Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 103 (1985)

Heft: 19: 50 Jahre Institut für Grundbau und Bodenmechanik an der ETH Zürich

Artikel: Wasserbau und Erdbau

Autor: Vischer, Daniel

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-75774

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Siehe Rechtliche Hinweise.

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. Voir Informations légales.

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. See Legal notice.

Download PDF: 18.04.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

währleistet werden, und die Erschwernisse am Arbeitsplatz sollen möglichst gering gehalten werden.

Risikobereitschaft gehört auch zum Grundbauingenieur. Er soll bewusst Risiken eingehen, sie definieren, Massnahmen vorsehen, um ihnen allenfalls entgegentreten zu können, und die Bewegungen und Kräfte im Boden während des Bauvorgangs dauernd überwachen. Wenn er sich mit Angstmassnahmen zum vornherein gegen jedes erdenkliche Risiko abdecken wollte, könnte der Bau unbezahlbar teuer werden, und das Bauprogramm würde unverhältnismässig in die Länge gezogen.

Jede Baugrube, jeder Tunnel ist ein Prototyp, ein neues Abenteuer. Vom Ingenieur wird jedesmal originelle, schöpferische Arbeit verlangt. Schöpferische Arbeit führt oft in Neuland, welches nur bei Risikobereitschaft betreten wird.

Wer jedoch nur vom Bürotisch aus konstruktive Anordnungen trifft und die Verantwortung für die Folgen auf andere abzuschieben versucht, wie es leider immer wieder vorkommt, zeigt, dass er seiner Aufgabe nicht gewachsen ist. Es fehlen ihm sowohl Risikobereitschaft als auch Verantwortungsbewusstsein.

Die Risikobereitschaft muss mit Verantwortungsbewusstsein gepaart sein. Dies schützt vor Unvorsichtigkeiten. Das Verantwortungsbewusstsein treibt den Geotechniker auf die Baustelle; er beobachtet und misst Bewegungen, Setzungen, Hebungen, Kräfte in Spriessen und Erdankern und Schwankungen des Grundwasserspiegels. Er erteilt auf dem Platz Anordnungen, dass z.B. Spriesse verstärkt oder Aushubetappen verkleinert werden. Er ist sich des ständigen Risikos bewusst, doch seine dauernde Überwachung ermöglicht es ihm, notfalls rasch einzuschreiten und so sich ankündende Schäden zu begrenzen und Unfälle zu vermeiden.

Schluss

Zusammenfassend kann man festhalten, dass das Fachgebiet des IGB, das Wissenschaft mit der Praxis, Bodenmechanik mit dem Grundbau vereint, für den verantwortungsfreudigen Ingenieur eine ausserordentlich befriedigende Aufgabe sein kann. Da der Untergrund immer mehr beansprucht werden wird und da auch die kühnsten Kunstbauten mit dem Boden verbunden bleiben müssen, wird seine Bedeutung innerhalb der Bauingenieurkunst in Zukunft völlig erhalten bleiben.

Zum Schluss möchte ich dem IGB zu seinem Jubiläum herzlich gratulieren und ihm als Unternehmer für seine vorzüglichen, praxisbezogenen Dienste danken.

Besonderer Dank gebührt dem IGB dafür, dass es hilft, die Studenten zu vielseitig interessierten, risikobereiten und verantwortungsbewussten Ingenieuren auszubilden.

Adresse des Verfassers: *Peter Knoblauch*, Generaldirektor, AG Konrad Zschokke, 42, rue du 31 décembre, 1211 Genf 6.

Wasserbau und Erdbau

Von Daniel Vischer, Zürich

Das Institut für Grundbau und Bodenmechanik der ETH Zürich ist 1970 aus der Erdbau-Abteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau (VAWE) hervorgegangen und folglich traditionell mit dem Wasserbau verbunden. Deshalb ist es sinnvoll, sich an seinem Jubiläum mit den Beziehungen zwischen dem Wasserbau und dem Erdbau zu befassen. Dies geschieht hier nicht erschöpfend, sondern anhand einiger Gedanken zu folgenden Fragen: Dienen Wasser und Erde als Baustoffe? Wo steht die Entwicklung der Staudämme? Ist die Erdbautechnik im Vormarsch? Gibt es eine vom Erdbau unabhängige Wasserbautechnik? Was sind wasserbauliche Anlagen?

Was ist was?

Standen die Pfahlbauten unserer Vorfahren *im offenen Wasser* oder *am Ufer?* Waren es somit Wasserbauten oder Erdbauten? Diese alte Streitfrage soll hier offenbleiben. Sie mag lediglich illustrieren, wie nahe Wasserbau und Erdbau schon immer beieinander waren.

Was ist eigentlich Wasserbau, und was ist Erdbau? Auch diese Frage soll hier nicht oder bloss implizit beantwortet werden. Denn Definitionen sind zwar nützlich, wirken aber oft belehrend und ermüdend.

Im folgenden werden deshalb nur einige wichtige Beziehungsfelder zwischen dem Wasserbau und dem Erdbau kurz beleuchtet. Dabei zeichnen sich deren Grenzen von selbst ab. Auch sprechen die angeführten Beispiele von realisierten Wasser- und Erdbauten für sich. Eine systematische Behandlung des Themas ist im Rahmen eines kurzen Zeitschriftenbeitrages ohnehin nicht möglich.

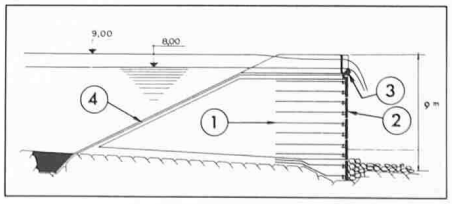
Wasser und Erde als Baustoffe

Die *Erde* bzw. das Lockergestein wird seit langem als Baustoff eingesetzt, und zwar entweder für sich oder im Verbund mit anderen Baustoffen. Aus der Sicht des Wasserbaus kommt beiden Möglichkeiten eine grosse Bedeutung zu. *Für sich* wird die Erde bei der Schüttung von Flussdeichen und Staudämmen verwendet. Dabei wird die Kornzusammensetzung auf bautechnische und funktionelle Anforderungen abgestimmt.

Im Verbund mit anderen Baustoffen ist die Erde sehr vielseitig anwendbar. Schon früh wurden für den Ufer- und Sohlenschutz Faschinen oder Senkwürste als Verbundkonstruktion zwischen Holz, Gestein und Drähten erstellt. Daraus haben sich die heute zunehmend eingesetzten Steinkästen – das sind grosse, mit Grobkies und Steinen gefüllte Gitterdrahtkästen – entwickelt. Für grossflächigen Erosionsschutz wurden in neuester Zeit Matten aus Kunststoffgewebe mit einer Kies- oder Sandfüllung hergestellt.

Weitere für den Wasserbau wichtige Verbundkonstruktionen finden sich bei

Bild 1. Sperre aus armierter Erde im Vallon des Bimes in Südfrankreich für den Rückhalt von Löschwasser in einem Waldgebiet. Dammkörper mit (1) Armierung durch Stahlbänder, (2) Betonschuppenverkleidung luftseitig, (3) Betonbalken-Überfallschwelle, (4) bituminierte Gewebedichtung wasserseitig [1].



Fangedämmen aus Spundwänden. Dort wirkt die Erde als Ballast und Aussteifung der Kasten und Zellen tragend mit. Ähnlich wirkt sie auch bei Wildbachsperren, die als sogenannte Holz-, Metall- oder Betonelementkasten aufgebaut und mit Kies verfüllt und verfestigt werden. Eine interessante, aber noch wenig gewählte Alternative dazu bieten Sperren aus armierter Erde, etwa gemäss Bild 1.

Schliesslich sind noch die verschiedenen, als Ufermauern dienenden Stützwände zu erwähnen, die als Verbundkonstruktionen arbeiten. Das sind Winkelstützmauern, kiesgefüllte Hohlmauern und jene zurückgebundenen Mauern, deren Anker und Ankerplatten im Tagbau erstellt und nachher eingeschüttet werden. Auch hier sind Alternativen mit armierter Erde möglich.

Kann das *Wasser* ebenfalls als Baustoff verwendet werden, sei es für sich oder im Verbund mit anderen Baustoffen? – Im allgemeinen nicht! Zwar ist das Wasser in vielen gängigen Baustoffen und insbesondere auch in der Erde enthalten und prägt dort die Materialeigenschaften meist entscheidend mit. Doch ist es für sich allein, weil es eben eine Flüssigkeit und kein Feststoff ist, nicht formbeständig und damit nicht formbar. Es kann allerdings gefrieren und damit eine zumindest vorübergehende Formbeständigkeit erlangen. Diese Eigenschaft wird aber im Wasserbau nicht ausgenützt (die Iglus der Eskimos und die Schneeburgen der Kinder müssen zum Hochbau gerechnet werden).

Auch *im Verbund* mit anderen Baustoffen wird das Wasser kaum eingesetzt. Die Ausnahme sind Gebilde, die den Traglufthallen gleichen, aber mit Wasser statt mit Luft «aufgeblasen» werden. Es handelt sich um die in den letzten Jahren entwickelten Schlauchwehre und Schlauchbuhnen. Ihre Hülle besteht aus einem wasserdichten Kunststoffgewebe, ihre Form wird im wesentlichen durch die Differenz zwischen dem inneren und äusseren Wasserdruck bestimmt. Bild 2 zeigt das Beispiel eines Schlauchwehrs.

Literatur

[1] Groupe de Travail du Comité Français des Grands Barrages: Nouvelles méthodes de conception et techniques de réparation de digues en remblai. Question 44, Rapport 4, 12e Congrès des Grands Barrages, Mexico, 1976

[2] Comité International des Grands Barrages: Registre mondial des barrages. Paris, 1985 (im Druck). (Dieses Register erfasst alle Talsperren ab 15 m Höhe, aber auch solche ab 10 m Höhe, wenn sie länger als 500 m oder umfangreicher als 1 Mio m³ oder sonst ausserordentlich sind. Bei den Angaben aus der UdSSR fehlen die landwirtschaftlichen Talsperren.)

[3] *Schnitter N.:* Weltweiter Stand des Talsperrenbaus. «Wasser, Energie, Luft,» Baden, Heft 10, 1980

[4] *Pircher W., Schwab H.:* Austria's Finstertal rockfill dam. «Water Power and Dam Construction,» Sutton (GB), Juni 1980

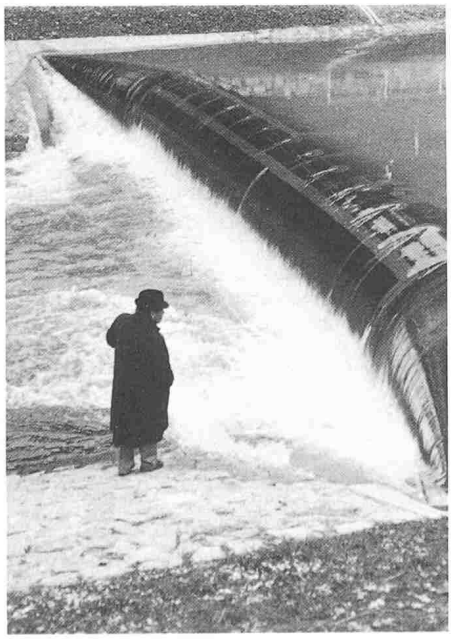
[5] *Steiner H.A.:* Baugrubenumschliessungen von Flusskraftwerken – eine Betrachtung über fünf Jahrzehnte Baugeschehen. Zum 65. Geburtstag von Helmut Simmler, Monographie des Institutes für Wasserwirtschaft und konstruktiven Wasserbau der Technischen Universität Graz, 1984

[6] BASF-Information: Zwölfhundert Tonnen Beton zum Schwimmen gebracht. «Schweizerische Bauzeitung», Zürich, 21. Dezember 1976

[7] *Bernardi B.:* Der Umschlaghafen Tiefenbrunnen in Zürich. «Schweizer Ingenieur und Architekt», Zürich, Heft 36, 1979

[8] *Tschopp J.:* Hochwasserrückhaltebecken; deutsche und französische Beispiele. «Schweizerische Bauzeitung», Zürich. 90. Jg., Heft 30, 27. Juli 1972.

Bild 2. Das Schlauchwehr Hochfelden in der Glatt als Notverschluss für ein Ölwehr-Dispositiv. Stauhöhe 1,6 m, Schlauchlänge 22 m, Material 5 mm starker Neoprengummi mit Nylongewebe (Foto VAW).



Staudämme

Im Zusammenhang von Wasser- und Erdbau müssen selbstverständlich die vielen Erddämme, die als Talsperren dienen, erwähnt werden. Ihre Rolle beim Aufstau wasserwirtschaftlich genutzter Seen wird klar, wenn man sich folgendes vergegenwärtigt: Die Zahl der weltweit bestehenden Talsperren von mehr als 15 m Höhe wird auf 36 000 geschätzt. Davon sind rund 30 000 oder 83% Erddämme (siehe [2] und zugehörige Bemerkungen).

Interessant ist die Entwicklung der Talsperrenhöhen. Bild 3 zeigt, dass die Betonmauern seit der Jahrhundertwende ununterbrochen den Weltrekord halten. Krass war der Vorsprung vor 50 Jahren, als die Hoover-(Boulder-)Bogengewichtsmauer mit 221 m mehr als 2,5mal so hoch war wie der damals höchste Erddamm Salt-Springs. Dieser Vorsprung ist inzwischen aber zusammengeschmolzen. Zwar führt heute immer noch eine Betonmauer – es ist die Grande-Dixence-Vollmauer – mit 285 m die Rangliste an. Doch gehen zur Zeit zwei russische Erddämme der Vollendung entgegen, die die Spitze übernehmen werden. Es handelt sich um den Rogun-Damm mit 330 m Höhe und 76 Mio m³ Schüttvolumen sowie um den Nurek-Damm mit 300 m Höhe und 58 Mio m³ Schüttvolumen.

Die höchsten Erddämme sind jedoch keineswegs die umfangreichsten. Die Statistik bezeichnet den New-Cornelia-Damm in den USA als diesbezüglichen Spitzenreiter. Er weist bei einer Höhe von 30 m und einer Kronenlänge von fast 11 km das phantastisch anmutendende Schüttvolumen von 210 Mio m³ auf. Weil er aber der Speicherung von Minenrückständen dient und keinen wasserwirtschaftlichen Stausee bildet, ist er weit weniger bekannt als der zweitgrösste Erddamm, nämlich der Tarbela-Damm in Pakistan. Jener wurde 1976 mit einer Höhe von 143 m, einer Kronenlänge von 2,7 km und einem Schüttvolumen von 122 Mio m³ fertiggestellt. Er gehört zum Typus der gezonten Erddämme; sein Dichtungskern ist wasserseitig geneigt.

Die grössten Erddämme gehören zweifellos zu den umfangreichsten Bauwerken unserer Tage. Das zeugt an sich schon von Spitzenleistungen der Projektierung und des Einbaus und verdient Anerkennung. Doch zeigt sich der Fortschritt der Dammbautechnik durchaus auch in kleineren Erddämmen. Als Beispiel sei der 1980 fertiggestellte Staudamm Finstertal in Tirol erwähnt. Mit einer Höhe von 149 m und einem Schüttvolumen von 4,5 Mio m³ figuriert er nicht unter den ersten 20 der Weltrangliste. Er gilt aber dennoch als kühnes Bauwerk, weil er in *einer* Hinsicht führend ist: Seine Dichtung besteht aus einem schlanken Asphaltbeton-Schirm, der im Vergleich zu anderen Anwendungen unter einer Rekordbelastung steht. Wie Bild 4 andeutet, ist dieser Schirm schrägliegend und in den Felsuntergrund eingebunden. Seine Stärke variiert von 0,70 bis 0,50 m, sein Volumen erreicht 24 000 m³. Dieses geringe Ausmass ermöglichte die Wahl steiler Dammböschungen, nämlich von 1:1,5 wasserseitig und 1:1,3 luftseitig.

Schliesslich sei noch der jüngste Erddamm der Schweiz vorgestellt (Bild 5). Er dient im sogenannten Greuel bei Muri (Aargau) dem Hochwasserrück-

halt und ist derart klein, dass seine Inbetriebnahme am 30. November 1984 von der Fachwelt praktisch unbeachtet blieb. Seine Höhe beträgt nur 16 m, seine Kronenlänge 160 m, sein Schüttvolumen 50 000 m³. Dennoch ist er technisch nicht uninteressant. Er besteht aus homogenem Material und weist Böschungsneigungen von 1:3 auf. Diese flachen Neigungen wurden aus Gründen des Landschaftsschutzes gewählt, d.h. sie erlauben eine luftseitige Bepflanzung des Dammes; rein statisch gesehen, wären grössere Neigungen möglich gewesen. Sowohl der Grundablass als auch die Hochwasserentlastung werden als vergleichsweise grosse Betonkanäle quer durch den Dammkörper geführt.

Vormarsch der Erdbautechnik

Im Bereich der Bauausführung werden die Begriffe Wasserbau und Erdbau oft für eine spezifische Tiefbautechnik benutzt. Zur Wasserbautechnik werden jene Massnahmen gezählt, die das Bauen im offenen Wasser ermöglichen; zur Erdbautechnik gehören die Erd- und Gründungsarbeiten auf dem Land. Diese Abgrenzung ist aber keine scharfe; so erfordern Gründungsbauten im Grundwasser oft ähnliche Massnahmen wie solche im offenen Wasser, nämlich Baugruben mit Wasserhaltung usw.

Interessant ist in diesem Zusammenhang eine Wende beim Bau von Flusskraftwerken oder Flussstauwehren. Noch vor 40 Jahren wurden solche Bauwerke unter Einsatz der Druckluftgründung, das heisst von Caissons, gebaut. Diese Caissons stellten eigentliche Taucherglocken dar und können daher als typisch wasserbautechnische Elemente bezeichnet werden. Beim 1945 in Betrieb gegangenen Aarekraftwerk Rupperswil-Auenstein wurden beispielsweise 29 solcher Caissons mit einer gesamten Grundfläche von 3740 m² abgesenkt. Sie dienten als Fundation der Wehrpfeiler und Wehrschwellen, der Turbineneinläufe, der meisten Ufermauern und eines Teils der Baugrubenumschliessungen. Dadurch konnten die übrigen Baugrubenumschliessungen relativ leicht gehalten werden; sie bestanden überall nur aus einer einfachen Spundwandreihe.

Später, das heisst Anfang der fünfziger Jahre, wurde nur noch ausnahmsweise caissonniert. Dafür waren mehrere Gründe verantwortlich: Erstens gab es beim Ein- und Ausschleusen der Caissonmannschaft viel unproduktive Wartezeit, zweitens musste die effektive Arbeitszeit mit Rücksicht auf die Caissonkrankheit reduziert werden, drittens liess sich die Caissonarbeit nur sehr beschränkt durch Maschinen erleichtern und beschleunigen. Vor allem das Bestreben zum Einsatz grosser Maschinen führte von der Einzelfundierung durch Caissons weg zur Flächenfundierung in grossen Baugruben. Das bedingte den Bau standfester Baugrubenumschliessungen, vorzugsweise mittels Kasten- oder Zellenfangdämmen.

Der Bau der weiteren Flusskraftwerke erfolgte damals in mindestens drei Baugruben. Eine typische Sequenz war folgende: In einer ersten Baugrube wurde gleichsam vom Ufer aus ein Grossteil des Wehrs gebaut. Dann wurde eine zweite Baugrube in Flussmitte geschaffen, um den Rest des Wehrs und den Trennpfeiler zum Maschinenhaus zu erstellen. Schliesslich wurde vom Gegenufer aus die dritte Baugrube für das Maschinenhaus umschlossen und ausgehoben. Dementsprechend floss der Fluss in der ersten Baugrube durch das verbleibende Flussbett, in der zweiten durch dieses und den bestehenden Teil des Wehrs, in der dritten durch das fertige Wehr. Eine etwas andere Sequenz zeigt Bild 6a für das Stauwehr des Aarekraftwerkes Wildegg-Brugg (Inbetriebnahme 1952).

Eine der drei Baugruben war naturgemäss eine Insel im Fluss und somit nur über eine Brücke zugänglich. Diese bildete für den Baubetrieb einen gewissen Flaschenhals und hemmte insbesondere den Einsatz der grossen Maschinen. Deshalb wurde die «Inselbauweise» Anfang der sechziger Jahre nach Möglichkeit - d.h. dort, wo es die topographischen und geologischen Verhältnisse zuliessen - vermieden. Einige weitere Flusskraftwerke, beispielsweise das

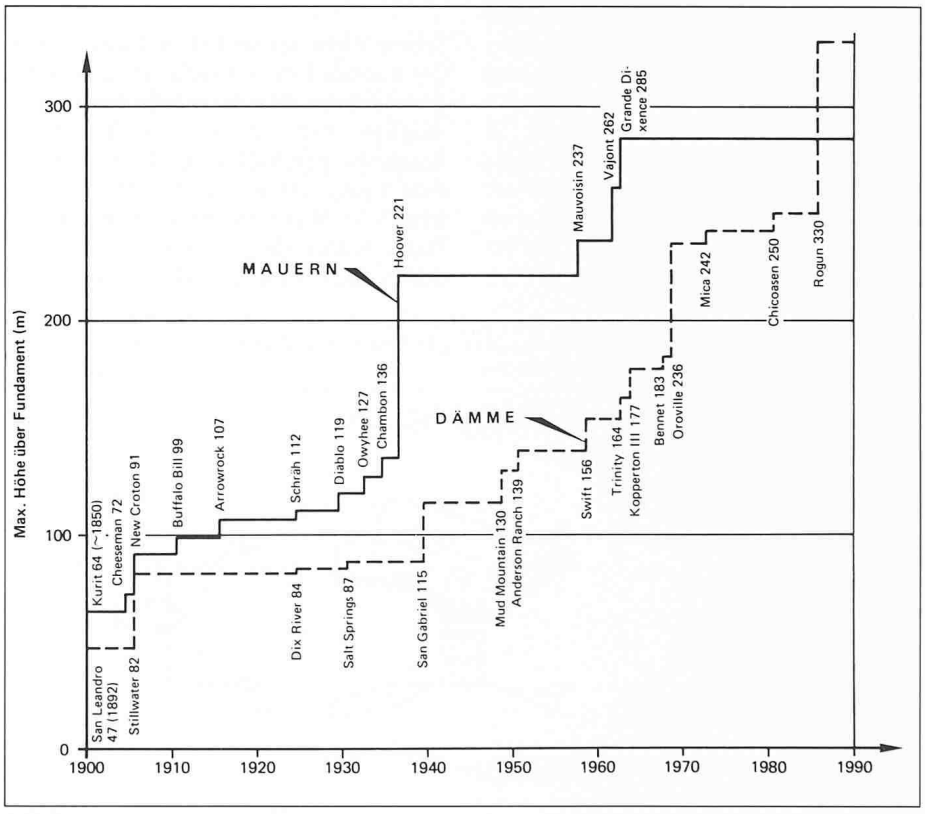
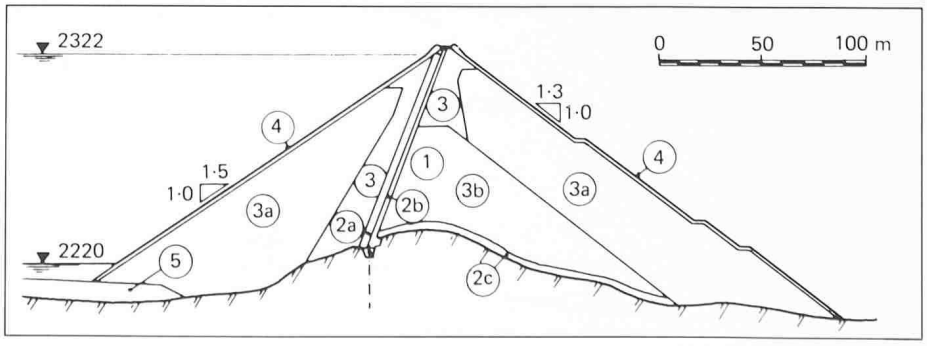


Bild 3. Die Entwicklung der Rekordhöhen der Talsperren in aller Welt von 1900 bis 1990. Bisher waren die höchsten Staumauern höher als die höchsten Staudämme. Doch findet gerade jetzt eine Ablösung statt: Die Staumauer Grande-Dixence wird vom russischen Erddamm Rogun überflügelt [3].

Bild 4. Der Staudamm Finstertal des Speicherkraftwerkes Sellrain-Silz im Tirol. (1) Dichtungsschirm aus Asphaltbeton, (2) Übergangs- und Drainageschichten, (3) Stützkörper, (4) Blockbesatz, (5) verbleibendes Lockergestein [4].



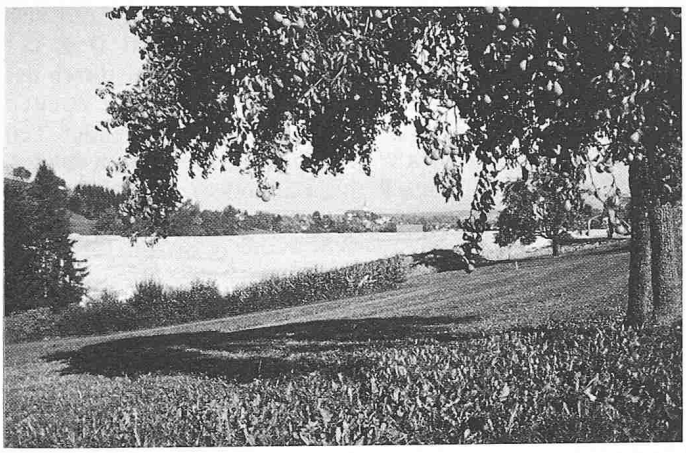


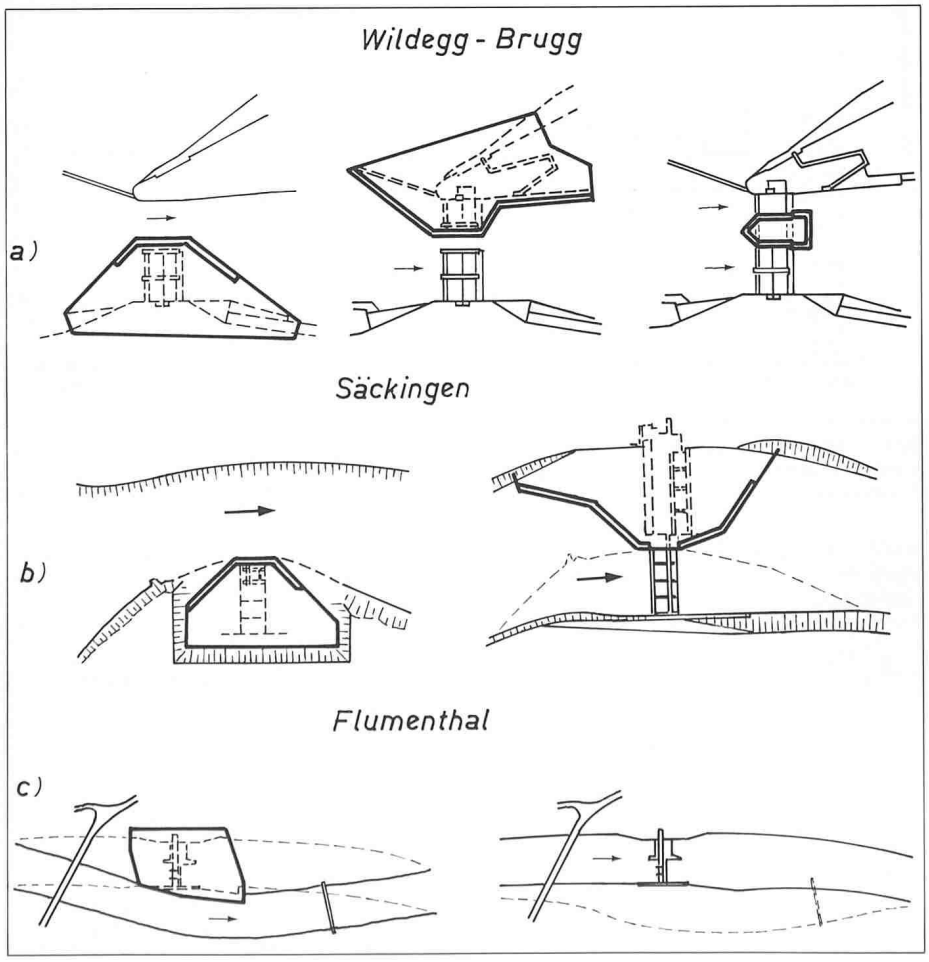
Bild 5. Der Staudamm Greuel bei Muri für den Hochwasserrückhalt am Rüeribach kurz nach der Vollendung im Herbst 1984. Ansicht von Oberwasser. Höhe 16 m, Länge 160 m, Schüttvolumen 50 000 m³ (Foto Motor-Columbus).

Bild 7. Das untere Einlaufbauwerk des Pumpspeicherwerkes Grimsel-Oberaar während des Einschwimmens (1976). Das Betonbauwerk gleicht einem Hohlzylinder mit 21,70 m Durchmesser und 7,25 m Höhe. Sein Gewicht beträgt 1200 t, sein Auftrieb wird durch rund 1000 m³ Polystirol-Hartschaumstoff gewährleistet (Foto IUB).

Rheinkraftwerk Säckingen (Inbetriebnahme 1966), wurden im folgenden gemäss Bild 6b in zwei Baugruben erstellt: Die erste diente am einen Ufer dem Wehrbau, die andere am Gegenufer dem Maschinenhausbau. In der ersten Bauphase drängte sich der Fluss somit durch das eingeschnürte Flussbett, in der zweiten durch das Wehr. Um diese Einschnürung zu begrenzen, wurde der Fluss an der Sperrstelle künstlich verbreitert. So wurde in Säckingen die erste Baugrube mit dem Wehr praktisch an Land erstellt. Nur die zweite Baugrube mit dem Maschinenhaus lag im eigentlichen Flussbett.

Schon Ende der sechziger Jahre wurde der nächste Entwicklungsschritt vollzogen: Gemäss Bild 6c wurde dort, wo es möglich war, nur noch eine einzige Baugrube geschaffen, und zwar *neben* dem Fluss. Darin wurden Maschinenhaus und Wehr in *einem* Zug erstellt. Dann wurde der Fluss korrigiert und durch beide hindurchgeleitet. Auf diese Weise wurde man die Probleme des *Bauens im Wasser* weitgehend los. Bild 6c zeigt als Beispiel die Bauphasen des Aarekraftwerks Flumenthal (Inbetriebnahme 1969).

Bild 6. Entwicklung der Baugruben beim Bau von Fluss-Stauwehren und -kraftwerken. (a) Aarestauwehr Wildegg-Brugg mit drei Baugruben, (b) Rheinkraftwerk Säckingen mit 2 Baugruben, (c) Aarekraftwerk Flumenthal mit nur einer Baugrube und Flussumleitung.



Die Entwicklung beim Bau von Flusskraftwerken oder Flussstauwehren führte also vom Wasserbau weg in Richtung Erdbau. Das heisst, früher wurde mit Caissons und Bauinseln im offenen Wasser gearbeitet, heute nur noch in einer einzigen Baugrube am Ufer, d.h. gleichsam auf der «grünen Wiese». Ein solcher Kraftwerkbau unterscheidet sich dementsprechend kaum noch von irgendeinem Industriebau.

Diese Entwicklung fand übrigens nicht nur in der Schweiz statt, sondern auch im Ausland [5]. Sie widerspiegelt noch in einem anderen Sinn ein Stück Wasserbaugeschichte: Die heutigen Sperrstellen für Flusskraftwerke liegen vorzugsweise an Orten, wo eine Flusskorrektion möglich ist, nicht in Talengen, wo der Flusslauf als solcher hingenommen werden muss.

Moderne Wasserbautechnik

Sucht man nach einer Wasserbautechnik, die (fast) unabhängig von der Erdbautechnik ist, stösst man unweigerlich auf das Einschwimmverfahren. Es zeichnet sich dadurch aus, dass ein Bauteil an Land vorgefertigt und anschliessend auf dem Wasser an seinen Bestimmungsort geschwommen und abgesetzt oder verankert wird.

In der Schweiz wurde dieses Verfahren verhältnismässig wenig angewandt. Ein interessantes Beispiel ergab sich beim Bau des Pumpspeicherwerkes Grimsel-Oberaar. Es ging dort darum, in den bereits bestehenden Stauseen Grimsel und Oberaar je ein neues Einlaufbau-

werk zu schaffen, ohne den Speicherbetrieb wesentlich zu stören, d.h. ohne ausserordentliche Absenkungen. Dabei wurde im Grimsel (Bild 7) wie folgt vorgegangen [6]: Eine normale Absenkperiode des Sees wurde dazu genutzt, das Fundament des Einlaufs zu erstellen. Gleichzeitig und anschliessend wurde der Einlauf selbst auf einem gut zugänglichen Podest vorgefertigt. Dieses war derart angeordnet, dass es bei der nächsten Füllungsperiode des Sees während kurzer Zeit überflutet wurde. Unmittelbar vor der Flutung wurde der käfigähnliche Einlauf mit 1000 m³ Schaumstoffplatten ausgefüllt, so dass er trotz seinen 1200 t Gewicht aufschwamm und mit 4 Motorbooten zum 1,3 km entfernten Einbauort geschoben werden konnte. Dort wurde er während der nächsten Absenkperiode auf sein Fundament gesetzt. Dasselbe Verfahren wurde später auch für den 2800 t schweren Einlauf im Oberaarsee gewählt.

Als weiteres Beispiel ist der Bau von schwimmenden Hafenmolen zu erwähnen. Es gibt davon in der Schweiz heute rund ein Dutzend. Sie werden aus hohlen Betonkasten, die an Land vorfabriziert werden, gleichsam zusammengesteckt, an ihren Einsatzort geschwommen und dort am Seegrund verankert. Bild 8 zeigt einen Querschnitt der etwa 250 m langen schwimmenden Hafenmole Tiefenbrunnen in Zürich. Sie besteht aus 13 bis 300 t schweren Elementen.

Auch im Pipelinebau wurde das Einschwimmverfahren mehrfach benutzt. Die grösste Anwendung in der Schweiz betrifft die Gaspipeline im Genfersee, die rund 100 km lang ist und einen Innendurchmesser von knapp 300 mm besitzt. Sie wurde vom Schiff aus fast wie ein Kabel auf den bis zu 300 m tiefer liegenden Seegrund gelegt.

Eine grosse Bedeutung hat das Einschwimmverfahren naturgemäss in der Meerestechnik. Bei der Verwirklichung des Deltaplans benutzten die Holländer für den Abschluss der Dämme des Verse Gat und des Browershavense Gat Senkkasten von der Grösse eines Mehrfamilienhauses. Diese schwimmfähigen Senkkasten wurden im Trockendock erstellt, gewässert, vor Ort geschwommen, geflutet und dann mit Lockergestein überdeckt. Eine andere Technik wird gegenwärtig beim Bau des Sturmflutwehrs in der Oosterschelde benutzt. Dort werden 66 Betonpfeiler mit Höhen von 35 bis 45 m und einem Höchstgewicht von 17 500 t in einer benachbarten grossen Baugrube erstellt, die anschliessend geflutet wird. Ein Spezialschiff fährt dann dorthin, hebt jeden Pfeiler einzeln an, trägt ihn zur Sperrstelle und senkt ihn an seinem endgültigen Sollstandort ab.

Fast noch spektakulärer nehmen sich einige Bohrplattformen für die Ölförderung aus. Bild 9 zeigt eine Betonkonstruktion in der Nordsee, die im Endzustand eine Höhe von fast 160 m hat und ein Gesamtgewicht von rund 160 000 t. Im Trockendock wird zuerst die sogenannte Bodengruppe erstellt, die anschliessend ins tiefe Wasser bugsiert wird. Dort erfolgt schwimmend der Aufbau der Türme und des Arbeitsdecks. Dann wird das Ganze vor Ort geschleppt und abgesenkt.

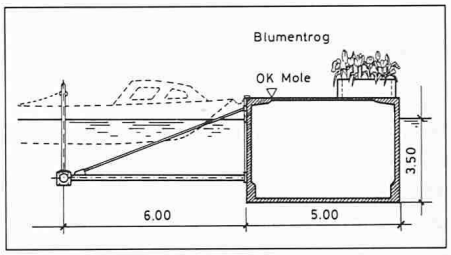


Bild 8. Die schwimmende Hafenmole Tiefenbrunnen in Zürich. Sie besteht bei einer Gesamtlänge von etwa 250 m aus 13 bis 300 t schweren Betonkasten [7]

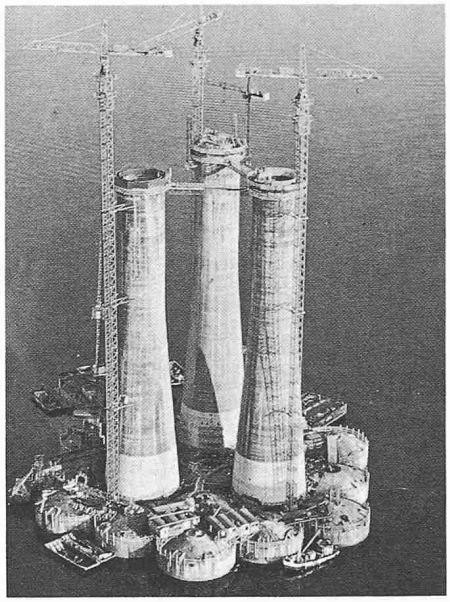


Bild 9. Die «Condeep»-Bohrplattform in der Nordsee. Auf der schwimmenden Bodengruppe werden die drei Pfeiler der Plattform und dann die Plattform selbst aufgebaut. Anschliessend wird das Ganze vor Ort geschleppt und abgesenkt. Gesamthöhe fast 160 m, Gesamtgewicht rund 160 000 t

Wasserbauliche Anlagen

Wie erwähnt, wird mit den Begriffen Wasserbau und Erdbau oft eine spezifische Tiefbautechnik bezeichnet. Im Unterschied zum Erdbau hat der Begriff Wasserbau aber eine umfassendere Bedeutung: *Er bezieht sich auf wasserwirtschaftliche Anlagen schlechthin.* Je nachdem, ob diese dem Menschen nützen oder ihn schützen, spricht man von Nutz- oder Schutzwasserbau mit folgender Gliederung:

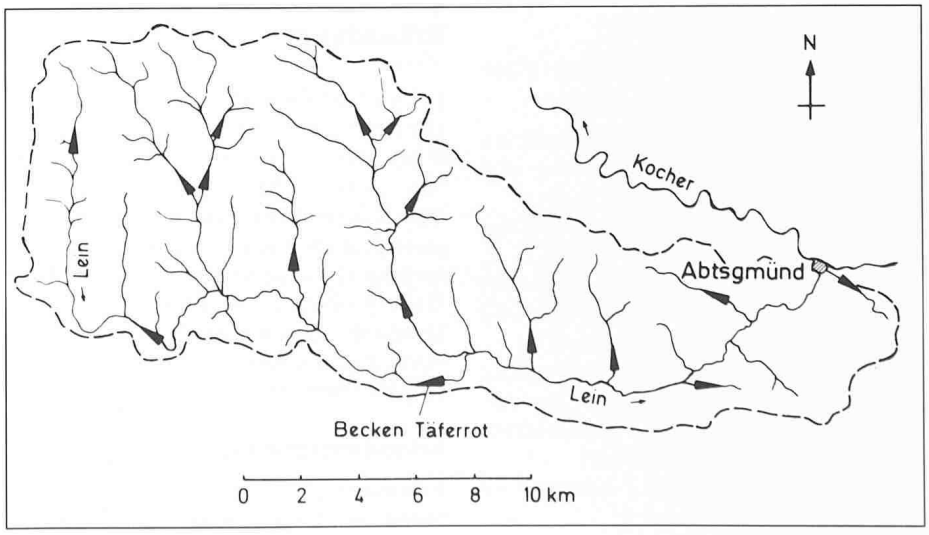
Nutzwasserbau:	Wasserversorgung Bewässerung Wasserkraftnutzung Schiffahrtsanlagen
Schutzwasserbau:	Abwasserbeseitigung Entwässerung Hochwasserschutz

Eine andere Gliederung geht mehr von den unmittelbaren Anwendungsgebieten aus und spricht von Siedlungswasserbau, kulturtechnischem Wasserbau, Flussbau, Küstenwasserbau, Verkehrswasserbau und Wasserkraftwerkbau.

Bei den wasserwirtschaftlichen Anlagen befasst sich der Wasserbauer mit sämtlichen Phasen der Verwirklichung, nämlich mit der Planung, der Projektierung, dem Bau und dem Betrieb.

So sind in neuerer Zeit viele Schweizer Wasserbauer beispielsweise bei grossen *wasserwirtschaftlichen Mehrzweckanla-*

Bild 10. Die 16 Hochwasserrückhaltebecken im Kocher-Lein-Gebiet östlich von Stuttgart. Sie dämpfen die Hochwasserspitze der Lein bei Abtsgmünd von 205 auf 125 m³/s. Ihre Sperren bestehen aus Erddämmen von 8 bis 15 m Höhe. Den grössten Stauraum weist das Becken Täferrot mit 2,2 Mio m³ auf [8]



gen in Entwicklungsländern engagiert. Zu diesen gehört auch der bereits erwähnte Tarbela-Damm. Er staut den Indus auf und vermag 14 000 Mio m³ Wasser (entspricht dem Inhalt des Neuenburgersees) zurückzuhalten. Damit hilft er, das natürliche Wasserdargebot gleichsam auf die Wassernachfrage der Bevölkerung Pakistans abzustimmen, und zwar in den Bereichen Wasserkraftnutzung, Bewässerung und Hochwasserschutz.

Ein weiterer moderner Trend betrifft die *Schaffung von Verbundsystemen.* Nach dem Vorbild des bereits vollendeten Verbundes zwischen den schweizerischen Wasserkraftwerken wird heute in der Schweiz ein Verbund der Wasserversorgung angestrebt. Ähnlich wird im Bereich der Abwassertechnik überregional gedacht und gehandelt; es geht ja letztlich auch dort um eine Verbundwirkung zugunsten des gesamten schweizerischen Gewässernetzes. Zurzeit läuft gerade die Vernehmlassung für ein Bundesgesetz zur Freihaltung von Flüssen im Hinblick auf ein allfälliges schweizerisches Wasserstrassennetz.

Im Bereich des Hochwasserschutzes ist dieser Verbundgedanke leider etwas in Vergessenheit geraten. Er erlebte seine Höhepunkte anlässlich der grossen schweizerischen Flusskorrektionen, zuletzt bei der 1973 abgeschlossenen II. Juragewässerkorrektion. Er müsste heute aber wieder aufleben, um die vielen Hochwasser- und Erosionsschutzprobleme an kleinen Flüssen und Wildbächen zeitgemäss zu lösen. Als Beispiel seien hier die Hochwasserschutzmassnahmen im Kocher-Lein-Gebiet östlich von Stuttgart erwähnt. Dort wurden gemäss Bild 10 insgesamt 16 Hochwasserrückhaltebecken erstellt, die im Verbund die Unterlieger längs den Flüssen Kocher und Lein vor Überschwemmungen schützen. Damit konnten dort grössere Flusskorrektionen vermieden und Spannungen zwischen Anliegen des Schutzwasserbaus und des Naturschutzes abgebaut werden.

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. *D. Vischer,* Direktor der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH (VAW), 8092 Zürich.

Unsicherheit in der Geotechnik

Von Herbert H. Einstein, Cambridge, Massachusetts

Geotechnisch-geologische Unsicherheiten sind unvermeidbar. Eine Übersicht über traditionelle und neuere Methoden zeigt, dass diese Unsicherheiten erfasst und in Bemessung, Planung und Verwirklichung eingeführt werden können. Einige der neueren Methoden bilden die Grundlage für vielversprechende zukünftige Entwicklungen

Einführung und Problemstellung

Unsicherheit und Geotechnik gehen Hand in Hand, und das ingenieurmässige Bearbeiten der Unsicherheit ist so alt wie die Geotechnik. Navier [1] erwähnt schon, dass Unsicherheiten in Reibungswinkel und Kohäsion durch «Wahl der kleinsten anwendbaren Werte» zu berücksichtigen sind; Terzaghi und nach ihm Peck [2] benützten die «Observational Method», um Erdbauwerke anfänglich nicht erkannten Bedingungen anzupassen; Casagrande [3] formuliert das Einführen geotechnischer Unsicherheiten mit seiner Methode des kalkulierten Risikos.

Die Ursachen dieser Unsicherheiten können wie folgt definiert werden:

- Räumliche und u.U. zeitliche Streuung der Materialeigenschaften und Geometrie
- Lastenunsicherheit (Lasten sind nur als Streuwerte bekannt)
- Messfehler (die Information ist durch systematische Messfehler und Zufalls-Messfehler beeinflusst)
- Modellungenauigkeiten (physische und ideelle Modelle sowie geologische Vorstellungen entsprechen nicht ganz der Wirklichkeit)
- Unterlassungen und unerwartete Ereignisse

Es soll deshalb versucht werden, etwas Klarheit über das Bearbeiten, d.h. das Erfassen und Behandeln der Unsicherheit zu schaffen. Dies wird anhand einer Betrachtung und mit Beispielen aus jeder der typischen Phasen von Bau- und Planungsprojekten verwirklicht, nämlich aus der Erkundung, der Berechnung, der Bemessung und Planung und der Verwirklichung. Die beschriebenen Methoden zur Bearbeitung der Unsicherheit sind sowohl traditioneller Art wie auch neuere Entwicklungen, diese vor allem aus den Arbeiten des Verfassers.

Erkundung

Erkundung dient dem Erfassen der Unsicherheit. Sie führt aber nicht unbedingt zum Verringern der Unsicherheit; es ist nämlich durchaus möglich, dass während der Erkundung ein grösserer Streubereich erkannt wird, als ursprünglich angenommen wurde. Zwei Hauptprobleme interessieren in der Erkundung, nämlich die Erkundungsplanung und das Sammeln und Auswerten von Informationen.

Erkundungsplanung

Erkundungsplanung im traditionellen Sinne besteht aus dem Auswählen von natürlichen Aufschlüssen oder von künstlichen Aufschlussmethoden und deren Anordnung. Dabei werden einerseits Einflusszonen des Bauwerkes, anderseits die geologisch-geotechnischen Bedingungen beachtet. Neben diesen technischen Randbedingungen sind auch wirtschaftliche vorhanden, indem die Erkundungskosten in einem gewissen Verhältnis zu den Gesamtkosten stehen müssen. Geotechnisch-geologische Gegebenheiten und wirtschaftliche Bedingungen sind von Unsicherheit geprägt. Allgemein zugängliche Erfahrungswerte, vor allem aber das persönliche Wissen des Geotechnikers und des Geologen, spielen deshalb eine wichtige Rolle in der traditionellen Erkundungsplanung.

Wesentliche Vorteile können gewonnen werden, wenn die Erkundung in die Bemessungs- und Planungsphasen und vor allem in die Verwirklichung weitergezogen wird. Einerseits ist die vom Projekt her nötige Erkundung dann besser bekannt, anderseits sind vor allem während der Verwirklichung

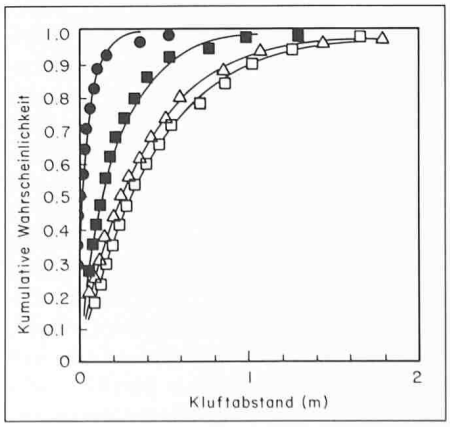



Bild 1. Kluftabstände. Die Streuung folgt im allgemeinen einer Exponentialverteilung