

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 103/104 (1934)  
**Heft:** 16

**Artikel:** Beitrag zur Untersuchung des physikalischen und statischen Verhaltens kohärenter Bodenarten  
**Autor:** Gruner, H.E. / Haefeli, R.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-83198>

### **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:** 14.01.2026

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

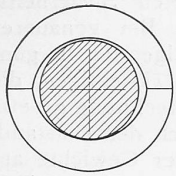


Abb. 5. Zitronen-Spiel für künstlich gekühlte Turbomaschinenlager.

bei zweipoligen elektrischen Maschinen mit sehr kleinem Luftspalt begründete Befürchtung — der Rotor eventuell beim Anlassen oder bei einem Belastungsstoss nach oben gegen die Polschuhe gerissen werden könnte. — Ob die beim „Zitronen-Spiel“ gewaltsam unterdrückte natürliche Wellenverlagerung, die durch die bekannten Rechenverfahren nicht mehr zu erfassen ist, andererseits nicht zu Nachteilen

führt, z. B. zu einseitigem Verschleiss der Oberschale und verminderter Dämpfung in senkrechter Richtung (in der das Kaltspiel mindestens  $= Z'$  sein muss), mag dahingestellt bleiben; ohne Notwendigkeit (also wenn besondere Rücksichten auf Luftspalt oder Schaufelspiel nicht zu nehmen sind) sollte man jedenfalls von der normalen (kreisrunden) Form des Lagerquerschnittes nicht abgehen.

Die genannten drei VSM-Spezial-Laufsitze tragen bei kreisrunder Lagerbohrung der Bedingung vibrationsfreien Laufes und der Berücksichtigung der Wärmedehnungserscheinungen ohne Zweifel so weitgehend Rechnung, wie dies nach dem heutigen Stande der Erkenntnis überhaupt möglich erscheint. Zu bemerken ist dabei aber, dass die genannten Turbolauflaufsitze nicht Weitsitze im üblichen Sinne, (also etwa entsprechend den Laufsitzen der DIN-Grobpassung) darstellen, sondern vielmehr ausgesprochene *Präzisions-Weitsitze*, denn ihre Toleranzen sind prozentual so gering, dass ihr „Spiel-Quotient“<sup>8)</sup> erheblich kleinere Werte als bei den Feinpassungs-Laufsitzen erreicht. Die Abweichung des Grösstspieles vom Mittelspiel ist also relativ sehr gering, wobei die Fertigung trotzdem keine Schwierigkeiten bereitet, weil die *Absolutwerte* der zulässigen Abweichungen gross genug sind.

<sup>8)</sup> Vom Verfasser eingeführter Massstab für die Toleranzbemessung. Siehe O. Kienzle und E. Falz „Die Ordnung der ISA-Laufsitze“, Werkstattstechnik 1933, Heft 16.

## Beitrag zur Untersuchung des physikalischen und statischen Verhaltens kohärenter Bodenarten.

Von Dr. H. E. GRUNER und Ing. R. HAEFELI, Basel.

(Schluss von Seite 174.)

### III. STATISCHE UNTERSUCHUNGEN.

Um den Einfluss des Spannungszustandes des Porenwassers auf das Gleichgewicht und die innern Kräfte kohärenter, gesättigter Erdmassen zu veranschaulichen, untersuchen wir zwei Beispiele.

1. *Änderung der Gleitsicherheit von Dammböschungen infolge rascher Absenkung des Wasserspiegels.* Der betrachtete Erddamm ruhe auf einer wenig wasserdurchlässigen Unterlage aus dichtgelagertem Kiessand. Der Dammkörper bestehe aus einem kohärenten Material als Kern (Schlick), das von einer kohäsionslosen Schutzschicht (Kiessand), die gegen die Angriffe des Wassers durch einen durchlässigen Belag (Trockenpflaster) geschützt sei, überlagert wird. Die dabei angenommenen Abmessungen und Neigungsverhältnisse, sowie die durch bodenphysikalische Untersuchungen bestimmten Materialeigenschaften, die als Berechnungsgrundlage dienen, sind aus Abb. 6 ersichtlich.

Theorie und Erfahrung zeigen, dass bei Erdrutschungen in homogenem Material normalerweise gekrümmte Gleitflächen entstehen,

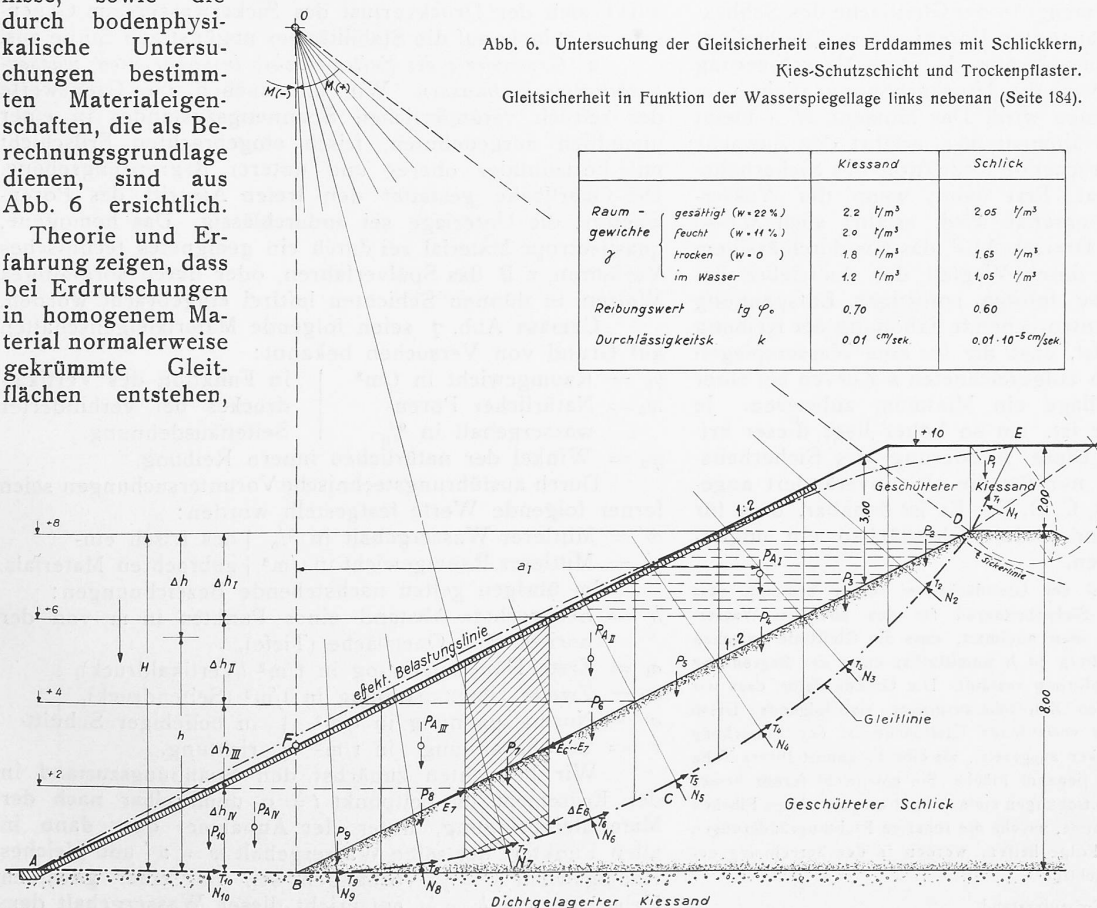
deren Form sich unter gewissen Voraussetzungen mathematisch formulieren lässt.<sup>8)</sup> Bei der statischen Untersuchung praktischer Fälle können die Profile solcher Gleitflächen mit genügender Genauigkeit durch Kreisbogen oder gebrochene Linienzüge ersetzt werden. Durch allgemeine Ueberlegungen wird unter den möglichen Gleitflächen eine Auswahl getroffen und für jede derselben die statische Untersuchung hinsichtlich Gleitsicherheit durchgeführt, um dadurch die denkbar ungünstigste Gleitfläche zu ermitteln.<sup>9)</sup>

Im vorliegenden Falle wird angenommen, dass die Gleitlinie sich zusammensetzt aus der Grenzlinie zwischen gewachsenem und geschüttetem Kiessand A—B, dem vollständig innerhalb des Schlickkernes verlaufenden Bogen B—C—D mit dem Mittelpunkt o und der Strecke D—E,

deren ungünstigste Neigung sich auf Grund der Erddrucktheorie ergibt. In allen Punkten dieser Gleitfläche herrsche beim höchsten zulässigen Wasserstand, der auf Höhe der obern Begrenzung des Schlickkernes angenommen wurde, der totale hydrostatische Wasserdruck. Wir vernachlässigen somit vorerst den statisch günstig wirkenden Druckverlust des Wassers beim Durchfliessen des über der Gleitfläche liegenden Gleitkörpers. Es

Abb. 6. Untersuchung der Gleitsicherheit eines Erddammes mit Schlickkern, Kies-Schutzschicht und Trockenpflaster. Gleitsicherheit in Funktion der Wasserspiegellage links nebenan (Seite 184).

		Kiessand	Schlick
Raumgewichte	gesättigt ( $w = 22\%$ )	2.2 $t/m^3$	2.05 $t/m^3$
	feucht ( $w = 41\%$ )	2.0 $t/m^3$	
	trocken ( $w = 0$ )	1.8 $t/m^3$	1.65 $t/m^3$
	im Wasser	1.2 $t/m^3$	1.05 $t/m^3$
Reibungswert	$\tan \varphi_0$	0.70	0.60
Durchlässigkeitsk	$k$	0.01 $cm/sek$	0.01 $\cdot 10^{-5} cm/sek$



<sup>8)</sup> M. Frontard: Comptes rendus de l'Académie des Sciences 1922: pages 526, 740, 930; 1928: page 1597. — 1<sup>er</sup> Congrès des Grands Barrages 1933: Rapport No. 28.

<sup>9)</sup> W. Fellenius: Erdstatistische Berechnungen mit Reibung und Kohäsion (Adhäsion) und unter Annahme kreiszylindrischer Gleitflächen.

sei ferner vorausgesetzt, dass sich im Schlickkern das diesem Spannungszustand entsprechende natürliche Porenwasser eingestellt habe.

Betrachten wir nun den Grenzfall des Gleichgewichtes für den höchsten zulässigen Wasserspiegel, so wirken auf den über der Gleitfläche liegenden Dammteil folgende Kräfte:

Die Eigengewichte  $G$  der einzelnen Elemente des Gleitkörpers, der Auftrieb  $A$  der Körperelemente, sowie diese vom Wasser betroffen werden, sowie die normal und tangential zur Gleitfläche wirkenden Auflagerreaktionen  $N$  und  $T$ . Zur Ermittlung der letztgenannten wird nach Krey<sup>10)</sup> unter Vernachlässigung der sich teilweise aufhebenden Erddrücke auf die seitlichen Trennflächen der Elemente vorläufig angenommen, dass die auf jedes Element wirkende Reaktion dem durch Eigengewicht und Auftrieb bedingten Gewicht  $P$  entspreche. Die Normalkräfte  $N$  können darnach als Komponenten von  $P$  auf die Normale zur Gleitfläche bestimmt werden, die Reibungskräfte  $T$  werden für den Grenzzustand des Gleichgewichtes, in dem die Gleitung beginnt, näherungsweise berechnet zu

$$T = N \cdot \operatorname{tg} \varphi_0 \quad \dots \dots \dots (6)$$

Die Gleitung erfolgt um den Kreismittelpunkt  $o$  als Bewegungszentrum. Bezeichnen wir mit  $M_{(+)}$  das Moment aller Kräfte in Bezug auf dieses Zentrum, die in der Drehrichtung des Abgleitens wirken (hier Uhrzeigersinn) und mit  $M_{(-)}$  das Moment aller der die Gleitung verhindernden Kräfte, so erscheint als Gleitsicherheit das Verhältnis:

$$n = \frac{M_{(-)}}{M_{(+)}} \quad \dots \dots \dots (7)$$

Erfährt der Wasserspiegel des Kanals eine rasche Senkung um die Höhe  $\Delta h_1$ , so folgt die Sickerlinie in der durchlässigen Kiesvorlage dieser Bewegung, während die Sickerlinie des Schlickkernes sich den veränderten Bedingungen nur langsam anpasst, sodass sie im Zeitpunkt vollendeter Absenkung des Kanals luftseitig annähernd unverändert und wasserseitig längs der Begrenzung des Schlickkernes verläuft. Die dem Wegfall des Auftriebes in der Kiesschicht der abgesenkten Zone entsprechende Gewichtszunahme  $P_{A1}$  erzeugt in der Gleitfläche des Schlickkernes den Zustand gespannten Porenwassers. Sie bedingt eine Zunahme der Normalkräfte  $N$  ohne Vergrößerung der Reibungskräfte  $T$ , weil die Druckerhöhung allein vom Porenwasser aufgenommen wird. Das Moment  $M_{(-)}$  bleibt somit unverändert, das Moment  $M_{(+)}$  erfährt den Zuwachs  $P_{A1} a_1$ , was eine entsprechende Reduktion des Sicherheitsgrades  $n$  zur Folge hat. Erst dann, wenn der Wasserspiegel unter Punkt  $F$  gesenkt wird, erfährt auch  $M_{(-)}$  einen Zuwachs, weil im Dreieck  $ABF$ , das aus durchlässigem Material besteht, jede durch Wegfall des Auftriebes bedingte Gewichtszunahme infolge sofortiger Entspannung des Porenwassers eine entsprechende Erhöhung der Reibung ermöglicht. Die Folge ist, dass die für eine Wasserspiegelsenkung von  $+8$  bis  $0$  aufgezeichneten  $n$ -Kurven bei einer gewissen Wasserspiegellage ein Minimum aufweisen. Je stärker die Kiesvorlage ist, um so höher liegt dieser kritische Wasserspiegel. Diese Aenderung des Sicherheitsgrades  $n$  gilt natürlich nur für die als unverändert angesehene Gleitfläche  $A, B, C, D, E$ . Es ist denkbar, dass für veränderten Wasserstand andere Gleitflächen ein ungünstigeres Resultat ergeben.

Hinsichtlich der Wahl der Gleitfläche sei ferner bemerkt, dass im vorliegenden Falle der Sicherheitsgrad für den höchsten Wasserspiegel kaum ändert, wenn man annimmt, dass die Gleitlinie zwischen den Punkten  $B$  und  $D$  geradlinig (d. h. unmittelbar unter der Begrenzung des Schlickkernes) statt kreisförmig verläuft. Die Gründe dafür, dass wir trotzdem von der kreisförmigen Gleitfläche ausgingen, sind folgende: Diese im Innern des Schlickkernes verlaufende Gleitfläche ist der Entstehung gespannten Porenwassers stärker ausgesetzt, als eine in unmittelbarer Nähe der durchlässigen Kiesschicht liegende Fläche. Sie entspricht ferner besser der Erfahrung, nach der Erdrutschungen stets auf gut ausgerundeten Flächen erfolgen. Die innern Widerstände, welche die scharfen Richtungsänderungen gebrochener Gleitlinien zur Folge hätten, werden in der Berechnung der Gleitsicherheit nicht berücksichtigt.

<sup>10)</sup> Krey: Erddruck, Erdwiderstand.

Die für obige Annahmen berechneten Sicherheitsgrade sind in der  $n_0$ -Kurve dargestellt. Bei genauerer Rechnung sind nun noch die zwei nachfolgenden im günstigen Sinne wirkenden Faktoren zu berücksichtigen, die wir bisher der Uebersicht halber nicht in Rechnung gesetzt haben. Der eine derselben ist bedingt durch den Umstand, dass in Wirklichkeit die Uebertragung der Gewichte auf die Gleitfläche nicht genau so erfolgt, dass in jedem Teil der Fläche das Gewicht des senkrecht darüber liegenden Materialprismas übertragen wird. Dies rührt daher, dass auf ein solches Prisma ausser dem Gewicht noch seitliche, schief gerichtete Erddrücke  $E$  wirken, die sich nur ausnahmsweise aufheben, normalerweise jedoch eine belastende oder entlastende Komponente ergeben. Um diesen Einfluss für das vorliegende Beispiel zu untersuchen, haben wir die effektive Belastungsfläche angenähert berechnet und dargestellt. Es entsteht eine Verlagerung der Lasten derart, dass im untern flachen Teil der Gleitfläche eine Mehrbelastung, im obern steilen Teil eine entsprechende Entlastung eintritt. Berücksichtigen wir die dadurch bedingten Aenderungen der Momente  $M_{(\pm)}$ , herrührend einerseits von vertikalen positiven und negativen Zusatzgewichten und andererseits von den zusätzlichen Reibungskräften, so erhalten wir unter der vereinfachenden Annahme, dass die Absenkung des Wasserspiegels ohne wesentlichen Einfluss auf die Gewichtsverlagerung sei, für den Sicherheitsgrad die  $n_1$ -Kurve, die der  $n_0$ -Kurve angenähert parallel läuft. Der andere, hier ebenfalls günstig wirkende Faktor ist dadurch bedingt, dass die Durchströmung des über der Gleitfläche liegenden Dammteiles einen gewissen Druckverlust erzeugt. Der in der Gleitfläche vorhandene Wasserdruk ist deshalb etwas geringer, als der hydrostatische Druck. Diese Abweichung, die sich durch zusätzliche Normal- und Reibungskräfte in der Gleitfläche auswirkt, lässt sich auf Grund des Strömungsbildes des Sickerwassers bei bekannten Durchlässigkeitswerten  $k$  der Materialien schätzungsweise berechnen. Die  $n_2$ -Kurve zeigt sowohl den Einfluss der Gewichtsverlagerung, als auch denjenigen des Druckverlustes des Sickerwassers. Bei der luftseitigen Böschung wirkt sich der Druckverlust des Sickerwassers im Gegensatz zu obigem auf die Stabilität im ungünstigen Sinne aus.

2. Grenzwerte des Seitendruckes in kohärenten, wassergesättigten Erdmassen. Wir untersuchen die Grenzwerte des zeitlich veränderlichen Spannungszustandes in einer unendlich ausgedehnten, frisch eingebrachten Erdschicht mit horizontaler oberer und unterer Begrenzungsebene. Die Oberfläche gestattet den freien Austritt des Porenwassers, die Unterlage sei undurchlässig. Das homogene, quasiisotrope Material sei durch ein geeignetes technisches Verfahren, z. B. das Spülverfahren, oder durch sorgfältiges Walzen in dünnen Schichten luftfrei eingebracht worden.

Gemäss Abb. 7 seien folgende Materialeigenschaften auf Grund von Versuchen bekannt:

$\gamma_0$  = Raumgewicht in  $t/m^3$  } in Funktion des Vertikal-  
 $w_0$  = Natürlicher Poren- } druckes bei verhinderter  
 wassergehalt in % } Seitenausdehnung.  
 $\varphi_0$  = Winkel der natürlichen innern Reibung.

Durch ausführungstechnische Voruntersuchungen seien ferner folgende Werte festgestellt worden:

$w'$  = Mittlerer Wassergehalt in % } des frisch ein-  
 $\gamma'$  = Mittleres Raumgewicht in  $t/m^3$  } gebrachten Materials.

Im übrigen gelten nachstehende Bezeichnungen:

$h$  = Senkrechter Abstand eines Punktes in  $m$  von der horizontalen Oberfläche (Tiefe),  
 $\sigma_I$  = Erste Hauptspannung in  $t/m^2$  (Vertikaldruk),  
 $\sigma_{II}$  = Zweite Hauptspannung in  $t/m^2$  (Seitendruk),  
 $\sigma$  = Normalspannung in  $t/m^2$  } in beliebiger Schnitt-  
 $\tau$  = Schubspannung in  $t/m^2$  } richtung.

Wir betrachten zunächst den Spannungszustand in der Erdschicht im Zeitpunkt  $t = 0$  unmittelbar nach der Materialeinbringung, unter der Annahme, dass dann in allen Punkten der selbe Wassergehalt  $w = w'$  und gleiches Raumgewicht  $\gamma = \gamma'$  vorhanden sei. Bei einer gewissen Ueberlagerung  $h = h_0$  entspricht dieser Wassergehalt dem





$$\sigma_{II\min} = \gamma' h \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{\varphi_0}{2} \right) \quad (13)$$

Bildet man die Differenz  $\Delta \sigma_{II} = \sigma_{II\max} - \sigma_{II\min}$ , so ergibt sich, ausgehend vom untern Grenzwert des Seitendruckes (Gl. 13), sein oberer Grenzwert (Gl. 12) zu:

$$\begin{aligned} \sigma_{II\max} &= \sigma_{II\min} + \Delta \sigma_{II} = \\ &= \sigma_{II\min} + \gamma' (h - h_0) \left[ 1 - \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{\varphi_0}{2} \right) \right] \quad (14) \end{aligned}$$

Damit wären alle die theoretischen Grenzwerte des Seitendruckes ermittelt, die für statische Untersuchungen von Interesse sind. Die Berechnung des Verlaufes der zeitlichen Aenderung des Spannungszustandes ist weniger wichtig. Sie könnte bei gegebenem Durchlässigkeitskoeffizienten nach dem Vorbild der von Terzaghi für ähnliche Fälle aufgestellten „Näherungsverfahren für die rechnerische Behandlung des Spannungsausgleiches in bindigem Boden“ erfolgen.<sup>11)</sup>

In der Praxis ist die für den theoretischen Fall gemachte Voraussetzung der horizontalen Oberfläche selten erfüllt. Für Erdschichten mit geneigter Oberfläche und paralleler Unterlage lässt sich jedoch auf der selben Grundlage eine ähnliche Lösung angeben. Für die vertikale Symmetrieebene flach abgeboßter Erdkörper (Dichtungskern in Erddämmen) gilt angenähert der für horizontale Oberfläche dargestellte Spannungszustand unter Beachtung der veränderten Strömungsverhältnisse des Porenwassers. Durch konstruktive Massnahmen kann die Entspannung des Porenwassers bereits während der Bauzeit beschleunigt und damit der obere Grenzwert des Seitendruckes wesentlich reduziert werden.

\*

Ueberblicken wir nochmals die behandelten Probleme und offenen Fragen, so ergibt sich, dass die Ausbildung einwandfreier bodenphysikalischer Untersuchungsmethoden für eine fortschrittliche Entwicklung des Erdbaues dringend notwendig ist. Nur auf Grund einer genauen Kenntnis der technisch wichtigen Eigenschaften des Materials lässt sich eine bessere Uebereinstimmung zwischen Rechnung und Wirklichkeit erzielen und nur unter dieser Voraussetzung sind die im Erdbau üblichen, relativ niedrigen Sicherheitsgrade gerechtfertigt.

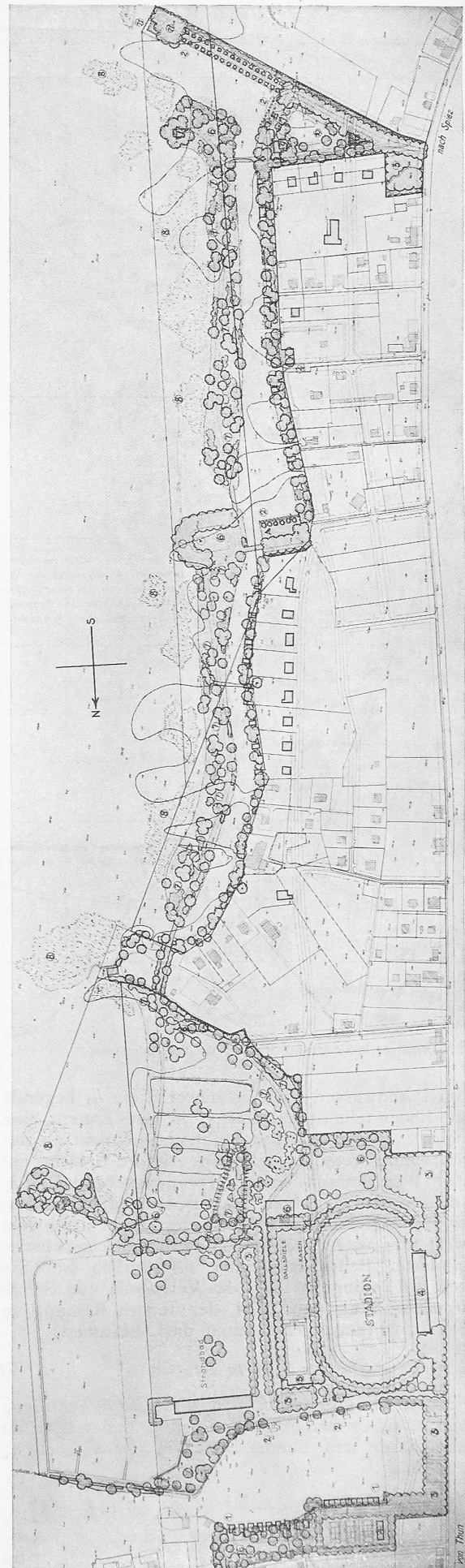
## Wettbewerb für die Seeufergestaltung der Stadt Thun.

Das in vorliegendem Wettbewerb behandelte Gebiet liegt an dem in nord-südlicher Richtung gestreckt verlaufenden Westufer des Thunersees, also südlich der eigentlichen Stadt, längs der sog. Seeallmend, an der Strasse Thun-Spiez. Es erstreckt sich von der Südseite des Strandbades rund 1,5 km weit bis zur Besetzung von Bonstetten. In erster Linie sollte das Seeufer für die Fussgänger als Promenadenanlage ausgebildet werden, unter möglichster Fernhaltung von Verkehr. Einige öffentliche Landungsstellen für Motor- und Ruderboote waren jedoch vorzusehen. Die gartenbautechnische Behandlung des Seeufers sollte sich dem Charakter der offenen Uferlandschaft anpassen. In Verbindung mit der Promenade waren Erholungs- und Schmuckanlagen, sowie Tummelplätze für Kinder vorzusehen, und schliesslich Vorschläge für die Regelung der Bebauung innerhalb des unmittelbaren Uferbereiches zu machen.

### Aus dem Bericht des Preisgerichts.

Das Preisgericht tagte vollzählig am 16. und 17. Februar 1934 im Stadtratsaal in Thun. An Stelle des zurückgetretenen Fachpreisrichters, Baumeister H. Frutiger, amtierte Stadtbaumeister H. Staub. Das Stadtbauamt hat die rechtzeitig eingelangten neun Projekte einer Vorprüfung unterzogen und festgestellt, dass das Wettbewerbsprogramm bei allen Projekten erfüllt wurde, mit Ausnahme eines Projektes, zu dem neben dem Hauptprojekt noch eine Variante vorlag, die unberücksichtigt beiseitegelegt wurde.

<sup>11)</sup> Terzaghi: „Erdbaumechanik“ 1925, S. 155 und ff.



1. Preis (2000 Fr.), Entwurf Nr. 3. — Verfasser Edgar Schweizer, Dipl. Arch., Thun, mit Paul Schädlich, Gartenarchitekt, Zürich. — Uebersichtsplan 1 : 6000. —  
 Legende : 1 vermietbare Boothäuser, 2 Landungsstellen, 3 Autoparkplätze, 4 Tribünen, 5 Wettschwananlage, 6 Tummelplätze für Kinder, 7 Aussichtspunkte und Ruheplätze, 8 Schilfzonen, 9 Aquarium, 10 Seerosenteich, 11 Restaurant.