

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Article, Published Version

Felkel, Karl

Das Sohlenkorn des Rheins zwischen Straßburg und Bingen

Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103037>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Felkel, Karl (1972): Das Sohlenkorn des Rheins zwischen Straßburg und Bingen. In: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 32. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 75-88.

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.



Dr.-Ing. K. Felkel

Das Sohlenkorn des Rheins zwischen Straßburg und Bingen

The Bed grain of the Rhine-River between Straßburg und Bingen

Zusammenfassung

Die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes ließ in den Jahren 1967 bis 1969 zwischen Straßburg und Bingen 85 Aufschlußbohrungen zur Gewinnung von Materialproben der Rheinsohle ausführen. Für sämtliche Proben, die aus mehreren Tiefen entnommen wurden, führte die Bundesanstalt für Wasserbau in Karlsruhe Siebanalysen durch. Über die Untersuchungen und ihre Ergebnisse wird zusammenfassend berichtet.

Für den Rheinabschnitt zwischen Straßburg und Lampertheim wird eine bestehende Gesetzmäßigkeit zwischen dem Gefälle des Gleichwertigen Wasserstandes und den kennzeichnenden Durchmessern des Sohlenkorns nachgewiesen.

Summary

The German federal administration of water and navigation performed 85 drillings of the River Rhine bed in the years 1967 to 1969 in order to gain material samplings. For all samplings taken from various depths the Bundesanstalt für Wasserbau in Karlsruhe performed a sieve analysis. A summary is given of the investigations and their results.

For the Rhine section between Straßburg and Lampertheim an existing regularity between the slope of the equivalent water level and the characteristic diameter of the bed grain could be shown.

INHALT

	Seite
1. Einleitung	77
2. Die Gewinnung der Sohlproben	77
3. Die Anordnung der Entnahmestellen	78
4. Die Durchführung und die Ergebnisse der Sieb- analysen	79
5. Mittelwerte der Korndurchmesser	80
6. Die Kornform und das spezifische Gewicht	84
7. Diskussion der Untersuchungsergebnisse	86
8. Schrifttum	87

Die Wasser- und Schiffsverkehrsverwaltung des Bundes ließ in den Jahren 1967 bis 1969 zwischen Straßburg und Bingen 85 Aufschlußbohrungen zur Gewinnung von Materialproben der Rheinsohle ausführen. Für sämtliche Proben, die aus mehreren Tiefen entnommen wurden, führte die Bundesanstalt für Wasserbau in Karlsruhe Siebanalysen durch. Über die Untersuchungen und ihre Ergebnisse wird zusammenfassend berichtet.

Für den Rheinabschnitt zwischen Straßburg und Lamertheim wird eine bestehende Gesetzmäßigkeit zwischen dem Gefälle des Gleichwertigen Wasserstandes und den kennzeichnenden Durchmessern des Sohlenkorns nachgewiesen.

1. Einleitung

Der Ausbau des Rheins zwischen Straßburg und St. Goar [7], [12], [13] kann Auswirkungen auf die Geschiebebewegung haben und damit auch unerwünschte Veränderungen der Höhenlage der Rheinsohle nach sich ziehen. Diese wiederum können den Erfolg von Baumaßnahmen und verschiedene mit dem Strom in Verbindung stehende Wassernutzungen beeinträchtigen. Es ist daher erforderlich, bereits bei der Planung von Ausbaumaßnahmen Untersuchungen über mögliche Folgen eines Eingriffs in den Geschiebehaushalt des Stromes durchzuführen.

Grundlage einer jeden derartigen Untersuchung ist die Kenntnis der physikalischen Eigenschaften des Geschiebekorns der betrachteten Stromstrecke. Dies gilt sowohl bei der Durchführung von Modelluntersuchungen mit beweglicher Sohle als auch für Berechnungen oder allgemeine Studien [5], [6].

Von besonderer Bedeutung für die Beurteilung der Geschiebebewegung sind die Größe, die Form und das spezifische Gewicht des Einzelkorns sowie die prozentuelle Verteilung der verschiedenen Korngrößen innerhalb des Korngemisches nebst den sich daraus ergebenden Mittelwerten.

Die genannten Eigenschaften ändern sich sowohl längs des Stromes als auch innerhalb eines Querschnitts. Die oberste, der Strömung unmittelbar ausgesetzte Deckschicht weist im allgemeinen ein gröberes Korn auf als die tiefer liegenden Schichten. Da im sich eintiefenden Strombett jedoch das Material der letzteren den Geschiebetrieb speist, ist auch die Kenntnis der Beschaffenheit der Unterschicht erforderlich.

Innerhalb des auszubauenden Rheinabschnittes Straßburg – St. Goar weist die Gebirgsstrecke unterhalb von Bingen eine Felssohle auf. Im übrigen Teil der Ausbaustrecke besteht die Sohle größtenteils aus Kies und Sand. Eine Darstellung der Kornverteilung zeigt ein von H. Wittmann [16], [17] veröffentlichtes Geschiebemisungsband des Rheins. Auf welche Art die Sohlenpro-

ben, die zu seiner Aufstellung führten, gewonnen wurden, wird von Wittmann nicht angegeben. Bei [17] wird hierzu lediglich mitgeteilt: "Aus den Geschiebeanalysen der Jahre 1929, 1930/32, 1935 und 1940 ließen sich die Kornverteilungskurven und das Kornverteilungsband ermitteln". Sonstige Veröffentlichungen über das Sohlenkorn der Ausbaustrecke sind nicht bekannt. Im Hinblick auf die große Bedeutung, die der Frage der Sohlenerosion beim Rheinausbau zukommt, mußten daher systematische Messungen der physikalischen Eigenschaften des Sohlenkorns ausgeführt werden.

Die zur Gewinnung von Sohlenproben erforderlichen Bohrarbeiten wurden im Benehmen mit der Bundesanstalt für Wasserbau in Karlsruhe (BAW) von der Wasser- und Schiffsverkehrsdirektion (WSD) Freiburg bzw. ihrem Wasser- und Schiffsverkehrsamt (WSA) Offenburg öffentlich ausgeschrieben und von der Bohrfirma Karl Merz, Ahrenberg/Koblenz, in den Monaten November und Dezember 1967 im Abschnitt Straßburg – Karlsruhe ausgeführt. Die gleiche Firma erhielt von der WSD Mainz bzw. dem WSA Mannheim den Zuschlag für die entsprechenden Arbeiten im restlichen Rheinabschnitt bis Bingen und bohrte hier im Dezember 1968 und Januar 1969.

Die BAW führte Siebanalysen durch und wertete sie aus [1].

Die WSD Freiburg hat für ihren Bereich im März 1968 einen Bericht [15] hierzu verfaßt. Nachdem der Verfasser erste Teilergebnisse bereits im Juli 1969 veröffentlichte [3], wird hier nunmehr zusammenfassend über die Messungen berichtet und der Versuch einer Interpretation der Ergebnisse unternommen.

2. Die Gewinnung der Sohlenproben

Von großer Bedeutung für den Erfolg der Untersuchungen des Sohlenkorns ist die Auswahl oder Entwicklung geeigneter Geräte für die praktische Entnahme der Proben unter Wasser.

Bei gewöhnlicher Entnahme mittels üblicher Greifer geht ein Teil des Feinkorns verloren und es ist nicht möglich, das Material verschieden tiefer Schichten unvermischt zu erhalten.

Das bei den hier behandelten Arbeiten verwendete Gerät ist im Bild 1 dargestellt. In einem kleinen Motorgüterschiff ist mittschiffs ein 2,0 m langes Führungsrohr mit einem Durchmesser von 0,70 m senkrecht fest auf den mit einem entsprechenden Loch versehenen Schiffsboden angeschweißt. Im Führungsrohr kann sich das Bohrohr, das einen lichten Durchmesser von 0,50 m aufweist, bewegen. Mit fortschreitender Bohrtiefe sinkt es durch sein Eigengewicht, erforderlichenfalls unterstützt durch eine Zusatzlast, immer weiter in den Untergrund ein. Die Entnahme am Grunde des Bohrrohrs geschah

mittels eines ITAG-Einseilbohrgreifers der Firma Rautenkranz, Celle. Er weist zwei Greifschaufeln auf, die ausreichend dicht schließen, so daß kaum Verluste von Feinkorn auftreten.

Das entnommene Sohlenmaterial wurde, in Mengen von rd. 50 kg je Probe und getrennt nach den einzelnen Tiefenschichten, an Bord in Säcke, die mehrfach beschriftet wurden, gefüllt. Bei zunächst verwendeten Säcken aus PVC-Folie ergab sich der Nachteil, daß das nasse Material kaum weiter trocknete, so daß man sie später durch luftdurchlässige Jutesäcke (2 Säcke mit je ca. 25 kg Inhalt je Probe) ersetzte. Die eingesackten Bodenproben wurden Zug um Zug in das Erdbaulaboratorium der BAW in Karlsruhe geschafft, wo hierauf die Siebanalysen und sonstigen Messungen ausgeführt wurden. Die Proben werden hier derzeit noch aufbewahrt, ebenso die von der Bohrfirma für alle Bohrlöcher angefertigten Schichtenverzeichnisse.

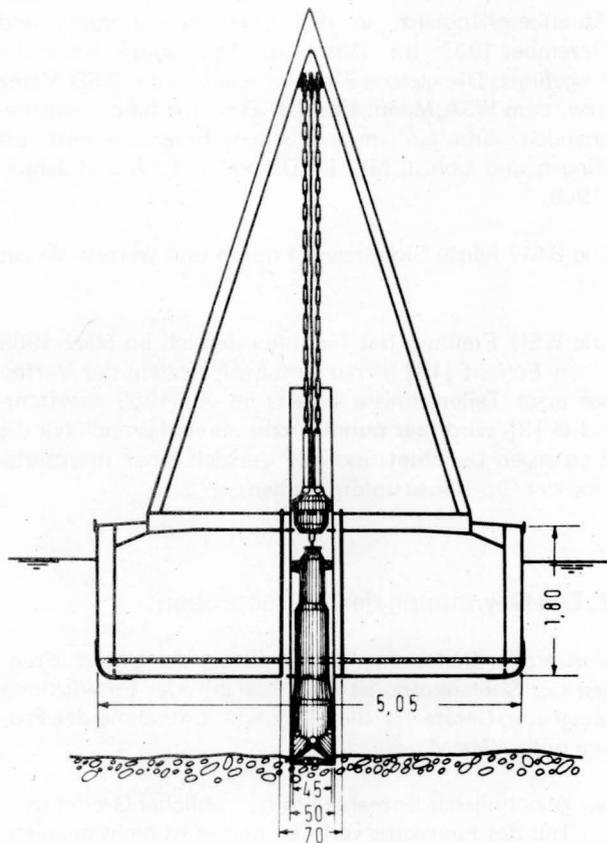


Abb. 1 Systemskizze des Bohrschiffes mit dem Entnahmegreät

wasserbettes schlängelt, wurde angestrebt, abwechselnd je 2 Bohrlöcher in den Übergängen und 2 weitere in den Kolkstrecken der Fahrinne niederzubringen. Im Unterwasser der künftigen Staustufe Iffezheim führte man bei km 336,440 eine zusätzliche, bis 5 m unter die Stromsohle reichende Bohrung aus (Bohrloch Nr. 17).

Zur Kennzeichnung der Bohrbereiche dienen fortlaufende römische Zahlen, während die Bohrlöcher mit arabischen Zahlen durchnummeriert sind. In Bild 2 sind sämtliche Bohrbereiche mit den fortlaufenden Nummern der dazugehörigen Bohrlöcher nebst den entsprechenden Kilometerangaben in eine Übersichtskarte eingetragen. Die genaue Grundrißlage der einzelnen Bohr-

LAGE DER BOHRBEREICHE UND NR. DER BOHRLÖCHER

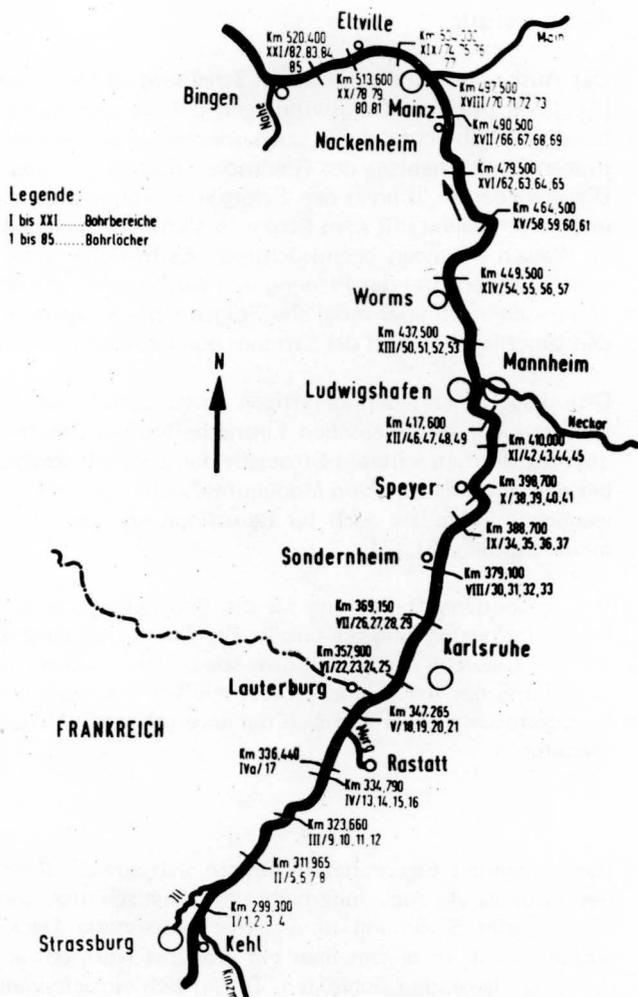


Abb. 2 Übersichtskarte mit Lage der Bohrbereiche und der Bohrlöcher

3. Die Anordnung der Entnahmestellen

Innerhalb der rd. 220 km langen Stromstrecke zwischen Straßburg und Bingen wurden in annähernd gleichen Abständen von 10 bis 12 km 21 Bohrbereiche angeordnet. Jeder Bohrbereich umfaßt 4 Bohrungen. In den mit Bühnen geregelten Abschnitten, in denen die Schiffahrtsrinne innerhalb des im allgemeinen 250 m breiten Mittel-

löcher im Rheinbett wurde in Stromkarten im Maßstab 1 : 5000 kartiert und in Querprofile des Rheins mit den Abständen von der Polygonlinie der Hektometerpunkte eingetragen.

Von folgenden Tiefenschichten wurden getrennt Proben aus den Bohrlöchern entnommen und weiter untersucht:

- 0 – 20 cm
- 20 – 50 cm
- 50 – 100 cm
- 100 – 150 cm
- 150 – 200 cm

Im Amtsbereich des WSA Offenburg wurde zusätzlich eine weitere Trennung vorgenommen. Dabei ergaben sich die Schichten:

- 0 – 20 cm
- 20 – 35 cm
- 35 – 50 cm
- 50 – 75 cm
- 75 – 100 cm
- 100 – 150 cm
- 150 – 200 cm

4. Die Durchführung und die Ergebnisse der Siebanalysen

Die in die BAW transportierten Proben wurden hier zunächst auf Blechpfannen geschüttet und mittels eines Heißluftgebläses getrocknet. Die getrocknete Probe wurde insgesamt gewogen, hierauf durch den Siebsatz (Bild 3) gerüttelt und der Rückstand jedes einzelnen Siebbleches gewogen.

Für jede Probe wurden die dabei festgestellten Werte in ein Formblatt eingetragen (Bild 4). Im Titel jedes Blattes ist die Nummer des Bohrloches und seine Lage (Rhein-km) angegeben sowie die auf die örtliche Sohle bezogene Tiefenlage der Entnahmeschicht. Die Tabelle in der oberen Hälfte des Formblattes gibt in der ersten Spalte die Sieblochweite an, in der zweiten Spalte die Gewichte der in den einzelnen Siebblechen zurückgebliebenen Anteile. Sie sind in der dritten Spalte als Prozente des Gewichtes der Gesamtprobe angegeben. In der vierten Spalte ist, ebenfalls in Prozenten des Gewichtes der Gesamtprobe, der Siebdurchgang berechnet.

Falls von der Entnahmeschicht eines Bohrloches zwei Säcke gefüllt und angeliefert wurden, was bei den Proben 30 bis 85 die Regel war, enthalten die Spalten 5 bis 7 der Tabelle des Formblattes die gleichen Angaben auch für die zweite Probe. In diesen Fällen wurde in der letzten Spalte der Tabelle sodann das arithmetische Mittel der Siebdurchgänge beider Proben gebildet.

Der Siebdurchgang oder gegebenenfalls der Mittelwert der Siebdurchgänge beider Proben ist unterhalb der Tabelle jeweils graphisch über den Sieblochweiten, die zugleich einen charakteristischen Korndurchmesser angeben, aufgetragen, wobei für beide Achsen ein linearer Maßstab gewählt wurde. Diese Kornverteilungskurven sind für sämtliche Siebproben im gleichen Maßstab gezeichnet, so daß sie unmittelbar vergleichbar sind.

In der linken der beiden kleinen Tabellen am unteren Rand des Bildes 4 sind die der Kornverteilungskurve entnommenen Mittelwerte des Korndurchmessers für zehn Intervalle, die sich jeweils über 10 % des auf der Ordinate aufgetragenen gesamten Siebdurchganges erstrecken, angeschrieben. Daraus ist als arithmetisches Mittel dieser 10 Werte der am rechten unteren Bildrand angegebene Wert d_m gebildet. Er wird als mittlerer Korndurchmesser bezeichnet. Daneben ist der Wert d_{90} angegeben. Er ist der Kornverteilungskurve unmittelbar entnommen und gibt den Durchmesser derjenigen Sieblöcher an, durch die bei der Siebung 90 % des gesamten Materials hindurchfällt.

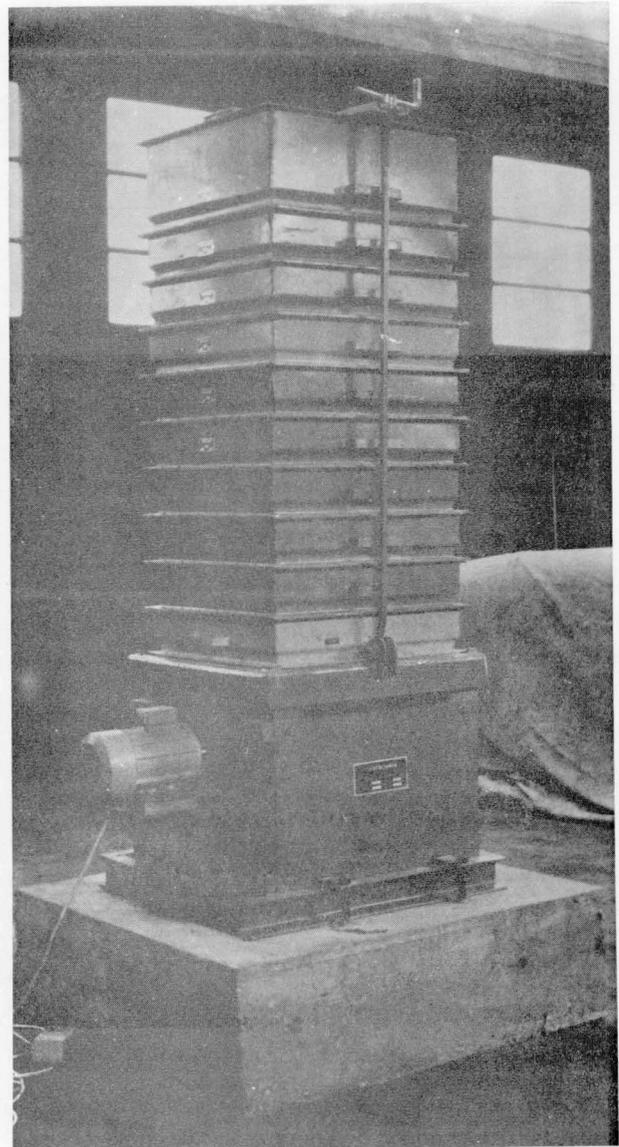


Abb. 3 Lichtbild der Siebeinrichtung

Einige Proben wiesen einen so feinen Korndurchmesser auf, daß anstelle von Sieb für sie zusätzlich oder ausschließlich Schlämmanalysen durchgeführt werden mußten. Bei den Bohrlöchern Nr.66, 67 und 82 mußten für sämtliche Schichten Schlämmanalysen durchgeführt werden, bei den Bohrlöchern Nr.68, 78 und 79 für alle

Schichten mit Ausnahme der kiesigen Deckschicht, beim Bohrloch 70 nur für die Deckschicht und beim Bohrloch Nr.69 für die 3 untersten Schichten. Das Feinkorn der zu schlammenden Proben war jedoch im allgemeinen nicht lose gelagert, sondern durch ein toniges Bindemittel verkittet. Die Proben wiesen dabei grau-grüne oder grau-blaue Färbung auf, waren im feuchten Zustand steif-plastisch und erhärteten beim Trocknen.

Siebanalyse

Untersuchung des Rheingestriebes

Entnahmestelle Rhein-km 379,70

Bohrloch Nr. 32 Entnahmeschicht 0,0 - 0,20 m

Siebweite [mm]	Probe I		Probe II		Mittelwerte	
	Rückstand im Sieb [g]	Siebdurchgang [%]	Rückstand im Sieb [g]	Siebdurchgang [%]	Siebdurchgang [%]	Siebdurchgang [%]
90						
70			0,390	1,33	98,67	99,34
50	0,140	0,44	0,265	0,90	97,77	98,62
30	8,050	25,51	6,310	21,48	76,29	75,17
20	10,395	32,94	41,11	9,015	30,69	43,36
15	4,240	13,88	27,23	4,260	14,50	31,10
10	3,435	10,89	16,34	4,535	15,44	15,66
7	1,700	5,39	10,95	1,660	5,65	10,01
3	1,005	3,12	5,23	1,900	6,47	3,34
< 2	1,650	5,23	0	1,040	3,54	0
Σ ges	31,555	100,00	29,375	100,00		

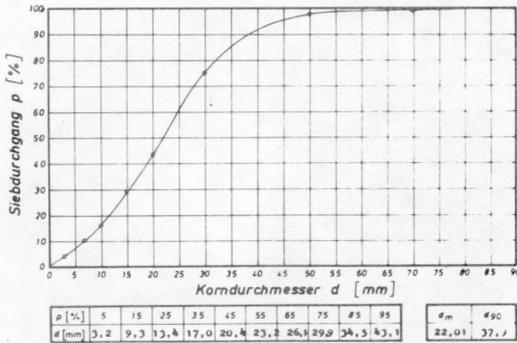


Abb. 4 Formblatt zur Ermittlung der Kornverteilungskurve und der mittleren Korndurchmesser

5. Mittelwerte der Korndurchmesser

Das Rechenautomatenprogramm der BAW zur Berechnung der als Folge der Geschiebebewegung eintretenden Veränderungen der Höhenlage der Flußsohle und des Wasserspiegels [4] verwendet für die Ermittlung des Geschiebetriebs die Gleichung von Meyer-Peter und Müller [8], [9]. Dabei wird das Geschiebegemisch durch den mittleren Korndurchmesser d_m gekennzeichnet, wie er in den Tabellen gemäß Bild 4 berechnet wird.

Der für die Berechnung von Wasserspiegellagen benötigte Abflußbeiwert k ist nach Strickler [14] abhängig vom Wert d_{90} nach der Gleichung

$$k = \frac{26}{6 \sqrt{d_{90}}}$$

d_{90} entspricht dabei dem (interpolierten) Durchmesser derjenigen Sieblöcher, durch die 90 % des Gewichtes der Probe hindurchgehen.

Im Hinblick auf ihre besondere Bedeutung für die praktische Nutzanwendung wurden die beiden Werte d_m und d_{90} für jede Probe besonders festgestellt und hierauf in den Zahlentafeln I und II tabellarisch zusammengefaßt. Weitere etwa gewünschte Werte können den Ergebnissen der Siebanalysen entweder unmittelbar entnommen (wie z.B. d_{65}) oder aus ihnen berechnet werden. Die Zahlentafel I enthält den mittleren Korndurchmesser d_m für die 85 Bohrlöcher, getrennt nach den einzelnen Tiefenschichten, die Zahlentafel II die entsprechenden Werte d_{90} .

In der Zahlentafel III sind die Werte d_m , in der Zahlentafel IV die Werte d_{90} zunächst für eine 20 cm dicke Deckschicht jeweils in der 2. Spalte nochmals angeschrieben. In der 3. Spalte wurde dann hieraus das arithmetische Mittel für die 4 Bohrlöcher eines Bohrbereiches gebildet. In den beiden letzten Spalten der Anlagen 8 und 9 ist in gleicher Weise für die Unterschicht verfahren worden. Mit "Unterschicht" ist dabei die gesamte Bohrtiefe mit Ausnahme der obersten, 20 cm dicken Deckschicht bezeichnet. Es wurden also in die 4. Spalte für jedes Bohrloch die jeweiligen Mittelwerte aller zwischen 0,20 m und 2,00 m Tiefe liegenden Schichten eingetragen und sodann in der letzten Spalte wieder das arithmetische Mittel für die 4 Löcher eines Bohrbereiches gebildet. Das 5 m tiefe Bohrloch Nr. 17 ist abweichend hiervon für sich allein behandelt.

In Bild 5 sind die Werte d_m und d_{90} getrennt für die 20 cm dicke Deckschicht (im Bilde oben) und für die von 0,20 m bis 2,00 m Tiefe reichende Unterschicht (im Bilde unten) graphisch über den Rhein-km aufgetragen. Die Kurven lassen erkennen, daß die Korndurchmesser von Rhein-km 299,7 (bei Straßburg) bis 437,50 (bei Mannheim) im wesentlichen kontinuierlich abnehmen. In der unterhalb anschließenden restlichen Strecke jedoch ist keine bestimmte Tendenz erkennbar und einzelne Bohrlöcher wiesen d_m -Werte bis 95 mm in der Deckschicht und bis 127 mm in der Unterschicht auf.

Da andere Bohrungen wiederum ausschließlich feinkörniges, toniges Material zu Tage förderten, ist die Mittelbildung an sich in diesem Bereich problematisch und eine exakte Aussage über die örtlichen Korngrößen und den Zustand des Strombettes nur aus den unmittelbaren Siebanalysen, nicht aber aus arithmetischen Mittelwerten zu erhalten. Auch die Kornmischungsbänder (Bilder 6 und 7) lassen für die Strecke unterhalb von Mannheim die ansonsten vorhandene Regelmäßigkeit der Abnahme der Korndurchmesser in Fließrichtung vermissen.

Die Kornmischungsbänder wurden erhalten, indem man die prozentualen Gewichtsanteile einer jeden der 10 Fraktionen des Korngemisches als Ordinaten über der Abszissenachse, welche die Stromkilometer anzeigt, auftrug.

In Bild 6 ist dies für die Deckschicht, in Bild 7 für die Unterschicht (0,20 bis 2,00 m) durchgeführt. Die Ordinatenwerte sind dabei jeweils als das arithmetische Mittel aus den zu einem Bohrbereich gehörenden 4 Bohrproben berechnet worden.

Felkel: Das Sohlenkorn des Rheins

Zahlentafel I

dm-Werte der Entnahmeschichten in mm

Bohrloch Nr.	Entnahmeschichttiefe m						
	0-0,20	0,20-0,35	0,35-0,50	0,50-0,75	0,75-1,00	1,00-1,50	1,50-2,00
1	42,64	24,21	36,51	33,96	32,42	25,91	18,70
2	48,43	39,03	25,86	25,15	32,10	24,66	24,54
3	48,94	29,92	28,38	32,02	26,99	25,26	23,23
4	42,44	28,45	26,87	23,31	29,78	25,94	20,93
5	33,63	29,40	35,83	28,38	26,80	19,91	19,17
6	29,24	36,84	32,48	28,07	23,81	31,65	26,75
7	37,91	34,59	32,28	26,59	21,47	19,49	17,67
8	36,84	29,45	28,91	19,90	22,25	31,30	22,70
9	29,71	31,00	31,04	32,14	25,12	24,02	20,02
10	52,34	44,05	36,35	35,33	31,44	27,30	26,36
11	30,36	29,72	23,04	17,30	16,56	14,68	15,96
12	45,56	55,17	32,47	38,87	33,83	29,03	24,03
13	29,73	33,92	29,29	26,05	26,43	23,52	25,78
14	31,98	33,27	30,86	28,56	21,43	16,62	13,26
15	35,57	33,75	28,24	28,47	24,92	17,24	18,59
16	35,97	34,71	29,32	30,72	25,30	18,00	22,51
17	28,06	27,11	11,12	22,53	25,67	22,73	25,25
18	33,50	32,37	29,43	31,72	26,48	25,51	15,83
19	28,59	22,84	19,53	18,37	14,77	14,00	26,88
20	31,49	33,54	31,49	17,60	17,79	17,51	15,42
21	34,30	36,30	23,63	25,53	32,31	28,06	27,96
22	15,91	13,80	13,31	12,36	16,98	16,29	15,34
23	27,86	21,53	21,90	21,54	20,82	19,83	19,97
24	26,03	19,49	19,36	19,72	16,94	16,04	15,42
25	22,17	24,66	22,76	19,90	19,37	15,30	15,99
26	19,19	18,24	18,12	17,45	16,65	13,29	13,92
27	15,90	19,24	19,19	12,26	13,48	12,05	14,21
28	20,50	20,04	18,88	20,39	19,59	17,99	14,33
29	22,55	19,37	19,79	18,88	18,02	16,54	14,83

Bohrloch Nr.	Entnahmeschichttiefe m					
	0-0,20	0,20-0,50	0,50-1,00	1,00-1,50	1,50-2,00	
30	19,30	26,10	27,19	18,33	17,63	
31	17,02	16,42	14,88	13,23	12,71	
32	22,01	23,00	21,51	17,38	14,01	
33	22,05	18,93	-	-	-	
34	18,91	16,00	13,46	11,20	12,31	
35	14,38	10,74	9,44	8,62	8,22	
36	15,95	16,81	13,79	10,48	10,97	
37	19,97	19,34	18,55	14,46	11,23	
38	12,81	12,11	10,29	9,82	11,08	
39	22,82	22,52	21,56	22,84	20,29	
40	11,67	11,37	10,31	8,35	6,39	
41	16,19	14,62	10,86	13,10	9,78	
42	9,52	9,46	8,53	7,42	6,24	
43	14,00	12,94	11,51	10,20	9,51	
44	10,36	9,37	8,08	5,18	2,17	
45	11,96	11,54	11,41	9,63	8,72	
46	7,24	9,11	10,10	4,96	4,64	
47	16,15	14,25	14,47	14,63	13,20	
48	9,64	9,87	8,08	7,86	1,70	
49	13,71	15,69	15,46	14,98	14,04	
50	8,77	8,64	8,54	8,27	6,26	
51	10,55	9,12	6,98	7,39	7,45	
52	8,59	6,60	2,51	1,73	1,58	
53	10,93	10,15	9,23	9,13	8,20	
54	9,56	8,19	8,23	6,41	3,82	
55	19,57	12,30	6,60	2,48	2,64	
56	9,88	8,77	8,87	7,02	5,02	
57	9,12	6,50	4,46	2,84	2,29	
58	7,18	4,86	5,75	4,64	5,76	
59	68,48	20,36	18,96	3,87	0,38	
60	0,08	0,01	0,06	1,45	1,34	
61	5,96	5,66	5,97	5,67	6,28	
62	3,49	3,38	3,86	3,21	0,94	
63	6,23	6,15	6,02	6,09	5,29	
64	4,22	4,52	3,93	2,94	1,14	
65	3,71	3,36	8,32	8,04	7,43	
66	= 0	Schlammanalyse				
67	= 0	Schlammanalyse				
68	5,66	Schlammanalyse				
69	42,31	19,12	Schlammanalyse			9,92
70	= 0	18,46	8,96	49,99		9,92
71	31,71	25,08	12,91	6,93	16,09	
72	1,72	1,70	3,57	13,77	14,99	
73	17,68	14,93	3,74	4,28	18,22	
74	3,65	13,79	11,57	20,96	25,54	
75	10,20	14,90	17,88	14,25	8,09	
76	11,85	14,84	10,10	8,83	13,81	
77	26,79	19,70	14,67	23,84	15,62	
78	29,95	Schlammanalyse				
79	19,55	Schlammanalyse				
80	16,14	17,06	28,77	13,89	0,28	
81	32,36	23,62	12,16	19,29	19,47	
82	17,37	Schlammanalyse				
83	7,78	6,96	12,47	14,96	22,00	
84	1,74	8,12	1,53	0,16	11,79	
85	0,33	1,68	1,18	12,82	14,67	

Zahlentafel II

d₉₀ - Werte der Entnahmeschichten in mm

Bohrloch Nr.	Entnahmeschichttiefe m						
	0-0,20	0,20-0,35	0,35-0,50	0,50-0,75	0,75-1,00	1,00-1,50	1,50-2,00
1	67,2	53,0	62,7	74,0	70,5	50,8	47,3
2	83,2	76,0	57,5	56,0	66,5	49,7	54,5
3	87,8	63,8	58,3	68,3	55,6	53,0	50,7
4	79,0	64,2	58,5	52,0	66,0	60,8	47,7
5	59,2	55,0	72,5	63,8	57,2	43,7	41,0
6	52,2	68,3	60,5	53,6	49,3	65,8	51,0
7	69,0	56,0	60,0	46,2	40,0	42,0	39,0
8	59,6	50,0	51,5	41,8	42,5	59,2	43,8
9	53,8	54,5	65,5	63,5	53,2	45,5	39,7
10	80,5	67,3	58,2	57,5	56,2	48,5	49,0
11	54,0	65,0	52,5	33,2	34,5	33,4	33,2
12	72,5	95,0	61,5	56,7	54,0	46,0	55,7
13	55,7	61,3	55,6	50,5	54,8	42,3	46,2
14	49,2	51,3	51,8	51,5	40,8	35,8	30,0
15	59,8	63,2	55,0	55,0	44,8	36,8	38,5
16	59,5	60,0	52,5	54,3	49,3	38,6	45,5
17	47,5	57,5	20,7	45,8	50,3	46,5	53,8
18	54,2	52,2	50,0	53,2	44,2	45,2	32,3
19	55,6	42,5	40,0	40,8	35,8	33,5	31,8
20	47,2	55,0	58,0	35,0	34,8	41,5	36,0
21	56,7	58,0	40,0	49,2	59,3	51,5	46,0
22	32,0	28,7	27,5	25,7	29,0	27,9	32,0
23	48,8	40,0	41,5	42,7	41,0	39,3	35,8
24	50,0	43,5	42,0	45,0	39,0	35,3	35,2
25	39,0	47,5	43,8	40,0	37,0	28,6	35,0
26	35,4	32,3	32,8	33,0	30,7	29,3	28,8
27	34,2	39,3	36,7	27,5	28,7	26,7	29,3
28	39,8	39,5	37,4	40,8	39,0	33,6	30,3
29	41,5	37,5	38,0	34,2	34,5	30,3	29,2

Bohrloch Nr.	Entnahmeschichttiefe m					
	0-0,20	0,20-0,50	0,50-1,00	1,00-1,50	1,50-2,00	
30	31,3	47,5	45,8	37,8	36,7	
31	30,7	30,3	28,7	26,3	26,3	
32	37,9	41,0	42,2	34,3	31,3	
33	37,2	34,5	0	0	0	
34	36,2	31,0	26,1	23,2	27,0	
35	39,0	23,6	21,0	18,5	17,6	
36	28,0	30,5	27,5	20,6	21,6	
37	31,6	30,5	29,4	26,7	23,8	
38	25,5	23,9	19,5	18,5	22,0	
39	32,1	32,5	29,7	35,6	31,2	
40	21,1	20,5	23,2	20,8	16,5	
41	25,6	24,9	18,2	22,3	17,2	
42	17,8	17,2	17,3	15,7	13,6	
43	24,9	21,8	18,2	18,6	19,3	
44	21,1	19,3	15,8	13,5	9,8	
45	22,0	21,1	21,1	20,2	17,5	
46	15,6	20,5	26,1	15,2	13,1	
47	24,1	22,5	22,4	22,6	21,0	
48	19,5	20,0	17,6	17,8	8,0	
49	21,4	24,4	23,1	22,8	21,3	
50	18,6	19,6	19,2	19,2	13,8	
51	24,5	22,8	17,5	17,7	17,9	
52	18,3	15,6	9,2	6,5	5,8	
53	20,0	19,0	17,5	15,5	15,4	
54	20,0	16,0	16,1	14,4	9,3	
55	46,5	38,0	23,2	7,7	6,6	
56	20,0	18,9	20,3	18,8	16,5	
57	22,7	16,4	13,4	10,5	8,8	
58	13,6	11,5	11,0	10,3	11,1	
59	87,5	72,3	80,7	7,7	0,5	
60	0,1	0,1	0,1	5,8	4,6	
61	10,0	10,0	10,4	11,7	13,6	
62	8,2	7,6	8,8	11,3	2,8	
63	12,6	11,6	11,3	11,8	11,2	
64	10,5	11,5	11,1	8,3	4,2	
65	7,7	7,5	36,0	17,5	34,0	
66	0	Schlammanalyse				
67	0	Schlammanalyse				

Bohrloch Nr.	Entnahmeschichttiefe m					
	0-0,20	0,20-0,50	0,50-1,00	1,00-1,50	1,50-2,00	
68	13,3	Schlammanalyse				
69	95,0	78,3	Schlammanalyse			
70	0	95,0	36,2	127,0	34,3	
71	85,5	64,5	51,5	32,0	59,0	
72	4,3	5,4	12,5	40,0	42,3	
73	58,0	49,5	11,8	14,2	72,5	
74	15,0	47,2	39,0	76,0	84,0	
75	32,7	43,0	48,8	49,0	27,7	
76	44,7	46,5	29,3	31,5	38,3	
77	68,7	49,3	42,5	85,5	50,5	
78	76,5	Schlammanalyse				
79	51,2	Schlammanalyse				
80	56,6	73,5	35,6	57,5	0,1	
81	71,2	61,0	42,5	63,2	59,3	
82	51,2	Schlammanalyse				
83	19,3	18,3	41,2	46,7	53,6	
84	6,4	25,7	5,3	0,1	34,7	
85	0,7	4,5	4,4	42,7	43,2	

Feikel: Das Sohlenkorn des Rheins

Zahlentafel IV

Zahlentafel III
Mittel d_m für Deck- und Unterschicht
und für Bohrbereiche

Bohrloch Nr.	Deckschicht		Unterschicht	
	d_m	d_m Mittel	d_m	d_m Mittel
1	42,64		26,67	
2	48,43		27,03	
3	48,94	45,61	46,52	25,28
4	42,44		20,90	
5	33,63		23,96	
6	29,24	34,41	29,27	25,38
7	37,91		22,57	
8	36,84		25,72	
9	29,71		25,36	
10	52,34	39,49	30,88	26,50
11	30,36		17,61	
12	45,56		32,14	
13	29,73		26,25	
14	31,98	33,31	20,68	23,46
15	35,57		22,53	
16	35,97		24,37	
17	28,06	28,06	23,20	23,20
18	33,50		24,72	
19	28,59	31,97	19,49	23,07
20	31,49		19,48	
21	34,30		28,59	
22	15,91		15,12	
23	27,86	22,99	20,56	17,71
24	26,03		17,07	
25	22,17		18,10	
26	19,19		15,32	
27	15,90	19,54	14,07	16,07
28	20,50		17,77	
29	22,55		17,10	
30	19,30		21,89	
31	17,02	20,10	14,08	14,42
32	22,01		18,53	
33	22,05		3,16	
34	18,91		12,94	
35	14,38	17,30	9,09	12,53
36	15,95		12,59	
37	19,97		15,51	
38	12,81		10,68	
39	22,82	15,87	21,72	13,27
40	11,67		8,85	
41	16,19		11,81	
42	9,52		7,74	
43	14,00	11,46	10,83	8,65
44	10,36		5,85	
45	11,96		10,19	
46	7,24		6,99	
47	16,15	11,69	14,13	10,88
48	9,64		6,55	
49	13,71		14,97	
50	8,77		7,85	
51	10,55	9,71	7,58	6,81
52	8,59		2,72	
53	10,93		9,07	
54	9,56		6,49	
55	19,57	12,03	5,31	5,71
56	9,88		7,27	
57	9,12		3,75	
58	7,18		5,30	
59	58,48	17,90	9,84	5,46
60	0		0,79	
61	5,96		5,92	
62	3,49		2,79	
63	6,23	4,41	5,86	4,70
64	4,22		2,98	
65	9,71		7,17	
66	0		0	
67	0	23,99	0	0,80
68	5,66		0	
69	42,31		3,19	
70	0		22,21	
71	31,71	17,04	14,16	13,85
72	1,72		9,26	
73	17,68		9,78	
74	3,65		18,43	
75	10,20	13,12	13,66	15,50
76	11,85		11,57	
77	26,79		18,32	
78	29,95		0	
79	19,55	24,50	0	8,21
80	16,14		14,77	
81	32,36		18,08	
82	17,37		0	
83	7,78	6,81	14,90	7,60
84	1,74		5,10	
85	0,33		8,24	

Mittel d_{90} für Deck- und Unterschicht
und für Bohrbereiche

Bohrloch Nr.	Deckschicht		Unterschicht	
	d_{90}	d_{90} Mittel	d_{90}	d_{90} Mittel
1	67,20		56,96	
2	83,20		57,08	
3	87,80	79,55	56,19	61,75
4	79,00		76,75	
5	59,20		50,96	
6	52,20	60,00	57,47	50,34
7	69,00		44,14	
8	59,60		48,78	
9	53,80		49,88	
10	80,50	65,20	53,33	49,39
11	54,00		37,69	
12	72,50		56,67	
13	55,70		48,95	
14	49,20	56,05	39,69	45,10
15	59,80		44,63	
16	59,50		47,13	
17	47,50	47,50	47,70	47,70
18	54,20		43,57	
19	55,60	53,43	35,65	42,55
20	47,20		40,64	
21	56,70		50,32	
22	32,00		28,92	
23	48,80	42,45	39,28	35,64
24	50,00		38,38	
25	39,00		35,97	
26	35,40		30,41	
27	34,20	37,43	29,69	31,93
28	39,80		35,24	
29	41,50		32,36	
30	31,30		41,33	
31	30,70	34,28	27,63	27,87
32	37,90		36,78	
33	37,20		5,75	
34	36,20		26,36	
35	39,00	33,70	19,79	24,47
36	28,00		24,44	
37	31,60		27,28	
38	25,50		20,65	
39	32,10	26,08	32,22	23,32
40	21,10		20,22	
41	25,60		20,18	
42	17,80		15,81	
43	24,90	21,45	19,22	17,24
44	21,10		14,08	
45	22,00		19,85	
46	15,60		18,53	
47	24,10	20,15	22,08	19,68
48	19,50		15,39	
49	21,40		22,73	
50	18,60		17,77	
51	24,50	20,35	18,55	15,38
52	18,30		8,57	
53	20,00		16,61	
54	20,00		13,72	
55	46,50	27,30	16,75	15,22
56	20,00		18,59	
57	22,70		11,82	
58	13,60		10,92	
59	87,50	27,78	36,74	15,56
60	0		3,00	
61	10,00		11,58	
62	8,20		7,63	
63	12,60	9,75	11,46	13,28
64	10,50		8,47	
65	7,70		25,56	
66	0		0	
67	0	54,15	0	3,26
68	13,30		0	
69	95,00		13,05	
70	0		70,69	
71	85,50	49,27	50,33	45,97
72	4,30		27,23	
73	58,00		35,61	
74	15,00		63,14	
75	32,70	40,28	42,03	49,56
76	44,70		35,28	
77	68,70		57,80	
78	76,50		0	
79	51,20	63,88	0	23,54
80	56,60		38,14	
81	71,20		56,00	
82	51,20		0	
83	19,30	19,40	42,36	20,90
84	6,40		15,42	
85	0,70		25,83	

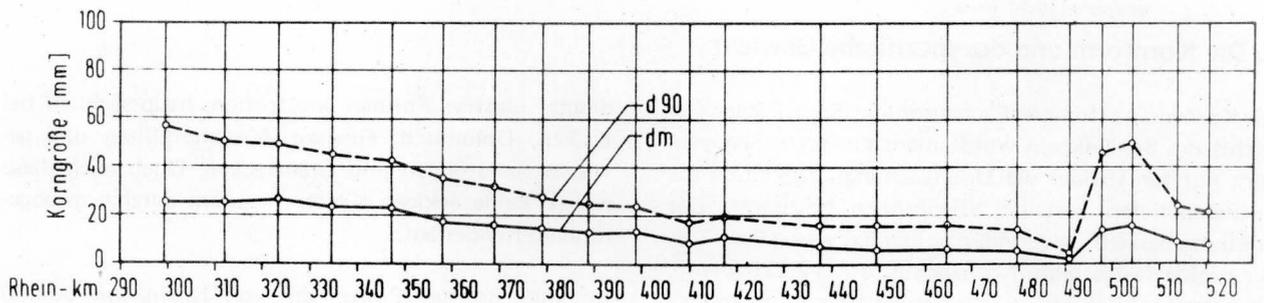
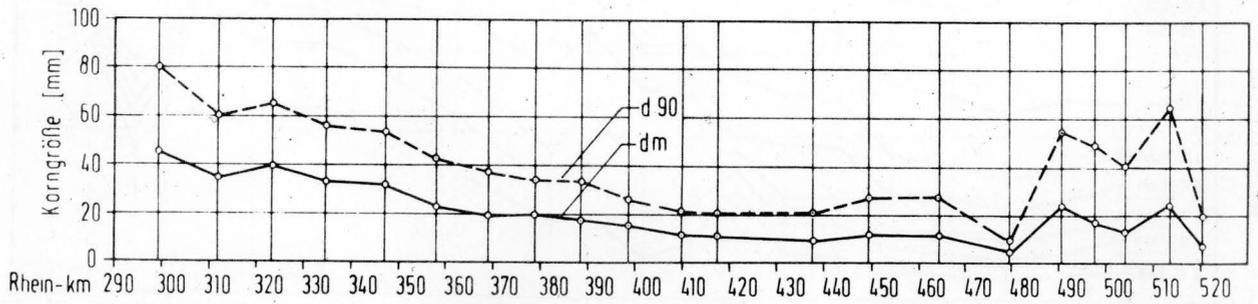


Abb. 5 d_m und d_{90} längs des Rheins zwischen Straßburg und Bingen; im Bilde oben für die 20 cm dicke Deckschicht, im Bilde unten für die Unterschicht zwischen 0,20 und 2,00 m Tiefe

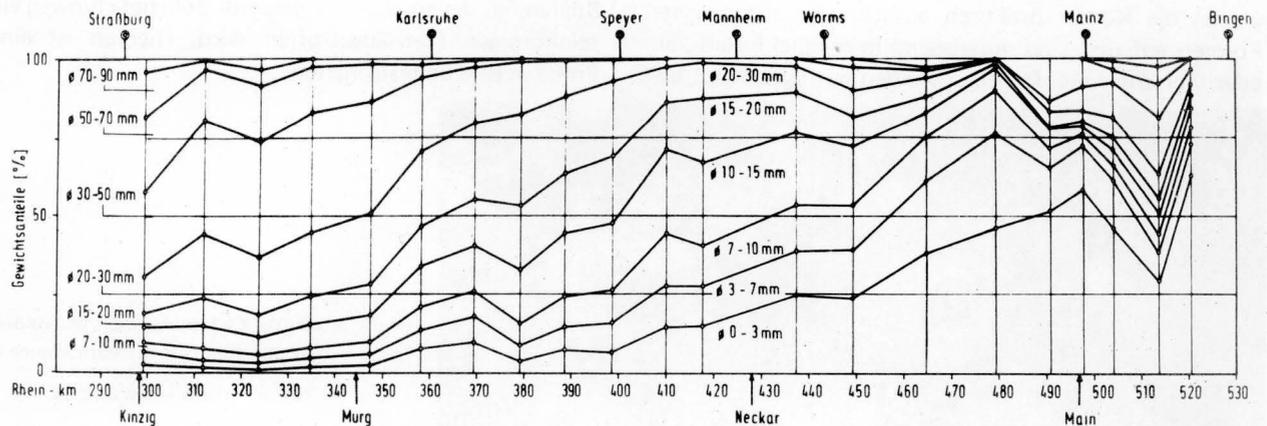


Abb. 6 Kornmischungsband für die oberste, 20 cm dicke Sohlen-schicht

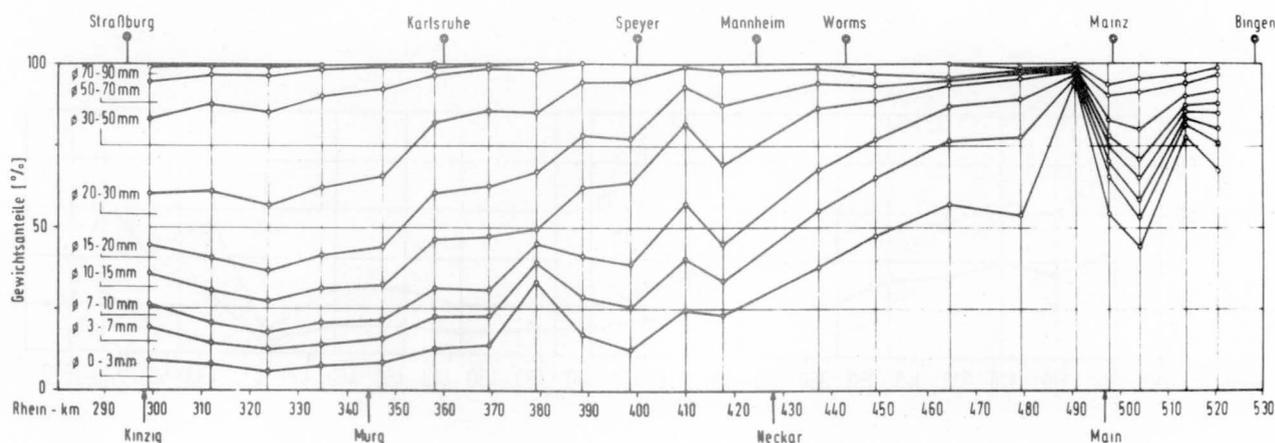


Abb. 7 Kornmischungsband für die Mittelwerte der in Tiefen zwischen 0,20 und 2,00 m unter der Stromsohle gelegenen Schichten

6. Die Kornform und das spezifische Gewicht

Die Kornwichte (früherer Fachausdruck: Spezifisches Gewicht) des Sohlenkorns wurde nicht für jede Probe, sondern nur für 16 über die Untersuchungsstrecke und die Entnahmetiefen verteilte Stichproben bestimmt. Der Streubereich ist gering, nämlich nur wenig über 1%. Die größte festgestellte Kornwichte betrug $2,675 \text{ g/cm}^3$, die kleinste $2,646 \text{ g/cm}^3$, der Mittelwert aus den 16 Proben $2,661 \text{ g/cm}^3$.

Bild 8 enthält Lichtbilder von Sohlenproben. Anhand des jedem Bilde beigegebenen Maßstabes können die Korngrößen abgeschätzt werden. Daneben lassen die Lichtbilder die Kornformen erkennen. Auch bei den letzteren läßt sich, ähnlich wie bei den Geschiebemischungsbandern, ein Unterschied feststellen zwischen dem Abschnitt oberhalb und dem unterhalb von Mannheim oder Worms.

Zwischen Straßburg und Mannheim (Bilder 8a und b) weisen die Körner praktisch ausnahmslos abgerundete Formen auf und sind vorwiegend kugelig, ellipsoid-, ei- oder walzenförmig. Daneben werden petrographisch be-

dingte, plattige Formen angetroffen, hauptsächlich bei Kalken, Dolomiten, Gneisen, Metamorphiten und gewissen Sandsteinen und Grauwacken. Doch auch diese weisen keine eckigen Kanten, sondern durchwegs abgerundete Ränder auf.

Im Bild 8d der Probe, die von Rhein-km 504,00 stammt, fällt hingegen auf, daß im groben Kornanteil viele kantige Steine oder solche mit wenig abgeschliffenen Kanten oder Bruchflächen zu finden sind. Dies läßt darauf schließen, daß die entsprechenden Steine aus nicht allzuweit entfernten Liefergebieten stammen und von der Strömung nicht weit transportiert wurden. Diese Proben weisen, wie auch die entsprechenden Siebkurven erkennen lassen, einen hohen Anteil an Sand auf und daneben bei nur geringem Anteil mittlerer Fraktionen ein zum Teil recht grobes Geröll.

In der unteren Stecke befinden sich außerdem einige Stellen, an denen über die gesamte Bohrtiefe hinweg ein feinkörniger Ton angetroffen wird. Hiervon ist eine Probe in Bild 8c festgehalten.

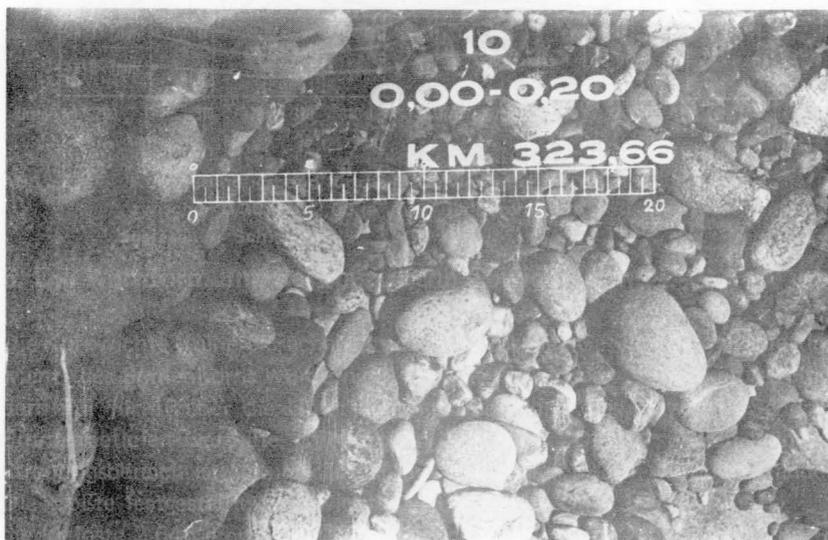


Abb. 8 a b c d Lichtbilder des Sohlenkorns der obersten Schicht, entnommen bei
a) Rhein - km 323,66



b) Rhein km 378,60



c) Rhein - km 490,00



d) Rhein - km 504,00

7. Diskussion der Untersuchungsergebnisse

Faßt man das Ergebnis der Untersuchungen des Sohlenkorns zusammen, so läßt sich die untersuchte Rhein-strecke zwischen Straßburg und Bingen in zwei unterschiedliche Teilstrecken von etwa gleicher Länge teilen: In der oberen, etwa bis Mannheim oder Worms reichenden, nehmen die Korngrößen in der Strömungsrichtung stetig ab mit relativ geringen Streuungen. Die Kornform und der Verlauf der Kornmischungskurven behalten innerhalb dieser Strecke ihre charakteristischen Merkmale bei.

Im unterhalb anschließenden Abschnitt, und hier insbesondere ab Oppenheim, treten, ohne erkennbare Gesetzmäßigkeit, sowohl Sande als auch grobes Geröll oder tonige Sedimente auf. Obwohl das im oberen Abschnitt erfolgreich angewendete Schema der Berechnung mittlerer Korngrößen in gleicher Weise auch für den unteren Abschnitt beibehalten wurde, muß darauf hingewiesen werden, daß es hier einen geringeren Aussagewert hat.

Die bei unseren Untersuchungen gemachten Feststellungen befinden sich im Einklang mit den Schilderungen, die Honsell im Jahre 1885 über den Zustand des Stromes vor der im vorigen Jahrhundert ausgeführten Korrektur gibt (in [2]).

Er führt zunächst an, daß der unkorrigierte Oberrhein drei verschiedene Grundrißformen aufwies: Im oberen, etwa bis zu den Mündungen von Murg und Lauter reichenden Lauf war ein Gewirr von Stromarmen und Gießeln, Inseln und Kiesgründen vorhanden, eine Breite von 1 bis 2 km einnehmend. Der mittlere Lauf bis Oppenheim (km 480) durchzog geschlossen, aber in vielen Windungen die Niederung. Der untere Lauf hingegen wies nur sanfte Krümmungen und ein breites Bett auf, großteils gespalten durch langgestreckte, fischartig gestaltete Inseln.

Honsell fährt hierauf fort: "Mit der auffallenden Erscheinung der Änderung der Grundrißform des Stromlaufes bei Oppenheim, also noch oberhalb des Maines, steht die hier stattfindende Gefällszunahme – der Wechsel im Sinn einer Krümmung der Gefällskurve – in Übereinstimmung; alles weist darauf hin, daß hier die Beweglichkeit der Sohle unterbrochen ist, und in der Tat finden sich zunächst oberhalb Oppenheim erstmals wieder, dann bei Nackenheim und zwischen Castel und Biebrich Felsen im Bett des Stromes, weiter abwärts aber feste Thon- und Geröllbänke. Die unbewegliche Stromsohle ist die Ursache, daß von Oppenheim ab der Strom ein breites und gespaltenes Bett angenommen hat; die Wirkung der Gefällsvermehrung ist durch die vermehrten Widerstände des vergrößerten benetzten Umfangs des Querprofils wieder aufgehoben."

Der von Honsell gebrauchte Ausdruck "unbewegliche Flußsohle" muß allerdings berichtigt werden, ist doch, nach Untersuchungen von Pichl [10] [11], der Gleichwertige Wasserstand am Pegel Oppenheim im Laufe der letzten 100 Jahre um rd.1 m abgesunken, was nur im Zusammenhang mit einer ebenfalls vor sich gegangenen Sohlenerosion erklärbar ist.

Dennoch ist, bedingt durch die geologischen Verhältnisse, für die untere Teilstrecke keine Gesetzmäßigkeit der Verteilung des Sohlenkorns erkennbar. Für die Strecke zwischen Straßburg und Mannheim, innerhalb der der Rhein durchwegs in einer ununterbrochenen, bis in größere Tiefen reichende Schicht von Kiesen und Sanden eingebettet ist, läßt sich hingegen ein weitgehender Zusammenhang zwischen der Korngröße und dem Stromgefälle nachweisen.

Zu diesem Zweck sind in der Zahlentafel V für die Strecke von Straßburg bis Lampertheim (unterhalb Mannheim; km 437,50) die maßgebenden Korndurchmesser dem relativen Gefälle des Gleichwertigen Wasserstandes gegenübergestellt (Spalte 12). Dabei fällt auf, daß zwischen km 323,66 (in der Stauhaltung der künftigen Staustufe Iffezheim) und km 410,00 (bei Mannheim) die Zahlenwerte d_{90U} der Unterschicht (Spalte 6), ausgedrückt in Dezimetern, nahezu identisch sind mit den relativen Gefällen des Gleichwertigen Wasserstandes, ausgedrückt in Promille. Der Verlauf des Gleichwertigen Wasserstandes ist am gesamten Rhein genau bekannt. Aus ihm lassen sich somit in der genannten Strecke für jeden Punkt des Stromlaufes zuverlässige Schlüsse auf den örtlichen Wert d_{90U} der Unterschicht ziehen.

In den Spalten 7 bis 10 der Zahlentafel V sind ferner vier verschiedene Quotienten gebildet zwischen den Werten d_{90D} , d_{90U} , d_{mD} und d_{mU} . Die jeweils zweiten Indices weisen auf die Deckschicht (0 – 0,20 m Tiefe, Index D) oder die Unterschicht (0,20 – 2,00 m Tiefe, Index U) hin. Die entsprechenden Werte sind ferner in Bild 9 graphisch dargestellt. Man erkennt, daß längs der genannten Strecke die Relationen zwischen den vier angeführten kennzeichnenden Korndurchmessern annähernd konstant bleiben. Man kann somit aus dem relativen Gefälle des Gleichwertigen Wasserstandes jeden der vier Werte einfach berechnen. Im Mittel der Strecke zwischen km 299,30 und 437,50 ergeben sich folgende Faktoren, mit deren Hilfe die Umrechnung vorgenommen werden kann:

$$d_{90U} \text{ (in Dezimetern)} = J_{GIW} \text{ (in Promille)}$$

$$d_{mU} = 0,51 d_{90U}$$

$$d_{90D} = 1,24 d_{90U}$$

$$d_{mD} = 0,69 d_{90U}$$

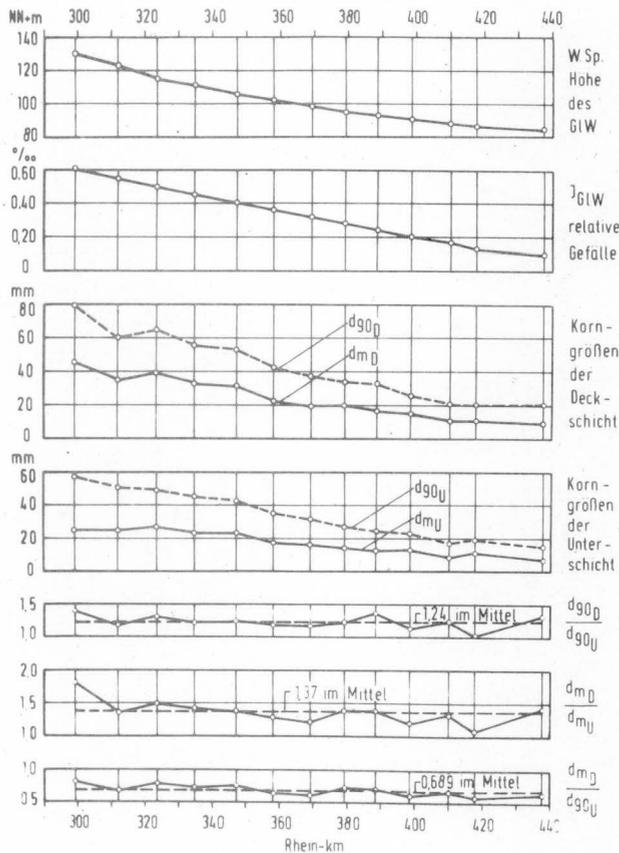
Zahlentafel V

Das Sohlenkorn des Rheins zwischen Straßburg und Mannheim
Korndurchmesser und GIW - Gefälle

Rhein-km	d_{90D} Deckschicht	d_{90U} Unterschicht	d_{mD} $\frac{d_{90D}}{d_{90U}}$	d_{90D} Deckschicht	d_{90U} Unterschicht	$\frac{d_{90D}}{d_{90U}}$	$\frac{d_{90U}}{d_{mU}}$	$\frac{d_{90U}}{d_{mD}}$	$\frac{d_{90U}}{d_{mU}}$	$\frac{d_{90U}}{d_{mD}}$	GIW Höhe des Wsp.	J_{GIW} relatives Gefälle
km	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	%
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
299,30	45,61	25,78	1,81	78,55	56,75	1,40	2,24	1,75	0,803	135,30	0,61	
311,97	34,41	25,38	1,36	60,00	50,34	1,19	2,00	1,74	0,683	123,23	0,55	
323,66	35,49	26,50	1,34	65,20	48,36	1,32	1,86	1,65	0,798	116,99	0,50	
334,79	33,31	23,48	1,42	58,05	45,10	1,24	1,92	1,68	0,738	111,76	0,45	
347,77	31,97	23,07	1,38	53,43	42,55	1,25	1,85	1,67	0,751	106,42	0,40	
357,90	22,99	17,71	1,29	42,45	35,94	1,20	2,02	1,65	0,645	102,57	0,36	
369,15	19,54	16,07	1,22	37,72	31,93	1,18	1,98	1,63	0,612	98,53	0,32	
379,10	20,10	14,42	1,39	34,28	27,87	1,23	1,93	1,70	0,721	95,58	0,28	
388,70	17,30	12,53	1,38	33,70	24,47	1,38	1,95	1,95	0,707	93,44	0,24	
398,70	15,87	12,27	1,28	26,98	23,32	1,14	1,76	1,64	0,668	90,93	0,20	
410,00	11,46	8,65	1,32	21,45	17,24	1,24	2,00	1,87	0,664	88,86	0,17	
417,60	11,69	10,88	1,07	20,15	19,68	1,02	1,81	1,73	0,594	87,68	0,13	
437,50	9,71	8,81	1,12	20,35	18,38	1,12	2,26	2,09	0,631	85,33	0,10	
Mittelwerte	—	—	1,37	—	—	1,24	1,96	1,79	0,689	—	—	

Wie aus Bild 9 hervorgeht, sind die örtlichen Streuungen um die Mittelwerte relativ gering.

Gefälle und Sohlenkorn des Rheins zwischen Straßburg und Mannheim



Die Beziehungen zwischen den kennzeichnenden Korn-durchmessern und dem Gefälle des "Gleichwertigen Wasser-standes" in der Rheinstrecke zwischen Straßburg und Lampertheim

8. Schrifttum

- [1] **Bundesanstalt für Wasserbau:** Untersuchungen der Veränderungen der Höhenlage der Rheinsohle. 1. Teilbericht: Das Sohlenkorn des Rheins zwischen Straßburg und Bingen. Karlsruhe, Februar 1970 (unveröffentlicht).
- [2] **Centralbüro für Meteorologie und Hydrographie im Großherzogthum Baden:** Der Rheinstrom und seine wichtigsten Nebenflüsse von den Quellen bis zum Austritt des Stromes aus dem Deutschen Reich. Berlin: Ernst & Korn 1889.
- [3] **Felkel, K.:** Die Erosion des Oberrheins zwischen Basel und Karlsruhe. GWF (Wasser-Abwasser) 110 (1969) H. 30, S. 801–810.
- [4] **Felkel, K.:** Rechenautomatenprogramm zur Berechnung der als Folge der Geschiebebewegung eintretenden Veränderungen der Höhenlage der Flußsohle und des Wasserspiegels. Deutscher Bericht zum XXII.Intern. Schifffahrtskongreß Paris 1969, Abt.I Thema 5.
- [5] **Felkel, K.:** Ideenstudie über die Möglichkeit der Verhütung von Sohlenerosionen durch Geschiebezufuhr aus der Talau ins Flußbett, dargestellt am Beispiel des Oberrheins. Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau Nr. 30 (März 1970), S. 21–29.
- [6] **Felkel, K. und Störmer, H.–E.:** Die Geschiebe-meßgeräte an der Rheinsohle beim Pegel Maxau und der Einfluß der Schifffahrt auf den Geschiebetrieb. Die Wasserwirtschaft 60 (1970) H. 11, S. 357–362.
- [7] **Knäble, K.:** Der Ausbau des Rheins zwischen Kehl/Straßburg und Neuburgweier/Lauterburg und der Abschluß des Kraftausbaues des Oberrheins zwischen Basel und Straßburg. Zeitschrift für Binnenschifffahrt 96 (1969) H. 10, S. 404–409.
- [8] **Meyer-Peter, E. und Müller, R.:** Formulas for Bed-Load Transport. Bericht über die zweite Tagung des Int.Verbandes für Wasserbau.Versuchswesen. Stockholm 1948, S. 39–64.
- [9] **Meyer-Peter, E. und Müller, R.:** Eine Formel zur Berechnung des Geschiebetriebs. Schweizerische Bauzeitung 67 (1949) S. 29–32.
- [10] **Pichl, K.:** Die Erosion der Rheinsohle zwischen Karlsruhe und Oppenheim. Die Wasserwirtschaft 48 (1957/58) H. 11, S.283–286 und H. 12, S.321–326.
- [11] **Pichl, K.:** Die Erosion der Rheinsohle zwischen Oppenheim und Koblenz. Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen 4 (1960), H. 5, S.97–105.
- [12] **Rümelin, B.:** Der weitere Ausbau der Bundeswasserstraßen im Rheinstromgebiet. Zeitschrift für Binnenschifffahrt 96 (1969), H. 11, S. 443–449.
- [13] **Straub, W.:** Ausbau des Rheins zwischen Neuburgweier/Lauterburg und St. Goar. Zeitschrift für Binnenschifffahrt 96 (1969), H. 10, S. 397–403.
- [14] **Strickler, A.:** Beitrag zur Frage der Geschwindigkeitsformel und der Rauigkeitszahlen für Ströme, Kanäle und geschlossene Leitungen. Mitteilung Nr. 16 des Amtes für Wasserwirtschaft. Bern 1923.
- [15] **Wasser- und Schifffahrtsdirektion Freiburg:** Ausbau des Rheins zwischen Kehl/Straßburg und Lauterburg. Untersuchung des Rheingeschiebes zwischen Rhein-km 299 und 369. Freiburg, März 1968 (unveröffentlicht).
- [16] **Wittmann, H.:** Untersuchungen am Rhein mit Hilfe des wasserbaulichen Versuchswesens. Der Rhein. Ausbau, Verkehr, Verwaltung. Duisburg: Verlag Rhein 1951, S. 72–85.
- [17] **Wittmann, H.:** Zur Morphogenese des Oberrheins. Die Wasserwirtschaft 45 (1955) H. 5, S. 121–131.

