

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 123/124 (1944)  
**Heft:** 25

**Artikel:** Setzungen infolge Senkung, Schwankung und Strömung des Grundwassers  
**Autor:** Haefeli, R. / Schaad, W.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-53969>

### **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:** 22.02.2026

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

INHALT: Setzungen infolge Senkung, Schwankung und Strömung des Grundwassers. — Die Lehrlingsausbildung der Maschinenzeichner. — Wettbewerb für ein Bundes-Verwaltungsgebäude in Bern. — Rationalisierung und Berufsausbildung. — Siedlung «Niederfeld» bei Winterthur-Wülflingen. — Mitteilungen: Wirtschaftlichkeit und Sicherheit beim

Strassenbau und Strassenverkehr. Doppelstock-Liegewagen für Personen-Fernverkehr. Hundert Jahre Eisenbahn auf Schweizerboden. Elektrizität und Sport. Persönliches. Teleskop-Gasbehälter von 50 000 m<sup>3</sup> Inhalt. Technische Rundschau Sulzer. — Wettbewerbe: Sekundarschulhaus in Wetzikon. — Nekrologe: Carl Probst. — Literatur. — Mitteilungen der Vereine.

## Band 123

Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich  
Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet

## Nr. 25

## Setzungen infolge Senkung, Schwankung und Strömung des Grundwassers

Von P.-D. Ing. Dr. R. HAEFELI und Ing. W. SCHAAD, Erdbauabteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, E. T. H. Zürich (Schluss von S. 289)

### 6. Setzungen infolge periodischer Schwankung und Strömung des Grundwassers

Jeder Grundwasserstand ist Schwankungen von verschiedenen Perioden unterworfen, die sich überlagern. In Ufergebieten sind diese Schwankungen zu einem wesentlichen Teil durch die Aenderungen der Vorflut bedingt [4]. Siedlungen und Stadtgebiete, die sich auf ufernahen, mächtigen Deltaschüttungen ausbreiten, haben oft unter stetig fortschreitenden, beträchtlichen Setzungen zu leiden, wobei schon wiederholt die Frage aufgeworfen wurde, ob ein Zusammenhang zwischen den Seespiegelschwankungen und diesen Setzungen besteht. Beispielsweise wurden sowohl vom Eidg. Amt für Wasserwirtschaft als auch von der Landestopographie gewisse Setzungsgebiete systematisch beobachtet. So sind in Lugano seit längerer Zeit verschiedene Fixpunkte im Zuge der Nivellements, die für die Nullpunktbestimmungen der Pegel nötig sind, periodisch eingemessen worden. Bei zahlreichen Punkten ergaben sich beträchtliche Setzungen, die nun seit 1943 im Hinblick auf das Projekt für eine Luganerseeregulierung durch regelmässig ausgeführte Nivellements eingehend untersucht werden; Abb. 13 zeigt die Setzung eines in jenem Gebiete gelegenen Punktes während 43 Jahren. Alle seit dem Jahre 1895 durchgeführten Höhenmessungen dieses Punktes wurden vom E. A. f. W. vorgenommen.

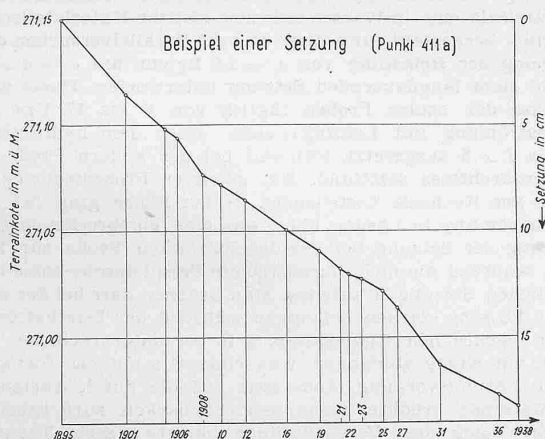


Abb. 13. In Lugano von 1895 bis 1938 beobachtete Setzungen

Die nachstehenden Ausführungen mögen einen kleinen Beitrag zur Diskussion und Beantwortung obiger Frage liefern. Wir gehen dabei so vor, dass wir zunächst die theoretisch möglichen Ursachen aussergewöhnlicher Setzungserscheinungen des Untergrundes bei schwankendem und fliessendem Grundwasser vom grundsätzlichen Standpunkt aus erörtern, um anschliessend anhand von elementaren Laboratoriumsversuchen die qualitative Wirkung solcher Ursachen zu prüfen.

Als normale Erscheinung sind zunächst die gewöhnlichen Nachsetzungen zu betrachten, die sich bei jedem feinkörnigen plastischen Untergrund durch eine nahezu gleichmässige, wenn auch oft sehr kleine Setzungsgeschwindigkeit bemerkbar machen und auch dann noch fortschreiten, wenn die hydrodynamischen Spannungserscheinungen längst abgeklungen sind [3]. So sind auch in der Schweiz eine Reihe von Siedlungsgebieten bekannt, deren Untergrund vorwiegend aus jungen Seeablagerungen oder Gehängelehm besteht, und deren Oberfläche sich jährlich bis zu mehreren Millimetern senkt. Erwähnt sei z. B. das auf dem Delta der Lorze sich ausdehnende Stadtgebiet von Zug, das gegen das Seeufer hin zunehmende, jährliche Setzungen von bis 9 mm erfährt, während in einem am Ostfuss des Uetlibergs gelegenen Quartier, dessen Untergrund aus Gehängelehm besteht, jährliche Setzungen von rd. 3 bis 5 mm beobachtet wurden. Da in beiden Fällen die Sohle und zum Teil auch die Oberfläche der

zusammendrückbaren Schicht geneigt sind, bewegt sich ein Oberflächenpunkt nicht vertikal nach unten, sondern schief in Hangrichtung, zeigt also eine, zwar selten gemessene, horizontale Komponente, die den Vorgang — im Gegensatz zur reinen Setzung — als Kriechvorgang kennzeichnet, der dem genauer untersuchten Kriechvorgang der geneigten Schneedecke vergleichbar ist [5]. Solche normale Setzungs- und Kriechvorgänge haben zunächst nichts zu tun mit Grundwasserschwankungen und wurden hier nur der Vollständigkeit halber erwähnt. Dagegen ist sehr wohl möglich, dass sie durch die Schwankungen und Strömungen des Grundwassers verstärkt und in mannigfaltiger Weise beeinflusst werden [4].

Im Gegensatz zu diesen normalen, sich vollkommen stetig vollziehenden Setzungen, die allein auf plastische Verformungen des feinkörnigen Bodens zurückzuführen sind, stehen die aussergewöhnlichen Setzungen kleineren oder grösseren Ausmasses, die einen teilweise un stetigen Verlauf nehmen und wahrscheinlich vorwiegend durch Strukturzusammenbrüche bzw. innere Umlagerungen der festen Phase bedingt sind. Bekanntlich zeichnen sich namentlich die feinkörnigen Seeablagerungen durch besonders empfindliche Feinstrukturen aus, wobei es sich entweder um die lockeren Einzelstrukturen von Sanden und Schlamm-sanden oder die Waben- bzw. Flockenstrukturen von Lehmen und Tonen handelt [6]. Die Ursache von Strukturänderungen kann eine äussere oder innere sein. Als äussere Ursachen kommen statische Belastungsänderungen einmaliger oder periodischer Natur (Bauwerke, Grundwasserschwankungen), sowie Erschütterungen, d. h. dynamische Beanspruchungen (Verkehrerschütterungen, Erdbeben) in Betracht. Als innere Ursachen sind einerseits die auslaugende Wirkung des Wassers, d. h. ein chemischer Lösungsprozess, andererseits die mechanische Erosion durch das Wasser (Ausschwemmen feinsten Teile) zu erwähnen [7], d. h. Einflüsse, deren Wirkung in hohem Masse von den Sicker-verhältnissen abhängig ist.

Meistens sind entweder gleichzeitig oder in zeitlicher Aufeinanderfolge mehrere der oben erwähnten Ursachen am Werk. So bewirken z. B. die periodisch schwankenden Grundwasserstände nicht nur eine periodische Belastungsänderung infolge der bei der Absenkung durch Auftriebsverlust bedingten Mehrbelastung, sondern gleichzeitig eine in Richtung und Intensität wechselnde Sickerströmung, die unter gegebenen Umständen eine innere Auslaugung (chemisch) oder innere Erosion (mechanisch) zur Folge haben kann. Auch die beiden letzten Einflüsse dürften häufig kombiniert auftreten, indem der feinere, chemische Vorgang dem gröberen, mechanischen Prozess der inneren Erosion vorausgeht und diesen vorbereitet. Im Grenzfall und Endstadium des Prozesses kann der innere Abbau der festen Phase so weit fortschreiten, dass er nicht nur eine Lockerung der Feinstruktur zur Folge hat, sondern sogar grosse Hohlräume entstehen, die zu plötzlichen, lokalen Einbrüchen und Trichterbildungen an der Oberfläche führen und nicht selten die Zerstörung oder Gefährdung von Bauwerken zur Folge haben [8]. Vergleichshalber sei erwähnt, dass man auch an der winterlichen Schneedecke analoge Erscheinungen beobachtet. Beim Betreten der Schneedecke sackt diese lokal oder über eine grössere Fläche oft plötzlich ein, wobei die plötzlich entweichende Porenluft das sogenannte Wum-Geräusch erzeugt. Auch hier handelt es sich um Strukturzusammenbrüche, die durch die innere Metamorphose (Schwimmschneebildung) bedingt sind und häufig zu Nah- oder Fernauslösung von Schneebrettlawinen führen [9]. Die primäre Ursache liegt aber hier nicht im zirkulierenden Wasser, sondern z. T. in der durch grobe Poren zirkulierenden Luft, die infolge Verdunstung und Sublimation Substanzumlagerungen und damit eine lokale Schwächung der Struktur ermöglicht.

Ein Beispiel einer ausgeprägten Bodensackung infolge Grundwasserabsenkung zeigt Abb. 14 (S. 296) in schemat. Weise. Das betreffende Torfgebiet wurde in letzter Zeit zur Gewinnung von Brennmaterial abgebaut, wobei für die Wasserhaltung in den tiefen Lagen eine Pumpe installiert werden musste. Die da-

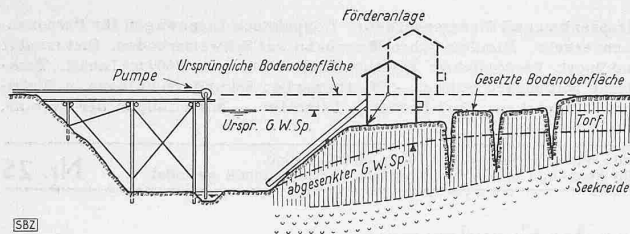


Abb. 14. Absackung eines Torfbodens infolge Aushub und Grundwasser-Absenkung (Schema)

durch bewirkte Absenkung des Grundwasserspiegels hatte beträchtliche Setzungen des in der Nähe des Böschungsrandes gelegenen Geländes zur Folge, das dabei von grossen, den Gletscherspalten ähnlichen Vertikalrissen durchsetzt wurde (vgl. Abb. 14 und 15).

Um einige der bei aussergewöhnlichen Setzungsvorgängen auftretenden Erscheinungen verfolgen zu können, wurden im Institut für Erdbauforschung der E.T.H. die nachstehend beschriebenen Elementarversuche durchgeführt, deren Ergebnisse in den Abb. 16 und 17 dargestellt sind. Abb. 18 enthält die Kornverteilung des bei diesen Versuchen verwendeten Lockergesteins, wobei es sich um einen glimmerreichen Sand aus dem Cassarate-Delta bei Lugano (Nr. 1021) handelt. Dieses wurde mit gleichen Gewichtprozenten Kochsalz (Nr. 1658) als lösliche Phase gemischt. Die massgebenden bodenphysikalischen Eigenschaften dieser Versuchsmaterialien sind in nachfolgender Tabelle 4 zusammengestellt.

Tabelle 4. Eigenschaften der Versuchsmaterialien

	Bez.	Einheit	Nr. 1021	Nr. 1658
Petrograph. Bezeichnung			Feinsand	Kochsalz
Raumgewicht (trocken, lose eingefüllt)	$\gamma$	t/m <sup>3</sup>	0,838	1,026
Raumgewicht, gesättigt ( $\sigma_1 = 1 \text{ kg/cm}^2$ )	$\gamma_{e'1}$	t/m <sup>3</sup>	1,87	—
Primäre Zusammendrückungszahl	$\Delta_e$	%	4,18	3,25
Sekundäre Zusammendrückungszahl	$\Delta_{e'}$	%	0,52	0,40
Schwellziffer	$\Delta_{e''}$	%	0,35	0,03
Durchlässigkeitsziffer ( $\sigma_1 = 1 \text{ kg/cm}^2$ )	$k_{10^0}$	cm/sec	$3,8 \cdot 10^{-6}$	—
Max. Durchmesser	—	—	—	0,52 mm
Min. Durchmesser	—	—	—	0,18 mm
Kornform	—	—	—	kubisch

Abb. 19 zeigt den für die Versuche verwendeten Oedometer. Durch die erste in Abb. 16 dargestellte Versuchsreihe sollte der Einfluss periodischer Lastschwankungen, wie sie bei Schwankungen des Grundwasserspiegels auftreten, geprüft werden. Zu diesem Zweck wurde die Setzung von drei Parallelproben verfolgt, von denen die eine konstant mit  $\sigma_1 = 1 \text{ kg/cm}^2$ , die zweite mit  $\sigma_1 = e = 2,72 \text{ kg/cm}^2$  mehrere Wochen belastet blieb, während im dritten Oedometer die Last täglich einmal zwischen 1 und  $e \text{ kg/cm}^2$  variierte. Dabei wurde die Probe in vier aufeinanderfolgenden Tagen jeweils um 8 Uhr vormittags von 1 auf  $e \text{ kg/cm}^2$  belastet und um 17 Uhr wieder entlastet. Ueber Nacht, sowie während des Wochenendes betrug die Belastung  $e \text{ kg/cm}^2$ . Bei den ersten Versuchen erfolgten die Be- und Entlastungen plötzlich, d. h. durch Auflegen oder Wegnahme von Bleigewichten. Das in Abb. 16 dargestellte Ergebnis dieser Versuche lässt deutlich erkennen, dass der Setzungsvorgang durch die periodischen Entlastungen und Wiederbelastungen gegenüber der konstant auf  $e \text{ kg/cm}^2$  belasteten Probe beschleunigt und intensiviert wurde, sodass die totale Setzung bei schwankender Last schliesslich etwa 22 % mehr betrug als bei konstanter,

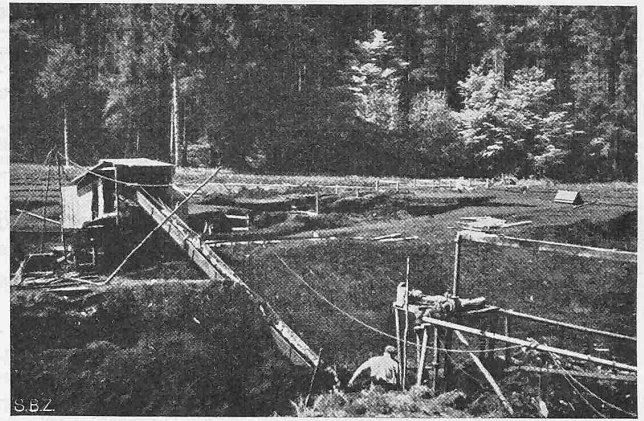


Abb. 15. Ansicht der Torfboden-Absackung in Abb. 14

dem obren Grenzwert der schwankenden Belastung identischen Pressung. Um zu prüfen, inwieweit diese Aktivierung der Setzungen durch die Plötzlichkeit der Belastungsschwankungen bedingt ist, wurde ein zweiter Versuch mit langsamen, stetigen Laständerungen durchgeführt. Dieser ergab grundsätzlich die gleichen Verhältnisse wie die raschen Belastungsänderungen (Abb. 17). Eine dritte Versuchserie, die sich von der ersten nur durch die Grösse der konstanten bzw. schwankenden Belastungen unterschied, bestätigt ebenfalls die oben erwähnten Ergebnisse.

Durch eine vierte Versuchsreihe wurden die Setzungsvorgänge bei einer inneren Auslaugung bzw. Lösung der festen Phase untersucht (Abb. 20). Zu diesem Zwecke wurde durch Mischung von einem Gewichtsteil Feinsand mit einem Gewichtsteil Tafelsalz eine in Wasser teilweise lösliche Materialmischung künstlich hergestellt, und diese in zwei Parallelversuchen durch Erhöhung der Belastung von  $\sigma_1 = 1,0 \text{ kg/cm}^2$  auf  $\sigma_1 = e = 2,72 \text{ kg/cm}^2$  einer langdauernden Setzung unterworfen. Dabei wurde die eine der beiden Proben täglich von 8 bis 17 Uhr einer Durchströmung mit Leitungswasser unter dem hydraulischen Gefälle  $J \sim 5$  ausgesetzt, während bei der andern Probe kein Wasserdurchfluss stattfand. Ein gewisser Prozentsatz der zur Hälfte aus Kochsalz bestehenden, festen Phase ging bei jeder Durchströmung in Lösung über, was eine entsprechende Intensivierung der Setzung bei der durchströmten Probe zur Folge hatte, während die nicht durchströmte Parallelprobe keine ungewöhnlichen Setzungen aufwies. Man beachte, dass bei der ersten Probe die sehr starken Setzungen während der Durchströmung in den nächtlichen Ruhepausen, d. h. bei unterbrochener Strömung, nur wenig abklagen, was einerseits auf den fortschreitenden Lösungsvorgang, andererseits auf die durch Auslaugung des Materials erhöhte Zusammendrückbarkeit zurückzuführen ist. Erst nach einer Versuchsdauer von etwa sechs Tagen, als die spez. Setzung bereits 25 % erreicht hatte, war bei der durchströmten Probe ein deutliches Abklingen der Setzungsgeschwindigkeiten festzustellen. Gleichzeitig wurde eine Abnahme der Durchlässigkeitsziffern ( $k$ -Werte) beobachtet. Um den Lösungsvorgang am Schluss der Versuchsreihe nochmals zu beschleunigen, wurde die Temperatur des Mediums, d. h. des Wasser-

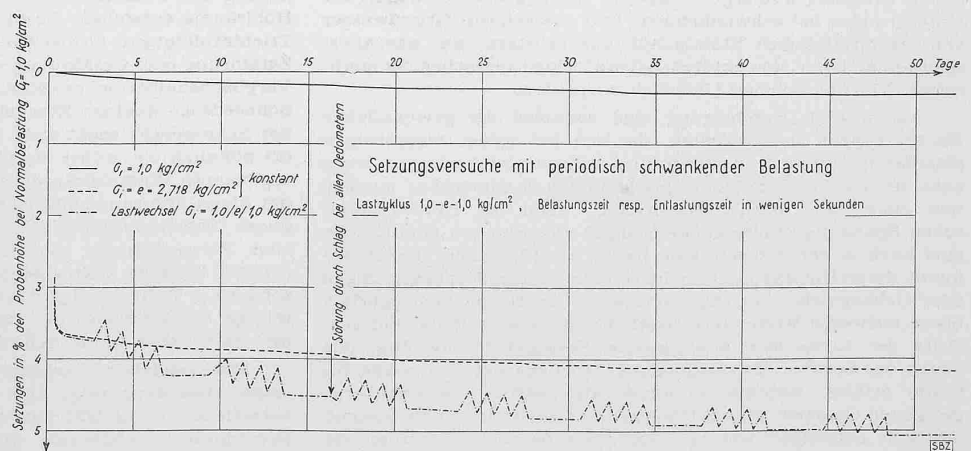


Abb. 16. Setzungsversuche mit in wenigen Sekunden aufgebracht, period. schwankender Belastung



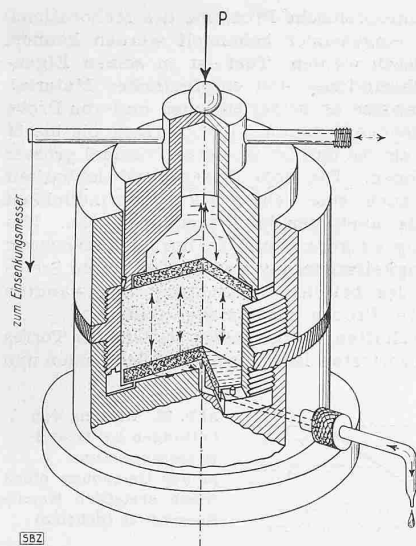


Abb. 19. Oedometer (Schema) zur kombinierten Messung der Zusammendrückbarkeit, Durchlässigkeit und Kapillarität

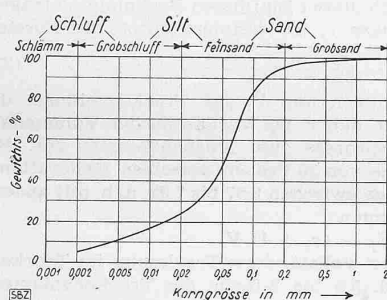


Abb. 18. Beispiel einer Kornverteilung (im Versuchsmaterial Nr. 1021)

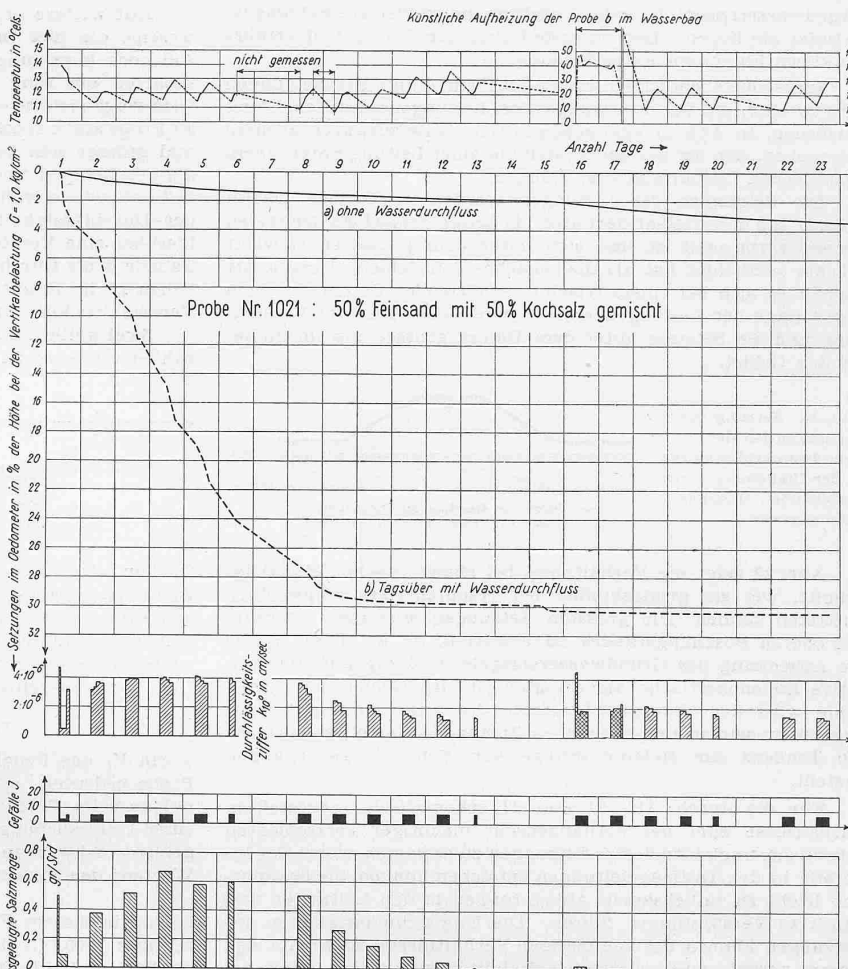


Abb. 20. Setzungsversuche mit teilweise löslicher, fester Phase des Materials

bad, in das das ganze Oedometer getaucht war, vorübergehend erhöht, was aber keine wesentlichen Einflüsse auf Setzungen und Durchlässigkeiten mehr zur Folge hatte. Ergänzend sei bemerkt, dass auch die nicht durchströmte Probe unter Wasser stand.

## 7. Diskussion der Ergebnisse

Die Berechnung der durch eine Grundwasserabsenkung verursachten Setzung ergab namentlich für den Fall spezifisch leichter, stark zusammendrückbarer Bodenarten die sehr einfache Näherungsgleichung:

$$\delta_T = \frac{d_b + \frac{h_a}{2}}{d_b + \frac{M_E}{\gamma_w}} h_a \quad (13)$$

Diese zeigt, dass die totale Setzung  $\delta_T$  der absoluten Wasserspiegelabsenkung  $h_a$  proportional ist und ausserdem von der

Mächtigkeit  $d_b$  der unterhalb des Grundwasserspiegels gelegenen Schichten und dem mittleren Zusammendrückungsmodul  $M_E$  des Materials abhängt. Die Stärke der über dem ursprünglichen Grundwasserspiegel liegenden Schicht dagegen ist nur insofern von Bedeutung, als sie für den Zusammendrückungsmodul der tiefer liegenden Schichten massgebend ist. Da das Material innerhalb ein und desselben Meliorationsgebietes meistens erhebliche Unterschiede zeigt, ist man auf Mittelwerte von  $M_E$  angewiesen. Dabei ist weiter zu beachten, dass  $M_E$  nur für einen beschränkten Spannungsbereich, der sich über einen entsprechenden Tiefenbereich erstreckt, als konstant betrachtet werden darf. Die Verhältnisse sind von Fall zu Fall durch eine genügende Zahl von Sondierungen nebst Entnahme und Untersuchung von Bodenproben abzuklären. Zur Feststellung der Schichtmächtigkeiten und der festen Unterlage wird mit Vorteil das Rammprofil benutzt [10]. Es besteht heute auch die Möglichkeit, bei mässig zusammendrückbaren Bodenarten den  $M_E$ -Wert direkt im Bohrloch zu messen.

Die Kenntnis der Setzungen spielt bei der Beurteilung der zur Entwässerung vorhandenen Gefälle eine wesentliche Rolle, indem z. B. die Drainageleitungen durch die Setzungserscheinungen beeinflusst werden. Die unvermeidlichen Höhenänderungen der Leitungen hängen vom Mass der Setzung des umgebenden Bodens ab. Je nach der Tiefenlage der Leitung ergeben sich dabei verschiedene Verhältnisse. Die oberste Schichtzone, die vor der Absenkung über dem Grundwasserspiegel gelegen war, macht die totale Setzung der Schicht mit. Punkte, die sich unter dem ursprünglichen

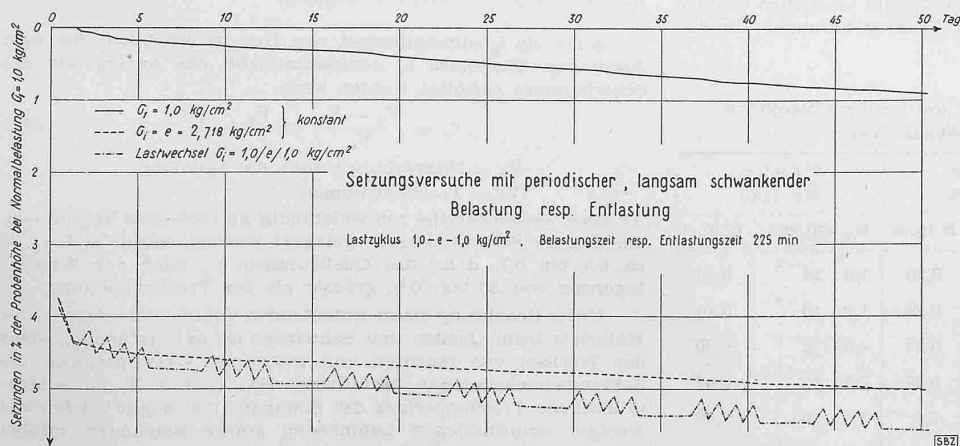


Abb. 17. Setzungsversuche mit periodischer, langsam schwankender Belastung

Grundwasserspiegel befinden, erfahren um so kleinere Setzungen, je tiefer sie liegen. Der unterste Punkt der Torfschicht erfährt praktisch überhaupt keine Setzung.

Im Nachstehenden sei weiter noch auf einige Erscheinungen hingewiesen, die bei der Anlage des Leitungsnetzes Beachtung verdienen. In Abb. 21 sind schematisch die Setzungsverhältnisse angegeben, wie sie bei der Erstellung einer Leitung unter einem bestehenden Damm eintreten können.

Die Setzungen der Leitungen werden neben dem Damm grösser als unmittelbar darunter, da unter demselben der Boden bereits vorbelastet ist und sich unter dem grösseren Gewicht stärker verdichtet hat als die benachbarten Gebiete. Umgekehrt verhält es sich bei einem frisch zu schüttenden Damm, der nach der Anlage der Leitungen erstellt wird. Hier sind die Verdichtung und die Setzung unter dem Damm grösser als im umliegenden Gebiet.

Abb. 21. Setzung von Leitungen bei der Grundwasserabsenkung in der Umgebung eines bestehenden Damms (schematisch)

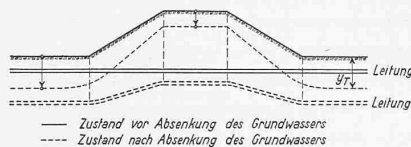


Abb. 22 zeigt die Verhältnisse bei einem frischen Kanaleinschnitt, wie sie grundsätzlich bei Hauptentwässerungsgräben auftreten können. Die grössten Setzungen sind hier unterhalb des oberen Böschungsrandes zu erwarten, da an dieser Stelle die Absenkung des Grundwasserspiegels in Bezug auf die definitive Bodenoberfläche am grössten ist. Im Gebiet der Kanalsohle wird der Untergrund infolge des ausgehobenen Bodens gegenüber seinem ursprünglichen Zustand entlastet, sodass hier die Tendenz zur Hebung infolge von Schwellungsvorgängen besteht.

Für die durch Abb. 21 und 22 schematisch dargestellten Verhältnisse sind bei Vorhandensein mächtiger Torfschichten erhebliche, ungleichmässige Setzungen zu erwarten, wobei Gefälle in den Drainageleitungen entstehen können, die bekanntlich leicht zu unliebsamen Ablagerungen in den Leitungen und damit zu Verstopfungen führen. Die Ungleichmässigkeiten der Setzungen können bei ungünstigen Verhältnissen sogar auf den Damm zurückwirken und seine Stabilität gefährden, indem bei schon bestehenden Dämmen durch die grösseren Setzungen in der Nähe des Fusses die Böschungen ihren Halt verlieren und abgleiten.

Zur Bekämpfung der Gefährdung der Leitungen gibt es grundsätzlich drei Möglichkeiten: die eine besteht darin, dass man die Leitungen durch einen geeigneten Unterbau sichert. Die zweite beruht darauf, dass man bei der Wahl des Längensprofils der Leitungen von vornherein den wahrscheinlichen Setzungen, die sich heute bei genügender Kenntnis der Untergrundverhältnisse einigermaßen voraussagen lassen, Rechnung trägt. Die dritte Methode kann zwar die Gefahr ungleichmässiger Setzungen meistens nur teilweise beheben, ist aber trotzdem von besonderer praktischer Bedeutung. Sie besteht darin, dass durch eine möglichst günstige Wahl des Bauvorganges in verschiedenen Etappen die ungleichmässigen Setzungen auf ein Minimum reduziert werden. Im Falle des Kanaleinschnittes (Abb. 22) ist es z. B. wichtig, dass man den Kanal frühzeitig aushebt und den Wasserspiegel eine genügend lange Zeit vor dem Verlegen der Leitungen absenkt, damit sich die Setzungen in der Hauptsache bereits vollziehen können, bevor der endgültige Anschluss der Drainageleitungen an den Kanal erfolgt.

Tabelle 5. Durchlässigkeitsziffern und kapillare Steighöhe in Funktion des Vertikaldruckes

Vertikalspannung $\sigma_i$ in kg/cm <sup>2</sup> (Verdichtungsdruck)	Probe Nr. 1125		Probe Nr. 1133	
	$k_{10}$ cm/sec	$H$ in m	$k_{10}$ cm/sec	$H$ in m
0,04	$1,2 \cdot 10^{-4}$	0,20	$1,8 \cdot 10^{-4}$	0,10
0,125	$6,0 \cdot 10^{-5}$	0,20	$1,0 \cdot 10^{-4}$	0,15
0,25	$5,6 \cdot 10^{-6}$	0,34	$4,0 \cdot 10^{-6}$	0,30
0,50	$6,2 \cdot 10^{-7}$	0,65	$2,5 \cdot 10^{-6}$	0,80
1,0	$4,2 \cdot 10^{-8}$	2,2	$1,6 \cdot 10^{-7}$	2,40
$e = 2,72$	$2,7 \cdot 10^{-9}$	9,0	$4,7 \cdot 10^{-9}$	7,0

Auf weitere erdbaumechanische Probleme des Meliorationswesens, die hier nicht eingehender behandelt werden können, soll noch kurz hingewiesen werden. Torf ist in seinen Eigenschaften ein sehr wechselreiches und empfindliches Material. Dies zeigt sich beispielsweise an seiner enormen und von Probe zu Probe stark schwankenden Zusammendrückbarkeit, die bis 30 mal grösser sein kann als bei Sanden und etwa viermal grösser als bei Lehmen und Tonen. Die hohe Zusammendrückbarkeit bedingt, wie erwähnt, auch eine sehr starke Empfindlichkeit der Durchlässigkeit, als auch der kapillaren Steighöhe. Um hierüber eine Vorstellung zu geben, sind in der nachstehenden Tabelle 5 die Durchlässigkeitsziffern  $k$  und die kapillaren Steighöhen  $H$  in Funktion des bei der Verdichtung angewandten Vertikaldruckes für zwei Proben zusammengestellt.

Zwei weitere Eigenschaften, die die «Lebendigkeit» des Torfes zahlenmässig stark hervortreten lassen, sind das Schwinden und

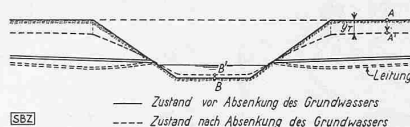


Abb. 22. Setzung von Leitungen bei Grundwasserabsenkung in der Umgebung eines frisch erstellten Kanaleinschnitts (Schema)

Quellen. Auf diese wurde bei den Setzungsberechnungen nicht weiter eingegangen, da es sich zeigte, dass diese Eigenschaften von Probe zu Probe ausserordentlich stark variieren können und rechnerisch kaum mehr gesetzmässig zu erfassen sind. Immerhin ist bei Absenkungen auch diesen Einflüssen Rechnung zu tragen. Das Volumen-Schwindmass  $v_s$  ist definiert durch die Formel:

$$v_s = \frac{V_f - V_t}{V_t} = \frac{V_f}{V_t} - 1 \quad (31)$$

worin  $V_f$  das Feuchtvolumen und  $V_t$  das Trockenvolumen der Probe bedeuten.  $v_s$  stellt daher das Verhältnis der Volumenabnahme beim Trocknungsprozess zum Trockenvolumen dar. Bei einer Untersuchungsreihe von 30 Proben desselben Meliorationsgebietes schwankte dieses zwischen 2,57 bis 7,92, d. h. mit andern Worten: das Feuchtvolumen

$$V_f = (v_s + 1) V_t$$

betrug in diesem Fall bei vollständiger Trocknung im Trockenschrank (105° C) das rd. 3,5 bis 9-fache des Trockenvolumens der Proben. Bei Lufttrocknung an atmosphärischer Luft schwankten die Schwindmasse zwischen 1,83 bis 6,12, d. h., das entsprechende Trockenvolumen erreichte  $\frac{1}{3}$  bis  $\frac{1}{7}$  des Feuchtvolumens des Torfes (vgl. Abb. 23).



Abb. 23. Photo einer Torf-Schwindprobe

Auch die Quellmöglichkeit von Torf ist erheblich. Sie wird durch das Quellmass  $v_q$  veranschaulicht, das analog wie das Schwindmass definiert werden kann.

$$v_q = \frac{V_q - V_t}{V_t} = \frac{V_q}{V_t} - 1 \quad (32)$$

$V_q$  = Nassvolumen nach der Quellung

$V_t$  = Trockenvolumen

An einer Versuchsreihe von vollständig getrockneten Torfproben, die längere Zeit in Wasser gelagert wurden, ergab sich  $v_q$  zu rd. 0,5 bis 0,7, d. h., das Quellvolumen  $V_q$  nach der Wasserlagerung war 50 bis 70 % grösser als das Trockenvolumen.

Unter Beachtung dieser bedeutenden Volumenänderungen des Materials beim Quellen und Schwinden ist es verständlich, dass der Wechsel von feuchten und trockenen Wetterperioden die Setzungserscheinungen beeinflusst. Hat doch z. B. die ausserordentliche Trockenperiode des Sommers 1943 sogar bei den viel weniger empfindlichen Lehm Böden starke Setzungen infolge Wasserabgabe verursacht [10].

## 8. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde zunächst versucht, die Grösse der durch Grundwasserabsenkungen bewirkten Setzungen theoretisch zu erfassen. Dabei wurde ausschliesslich auf die erdbaumechanischen Verhältnisse Rücksicht genommen und Veränderungen des Bodens durch die landwirtschaftliche Bearbeitung und die im Lauf der Zeit sich abspielenden, chemischen Umsetzungen nicht in die Betrachtung einbezogen. Die Methoden der Erdbaumechanik führten zur Entwicklung der im dritten Abschnitt dargestellten, graphischen Setzungsanalyse für sehr stark zusammendrückbare Materialien (Abschnitt 3a). Bei weniger kompressiblen Lockergesteinen kann die gesuchte Setzung nach einem früher aufgestellten, bedeutend einfacheren Verfahren ebenfalls auf graphischem Wege ermittelt werden (Abschnitt 3b). Der vierte Abschnitt befasst sich in entsprechender Weise mit der Ableitung von zwei rein analytischen Lösungen zur Bestimmung der Setzungen (bei homogenen Bodenverhältnissen), von denen die eine für stark zusammendrückbare und spezifisch leichte Bodenarten, wie Torfe (Abschnitt 4a), die andere für weniger zusammendrückbare, spezifisch schwere Lockergesteine wie Sande, Lehme und Tone (Abschnitt 4b) gültig ist. Die erste Lösung, die auf Grund der bei der Untersuchung von Torfgebieten gewonnenen Erfahrungen abgeleitet wurde, ermöglichte die Angabe einer sehr einfachen Näherungsformel (13). Diese dürfte zur Abschätzung der Setzungen, die bei Grundwasserabsenkungen in Torfgebieten zu erwarten sind, in den meisten Fällen ausreichen, vorausgesetzt, dass der massgebende Plastizitätsmodul  $M_E$  der zusammendrückbaren Schichten mit der nötigen Sorgfalt ermittelt wird, und dass nicht andere Einflüsse vorherrschen. Im fünften Abschnitt wird die Frage des zeitlichen Verlaufs der Setzungen auf Grund der Theorie der Porenwasserströmung von Terzaghi kurz besprochen. Sämtliche Berechnungen wurden durch Zahlenbeispiele erläutert.

Im Gegensatz zu den stetig verlaufenden, der Rechnung einermassen zugänglichen Setzungserscheinungen stehen die im sechsten Abschnitt rein phänomenologisch beschriebenen, zum Teil unstetigen Vorgänge, die zeigen, dass bei schwankendem und strömendem Grundwasser schwer durchschaubare Einflüsse wirksam sind, denen eine rein auf das Mechanische gerichtete Betrachtungsweise nicht gerecht werden kann. Der Einblick in diese komplizierten Verhältnisse, den einige demonstrative Elementarversuche im Laboratorium gewähren, ist geeignet, uns vor einer Ueberschätzung der Bedeutung und Genauigkeit erdbaumechanischer Berechnung zu warnen. Es ist zu betonen, dass der Sinn solcher Berechnungen meistens nicht in der Ermittlung einer genauen Zahl liegt, sondern einer Grössenordnung. Ausserdem soll uns die Analyse erlauben, den Einfluss der einzelnen Faktoren gegeneinander abzuwägen, um deren Zusammenspiel besser zu überblicken, stets im Bestreben, durch die Analyse zur Synthese vorzudringen.

Im siebenten Abschnitt werden einerseits die praktischen Anwendungen der durchgeführten Untersuchungen beleuchtet, andererseits einige ergänzende, materialtechnische Angaben unter Berücksichtigung der Schwind- und Quellvorgänge des Torfes gemacht, die die Veränderlichkeit solcher Bodenarten deutlich erkennen lassen. Es darf nicht übersehen werden, dass bei Trockenperioden die Schwindvorgänge einen erheblichen Einfluss auf die Setzungserscheinungen gewinnen können.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass das Grundwasser die Setzungserscheinungen der Erdoberfläche hauptsächlich auf dreifache Art verursacht und beeinflusst. Als polar gegensätzliche Prozesse erscheinen auf der einen Seite die einmalige Grundwasserspiegeländerung, bei der durch Mehrbelastung oder Entlastung des Bodens eine Setzung bzw. Hebung entsteht (mit oder ohne Strukturstörung), und auf der andern Seite die stationäre Grundwasserströmung, die bei konstanten Spannungsverhältnissen durch Lösung und innere Erosion zu unregelmässig und unstetig verlaufenden Setzungen führen kann. Zwischen diesen beiden Extremen liegt die Grundwasserschwankung, bei der infolge des kontinuierlichen Wechsels von Senkung und Hebung des Grundwassers nicht nur eine entsprechende Belastungsschwankung, sondern gleichzeitig periodische Strömungen eintreten. In der Natur ist dieses dreifache Verhalten des Grundwassers meistens in kombinierter Form wirksam. In jedem konkreten Fall muss zunächst untersucht werden, welcher Einfluss vorherrscht, um entscheiden zu können, ob und wie eine rechnerische Erfassung des Problems möglich ist.

[Berichtigung. Auf Seite 271 muss der letzte Buchstabe von Zeile 8 heissen:  $\sigma_a$ -Kurve.]

## Literaturverzeichnis

- [1] Sonderheft: Anbauwerk und Landwirtschaftstechnik, SBZ 1942, Bd. 120, No. 23.
- [2] E. Meyer-Peter: Berechnung der Setzung von Bauwerken. SBZ 1938, Bd. 112, No. 6.
- [3] R. Haefeli: Mechanische Eigenschaften von Lockergesteinen. SBZ 1938, Bd. 111, No. 24 und 26.
- [4] L. Bendel: Uferbewegungen und Staubetrieb am Lungernsee. SBZ 1939, Bd. 114, S. 246.
- [5] R. Haefeli: Spannungs- und Plastizitätserscheinungen der Schneedecke. Schweiz. Archiv für angewandte Wissenschaften 1942, H. 9/12.
- [6] K. Terzaghi: Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage, S. 10. Leipzig und Wien 1925.
- [7] G. Rodio, W. Bernatzik und J. P. Daxelhofer: Erosion interne. Centre d'Etudes et de recherches géotechniques, bulletin No. 5, 1937, Paris.
- [8] G. Rodio, W. Bernatzik und J. P. Daxelhofer: Effondrement près de Mostaganem. Centre d'Etudes et de recherches géotechniques, bulletin No. 5, 1937, Paris.
- [9] R. Haefeli und E. Bucher: Moderne Forschung im Kampfe gegen Lawinen. Jahrbuch des Schweiz. Skiverbandes 1939, Bd. XXXV.
- [10] R. Haefeli: Erdbaumechanische Probleme im Lichte der Schneeforschung. SBZ, Bd. 123, No. 2, 4 und 5, 1944.
- [11] R. Haefeli, A. v. Moos: Drei Lockergesteine und ihre technischen Probleme: Hydraulischer Grundbruch, Strukturstörung, Plastizität. SBZ, Bd. 112, No. 11, 1938.

## Die Lehrlingsausbildung der Maschinenzeichner

Am 1. Mai 1944 traten die eidg. Reglemente über die Lehrlingsausbildung und über die Mindestanforderungen der Lehrabschlussprüfungen im Maschinenzeichnerberuf<sup>1)</sup> in Kraft. Wir geben anhand des Bundesblattes, 96. Jahrg., Bd. I, Nr. 9 vom 27. April d. J. deren wichtigsten Inhalt bekannt.

Die Ausbildung in den vier Richtungen: Maschinen- und Apparatebau, Feinmechanischer Instrumentenbau, Elektro-Maschinen- und Elektro-Apparatebau, Elektro-Feinapparatebau hat in dafür in Betracht kommenden technischen Bureaux zu geschehen, wobei das ausgebildete technische Personal als Massstab für die zulässige Zahl der Lehrlinge gilt. Die Lehrzeit beträgt vier Jahre, Ausnahmen kann die zuständige kant. Behörde bewilligen. Lehrziel sei eine allgemeine, grundlegende Ausbildung, die es dem Lehrling ermöglicht, sich später in jeder andern Richtung des Maschinenzeichnerberufes rasch einzuarbeiten. Eine 6 bis 12 monatliche Werkstattpraxis im Lauf des 2. oder 3. Lehrjahres, sollen ihm die wichtigsten Kenntnisse der Metallbearbeitung, der Montage- und Kontrollarbeiten vermitteln. Betriebe ohne eigene Werkstätte haben sich hierfür mit andern zu vereinbaren.

An Berufskennntnissen sollen vermittelt werden: Materialkennntnisse, Bearbeitungsverfahren und Oberflächenbehandlung, Maschinenelemente und VSM-Normen, Passungen, Vervielfältigungsverfahren, Schaltpläne, Unfallschutz. Die praktische Ausbildung sieht vor: im ersten Lehrjahr zeichnerische Grundelemente, Kopieren, Beschriften, Bureau- und Registraturarbeiten, Lichtpausen; im zweiten Jahr Grosschriften, einfache Werkstattzeichnungen, Anlegen von Farben, Stücklistenherstellung, Kurvendarstellungen, Volumen- und Gewichtsberechnungen, einfache Leitungsberechnungen, Schaltschemata; im dritten Jahr Abwicklungen, Verzahnungen, Zusammenstellungs-Zeichnungen, Werkstattzeichnungen für Einzelteile, Masstabwechsel; im vierten Jahr Skizzieren und Aufzeichnen von fertigen Werkstücken, Getriebe, Lehren- und Vorrichtungen, Fundament-, Leitungs- und Situationspläne, Schaltschemata, selbständiges Aufzeichnen nach Angaben. Werkstattpraxis: Grundlegende Schraubstock- und Maschinenarbeiten, kurze Giessereipraxis, Einführung in die verschiedenen Arbeitsverfahren, deren Werkzeuge, Maschinen und Vorrichtungen.

Die *Lehrabschlussprüfung* in den berufkundlichen und in den geschäftskundlichen Fächern, durch vorgebildete Experten in einem technischen Bureau oder in einer Berufsschule abgenommen, dauert etwa 22 Stunden für die Arbeitsprüfung und 3 Stunden für Berufskennntnisse, wofür das Reglement ebenfalls nähere Stoffumschreibungen enthält. Massgebend für die Bewertung sind Arbeitsgüte, Aussehen und Genauigkeit, wobei verschiedene Einzelnoten vorgesehen sind. Die Prüfung ist bestanden, wenn sowohl die doppelt zählende Note der Arbeitsprüfung, als auch die Gesamtnote als Viertel der Notensumme von Arbeitsprüfung, Berufskennntnisse und Durchschnittsnote der geschäftskundlichen Fächer je den Wert 3,0 nicht überschreitet.

<sup>1)</sup> Vergleiche das Entsprechende für Bauzeichner in SBZ Band 116, Seite 100 (1940).