

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 88 (1970)
Heft: 15

Artikel: Schrägbelastete Pfahlgruppen im Modellversuch
Autor: Andres, Franz
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-84476>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 23.02.2026

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

Schrägbelastete Pfahlgruppen im Modellversuch

DK 624.154.001.2

Von F. Andres, dipl. Ing., St.Gallen

Hat eine Pfahlgruppe nur eine vertikale Last zu übertragen, so gestaltet sich die Ermittlung der einzelnen Pfahlkräfte verhältnismässig einfach, und zwar auch dann, wenn allenfalls noch ein Moment dazu tritt. Es muss dabei lediglich die in den meisten Fällen erfüllte Voraussetzung gemacht werden, dass die Steifigkeit des Bankettkörpers, welcher die Pfahlköpfe verbindet, annähernd unendlich gross ist. Normalerweise gelangen in einem solchen Fall nur Vertikalpfähle zur Anwendung, deren Beanspruchung wiederum zentrisch erfolgt. Die Grösse der einzelnen Pfahlkräfte berechnet man mit Hilfe der elementaren Statik.

Bei geneigter Resultierenden gestalten sich die Verhältnisse sofort verwickelter. Zur Bestimmung der einzelnen Pfahlkräfte werden in diesem Falle üblicherweise die Verfahren von Nökkentved [1], Krey [2], Vandepitte [3] herangezogen. In der Literatur sind überdies auch Modellversuche beschrieben, so z. B. von Whitaker [4] und Simek [5]. Während Whitaker leider nur Pfahlgruppen mit ausschliesslich vertikal belasteten Pfählen untersuchte, beschäftigt sich Simek mit ebenen und räumlichen Pfahlrostern, die unter anderem einem Horizontalschub unterworfen werden. Diese letztgenannten Versuche zeigten teilweise stark abweichende Ergebnisse gegenüber denen, wie sie bei den Berechnungen nach Nökkentved oder Vandepitte zu erwarten waren.

Das Problem der schiefbelasteten Pfahlgruppe hat in letzter Zeit hauptsächlich für die Gründung von Brücken im Nationalstrassenbau an Aktualität gewonnen und damit auch die Untersuchung der Frage, wie solche Pfahlroste zu konzipieren und der Spannungsnachweis in den Pfählen zu führen sei. Sowohl bei der Anwendung der obenzitierten Rechnungsmethoden als auch der Auswertung von Modellversuchen gilt es allerdings festzuhalten, dass diese alle von einer Annahme ausgehen, die in den meisten sich in unserer Praxis stellenden Fällen nicht zutrifft: Die genannten Autoren setzen voraus, dass die Pfähle zwar am Fuss in eine Tragschicht einbinden, im übrigen Teil aber bis zur Bankettunterkante völlig frei stehen. Bei unseren Bauvorhaben werden zur Gründung meistens Ortsbetonpfähle verwendet, und aus deren Herstellungsprinzip ergibt es sich von selbst, dass diese bis zum Kopf vom Erdreich umgeben sind und die Bodenoberfläche mit der Bankettkote ungefähr zusammenfällt oder sogar höher liegt.

Bestimmt wird man sich mit vereinfachenden Annahmen von freistehenden Pfählen rechnungsmässig auf der sicheren Seite befinden. Trotzdem interessiert wohl die Frage, wie gross etwa die so gewonnene zusätzliche Sicherheit ist und in welchem Mass sich das Kräftespiel ändert, wenn die Pfahlschäfte im Untergrund eingebettet liegen. Dass der Stützeffekt auch bei ungünstigen, weichen Bodenverhältnissen erhebliche Werte annimmt, lässt sich übrigens durch mathematische Entwicklung der Theorie des seitlich kontinuierlich und elastisch gestützten Balkens sehr gut zeigen.

Entsprechende Angaben aus der Fachliteratur für ganze Pfahlgruppen waren leider keine zu ermitteln, und die nachstehend beschriebenen Versuche an Plexiglasmodellen, durchgeführt im Modelllabor des Ingenieurbüros Zähner & Wenk, St. Gallen, sind bestimmt, diesen nach

unserem Dafürhalten noch ungelösten Problemkreis etwas zu klären. Gleichzeitig benützte man die Gelegenheit, den oft diskutierten Einfluss von schräg angeordneten Pfählen in Pfahlgruppen ebenfalls überprüfen zu können, und es wurden deshalb zwei Modelle von Pfahlböcken hergestellt, nämlich eines mit nur vertikalen Pfählen (Bock A, Bild 1) und eines mit Schrägpfählen 5:1 (Bock B, Bild 1). Die Versuche selbst waren auf folgenden Massstäben aufgebaut: Geometrie 1:20, Spannungen 1:1, E-Moduli 1:7, Verschiebungsmassstab 1:2,86.

Die beiden Modelle wurden nebeneinander in einen grossen Behälter eingebaut (Bild 3). Als Stützmaterial konnte eine mit Zement angereicherte Bentonitsuspension gefunden werden, welche bei Oedometerversuchen eine Zusammendrückbarkeit zeigte, die nach dem Modellmassstab einem plastischen Ton in Wirklichkeit entsprach.

Gemessen wurden die horizontalen und vertikalen Verschiebungen des Pfahlbankettes in Funktion des Quotienten V/H aus vertikaler und horizontaler Belastung sowie die Dehnungen an sieben Punkten des Pfahlschaftes je zweier Pfähle pro Bock unter folgenden vier Versuchsreihen (Bilder 4 bis 7):

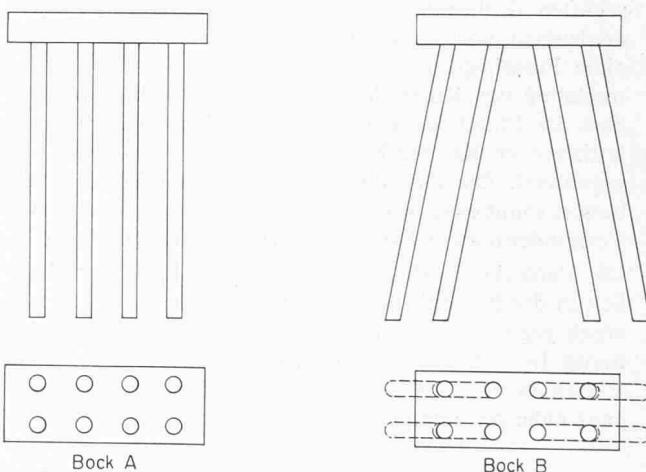


Bild 1. Form der Pfahlbocktypen A und B

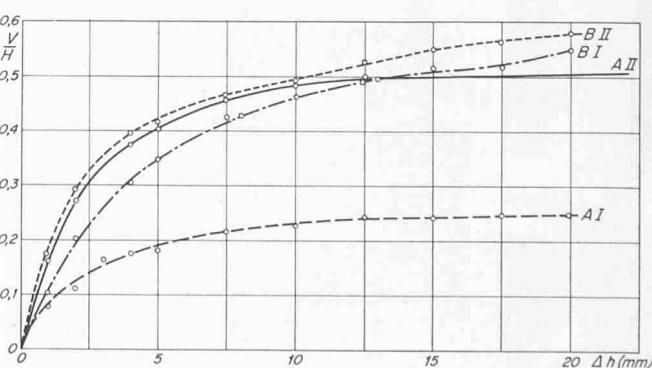


Bild 2. Diagramm der Verschiebungen

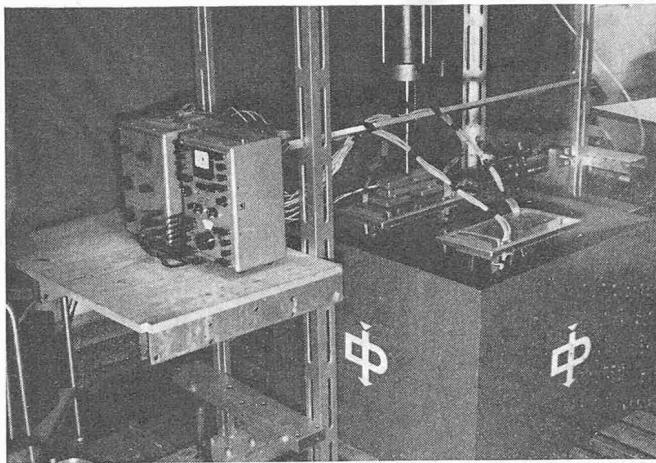


Bild 3. Einbau der Pfahlböcke samt Messanordnung im Behälter

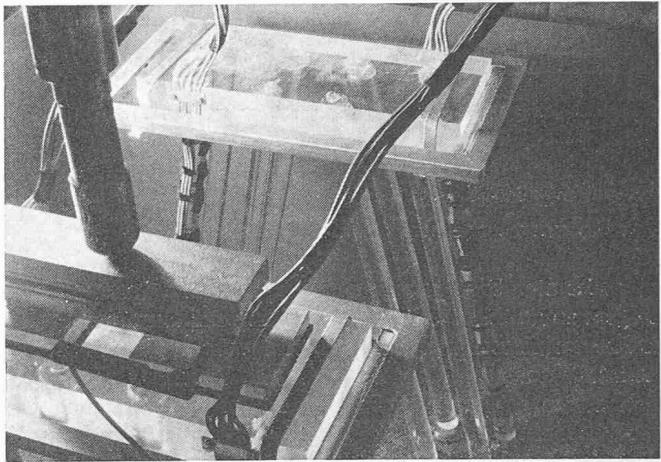


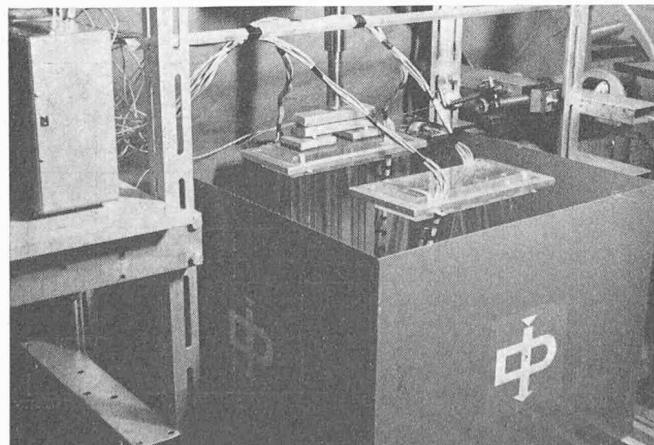
Bild 4. Gesamtansicht der Belastungsanordnung

Bock A (Vertikalfähle)	Pfahlschäfte frei, Serie I
Bock B (Schrägpfähle)	
Bock A	Pfahlschäfte verfüllt, Serie II
Bock B	

Im Zuge der Versuche gab es eine Reihe messtechnischer Probleme zu bewältigen, welche schliesslich mit geringen Ausnahmen befriedigend zu lösen waren. Die angefallenen Messdaten erreichten ein beträchtliches Ausmass, und deren Auswertung benötigte dementsprechend Zeit; die Veröffentlichung des gesamten so gewonnenen Materials würde den Rahmen dieses Aufsatzes weit sprengen. Als zusammenfassendes Ergebnis, das in Bild 2 grafisch dargestellt ist, kann folgendes gesagt werden:

1. Die Ergebnisse der Versuchsserie I mit freien Pfahlschäften decken sich grössenordnungsmässig etwa mit denjenigen von Simek, soweit es bei letzterem Pfähle ohne Fusseinspannung betrifft. Die vergleichsweise Betrachtung von Kurve A I und Kurve B I zeigt überdies, dass der Pfahlbock Typ B der Verschiebung gegenüber horizontalen Kräften beträchtlich mehr Widerstand entgegengesetzt. Die Anordnung von schrägen Pfählen verbessert somit eindeutig die Standfestigkeit und bringt eine Verminderung der Horizontalverschiebung h mit sich.
2. Die Versuchsserie II, in welcher die Pfähle bis zum Bankett in der Bentonitsuspension eingebettet waren (Bild 8) ergab gegenüber der Serie I ein in vielen Teilen verändertes Bild: Die an den beiden Bocktypen gemessenen Verschiebungen in horizontaler Richtung liegen hier ganz nahe beisammen (siehe Kurven A II und B II), was

Bild 5. Gesamtansicht der Belastungsanordnung



die Interpretation zulässt, dass unter diesen Voraussetzungen die Wirksamkeit der Schrägpfähle nurmehr gering geworden ist. Bei einem Verhältnis V/H kleiner als 0,5 liegt der Pfahlbock A mit nur vertikalen Pfählen eingebettet besser als der Pfahlbock B in der Versuchsserie I (vgl. Kurven A II und B I). Sofern der Neigungswinkel der Resultierenden, aus der Senkrechten gemessen, rund 27° nicht überschreitet, wäre somit die Verwendung von geneigten Pfählen überflüssig, beschränkt allerdings darauf, dass sowohl die Untergrundverhältnisse wie die Geometrie der Pfahlböcke denjenigen des angestellten Versuches ungefähr ähnlich sind.

3. Während sich die Kurve beim Pfahlbock Typ A bei zunehmender Schrägstellung der Resultierenden hinsichtlich seiner Stabilität einer horizontalen Tangente nähert (Kurven A), ist dies beim Bock B nicht der Fall. Vermutlich sind die schräggestellten Pfähle in der Lage, immer noch zusätzlichen Widerstand gegen eine Horizontalverschiebung zu mobilisieren, indem die betreffenden Kurven (B) im Bereich des untersuchten Intervales keine horizontale Tangente aufweisen.

Als zudem interessant ist die Beobachtung festzuhalten, dass während des Versuches bei steigendem H in der Versuchsserie II nach Überschreiten von $V/H = 0,5$ sich vorne am Bankett Spalten zu bilden begannen und das «Erdreich» in einem breiten Keil vor dem Pfahl hergeschoben wurde (Bilder 9 und 10, Pfeile bezeichnen die Bruchlinien).

Obschon zur Abklärung der aufgeworfenen Frage die angestellten Versuche nur einen generellen Hinweis zu ge-

Bild 6. Messstellen am Pfahlschaft



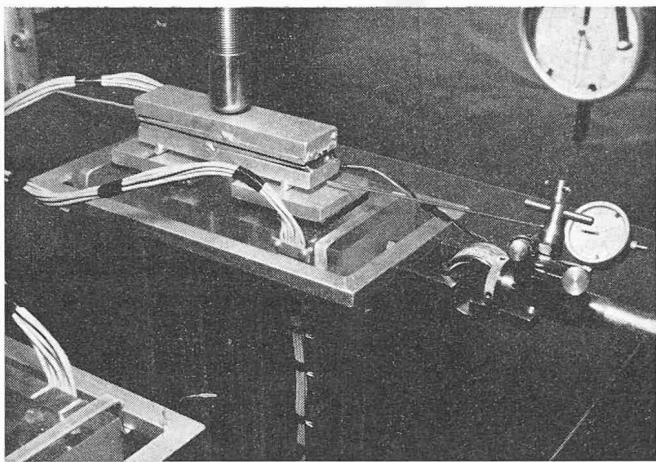


Bild 7. Messstellen am Pfahlschaft

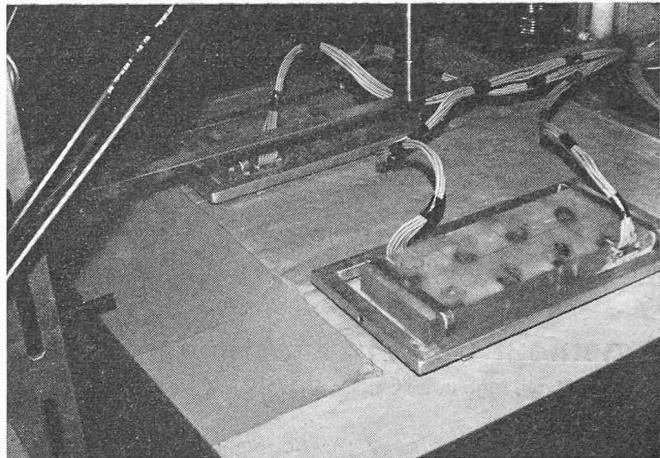


Bild 8. Pfahlbock in Stützmaterial eingebettet

ben vermögen und weitere Bemühungen in dieser Hinsicht unbedingt notwendig sind, lässt sich doch vermuten, dass die stützende Wirkung des Erdreiches bei umschlossenen, schräg beanspruchten Pfahlböcken im Interesse eines wirtschaftlichen Konzeptes wohl nicht einfach übersehen werden darf, machte dieser Einfluss beispielsweise im Rahmen des Versuches die Schrägstellung der einzelnen Pfähle wett. Die Ausführung von geneigten Ortsbetonpfählen ist ohnehin bei den meisten Systemen mit einer gewissen Problematik verknüpft und oft nur für geringe Neigungsverhältnisse möglich. Dadurch erhält die erwähnte Feststellung vermehrte Bedeutung.

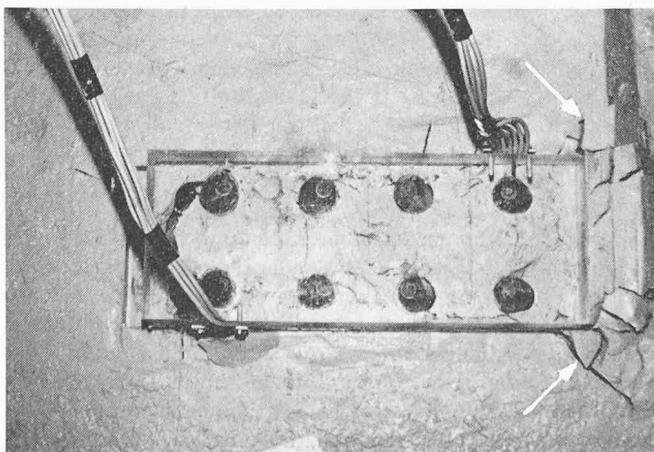
Das Heranziehen des Bodens als stützendes Element ist allerdings nur dann sinnvoll, wenn er stabilitätsmäßig diese Kräfte auch aufzunehmen vermag. Bei ebenen Geländeoberflächen dürfte dies immerhin zutreffen. Anders liegen die Verhältnisse aber bei Pfahlungen in Böschungen oder an Abhängen, an welchen dementsprechend dieses Stützvermögen nicht oder nur in geringem Masse besteht und deshalb auch nicht bei der Bemessung berücksichtigt werden darf.

Das Verfahren Nökkentved zur Berechnung der Pfahlkräfte und Verschiebungen war ursprünglich nur für beidseitig gelenkig gelagerte, freistehende Pfähle konzipiert und liefert im allgemeinen gut übereinstimmende Ergebnisse, sofern die erwähnten Voraussetzungen zutreffen. Für ein- oder beidseitig eingespannte Pfähle, auf welchen Fall das Verfahren später eine Erweiterung erfuhr, ist der Vergleich mit Modellversuchen nicht so positiv ausgefallen. Die plastizitätstheoretische Methode von Vandepitte besitzt

den Nachteil, dass sich die Verschiebung im Betriebszustand nicht ermitteln lässt.

Dem Verfasser ist hingegen kein Verfahren bekannt, das die Berechnung eines Pfahlrostes für beliebige Auflagerungsverhältnisse am Pfahlkopf und Pfahlfuss bei verschiedenen Neigungen bei einer elastischen seitlichen Stützung der Pfahlschäfte erlaubt. Für Einzelpfähle sind solche Berechnungsmethoden bekannt [6], [7] und [8], wobei die horizontale Bettungsziffer nicht unbedingt eine Konstante zu sein braucht, sondern einer einfachen, von der Tiefe x abhängenden Funktion gehorchen kann. Der Übergang zur Pfahlgruppe bringt aber eine derart erhebliche Komplikation mit sich, dass genaue Berechnungsmethoden für beliebige Fälle, auch mit Hilfe von elektronischen Rechenapparaten, kaum denkbar sind. Nökkentved hat mit Hilfe von Prof. A. Ostenfeld seine Theorie nachträglich nochmals erweitert, um das Auftreten von passiven Kräften, deren Größe direkt von der Verschiebung des Pfahlrostes abhängt, mit einbeziehen zu können, sofern diese als Einzelkräfte im Überbau auftreten. Wollte man aber diese Methode auf die Erfassung von passiven Erddräcken längs den Pfahlschäften anwenden, überschreiten die Verwicklungen ein auch nach heutigen Massstäben gesehenes Mass an Aufwand. Nachdem aber in der Praxis immer wieder bestimmte Typen von Pfahlbündeln auftreten, welche oftmals eine Symmetrieebene besitzen, wäre es wünschenswert, für diese «Normalfälle» Näherungslösungen zu entwickeln, welche durch einen Elektronenrechner numerisch verarbeitet werden können. Bestrebungen in dieser Richtung sind im Gange.

Bilder 9 u. 10. Aufbrechen des Stützmaterials bei zu hohen Horizontalbelastungen



Literaturverzeichnis

- [1] Nökkentved, C.: Berechnung von Pfahlrosten, Wilh. Ernst und Sohn, Berlin 1928.
- [2] Krey, E.: Erddruck, Erdwiderstand und Tragfähigkeit des Baugrundes, Wilh. Ernst und Sohn, Berlin 1936.
- [3] Vandepitte, D.: Het draagvermogen van paalfunderingen, «Ann. Trav. publ., Belg.», 1953.
- [4] Whitaker, Th.: Experiments with model piles in groups, «Géotechnique», Band VII, 1957.
- [5] Simek, J.: Résultats d'observations de l'influence d'une force

- horizontale sur des groupes de pieux, «Sols-Soils», No 18—19, 1966.
- [6] Titze, W.: Pfahlwiderstand gegen waagrechte Kräfte, Diss. TH Wien, 1932.
- [7] Andres, F.: Beanspruchung vertikaler Pfähle unter Horizontalschub, SBZ 84, 1966, H. 47, S. 826.
- [8] Matlock and Reese: Foundation Analysis of Offshore Pile Supported Structures, Proceedings, 5th Int. Conf. on S.M., Paris, Band II, 1961.

Adresse des Verfassers: Franz Andres, dipl. Ing. ETH, 9016 St. Gallen, Kesselhaldenstrasse 61a.

Ingenieur und Entwicklungshilfe

Von H. Wyss, Ingenieur, Corsier

Der Aufsatz «Wasser für Thessalien»¹⁾ behandelt ein Entwicklungsproblem. Die Art und Weise, wie dieses angefasst wird, ist für den Ingenieur interessant und dürfte in verschiedener Beziehung wegweisend sein. Es wird eine Fülle von Informationen und Möglichkeiten verarbeitet und elektronisch auf die bestmögliche «Rendite» ausgewertet. Bedauern möchte man, dass im besagten Aufsatz fast nur die technischen Gesichtspunkte beleuchtet werden und die menschlichen Probleme, die doch sicher bedeutend sind, übergangen worden sind. Es fehlt sozusagen der «Schritt zurück»²⁾.

Bei allen solchen Projekten kommt es nicht nur auf die Mitarbeit der Regierung des betreffenden Landes an, sondern ganz besonders auf die Einstellung der Bevölkerung, auf die Ausbildungswilligkeit und auf den Nachwuchs an gelerntem Personal, das für solche Riesenanlagen in entsprechendem Masse vorhanden sein muss. Es ist nicht übertrieben, zu sagen, dass die technische Planungsarbeit den kleineren Teil, die menschliche Vorbereitung dagegen den grösseren Teil der Aufgabe darstellt.

Die Gefahr der «Technisierung» ist bei allen Entwicklungsproblemen mehr oder weniger stark vorhanden und teilweise auch schuld an den vielen Misserfolgen wie auch am Misstrauen, das heute in breiten Teilen der Bevölkerung der Entwicklungshilfe entgegengebracht wird.

Was hat Entwicklungshilfe mit der Mondfahrt zu tun?

Man ist versucht, einen Vergleich zu ziehen mit dem Aufwand, der nötig war, um Menschen auf dem Mond landen zu lassen. Es war dies zugegebenermassen ein verlockendes und technisch äusserst interessantes Ziel. Auch darf man sich aufrichtig freuen über die Art und Weise, wie dieses Unternehmen gegückt ist.

Es ist jedoch nicht zu vergessen, dass es sich in der Hauptsache um eine technische und organisatorische Leistung handelte, die ein «einfaches» und allen erkennbares Ziel im Auge hatte. Man kann sagen, dass es beim heutigen Stand der Technik leichter ist, einen Menschen auf den Mond zu senden als eine einigermassen wirksame Entwicklungshilfe zu organisieren.

Nachdem nun das Ziel: die Mondlandung, erreicht und wiederholt worden ist und bereits weitere Pläne der Welt Raumforschung in Rede stehen, dürfte es an der Zeit sein, den «Schritt zurück» zu tun und sich zu fragen: Welches ist die dringlichere Aufgabe, dem Hunger in der Welt zu steuern oder weitere, aufsehenerregende Raumfahrten zu unternehmen? Mit anderen Worten: Welcher Aufwand für Raumforschung lässt sich angesichts der ungelösten Entwicklungsprobleme

heute noch rechtfertigen? Die Frage ist für die Schweiz weniger aktuell, und doch stellt sich auch bei uns das dringende Problem eines grösseren Einsatzes in der Entwicklungshilfe. Es muss einer kein Prophet sein, um vorauszusehen, dass, wenn die Dinge so weitergehen wie heute, die Welt einer Krise entgegengesetzt, der auch die wohlhabenden Völker nicht werden ausweichen können. Es ist nicht die Art des Schweizers, einem solchen Lauf der Dinge einfach tatenlos zuzusehen.

Diejenigen von uns, welche die beiden Weltkriege miterlebt haben, haben aus eigener Erfahrung folgendes feststellen können: Im Ersten Weltkrieg war in unserem Lande wenig vorbereitet; viele Menschen in der Schweiz litten wirklich Not, und die Unzufriedenheit endete im Generalstreik. Im Zweiten Weltkrieg durften wir das Ergebnis einer weitblickenden Vorsorge von Männern unserer Regierung erfahren. Wir mussten keine eigentlichen Entbehrungen auf uns nehmen, und der Gesundheitszustand der Bevölkerung war erwiesenermassen besser als in normalen Friedenszeiten. Warum sollten wir nicht versuchen, einer kommenden und unvermeidlichen Krise zu begegnen, soweit es in unseren Kräften steht, und ihr die Schärfe zu nehmen, anstatt in resigniertem Fatalismus sie auf uns zukommen zu lassen?

Was tut die Schweiz heute in der Entwicklungshilfe?

Eine gute Orientierung über die bisherige Tätigkeit der Schweiz auf diesem Gebiet erhält man durch:

- 1) Die Botschaft des Bundesrates vom 21.5.69 über die Fortsetzung der technischen Zusammenarbeit. Es wird darin ein Rahmenkredit von 180 Mio Fr. für die nächsten drei Jahre beantragt (er ist seither von den Räten gutgeheissen worden).
- 2) Die Botschaft des Bundesrates vom 28.5.69 über die Fortsetzung der internationalen Hilfsmassnahmen. Hier wird ein Kredit von 50 Mio Fr. für die Jahre 1970, 1971 und 1972 für diesen Zweck beantragt (von den Räten ebenfalls genehmigt).

Unter internationale Hilfsmassnahmen fallen hauptsächlich humanitäre Werke wie Flüchtlingshilfe, Katastrophenhilfe (Überschwemmungen, Erdbeben, akute Hungersnot usw.), Rotes Kreuz (Biafra, Vietnam) usw. Solche Anstrengungen sind dem Publikum im allgemeinen einleuchtend und entsprechen besser schweizerischer Tradition. Es darf aber nicht übersehen werden, dass dabei meistens nur provisorische Lösungen erzielt werden, da das Übel nicht an der Wurzel gefasst wird.

Nur die eigentliche Entwicklungshilfe, die unter 1) als technische Zusammenarbeit bezeichnet wird und die, recht verstanden, den Entwicklungsländern als Starthilfe für die weitere Entwicklung dienen soll, kann schliesslich zu einer wirklichen Besserung der Lage in der dritten Welt führen. Krass ausgedrückt könnte man sagen: Humanitäre Hilfe bekämpft die Auswirkungen, Entwicklungshilfe dagegen die Ursachen der Not. Es ist notwendig, die beiden auseinanderzuhalten. Trotzdem ist es international üblich, die humanitäre

¹⁾ SBZ 87 (1969) H.2, S. 23—27.

²⁾ s. die Einführungsvorlesung von Prof. Jörg Schneider «Über den Rang der Entscheidung in der Arbeit des Ingenieurs», SBZ 87 (1969) H. 1, S. 1, der uns fragen lässt: Ist das praktisch realisierbar? Hat es einen Sinn?