, geschieht der Abtrag nicht regelmässig, sondern in kräftigen Schüben bei Hochwasser. Ein grosser Sandsteinblock mit den Maximalmassen 45 × 10 × 28 cm (zirka 20 kg), der nach dem Hochwasser vom 10. August (vergleiche Abbildung 7 und 6) im Geschiebefang lag, veranschaulicht recht deutlich, welche Kräfte bei einem solchen Ereignis auftreten! Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass die Erosionsleistung kleiner Bäche unterschätzt wird. Allein der Umstand, dass vor dem Versuch ein Messkasten von 20 m³ Grösse für eine Messdauer von 1 – 2 Jahren als genügend angesehen wurde, belegt dies deutlich!

Die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit, einen Beitrag zur Abschätzung der Geschiebefracht der Seitenbäche an Sitter und Thur zu leisten, darf wohl als erfüllt betrachtet werden. Allerdings wäre es sicher von Nutzen, den Test noch über einige Jahre auszudehnen. So könnten mit grosser Wahrscheinlichkeit noch genauere, besser auf andere Gerinne übertragbare Resultate erzielt werden.

4. Literaturverzeichnis

- Dracos T.* (1981): Sedimenttransport und Bettformen in Flüssen. — Viert.j.schr. d. Natf. Ges. in Zürich, **126/2**, 73–98.
- Hofmann F.* (1973): Geologischer Atlas der Schweiz 1:25 000, Blatt Bischofszell mit Erläuterungen.
- Hjulstroem F.* (1932): Das Transportvermögen der Flüsse und die Bestimmung des Erosionsbetrages. — Geografiska Annaler, 244–258 Stockholm.
- Louis H.* und *Fischer K.* (1979): Allgemeine Geomorphologie. — 814 S. Verlag de Gruyter, Berlin, New York.
- Shaw E.* (1983): Hydrology in Practice. — 569 S. Wokingham.
- Vischer D.* (1981): Verlandung von Stauseen. — Schweiz. Ing. und Architekt, **47**, 6 S.
- Willi W.* (1965): Zur Frage der Sohlenerosion bei grossen Gefällen. — Mitt. d. Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau, **68**, 129 S.
- Zeller J.* (1963): Einführung in den Sedimenttransport offener Gerinne. — Mitt. d. Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau, **62**, 19 S.
- Zeller J.* (1965): Versuche der VAWE über die Erosion in kohärenten Gerinnen. — Mitt. d. Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau, **70**, 3–8.

Adresse des Verfassers:

Raimund Hipp, Geographisches Institut der Universität Zürich-Irchel,
Winterthurerstrasse 190, CH 8057 Zürich