

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 111/112 (1938)
Heft: 23

Artikel: Geotechnik in Finnland
Autor: Moos, Armin von
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-49957>

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: 09.02.2026

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

wird. Wo ein Gebäude vom Ausgangspunkt nicht übersehen werden kann, wird dafür gesorgt, dass es zunächst überhaupt nicht sichtbar wird, und erst von einem weiteren Ausgangspunkt ins Bild tritt.

3. Die Gestaltung des Raumes im Ganzen, ebenso wie die Stellung und Teilung des einzelnen Baues, rechnet stets mit der Landschaft. Konturen von Hügeln und Baumgruppen, Richtungen von Flussläufen und Meeresarmen, die Orte des Sonnenaufgangs und -untergangs bilden stets wichtige Elemente der Ordnung. Sie treten in Beziehung zu den Linien und Massen der Gebäude, ergänzen sich als Silhouetten, schaffen einen überlegten Zusammenhang zwischen Bauwerk und Landschaft.

4. Der Weg, der den Betrachter vom Ausgangspunkt durch den Bezirk führt, bildet das eigentliche Rückgrat der Anlage und wird darum von Bauten freigehalten. Bei den Anlagen des dorischen Stiles bildet dieser Weg eine den Blick auf die Natur freigebende Axe, die oft nach Osten oder nach Westen orientiert ist, um die Beobachtung des Sonnenaufgangs oder -untergangs zu ermöglichen. Bei den Anlagen des jonischen Stiles wird gesucht, den Raum zu schliessen, ohne jedoch zum späteren römischen und barocken System des durch den Bau in der Axe geschlossenen Raumes überzugehen.

5. Aus der Teilung des Raumes in Sektoren von bestimmten Winkeln (Grössenverhältnissen) ergibt sich ein Zusammenspiel von im Gleichgewicht stehenden Elementen (Bauten, Gebäudegruppen, Bergsilhouetten, Ausblicken), ohne dass eine Symmetrie im Sinne der früheren (ägyptischen, assyrischen usw.) oder der späteren (römischen, barocken) Anlagen gesucht würde. Bei den Anlagen des dorischen Stiles bildet der mittlere Weg die Axe dieser Gleichgewichtsordnung.

6. Die Untersuchung einer Reihe von Beispielen zeigt, dass auch im Laufe der Jahrhunderte vorgenommene Veränderungen (Aufstellung oder Entfernung von Bauten, Altären, Standbildern usw.) in das System eingefügt werden konnten, dass es also zeitlich nicht starr war, sondern die planvolle Erweiterung und Ausdehnung erlaubte.

Doxiadis untersucht schliesslich die Frage, wie weit das beschriebene System durch schriftliche Äusserungen und durch die Anschauungen der griechischen Philosophie bestätigt werden könne. Solche direkte Hinweise fehlen deshalb, weil ausser dem römischen Vitruvius keine Schriften über Architektur erhalten sind. Aus den griechischen Philosophen ergeben sich jedoch folgende indirekte Hinweise:

1. Die gesamte griechische Philosophie nahm eine gesetzmässige, geometrische Struktur des Weltganzen an, wobei die Erde den Mittelpunkt eines kugelförmigen Weltraumes bildet. So wird bei Homer die Welt in fünf gleiche Teile geteilt, während die Pythagoräer eine Ordnung der Welt auf Grund des gleichseitigen Dreiecks — also eine Zwölftteilung annahmen.

Ebenso spielen die Zahlen — vor Allem die Zahlen 10 und 12 — in der griechischen Philosophie eine bedeutende Rolle. Bestimmte Winkel und Zahlen waren einzelnen Gottheiten geweiht.

2. Die Frage der Endlichkeit oder Unendlichkeit des Raumes wurde von den Griechen als entscheidend angesehen, fand aber keine einheitliche Beantwortung. Die Jonier betrachteten den Raum als unendlich, die übrigen Griechen (Altgriechenland und westliche Kolonien) als geschlossen und endlich. In der Kunst würde nach Doxiadis eine Umkehrung des Verhältnisses stattfinden. Die Jonier suchen ihre Anlagen dem Unendlichen gegenüber zu schliessen, sie bevorzugen die Zehnteilung. Die übrigen Griechen suchen umgekehrt die offene Anlage auf Grund der Zwölftteilung des Raumes, d. h. sie haben keine Furcht vor dem Unendlichen.

3. Einen direkten Hinweis könnte eine oft zitierte Stelle aus den «Politika» des Aristoteles geben, wo ein *νεώτερος καὶ ἰσχυρότερος τρόπος*, ein neues hippodamisches System, einem *αρχαιότερος τρόπος*, also alten System, gegenübergestellt wird. Doxiadis stellt die Frage, ob man in dem alten System die von ihm nachgewiesene Raumordnung und im neuen System die Gestaltung einer Stadt auf Grund der rechtwinkligen Axen erblicken dürfe.⁴⁾

4. Doxiadis führt schliesslich das ganze System der griechischen Raumordnung darauf zurück, dass für den Griechen der Mensch der Masstab aller Dinge und somit auch das Zentrum und der Ausgangspunkt für die Gestaltung des Raumes ist. Ebenso ist der Wille zur Klarheit, die Beziehung zur Natur ein Grundzug des griechischen Altertums. In welcher Beziehung hierzu entgegengesetzte, auf absolutistischen Anschauungen beruhende Systeme, wie die früheren östlichen und die späteren römischen und barocken Anlagen, stehen mögen, wird vom Verfasser höchstens angedeutet.

Wir möchten im Uebrigen die einem Referat gebotenen Grenzen nicht überschreiten, so sehr die durch die Arbeit von Doxiadis aufgeworfenen Fragen dazu reizen würden, wollen aber nicht verfehlen, unsern Kollegen das persönliche Studium des schon durch das reiche Material an Grundrissen wertvollen Buches zu empfehlen. Es ist daraus, bei aller historischen Bedingtheit der Frage, für unsere in vagen Begriffen und Geschmacksurteilen stecken gebliebene Architektur allerhand Nützliches zu lernen.

⁴⁾ Auf die selbe Aristoteles-Stelle bezieht sich auch Josef Gantner in seinem Buch «Grundformen der europäischen Stadt», das einen der wenigen Versuche darstellt, in die Fragen der Stadtbaukunst von der Seite ihrer Kompositionsgesetze einzudringen und im Wesentlichen zur Formulierung zweier «immanenter» Grundformen — der «regulären» und der «irregulären» Stadt gelangt. Dieser Theorie entsprechend würde es sich bei Aristoteles um die «reguläre» und «irreguläre» Stadtform handeln, was durch die Untersuchungen von Doxiadis allerdings in Frage gestellt wurde.

Geotechnik in Finnland

Von Dr. ARMIN VON MOOS, Geologe, Zürich

Der Erdbaukurs, der im Frühjahr 1938 an der Eidg. Techn. Hochschule in Zürich abgehalten wurde¹⁾, versuchte ein erstes Mal in der Schweiz erdbauliche Fragen in zusammenfassender Weise und von verschiedenen Gesichtspunkten aus darzustellen. Der grosse Erfolg, den der Kurs zeitigte, war ein Beweis für das Interesse, das auch in der Schweiz dieser, besonders in den verflossenen Jahren aktuell gewordenen erdbaulichen Wissenschaft entgegengebracht wird.

Dass Ingenieure und Geologen, wie auch die schon 1899 gegründete schweizerische geotechnische Kommission verhältnismässig spät diesen Grenzgebieten Fragen vermehrte Aufmerksamkeit zugewendet haben, hängt wohl einerseits damit zusammen, dass durch die zahllosen Tunnel- und Staumauer-Fragen die technischen Probleme der festen Gesteine in den Vordergrund gerückt waren und andererseits, dass die lockeren Gesteinsarten in der Schweiz auf kleinem Raume komplex und wechselreich gelagert sind. Indessen wurde in unzähligen Gutachten über alarmierende Rutschungen, unerwartete Setzungen, undichte Dämme und Ufer²⁾, ferner in Laboratoriumsberichten ein reiches Material gesammelt, das erst zum Teil zu systematischen Abhandlungen und Zusammenfassungen verarbeitet ist. Hier müssen vor 1930 genannt werden die Arbeiten von Culmann, Heim, Lugeon, Hug, Wiegner, Burger, Hugentobler (Seeabdichtungskommission), Hugi, Gerber usw.

¹⁾ Dessen Vortragszyklus ist nun in Druck erschienen (200 Druckseiten, 49, 320 Abb.), zu beziehen beim Institut für Erdbauforschung E. T. H., Zürich. Preis 11 Fr.

²⁾ Vergl. z. B. die Uferabrutschungen in Horgen 1875 in «Eisenbahn» Bd. 4, S. 177*; Zug 1887 Bd. 11, S. 19* ff.; Ritomsee Bd. 74, S. 51*, 181* und Bd. 75, S. 129*; Davosersee Bd. 82, S. 55*; Achensee Bd. 93, S. 170*; Vevey Bd. 101, S. 231*.

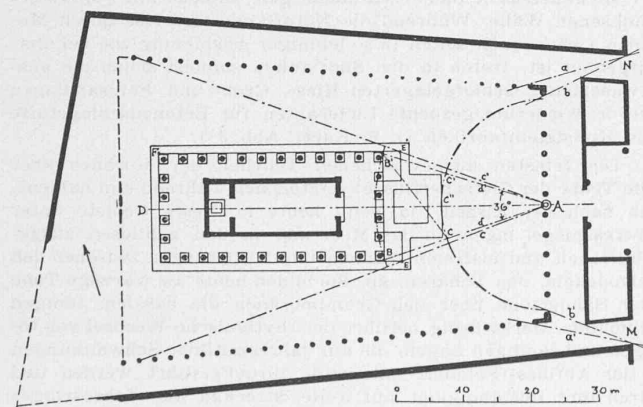


Abb. 5. Römischer Tempel von Palmyra, 1. Jahrhundert v. Chr.
Grundriss 1 : 1000

a) Bauten: Geschlossene Hofanlage mit axialem Eingang A und zwei Nebeneingängen M und N, die die Aufgabe hatten, die Verbindung mit der hinter dem Tempel liegenden grossen Säulenstrasse herzustellen, ohne die Abgeschlossenheit des Tempelhofes zu stören (siehe auch die Ausbildung der Ecksäulen). Tempel mit Treppenvorplatz und Altar.

b) Blickrichtungen: Der Tempel mit Treppenanlage erscheint in einem mittleren Sektor von $36^\circ = 180^\circ : 5$. Zwölftteilung des Raumes bei axial geschlossener — also bereits römischer — Anlage!

c) Abstände: Eingang A — vordere Tempelecken — 25,5 m; Eingang A Anfang der Freitreppe = 15,75 m. Die beiden Abstände verhalten sich wie 0,618 : 1 = goldener Schnitt, wobei der kleinere Abstand aus dem grossen geometrisch durch Halbieren des Basiswinkels A B' B eines gleichschenkligen Dreiecks mit dem Winkel 36° bestimmt wurde.

Es waren Unglücksfälle, verursacht durch plötzliche Rutschungen, die in den nordischen Ländern die Eisenbahnverwaltungen verhältnismässig früh veranlassten, den erdbaulichen Fragen vermehrte Aufmerksamkeit zu widmen. Führend war Schweden, dessen geotechnische Kommission der Staatsbahnen unter Fellenius, v. Post, Blidberg, Olsson schon 1913 gegründet wurde und 1922 den bekannten Schlussbericht über die ausgeführten geotechnischen Untersuchungen, der für die skandinavischen Länder wegleitend war, herausgab. Zugsentgleisungen, verursacht durch plötzliche Dammsenkungen, liessen nach der Selbständigmachung Finnlands 1918, ebenfalls bei der Eisenbahnverwaltung, die finnische geotechnische Kommission 1919 bis 1926 entstehen. Im Jahre 1921 wurde dann das geotechnische Bureau an der finnischen Staatseisenbahn gegründet, das seither von dem bekannten nordischen Geotechniker Dr. Thord Brenner, assistiert von Ing. Forstén, geleitet wird.

Welches sind nun aber die geologischen Voraussetzungen, die in den nordischen Ländern, besonders etwa in Finnland, erdbauliche Fragen aktuell gemacht haben?

Im Gegensatz zur Schweiz, deren Gesteine und Bergformen Produkte der allerjüngsten geologischen Geschichte sind, wurden die Granite, Gneise, Sandsteine und spärlichen kristallinen Kalksteine, die die heutige Felsunterlage Finnlands bilden, schon vor dem Kambrium (Paläozoikum) gebildet und blieben seit jener, dem Altertum der Erde angehörenden Periode, die in der Schweiz keine Spuren hinterlassen hat, von Gebirgsbildungen und vulkanischen Ereignissen geschützt. Im Laufe der seither verflossenen Jahrtausende schufen aber die von aussen wirkenden Kräfte aus den alten Gebirgen eine weite Felsrumpffläche, siehe Abb. 2.

Ebenso wie in der Schweiz hat die Bildung der geotechnisch wichtigen *lockeren* Ablagerungen auch in Finnland in der Eiszeit eingesetzt. Unter, und vor allem vor dem hauptsächlich NW-SE fliessenden Eispanzer, der den Jahrtausende alten Schutt hinwegschürfte und der bis weit nach Russland und ins Baltikum hineinreichte, bildeten sich, wahrscheinlich durch grössere Ströme, mächtige aus Kies und Sand bestehende, radiale Wälle, sog. Ose (Wallberge, siehe Abb. 1 und 2). Sie sind heute in Finnland die wichtige Quelle für den technischen Kies- und Sandbedarf. So wird gegenwärtig ein solches Os 6 km von der Baustelle entfernt

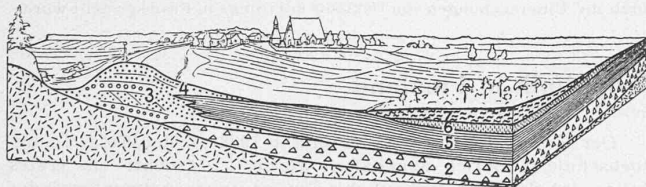


Abb. 1. Schema des Baugrundes von Südfinnland (nach Sauramo)
1 Felsuntergrund, 2 Grundmoräne, 3 Os (Wallberg), 4 Sandige Strandbildung, 5 Tonablagerung, 6 Faulschlamm, 7 Torf und Moor



Abb. 3. Sand- und Kiesgrube einer Kunststeinfabrik bei Karis (SW-Finnland), Abschwemmfläche auf der Südseite des ersten Salpausselkä (Endmoräne). Abb. 3, 4, 5 Phot. v. Moos



Abb. 2. Wallberg oder «Os» (Punkaharju) den Saimasee querend. Träger der Verkehrswege: vorn die Strasse, dahinter von links einmündend die Eisenbahn

für die Betongewichtsmauer des Stauwerkes Harjavalta in Westfinnland ausgebeutet, wobei in der einen Grube, die direkt in einem Oshügel liegt, mächtige Steine und grobe Kieslagen, die deltaförmig gelagert sind, abgebaut werden, während nur 100 m daneben, im Abschwemmfläche, der zum Teil als Strandbildung ausgebildet ist, gebrauchsfertiger Grob- und Feinsand ausgeschürft wird. Häufig queren die viele Kilometer langen Oswälle die in den durch Gletscher ausgekolkten Felswannen ruhenden Seen und bilden für Strasse und Bahn willkommene Dämme, wie etwa in Punkaharju im Saimasee (Abb. 2), einer der landschaftlichen Höhepunkte Finnlands. Zugleich liefern die Ose für die noch selten mit Belägen versehenen, oft recht staubigen Strassen Finnlands das Unterlagsmaterial; gleichzeitig auch das in allen finnischen Städten und Marktflecken noch verbreitete «Katzenkopfpflaster».

Die weiten Schotterebenen der Schweiz, unsere wichtigsten Sand- und Kieslieferanten, fehlen Finnland fast vollständig. Dagegen sind die uns wohl bekannten Endmoränen dort von imponierender Ausdehnung. So quert die eine grosse Endmoräne, der 1. Salpausselkä, Südfinnland in zwei grossen, über 400 km messenden Bogen von Hangö an der Südwestküste bis nördlich des Ladogasees in Karelien. Als Träger der Verkehrswege (z. B. der Bahn von Hangö Richtung Lahti und zwischen Lahti und Elisenvaara) und als Abschlussbarriere grosser Seesysteme (Saimasee) hat er ausserordentliche wirtschaftliche Bedeutung. Typisch ist der asymmetrische Bau dieser mächtigen, zumeist mit Föhren bewachsenen Wälle. Während die Nordflanke teilweise durch Moränen (wenn auch selten in so lehmiger Ausbildung wie bei uns) aufgebaut ist, treten in den Südflanken zumeist schon die ausgewaschenen, schiefgelagerten Kies-, Grob- und Feinsandlagen hervor, wiederum gesuchte Lieferanten für Betonzuschlagstoffe und Kunststeinfabriken (z. B. Karis, Abb. 3²⁾).

Die feinsten ausgewaschenen Teilchen der Moränen aber (die Trübe der Gletscherflüsse) setzten sich während und namentlich nach der Eiszeit, da weite heute landfeste Gebiete unter Meeresspiegel lagen, in das Meer und in den zahllosen ausgeschliffenen und eisfreien Wannen und Niederungen zwischen den Felsbuckeln, den Schären, ab. Sie bilden heute als warwige Tone oder Bändertone über den Grundmoränen die basalen, tonigen Schichten. Merkwürdig berührt der rhythmische Wechsel von tonigen und sandigen Lagen, die auf jahreszeitliche Schwankungen in der Abfluss-(Schmelz-)intensität zurückgeführt werden und durch ihre Beständigkeit auf weite Strecken als «Jahresringe» für die chronologische Berechnung der Dauer der einzelnen Rückzugsphasen des Eises verwendet werden. Später verwandelte sich das süsse Binnenmeer, in dem sich die Bändertone gebildet hatten, in ein salziges offenes, dann nochmals in ein süsses und abermals in ein salziges Meer. In diesen Zeiten lagerten sich zwischen den Felsmulden und über den warwigen Tonen, genährt durch die Schmelzwässer der schwindenden Gletscher, erneut, aber jetzt unregelmässig geschichtete Tone ab. Allmählich begann das Land sich zu heben; dieses Auftauchen hält noch heute an, beträgt bei Vasa am Bottnischen Meerbusen rd. 77, bei Hangö am Fin-

²⁾ Eine analoge Bildung, der allerdings die eigentliche Moräne fast ganz fehlt, findet sich in der Schweiz: Die Hurdener Halbinsel im Zürichsee, ein Abschwemmfläche vor dem sich zurückziehenden Linthgletscher, mit ihren Verkehrsfunktionen und dem schon über 50 Jahre dauernden (Quaierstellung Zürich 1882–85) Sand- und Kiesabbau (vgl. «SBZ» Bd. 102, S. 20*).

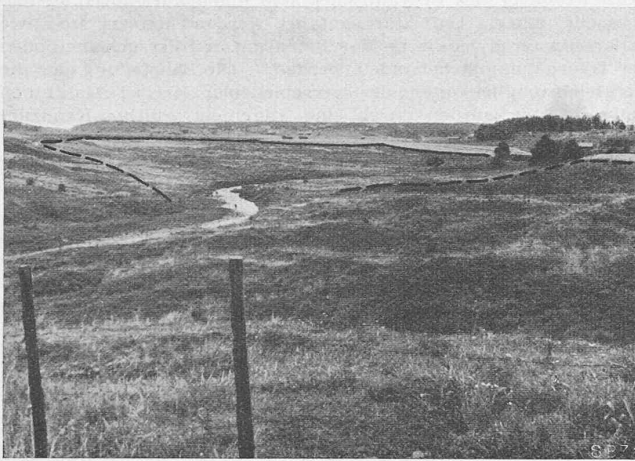


Abb. 4. Durch zwei flache Rutschungen gestörte Tonebene bei Halikko, SW-Finnland. Bewaldete Kuppen sind Fels (wie in Abb. 5)



Abb. 5. Rutschgebiet bei Halikko; unbewaldet = Ton. Gestrichelt die durch Rutschung gefährdete, nach links verlegte Bahnlinie

nischen Meerbusen etwa 50 cm im Jahrhundert. Gleichzeitig wurde der alte Meeresboden landfest, in abgeschlossenen Becken setzten Verlandungsprozesse unter Faulschlamm- und Torfbildung ein (siehe Abb. 1).

Diese relativ rasche Hebung des finnischen Festlandes, der die einsägigen Flüsse in dem harten Fels nicht folgen konnten, ist Ursache der zahllosen Fälle und Stromschnellen, die in zunehmendem Masse durch Wasserkraftanlagen ausgenützt werden (vorhandene Wasserkräfte 1800 000 PS, davon 1935 ausgenützt 380 000 PS). So ist das 67 m betragende Gefälle des Wuoksiflusses in Ostfinnland mit 67 000 km² (!) Einzugsgebiet und durchschnittlicher Wasserführung von 600 bis 700 m³/sec, das das Saima-seesystem entwässert, demnächst durch drei Stufen vollständig ausgebaut (Imatrawerk vollendet, Ensowerk begonnen, Rouhialawerk 1937 vollendet) und hat Veranlassung zur Gründung einer wichtigen modernen Industriesiedelung (Holzverarbeitung, Kupferverhüttung, chemische Industrie usw.) in der unmittelbaren Umgebung der Werke gegeben.

Südfinnland, das dichtest besiedelte Gebiet des über den Polarkreis hinausreichenden Landes, hat heute etwa folgendes Gepräge: Relativ niedere (die grössten Höhen betragen in Südfinnland nicht über 200 m) glattgeschliffene Felsbuckel, an denen noch häufig die Schrammen der darübergleitenden blockgespickten Gletscher sichtbar sind; Ose und Moränenhügel der Gletscher wechseln mit flachen, oft sehr weiten und fruchtbaren tonigen Niederungen, die häufig noch mit Seen bedeckt, oft aber schon verlandet sind. Die Städte (Helsingfors, Abo, Wiborg etc.), die ihre wenigen massiven alten Steinbauten auf die Felsbuckel stellten (z. B. Dom von Abo, Schloss von Wiborg), während die leichten, zumeist einstöckigen Holzhäuser auf den Tongebieten in der Regel keine Schwierigkeiten bereiteten, schieben heute ihre sechs- und zehnstöckigen schweren Häuser mehr und mehr auch auf die weiten Tonebenen hinaus und auch die z. T. auf Dämmen angelegten Verkehrswege können diese nicht meiden.

Das Dominieren dieser weichen, oft noch wenig konsolidierten, stellenweise durch organische Beimengungen noch besonders belastungsempfindlich gewordenen Tone in grossen Gebieten von Südfinnland, auch in Schweden und Norwegen, hat zur Ausbildung der sehr einfachen, standardisierten nordischen Untersuchungsmethoden geführt, die sich auf einem langjährigen, an zahllosen Rutschungen und Setzungen erworbenen Erfahrungsschatz aufbauen.

Gewöhnlich basieren die nordischen Geotechniker ihre Erkenntnisse der geotechnischen Verhältnisse auf ein möglichst dichtes Netz von Sondierbohrungen, wozu ein sehr einfaches, heute in allen vier nordischen Ländern benütztes, den Verhältnissen angepasstes Handbohrgerät geschaffen wurde, mit dem bis über 50 m, und z. T. auch in Feinkies, abgetastet werden kann. Nach Beseitigung der obersten, oft sehr zähen Schichten wird ein stählerner Spiralbohrer, der mit Verlängerungsstangen (19, eventuell 25 mm Ø) durch Gewinde verbunden ist, mit Auflegegewichten (5, 10, 15, 25, 50, 75, 100 kg), unter Beobachtung der Eintauchtiefe, belastet; wird bei einer Maximalbelastung von 100 kg kein Fortschritt mehr erzielt, so wird der Bohrfortschritt pro 25 halbe Drehungen beobachtet (belastet mit 100 kg). Genügen auch Drehungen nicht mehr, so wird der Bohrer mit Holzhammerschlägen weiter eingetrieben. Die Resultate dieser kombinierten Dreh- und Belastungsbohrung werden nach den

Protokollen der Bohrmeister in Profilen eingetragen und vom Geologen ausgewertet. Beispielsweise wurden zur Projektierung eines Kanales, der eine Fluss-Schlinge in der Nähe von Kokemäki (Westfinnland) zur Speisung eines Niederdruckwerkes abschneiden soll, in der zukünftigen Kanalaxe alle rd. 20 m und zusätzlich dazu alle 100 m in einem Querprofil solche Bohrungen niedergebracht.

Zahllose rutschgefährliche Gebiete längs der Eisenbahnstrecke sind so abgetastet worden; von 1921 bis 1937 verzeichnet das geotechnische Bureau für die Bahn über 200 km Totallänge der Sondierbohrungen (Eisenbahnnetz 1935 = 5829 km, entsprechend 1,5 km/100 km²; Schweiz 5800 km bzw. 14,5 km/100 km²). Diese dicht angesetzten Sondierbohrungen geben eine ausgezeichnete Orientierung über Ausdehnung, Konsistenz und Sukzession der einzelnen bautechnisch wichtigen Schichten und geben vielfach schon genügende Gesichtspunkte zur geotechnischen Beurteilung. Zur Bestimmung der effektiven Materialeigenschaften werden fast immer mit einem Handkolbenbohrer (44,5 mm Ø) ungestörte Proben entnommen, die in paraffinierten Glastuben oder Röhren ins Laboratorium nach Helsingfors gesandt werden. 1921 bis 1937 wurden pro Jahr durchschnittlich für das Bahnnetz 170 solcher Probeentnahmebohrungen abgeteuft mit im Mittel 11,7 Proben pro Bohrung, d. h. eine Probe pro 6,3 m Sondierbohrung.

Mit einem Standardkegelgerät (60° Kegelöffnung, 60 gr event. 10 gr Gewicht und für feste Proben 30° und 100 gr) werden im Laboratorium sowohl an der ungestörten, wie darauffolgend auch an der gestörten (gekneteten) Probe die Eintauchtiefe des Kegels ermittelt. Diese Werte, zusammen mit dem Wassergehalt der Probe, ergeben an Hand eines teils empirisch erhaltenen, teils errechneten, tabellarisch niedergelegten Beziehungsmaterials Kennziffern für die Scherfestigkeit und die Zusammendrückbarkeit des untersuchten Entnahmekörpers, die dann, vorsichtig abgewogen, die Grundlagen der erdbaumechanischen und physikalischen Berechnungen und Beurteilungen ergeben. Dazu treten noch Kontroll-Scher- und Zusammendrückungs-Versuche.

Die Aufgaben, die an das geotechnische Bureau herantreten, sind ausserordentlich mannigfaltig. In erster Linie muss die Rutschgefährlichkeit der Eisenbahnstrecken, insbesondere bei Dammanlagen in den ausgedehnten Tongebieten, wo Flusstäler und ältere Rinnen die Stabilität der natürlichen Böschungen in Frage gestellt haben, beurteilt werden. Eine der typischen Stellen liegt an der Strecke Helsingfors-Abo, bei Halikko (Abb. 4 und 5), wo auf engstem Gebiete von fünf älteren und fünf jüngeren, ausserordentlich flachen Rutschungen einige das Tracé gefährdeten, und wo man sich nach gründlichen geotechnischen Studien zu einer Verlegung mit Durchtunnelung eines Felsbuckels entschloss. Bei Zufahrtsdämmen zu Brücken, die über die in die weichen Tonschichten eingeschnittenen Bäche führen, sind Pfählungen häufig die einzigen Sicherungsmöglichkeiten gegen Rutschungen.

Längs des Eisenbahntracé kann man hie und da in besonders gefährdeten Zonen Setzungs- und Verschiebungsmesser (zumeist bis auf den festen Untergrund versenkte Fixierstangen, die durch ein Rohr gegen Bewegungen geschützt sind) beobachten. Die zusätzliche Belastung durch die geschütteten Dämme und die temporäre Zugbelastung hat an vielen Stellen zu grossen Setzungen, oft unter seitlicher Aufpressung der Tonmassen, ge-

führt. Neben langsamen, chronischen, zumeist ungefährlicheren Setzungen ist in gewissen Gebieten bei sehr grossen und schnell gesteigerten Belastungen die Gefahr eigentlicher plötzlicher Dammdurchbrüche durch die weichen Tonmassen gross; sie war auch Ursache der eingangs erwähnten Katastrophe. Ein ähnlicher Fall ereignete sich übrigens auch beim Bau der linksufrigen Zürichseebahn, wo im Winkel bei Altendorf (Schwyz) der Damm auf 3 m Kies aufgeschüttet wurde, der aber, da darunter 13 m weicher Seeschlamm lag, von dem man nichts ahnte, durchsackte unter Aufpressung von zwei aus Seeschlamm gebildeten seitlichen Inseln.

Abtrag der hohen Dämme, Einbau leichter Schlackendämme (der Untergrund des Tracés — die Züge erreichen selten mehr als 60 km/h Geschwindigkeit — besteht ähnlich wie in Russland meistens aus kiesig-sandigem Material, das bei Trockenheit zu unangenehmen Staubbildungen Anlass gibt; Brechschotterunterbau findet man erst an wenigen neu erstellten Strecken) und seitliche Gegendämme gegen Aufpressung der weichen Dammuntergründe, vorgängiges Aufschütten überhöhter Dämme mit nachträglichem Abtrag zur Beschleunigung der Hauptsetzung vor dem Betrieb sind einige der getroffenen Massnahmen, die auf den Untersuchungen, Berechnungen und Vorschlägen des geotechnischen Bureau beruhen.

Schon 1919 ist man in Finnland (später unter Leitung des geotechnischen Bureau) zur Verdrängung von Torf und Ton-schichten unter geschütteten Dämmen, mit Serien von Dynamisprengungen geschritten. Ähnlich wurde bei Molenbauten in den weichen, unkonsolidierten Schlammgebieten gewisser Häfen (z. B. Helsingfors) verfahren, wo mit Spezialschiffen erst grosse Sandmassen (unterseeische Ose) vom Meeresgrund gesaugt, dann an Ort und Stelle aufgespült und nachträglich durch Sprengungen auf festen Grund durchsacken gelassen wurden.

Die strengen Winter mit ihren Frosthebungen an Strassen- und Eisenbahnkörpern, die zahlreichen Fundationen in den prosperierenden Städten, die neuen Kraftwerkbauten mit ihren Dammschüttungen (Imatra, Kokemäki) und ihren Sackermöglichkeiten (Rouhiala, Harjavalta), der steigende Bedarf an Grundwasser zur Trinkwasserversorgung der Städte bei fast vollständigem Fehlen der Quellen, der zunehmende Bedarf an neuen Gruben für Betonzuschlagstoffe stellen die Geotechniker in Helsingfors vor eine Unzahl verschiedener und neuer Fragen, deren Lösung durch eine standardisierte Untersuchungsmethodik, durch lange Erfahrung und durch den erfreulich regen und fördernden Kontakt der Geotechniker aller nordischen Staaten wesentlich erleichtert wird.

Zur Frage dimensionsloser Kennziffern für hydraulische Kreiselmaschinen

Von Obering. Dr. C. KELLER, Escher Wyss, Zürich

Auf S. 169 I. d. Bds. der «SBZ» (Heft 14, vom 1. Okt. 1938) entwickelte Prof. R. Dubs, E. T. H., anhand einiger Beispiele für verschiedene hydraulische Maschinentypen eine neue dimensionslose Kennzahl. Sie soll einen Ersatz bilden für die in der Praxis übliche spezifische Schnellläufigkeit n_s . Diese hat bekanntlich den Mangel, dass sie abhängig ist von der Wahl der Einheiten und verschiedener Masssysteme. Dieser Nachteil wird im Vorschlag von Dubs behoben. Daher stellt diese neue dimensionslose Kennzahl $K_s = \frac{Q n^2}{c^3}$ eine sehr brauchbare Grösse für die verschiedensten hydraulischen Rechnungen dar, deren Einführung in die Praxis an und für sich nichts im Wege steht. Die Suche und Diskussion um eine geeignetere Typenkennzahl, als sie das bisherige n_s darstellt, ist heute auch aktuell, da zurzeit im Rahmen des VDI Bestrebungen nach einer Vereinheitlichung gemäss Anregungen von Prof. Dr. Wagenbach im Gange sind. Es ist dabei auffallend, dass wohl im hydraulischen Maschinenbau der Begriff der Kennzahl allgemein bekannt ist, während im verwandten Gebiet der aerodynamischen Strömungsmaschinen, wie bei Axial- und Radial-Gasgebläsen, Ventilatoren, Luft-, Gas- und Dampf-Turbinen mit einer Kenngrösse bisher wenig gerechnet wird.

Weil diese Fragen heute offenbar im Flusse sind, scheint es angebracht, zu prüfen, ob nicht jetzt die Einführung einer dimensionslosen Kennzahl vorteilhaft wäre, die sowohl für hydraulische als auch für aerodynamische Maschinen universelle Gültigkeit hätte. Die Behandlung der Strömungsprobleme in diesen verschiedenen Gebieten geschieht heute ja immer mehr auf der gemeinsamen Grundlage der Ähnlichkeitsgesetze. So ist in dieser Zeitschrift wiederholt darauf hingewiesen worden, wie

heute Probleme des hydraulischen Maschinenbaues durch Modellversuche mittels Luft durchgeführt werden können, und wie andererseits aerodynamische Maschinen mit den Versuchsmethoden der Hydrodynamik behandelt werden¹⁾. Die Beurteilung und die Vergleichsmöglichkeiten der verschiedenen Kreisel-Maschinen untereinander würden durch eine allgemein gültige Kennzahl bestimmt erleichtert.

Für Rechnungen an Axial- und Radialgebläsen beginnt sich seit kurzem ebenfalls eine dimensionslose Kennziffer σ einzubürgern. Diese Kennzahl kann neben der Charakterisierung der betreffenden Maschine vorteilhaft für Verlustbestimmungen in Funktion dieser Kennzahl, für Ermittlung günstigster Raddurchmesser u. a. m. gebraucht werden. Ihre Ableitung und der Zusammenhang mit dem n_s hydraulischer Maschinen findet sich in der Mitteilung 2 aus dem Institut für Aerodynamik an der E. T. H.: C. Keller, «Axialgebläse vom Standpunkt der Tragflügeltheorie»²⁾. Es soll hier lediglich darauf hingewiesen werden, dass der Ausdruck für das Quadrat der Zahl σ bis auf einen Zahlfaktor identisch ist mit dem von Dubs für hydraulische Maschinen vorgeschlagenen K_s . Es besteht der Zusammenhang:

$$K_s = (17 \sigma)^2 = 289 \sigma^2 \quad \dots \quad (1)$$

Zwischen der spezifischen Kennzahl einer hydraulischen und einer aerodynamischen Maschine besteht grundsätzlich folgende Beziehung: Die einer bestimmten hydraulischen Maschine entsprechende Gasmaschine ist jene, die bei gleicher Drehzahl das gleiche Durchflussvolumen hat. Die verarbeiteten Gefälle verhalten sich dabei bei beiden Vergleichsmaschinen proportional den jeweiligen spezifischen Gewichten des Fördermittels. Es folgt daraus, dass sich die spezifische Drehzahl von hydraulischen Maschinen (W) und aerodynamischen Maschinen (G) verhalten wie

$$\frac{n_s(W)}{n_s(G)} = \sqrt{\frac{\gamma W}{\gamma G}} \quad \dots \quad (2)$$

Es ist dabei vorerst angenommen, dass sich die Dichte im Laufrad der aerodynamischen Maschine nicht wesentlich ändere, wie dies bei Axialgebläsen, Ventilatoren und einzelnen Stufen von Luft- und Gasturbinen der Fall ist. Die eingehenden Ableitungen dieser Beziehungen sind beispielsweise in der oben erwähnten Dissertation sowie in den Arbeiten unter Fussnote 1 zu finden. Der Zusammenhang nach Formel (1) ergibt sich aus folgender Gegenüberstellung:

Die Dubs'sche Kennzahl K_s ist definiert als

$$K_s = \frac{Q n^2}{c^3} = \frac{Q n^2}{(2gH)^{3/2}} \quad \dots \quad (3)$$

worin

Q in m³/s Durchflussvolumen

n in U/min Drehzahl

$c = \sqrt{2gH}$ Theoretische Gefällsgeschwindigkeit in m/sec

H in m WS Gefälle

Die Kennzahl σ nach Keller folgt aus

$$\sigma^2 = \frac{2,105 Q n_{sec}}{(gH)^{3/2}} = \frac{4,43 \cdot 2^{3/2}}{3600} \left(\frac{Q n^2}{c^3} \right) \quad \dots \quad (4)$$

Die Ausdrücke (3) und (4) zeigen die Uebereinstimmung in den Bestimmungsgrössen, und ein Vergleich der Zahlenfaktoren führt auf den Zusammenhang nach Formel (1).

Analog wie beim Zusammenhang zwischen n_s und K_s nach Dubs:

$$K_s = \left(\frac{n_s}{34} \right)^2 \quad \dots \quad (5)$$

gilt für die Beziehung zwischen n_s und σ :

$$\sigma = \frac{n_s}{578} \quad \dots \quad (6)$$

Bei dieser Sachlage wäre es wohl prüfenswert, ob bei einer zukünftigen Normierung der Kennzahlen diese Zusammenhänge nicht beachtet werden sollten. Der Begriff der Kennzahl für Turbomaschinen liesse sich dabei allgemein gültiger fassen, und man hätte sich eigentlich nur über den Zahlenfaktor zu einigen.

¹⁾ Vergl. z. B.: C. Keller, «Aerodynamische Versuchsanlage für hydraulische Maschinen», «SBZ», Bd. 110, No. 17, Oktober 1937. Ferner: Ackeret, Keller, Salzmann, «Die Verwendung von Luft als Untersuchungsmittel für Probleme des Dampfturbinenbaues», «SBZ», Bd. 104, Dezember 1934. Ferner: C. Keller, «Luft-Modellversuche für Drosselklappen von hydraulischen Anlagen», «SBZ», Bd. 107, Nr. 13, März 1936.

²⁾ Für Anwendungen vergleiche auch: B. Eck, «Ventilatoren», S. 47 u. f. (Springer 1937).