

admissie No 16465/1951

afd. N.

HET
ROLLEND ZANDTRANSPORT
IN RIVIEREN

DOOR:
R.H.J. MORRA

RAPPORT N^o1-1951



C1151
BIBLIOTHEEK

Directie v.d. Waterstaat

C1151²

Lasthebber : R. H. J. Morra.
Plaats :
Onderwerp : Rollend zandtransport.
Omschrijving : In aansluiting op Uw nota over zwevend zandtransport in stromend water wordt nu verzocht om een eveneens op theoretische gronden steunende verhandeling te geven van het rollend zandtransport. Zie de moderne Amerikaanse literatuur. Empirische formules kunnen buiten beschouwing blijven. De formules s.v.p. toetsen aan metingen.

Rapportinhoud :

Vorige rapporten : De zandgehalte verticaal bij stationaire stroming onder evenwichtsvoorwaarden 1948.

Geschatte duur der meting :

Medewerkers :

Instrumenten :

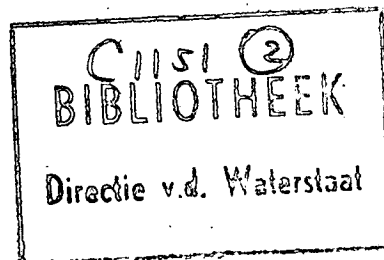
Vaartuigen :

Begindatum : 1 September 1950.

Einddatum :

Afgedaan : 1 April 1951.

Te zenden aan :



's-Gravenhage, 1 September 1950.

J. A. W. van der Wal

Het rollend zandtransport in rivieren.

§ 1. Inleiding.

Er bestaat op het gebied van zandtransport een welhaast verbijsterend aantal formules (lit. 1), waarvan een zeer belangrijk deel geheel empirisch is en een kleiner deel, wat semi-empirisch is. Uiteraard zijn deze formules alleen geldig voor de meestal zeer beperkte omstandigheden, waarvoor ze opgesteld zijn. Sommige dezer formules zijn zelfs dimensioneel incoëquent. Gaat men deze formules buiten het gebied en de omstandigheden, waarvoor ze opgesteld zijn, toepassen, dan vindt men zeer grote afwijkingen. Het toepassingsgebied dezer formules blijkt veelal niet. Uit lit. 2 blijkt, dat een formule van Straub in de Nederrijn bij Arnhem slechts bruikbare resultaten geeft, wanneer men een bepaalde constante door 5 deelt, daartegenover moet een constante van een formule van Meyer - Peter met 10 vervingwordigd worden. Ook is meestal niet uit te maken of de onderhavige formule betrekking heeft op rollend en/of zwevend transport.

De vorderingen op het gebied van het turbulentieonderzoek hebben het mogelijk gemaakt om de oplossing van het zandtransportvraagstuk dichter te benaderen. Voor het zwevend transport wordt in dit verband verwezen naar lit. 7. A.A. Kalinake heeft in een artikel: "Movement of sediment as bed load in rivers" (lit. 3) een analyse ontwikkeld, waarbij hij uitgaat van fundamentele hydrodynamische wetten en tot een formule komt, die bij toetsing aan metingen zowel in rivieren als in proefgoten een zeer bevredigend resultaat geeft. Zijn analyse die gebaseerd is op een idee van E.W. Lane geeft een helder fysisch beeld van het proces van rollend transport. Allereerst wijdt hij zijn aandacht aan het begin der beweging, daarna aan het voortzetten van de beweging. Deze nota is een vrije weergave van het artikel van Kalinake met een enkele aanvulling ter bevordering van de duidelijkheid.

§ 2. Grondgedachten.

Men kan drie soorten transport onderscheiden: zwevend, rollend en springend transport. Het springend transport is te beschouwen als een overgang tussen rollend en zwevend.

Onder rollend transport wordt hier verstaan het zand wat zich uitsluitend rollend over de bodem beweegt, dus niet tot zweving komt. Hoewel het onwaarschijnlijk is dat een bepaald zandkorreltje zich óf uitsluitend rollend, óf uitsluitend zwevend beweegt, doch veelmeer beurtelings rolt en zweeft, is bovenstaande definitie toch wel aanvaardbaar, omdat een korreltje, dat zich langer of korter zwevend verplaatst in het zwevende transport is begrepen.

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that every entry should be supported by a valid receipt or invoice. This not only helps in tracking expenses but also ensures compliance with tax regulations. The second part of the document provides a detailed breakdown of the company's financial performance over the last quarter. It includes a comparison of actual results against the budget and identifies areas where costs were higher than expected. The third part of the document outlines the company's strategy for the upcoming year. It focuses on reducing operational costs and increasing revenue through new product lines. The final part of the document provides a summary of the key findings and recommendations. It suggests that the company should continue to invest in research and development to stay competitive in the market.

The following table shows the monthly sales figures for the last six months. The data indicates a steady increase in sales over the period, with a significant spike in the fourth quarter. This growth is attributed to the launch of our new product line and the implementation of our marketing strategy. The table also shows the corresponding increase in revenue and profit, demonstrating the effectiveness of our business plan.

In conclusion, the company has achieved significant milestones in the last quarter. We have successfully reduced our operating expenses and increased our revenue. This has allowed us to improve our profit margins and strengthen our financial position. We are confident that our strategy for the upcoming year will continue to drive growth and success for the company.

Kalinske bouwt zijn analyse op de volgende grondgedachten:

- 1°. Er is een minimum kracht, veroorzaakt door stromend water, die een zandkorrel het begin van beweging zal geven. Deze kracht zal in geringe mate variëren, zelfs voor zand met uniforme korrelgrootte, omdat vooral bij hoekige korrels deze niet alle op dezelfde wijze op de bodem rusten. De grootte van deze kracht moet bekend zijn en in verband gebracht worden met de sleepkracht op de bodem, veroorzaakt door de stromende vloeistof.
- 2°. De kracht die op een korrel werkt is niet constant maar fluctueert om een bepaald gemiddelde. Deze fluctuatie kan twee oorzaken hebben:
 - a. Wanneer het algehele stromingsbeeld van een vloeistof laminair is, dan kunnen om een korreltje kritische stromingsvoorwaarden bereikt worden, waardoor echter dit korreltje kleine wervelingen ontstaat, die op hun beurt oorzaak zijn van fluctuaties van de op de korrel werkende kracht;
 - b. wanneer het algehele stromingsbeeld van een vloeistof turbulent is, wat als regel het geval zal zijn, zal als gevolg hiervan, vooral nabij de bodem, een pulsatie van de stroomsnelheid optreden met als gevolg een sterke fluctuatie van de op de korrel werkende kracht.

De variatie van de vloeistof-snelheid moet bekend zijn of vastgesteld worden, alvorens een verantwoorde analyse kan worden opgesteld.

3°. Een van de fundamentele problemen is de bepaling van de snelheid waarmee de korrels rollen en het verband hiervan met de gemiddelde hydraulische voorwaarden in de rivier. Kent men deze verplaatsingsnelheid en het aantal korrels, dat in beweging is, dan volgt met inachtneming van de korrelgrootte de grootte van het rollend transport.

Er zal blijken, dat er gezamenlijk een vaste verhouding bestaat tussen rollend en zwevend transport. Deze verhouding wordt geheel bepaald door de hydraulische voorwaarden en de korrelgrootte. Hoe grover het bodemmateriaal is des te belangrijker wordt het rollend transport. Omgekeerd zal bij fijn materiaal het zwevend transport gaan overwegen.

§ 3. Het begin der beweging.

Het is voor meerdere problemen, als bodemerrosie, zandtransport in rivieren, van belang om de stromingsvoorwaarden te kunnen berekenen waarbij het begin van beweging van een zandkorrel op zal treden. Er zijn meerdere uitdrukkingen bekend voor de zogenaamde kritische snelheid of kritische sleepkracht, die echter veelal het verband aangeven met de gemiddelde stromingsvoorwaarden, doch hiernaes komt men niet tot de werkelijke kritische sleepkracht of snelheid, die het begin der beweging veroorzaakt. Want, zoals nog zal blijken, kan de maximum op een korrel werkende kracht makkelijk 3 à 4 x de gemiddelde waarde worden. Het zal duidelijk zijn, dat er echter een

1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions and activities. It emphasizes that proper record-keeping is essential for transparency and accountability, particularly in financial matters. This section also touches upon the legal implications of failing to maintain such records, which can lead to severe consequences for individuals and organizations alike.

2. The second part of the document delves into the specific requirements for record-keeping, including the types of documents that must be retained and the duration for which they should be kept. It provides a detailed overview of the various categories of records, such as financial statements, contracts, and correspondence, and outlines the best practices for organizing and storing these documents to ensure they are easily accessible when needed.

3. The third part of the document addresses the challenges associated with record-keeping, particularly in the context of digital information. It discusses the risks of data loss, corruption, and unauthorized access, and offers strategies to mitigate these risks. This includes the use of secure storage solutions, regular backups, and the implementation of robust access controls to protect sensitive information.

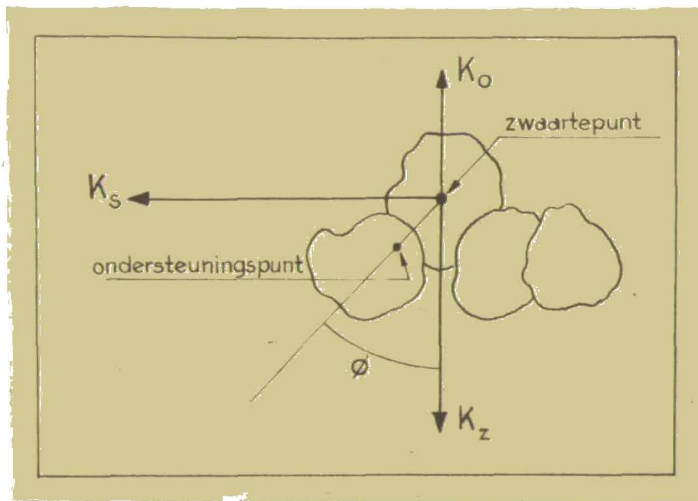
4. The fourth part of the document provides a comprehensive guide to the legal and regulatory requirements governing record-keeping. It covers the various laws and regulations that apply to different types of records and industries, and explains how these requirements can vary significantly. This section is particularly useful for organizations that operate in highly regulated sectors, where compliance with record-keeping standards is a critical component of their overall risk management strategy.

5. The fifth and final part of the document offers practical advice and tips for implementing an effective record-keeping system. It discusses the importance of developing clear policies and procedures, training staff on the correct use of the system, and regularly reviewing and updating the system to reflect changes in requirements and technology. The document concludes by emphasizing that a well-maintained record-keeping system is not just a legal obligation, but a valuable tool for improving operational efficiency and decision-making.

minimum kracht is, die het begin der beweging veroorzaakt en het is meer logisch om van deze minimum kracht uit te gaan dan de gemiddelde kracht als uitgangspunt te kiezen.

De nu volgende beschouwing is voor zand van uniforme korrelgrootte, waarbij geen cohesie optreedt.

Stelt men zich nu een nagenoeg bolvormige korrel voor, die rust op andere korrels (figuur 1) dan werken op deze korrel drie krachten nl. de zwaartekracht, ~~xxxxxxzakkxiaz~~ de opwaartse druk en de kracht veroorzaakt door de stroming van de vloeistof en waarvan de richting ten naaste bij overeenkomt met de stromingsrichting.



Figuur 1.

White heeft aangetoond (lit. 31):

- 1°. dat de lift veroorzaakt door K_s voor de rollende beweging geheel verwaarloosbaar is,
- 2°. dat het aangrijpingspunt van K_s afhangt van het Reynoldse getal van de zandkorrel (R_z). Is $R_z > 3.5$, dan is $K_s > (K_z - K_0)$ en gaat de resultante van de 3 krachten ten naaste bij door het zwaartepunt van de korrel.

Het is duidelijk, dat de kritische stroomkracht, dus de kracht die het begin der beweging veroorzaakt, met K_z een resultante geeft, die precies door het in figuur 1 aangeduide ondersteuningspunt gaat. Er volgt dan, dat

$$K_{sc} = (K_z - K_0) \operatorname{tg} \beta = \frac{\pi}{6} (\rho_z - \rho_w) g d^3 \operatorname{tg} \beta \quad (1).$$

Het verband tussen de stroomkracht op een korrel (K_s) en de eenheid van sleepkracht hangt af van het aantal korrels per oppervlakte-eenheid, dat deze sleepkracht opneemt en dit aantal korrels is op zijn beurt weer afhankelijk van de mate van samenpakking van deze korrels.

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that every entry should be supported by a valid receipt or invoice. This not only ensures the integrity of the financial data but also provides a clear audit trail for future reference.

Furthermore, it is noted that regular reconciliation of accounts is essential to identify any discrepancies early on. This process involves comparing the internal records with the bank statements and other external sources to ensure that all entries are correctly recorded and balanced.

Date	Description	Debit	Credit	Balance
2023-01-01	Opening Balance			1000.00
2023-01-05	Payment received from Client X		500.00	1500.00
2023-01-10	Office supplies	100.00		1400.00
2023-01-15	Bank interest		20.00	1420.00
2023-01-20	Transfer to Savings	300.00		1120.00
2023-01-25	Client Y payment		700.00	1820.00
2023-01-30	Monthly rent	200.00		1620.00
2023-02-01	Closing Balance			1620.00

The second section of the document provides a detailed overview of the company's financial performance over the past year. It includes a comprehensive analysis of revenue growth, cost management, and overall profitability. The data shows a steady increase in sales, which has been offset by a corresponding rise in operational expenses.

Despite these challenges, the company has managed to maintain a healthy profit margin, a testament to its efficient operations and strategic decision-making. The report also highlights areas for improvement, such as optimizing the supply chain and exploring new market opportunities to drive further growth.

In conclusion, the financial statements provide a clear and concise summary of the company's financial health. They serve as a valuable tool for management and stakeholders alike, enabling them to make informed decisions and plan for the future.

Wanneer men het oppervlaktedeel, dat de sleepkracht opneemt, p noemt, dan is het aantal korrels, dat de sleepkracht opneemt uitgedrukt door

$$\frac{4}{\pi} \frac{p}{d^2}$$

In het algemeen zal p voor materiaal van uniforme korrelgrootte weinig variëren. Men krijgt dan voor de kritische sleepkracht:

$$\tau_c = \beta \cdot \frac{4}{\pi} \frac{p}{d^2} \cdot K_{so} = \alpha \beta p (\rho_s - \rho_w) g d \operatorname{tg} \beta \quad (2)$$

De factor α behoeft niet noodzakelijk $\frac{4}{\pi}$ te zijn, zoals voor zuiver bolvormige lichamen zou volgen, doch zal iets variëren met de korrelvorm.

De factor β geeft de verhouding aan tussen de werkelijke en theoretische τ_c , omdat zoals reeds gezegd is, kleine wervelingen achter de korrels fluctuaties van K_{so} veroorzaken.

White vond voor $\beta = \frac{1}{2}$ wanneer $R_g > 3.5$, dus blijkbaar bereikt de maximum waarde van K_{so} het dubbele van de gemiddelde.

Voor $R_g < 3.5$ vond White $\alpha p = 0.30$ voor zand van 200 en 900 μ . Rechtstreekse bepalingen van p leverden ± 0.35 op.

Er zijn nog maar zeer weinig waarden bekend van α , p en β , derhalve worden hier de waarden van White aangehouden, zijnde de best bekende benadering.

Gaat men uit van zand met een specifieke dichtheid van 2.65 en $\operatorname{tg} \beta = 1$, dan gaat (2) over in:

$$\tau_c = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{2} \cdot 0.35 \left(\frac{2650 - 1000}{9.81} \right) 9.81 \cdot d \cdot 1$$

dus

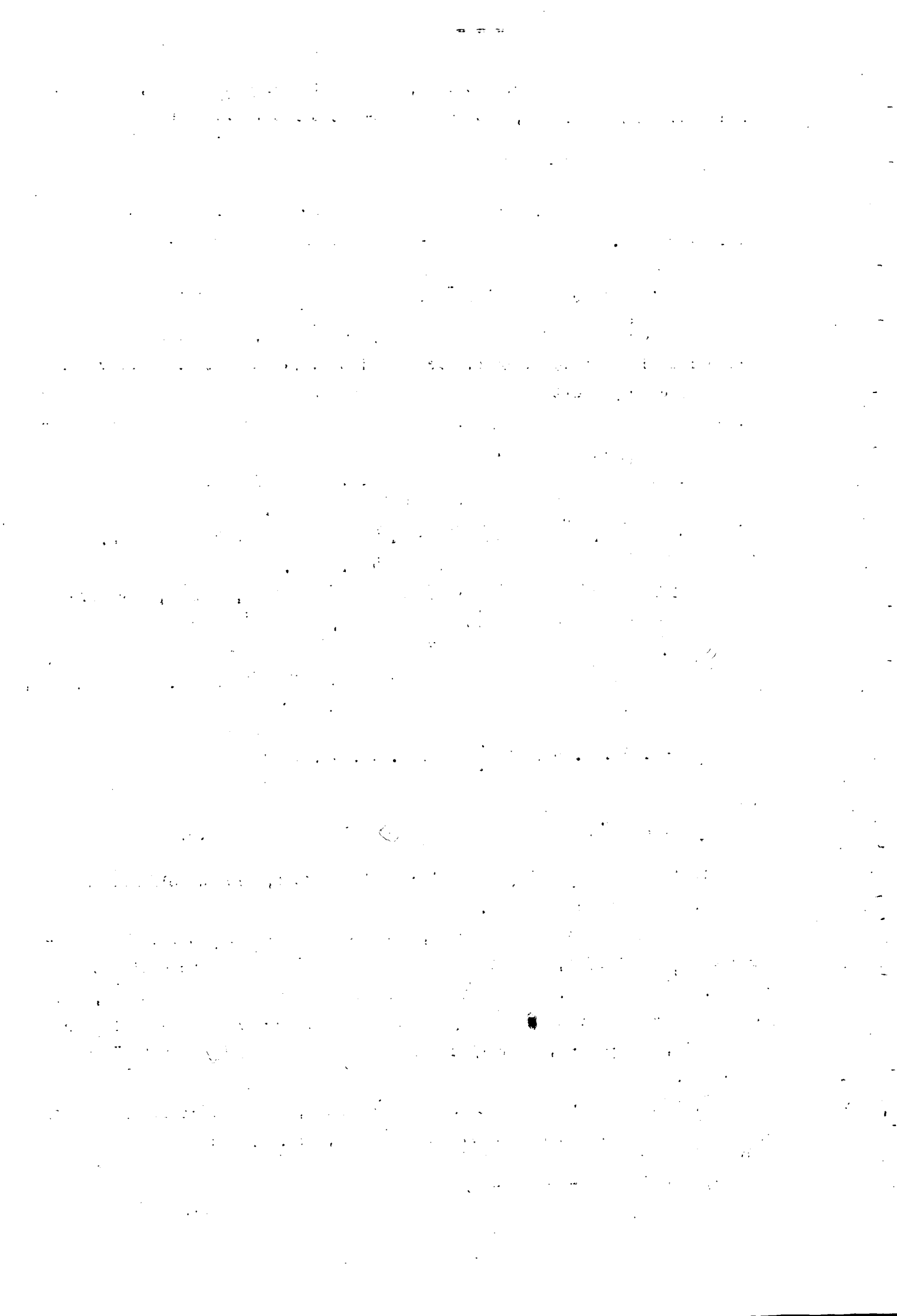
$$\tau_c = 192 d \text{ kg/m}^2 \quad (3)$$

Dit is dus de werkelijke kritische sleepkracht, die korrels met een diameter d in beweging brengt.

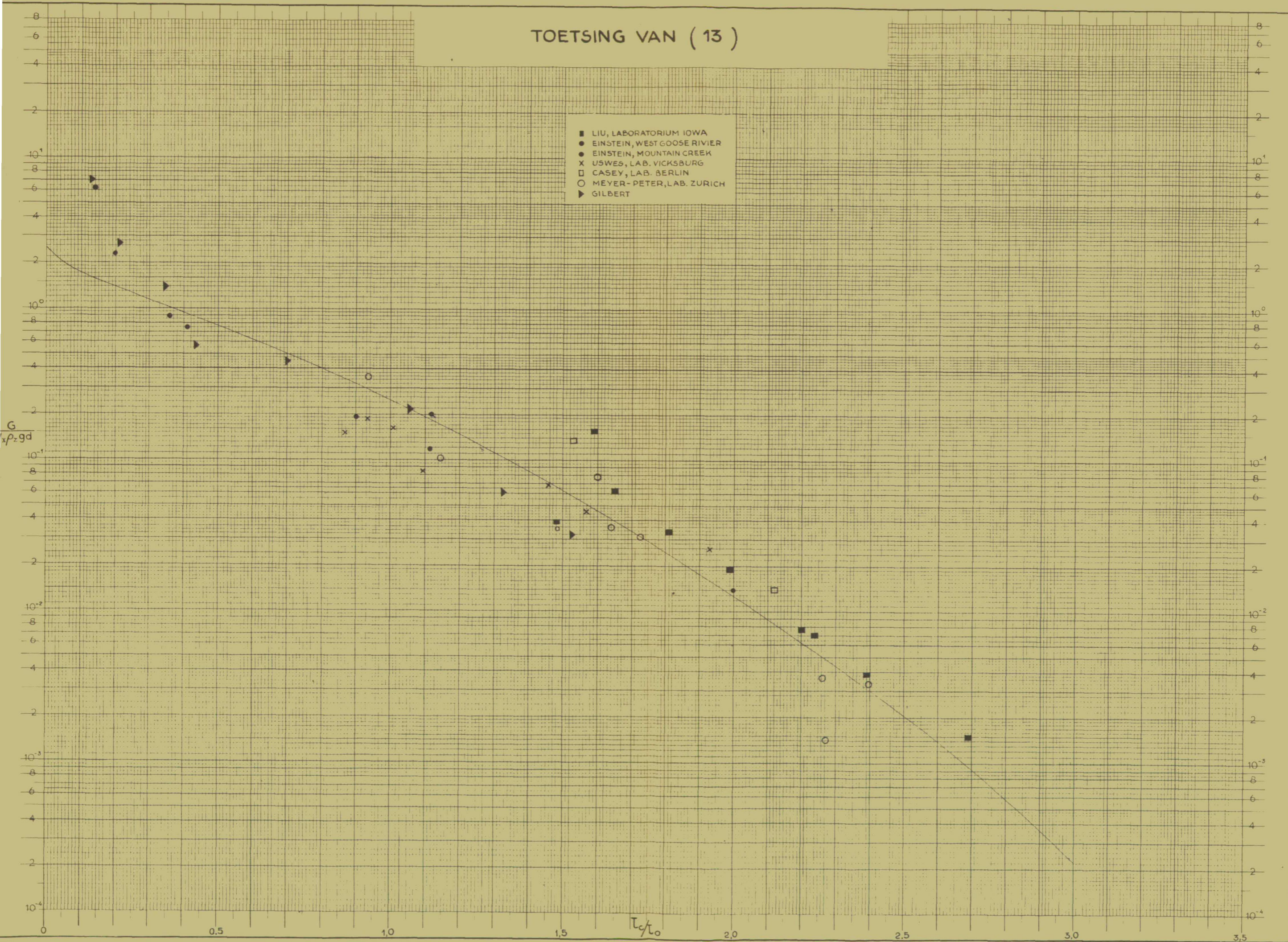
Om nu (3) zodanig om te werken, dat men de gemiddelde kritische sleepkracht ($\bar{\tau}_c$) verkrijgt, is het nodig om de grootte van de fluctuaties te kennen. Kalinske (lit. 3e) heeft op grond van experimenten aangetoond, dat de middelbare fluctuatie n nabij de bodem ongeveer $\frac{1}{4}$ van de snelheid ter plaatse is, dus $\frac{n}{U} = \frac{1}{4}$, waarbij de middelbare fluctuatie $n = \frac{\sqrt{\sum (U - \bar{U})^2}}{n}$.

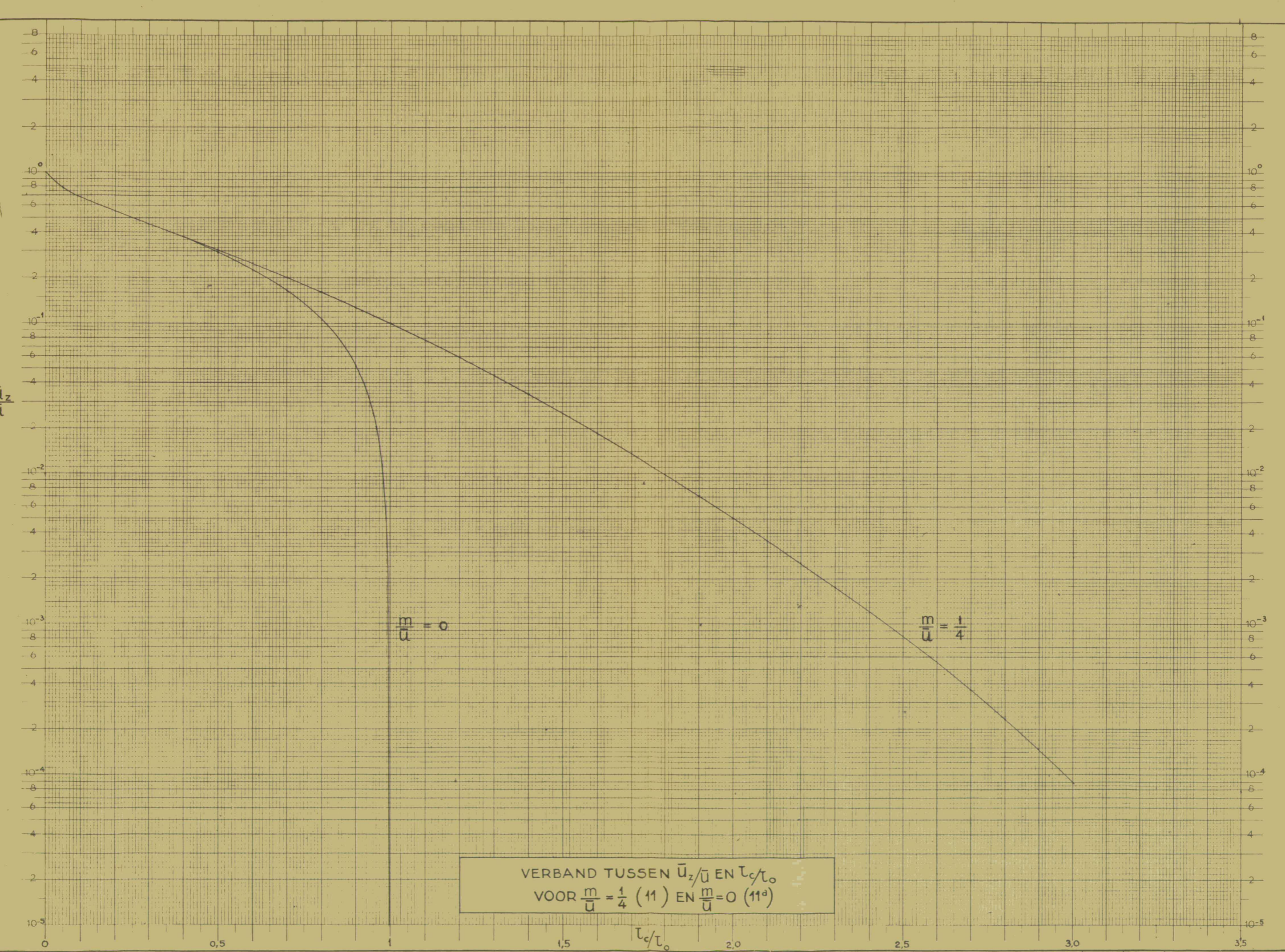
Ook is aangetoond op grond van experimenten, dat de variatie van U voldoet aan de normale foutenwet (zie ook § 4, lit. 5) dus

$$f(U) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(U - \bar{U})^2} \quad (4)$$



TOETSING VAN (13)





VERBAND TUSSEN \bar{u}_z/\bar{u} EN τ_c/τ_0
 VOOR $\frac{m}{U} = \frac{1}{4}$ (11) EN $\frac{m}{U} = 0$ (11^a)

De sleepkracht varieert met het kwadraat van de snelheid, dus is

$$\frac{U_0}{\bar{U}} = \sqrt{\frac{\tau}{\tau_0}}$$

Voor $\frac{m}{\bar{U}} = 0$, dat is dus voor laminaire stroming (geen fluctuaties) gaat (11) over in

$$\frac{\bar{U}_x}{\bar{U}} = 1 - \frac{U_0}{\bar{U}} \quad (11a)$$

welke vorm identiek is aan (8), wanneer $b = 1$.

In fig. 2 zijn 11 en 11a uitgezet voor turbulente ($\frac{m}{\bar{U}} = \frac{1}{4}$) en laminaire ($\frac{m}{\bar{U}} = 0$) stromen als functie van τ_0/τ_0 . Uit deze figuur blijkt, dat $\frac{\bar{U}_x}{\bar{U}}$ voor $\tau_0/\tau_0 \pm 0.5$ voor turbulente en laminaire stromen hetzelfde is.

Vergelijking 9 kan nu in de volgende dimensieloze vorm geschreven worden

$$\frac{G}{\bar{U} \rho_x g d} = \frac{2}{3} p \frac{\bar{U}_x}{\bar{U}} \quad (12)$$

\bar{U} is de gemiddelde snelheid aan de bodemoppervlakte, waarvan de grenslaagtheorie aangeeft, dat $\bar{U} = c \sqrt{\tau_0/\rho}$ (lit. 4). Kalinske geeft voor $c = \pm 11$. Stelt men weer $p = 0.35$ dan gaat (12) over in

$$\frac{G}{v_x d \rho_x g} = 2.5 \frac{\bar{U}_x}{\bar{U}} \quad (13)$$

waarin $v_x = \sqrt{\tau_0/\rho}$.

Kalinske heeft een groot aantal metingen geanalyseerd, zowel uit proefgoten als uit rivieren afkomstig en hierop (13) getoetst (zie fig. 3). Enkele punten zijn verkregen door middelen van een groep van punten, tensinde de figuur overzichtelijk te houden. Een afwijking treedt op voor $\tau_0/\tau_0 < 0.3$ à 0.4 . Dit moet naar alle waarschijnlijkheid worden toegeschreven aan het feit, dat bij grote snelheden (dus kleine τ_0/τ_0) het zwevend transport nagenoeg niet meer van het rollend transport bij het meten te scheiden zijn en zal er dus nog zwevend transport in de metingen begrepen zijn.

In herinnering wordt gebracht, dat (12) alleen geldt voor zand met uniforme korrelgrootte en voor praktisch bolvormige korrels. Beide voorwaarden zullen bij de gebruikte metingen niet altijd aanwezig zijn geweest, wat althans in ieder geval een deel van de overigens niet overdreven spreiding kan verklaren.

Voor de benedenrivieren is uit vele metingen gebleken, dat de gemiddelde snelheid waarbij er zwevend transport op gaat treden gelegen is tussen 0.40 en 0.60 m/sec. Neemt men verder een korrelgrootte aan van 300 μ , dan vindt men

$$\tau_0/\tau_0 = \frac{0,192 \cdot 300 \cdot 10^{-6} \cdot 50^2}{0,50^2} = 0,575$$

Verhoogt men nu de snelheid tot bv. 1.00 m/sec, dan kan men een behoorlijk zwevend transport verwachten. De waarde voor τ_0/τ_0 wordt dan $\pm 0,14$. Uit dit voorbeeld valt de afbuiging van de lijn voor kleine waarden van τ_0/τ_0 te verklaren.

Voor grof zand van bv. 1000 μ en een beginsnelheid voor het zwevend transport van bv. 0.90 m/sec, wordt $\tau_0/\tau_0 = 0,59$ waaruit zou volgen, dat dit afbuigingspunt niet veel zal variëren.

Toetst men nu de in deze paragraaf afgeleide formules op de Rijn bij Arnhem voor het geval, dat $H = 6$ m en $V_m = 1,32$ (lit. 6) dan is in lit. 7 een zwevend zandtransport berekend van $M_z = 103$ cc/m¹sec.

Stelt men de maatgevende korrelgrootte van het bodemmateriaal op 1000 μ (fig. 8, lit. 5), welke korrelgrootte door 60% onderschreden wordt dan volgt

$$\frac{\tau_0}{\tau_0} = \frac{0,192 \cdot d \cdot 0^2}{V^2} = \frac{0,192 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 2500}{1,32^2} = 0,275.$$

Het behulp van fig. 3 volgt hieruit $\frac{G}{V_x \cdot d \cdot \rho_z \cdot g} = 1,2$

dus

$$M_z = 1,2 \times \frac{dV}{G} \times \frac{2650}{1700} \cdot g = 158 \text{ cc/m}^1 \text{ sec}$$

steeds uitgaande van bolvormige korrels.

Men komt dus op een totaal transport van $103 + 158 = 261$ cc/m¹sec.

Voor 900 μ (onderschreden door 50%) bedraagt $M_z = 147$ cc/m¹sec, dus $M_{\text{totaal}} = 103 + 147 = 250$ cc/m¹sec.

In lit. 5, fig. 8 volgt voor een waterafvoer $q = 6 \times 1,32 = 7,9$ m³/sec een totaal transport van 18 m³/etmaal m¹ = 208 cc/sec m¹.

Het hierboven decijferde is dus $\pm 20\%$ groter dan uit metingen volgt. Dit komt goeddeels voor rekening van het feit dat het bodemmateriaal niet bolvormig, doch min of meer hoekig is. Ook zou een andere waarde van p van invloed kunnen zijn.

§ 5. Zandmengsels.

Bij zandmengsels van uiteenlopende korrelgrootte kan men als volgt redeneren. Een zandmengsel met een gemiddelde korrelgrootte bestaat uit de som van een aantal fracties van zand met uniforme korrelgrootte d_1, d_2, d_3, \dots . Evenzo is het deel p van het mengsel dat de sleepkracht opneemt de som van de deler $p_1, p_2, p_3, p_4, \dots$ der fracties met een korrelgrootte $d_1, d_2, d_3, d_4, \dots$, dus

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n$$

Voor elke fractie geldt dan

$$\tau_{on} = \frac{1}{3} \frac{p}{p_n} p_n (\rho_s - \rho_w) g d_n \text{tg } \phi = \frac{1}{3} p (\rho_s - \rho_w) g d_n \text{tg } \phi \text{ kg/n}^2.$$

Het deel van de sleepkracht opgenomen door de korrels van elke fractie is

$$\tau_{on} = \frac{p_n}{p} \tau_o$$

Hieruit volgt, dat de verhouding τ_{on}/τ_o voor een zandmengsel voor een bepaalde τ_o varieert met de korrelgrootte der fracties. Het totale rollende transport wordt nu verkregen, door het transport van elke fractie G_n te bepalen en deze waarden te sommeren. Hiertoe moet p_n nog bepaald worden. Dit kan geschieden met behulp van de zeefkromme.

Noemt men n_1 de gewichtsverhouding van de fractie met een korrelgrootte d_1 , dan is

$$n_1 (:) \frac{p_1}{p} = \frac{1}{6} d_1^3 \rho \quad \text{dus } p_1 (:) \frac{n_1}{d_1} = q_1$$

dus volgt

$$\frac{p_1}{p} = \frac{q_1}{q}$$

waarin $q = (q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + \dots)$

Kent men dus de factor p , die in het algemeen weinig varieert ($\pm 0,35$) dan kunnen met behulp van de zeefkromme de waarden van p_n bepaald worden. Het transport voor iedere fractie is dan

$$\frac{G_n}{v_s d_n \rho_s g p_n} = 7,5 f(\tau_{on}/\tau_o) \tag{14}$$

Het totaal transport is dus

$$G = G_1 + G_2 + G_3 + \dots \tag{14a}$$

Voor ieder zandmengsel zal er een korrelgrootte zijn, die als zand met uniforme korrelgrootte beschouwd dezelfde uitkomst met formule (13) zal geven als het mengsel met (14) en (14a). Deze korrelgrootte is voor een bepaald mengsel niet constant maar variëren met τ_o . Kalinske heeft verschillende mengsels geanalyseerd en komt tot de conclusie dat men voor benaderende berekeningen zonder al te grote fouten voor deze naastgevoerde korrelgrootte ook wel de gemiddelde korrelgrootte kan gebruiken. Hoe meer de grenzen waartussen de uiterste korrelgrootten van een mengsel uit elkaar liggen, hoe groter de afwijking zal zijn.

's-Gravenhage, 1 April 1951.

De Techn. Opz. A.



Gebruikte afkortingen.

K_s	=	stroomkracht op een korrel
K_{sc}	=	critische stroomkracht op een korrel
K_z	=	zwaartekracht op een korrel
K_o	=	opwaartse druk op een korrel
R_R	=	Reynoldse getal van een sandkorrel = $\sqrt{\tau_o/p} \cdot d/v$
ρ_w	=	dichtheid water
ρ_z	=	dichtheid zand
τ_o	=	sleepkracht = $\rho g H I$
τ_{oc}	=	critische sleepkracht
d	=	diameter sandkorrel
ν	=	viscositeit van de vloeistof
p	=	oppervlaktedeel, dat de sleepkracht opneemt
U	=	stroomsnelheid in een punt
v_x	=	$\sqrt{\tau_o/p}$
M_r	=	rollend transport
M_s	=	zwevend transport

Literatuurlijst.

1. G.A.T. Heyndrickx, Het transport van bodemmateriaal door stromend water. Tijdschr. Openb. Werken v. België, Februari, April, Juni 1948.
2. Irs. J.B. Schijf en J. Th. Thijss, Metingen van zandtransport. De Ingenieur 1941, Nr. 28.
3. A.A. Kalinske, Movement of sediment as bed load in rivers. Transactions Am. Geophysical Union Vol. 28 Nr. 4 page 615 e.v., Aug. 1947.
- 3a t/m 3i verwijst naar literatuurlijst van 3.
4. Hunter Rouse, Engineering Hydraulics, New York 1950. 1039 pag.
5. Ir. E.H.H. Scheek en Slotboom, Enkele mededelingen betreffende de zandbeweging op de Neder-Rijn. De Ingenieur 1937, Nr. 51.
6. Ir. L. v. Bendegom, Enige beschouwingen over riviermorphologie en -verbetering. De Ingenieur 1947, Nr. 4.
7. R.H.J. Morris, De zandghalteverticaal bij stationnaire stroming onder evenwichtsvoorwaarden 1948 en de Ingenieur 1950, Nr. 51.