Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 16 (1925)
Heft: 10

Artikel: Die Fundamente der Freileitungstragwerke und ihre Berechnung
Autor: Sulzberger, G.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1057298

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: 22.08.2025

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

SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

Erscheint monatlich,
im Januar dazu die Beilage „**Jahresheft**".

Alle den **Inhalt** des „Bulletin" betreffenden Zuschriften sind zu richten an das

Generalsekretariat
des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins
Seefeldstrasse 301, Zürich 8 — Telephon: Limmat 96.60*,
welches die Redaktion besorgt.

Alle Zuschriften betreffend **Abonnement, Expedition** und **Inserate** sind zu richten an den Verlag:

Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G.
Stauffacherquai 36/38 Zürich 4 Telephon: Selnau 38.68*

Ce bulletin paraît mensuellement. — „**L'Annuaire**" est distribué comme supplément dans le courant de janvier.

Prière d'adresser toutes les communications concernant la **matière** du „Bulletin" au

Secrétariat général
de l'Association Suisse des Electriciens
Seefeldstrasse 301, Zurich 8 — Telephon: Limmat 96.60*
qui s'occupe de la rédaction.

Toutes les correspondances concernant les **abonnements, l'expédition** et les **annonces,** doivent être adressées à l'éditeur

Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei S. A.
Stauffacherquai 36/38 Zurich 4 Telephon: Selnau 38.68*

Abonnementspreis (für Mitglieder des S. E. V. gratis)
für Nichtmitglieder inklusive Jahresheft:
Schweiz Fr. 20.—, Ausland Fr. 25.—
Einzelne Nummern vom Verlage Fr. 2.— plus Porto.

Prix de l'abonnement annuel (gratuit pour les membres de l'A. S. E.), y compris l'Annuaire Fr. 20.—
pour la Suisse, Fr. 25.— pour l'étranger.
L'éditeur fournit des numéros isolés à Fr. 2.—, port en plus.

XVI. Jahrgang
XVIe Année

Bulletin No. 10

Oktober
Octobre 1925

Die Fundamente der Freileitungstragwerke und ihre Berechnung.

Von *G. Sulzberger,* Ingenieur, Bern.

Der Autor knüpft an seine im Bulletin des S. E. V. 1922, No. 10, gemachten Ausführungen über das nämliche Thema und an seine zwei, im Bulletin des S. E. V. 1924, No. 5 und 7, erschienenen Berichte über Versuche an Freileitungsfundamenten aus Beton für Eisenmasten an und gibt zunächst die Ergebnisse weiterer Versuche zur Bestimmung des Widerstandes, den Holzstangen und besondere Fundamentkörper verschiedener Form dem Ausziehen aus dem Boden entgegensetzen, bekannt. Damit ist die Berichterstattung über diese, unter Leitung einer gemeinsamen Kommission des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins (S. E. V.) und des Verbandes Schweiz. Elektrizitätswerke (V. S. E.) vorgenommenen Versuche beendet, welche die Grundlagen zu Vorschlägen für die Revision der Bestimmungen der bundesrätlichen Starkstromvorschriften über die Berechnung der Fundamente bilden.

Anschliessend wird der Vorschlag der erwähnten Kommission für die Revision der diesbezüglichen Bestimmungen der Starkstromvorschriften samt zugehörigen Erläuterungen und einem Anhang bekanntgegeben, und an Hand von Beispielen die Berechnungsweise von Blockfundamenten und aufgelösten Fundamenten nach diesem Entwurfe erläutert.

L'auteur se réfère à son article sur le même sujet, paru dans le Bulletin A. S. E. 1922, No. 10, et spécialement à ses deux communications relatives à des essais de fondations en béton pour supports métalliques de lignes aériennes, publiées au Bulletin 1924, No. 5 et 7. Il donne tout d'abord les résultats d'autres essais, destinés à déterminer la résistance offerte à l'arrachement par des poteaux en bois et des blocs de béton de formes différentes. Ainsi se termine la série de rapports concernant les essais exécutés sous la responsabilité d'une commission commune de l'Association Suisse des Electriciens (A. S. E.) et de l'Union de Centrales Suisses d'électricité (U. C. S.), et qui devaient fournir les bases pour la révision des dispositions des prescriptions fédérales concernant les installations électriques à fort courant touchant au calcul des fondations.

Pour terminer, l'auteur donne connaissance du projet de la dite commission concernant les prescriptions relatives à cet objet, avec commentaires et annexes, et explique par divers exemples comment effectuer d'après ce projet le calcul des fondations massives et celui des fondations à socles séparés.

Im Bulletin No. 10 des S. E. V. vom Jahre 1922 ist über die Gesichtspunkte berichtet worden, welche für die Arbeiten der Untergruppe der Kommission für die Revision der Bundesvorschriften betreffend elektrische Anlagen, die sich speziell mit

der Frage der Fundamente der Freileitungstragwerke beschäftigte, massgebend waren. Diese Untergruppe beschloss die Vornahme von Versuchen zur Abklärung verschiedener Fragen. In den Bulletins No. 5 und 7 vom Jahre 1924 ist ein Bericht über die in Gösgen mit prismatischen Blockfundamenten und mit einem Spezialfundamenttyp vorgenommenen Teilversuche veröffentlicht worden. Nachfolgend wird berichtet über die Ergebnisse der weiteren Versuche, die vorgenommen wurden zur Abklärung der Frage des *Widerstandes, den Holzstangen oder besondere Fundamentkörper verschiedener Form und Herstellungsweise dem Ausziehen aus dem Boden entgegensetzen.*

1. Versuche mit hölzernen Leitungsmasten.

Für diese am 6., 7. und 9. Dezember 1923 ausgeführten Versuche wurden Stangen der an der S. B. B.-Linie Olten-Luzern bestehenden Schwachstromleitung der schweizerischen Telegraphenverwaltung benutzt, die wegen der Elektrifikation der Bahn beseitigt werden musste. Die Leitung ist 1911 erstellt worden. Die Stangen waren in der üblichen Weise mit 2—3 Kränzen aus mässig grossen Steinen im Erdboden verrammt. Der letztere bestand fast durchwegs aus gewachsenem, etwas lehmigem, mit wenigen Steinen durchsetztem Ackerboden. Für den Versuch wurden die Stangen etwas über dem Boden abgesägt und mittelst eines an einem kräftigen Dreibein aufgehängten Flaschenzuges unter Zwischenschaltung eines Dynamometers in der Richtung der Stangenachse aus dem Boden ausgezogen. Gemessen wurde der grösste, bei jeder Laststufe auftretende Zug, der Weg der Stange nach Erreichung der neuen Laststufe, der nach Eintritt annähernden Stillstandes der Bewegung zurückgelegte Weg und der alsdann noch verbleibende Zug. Es war ursprünglich beabsichtigt gewesen, auch die Hebung der Bodenoberfläche um die Stange herum zu messen. Im allgemeinen war jedoch diese Hebung so unbedeutend, dass schon nach dem ersten Versuch von dieser Messung abgesehen wurde.

Trägt man die erhaltenen Ergebnisse in Kurvenform auf (Kraft-Wegkurve), so erhält man Linien mit ähnlichem Verlauf. Nach einem mehr oder weniger steilen

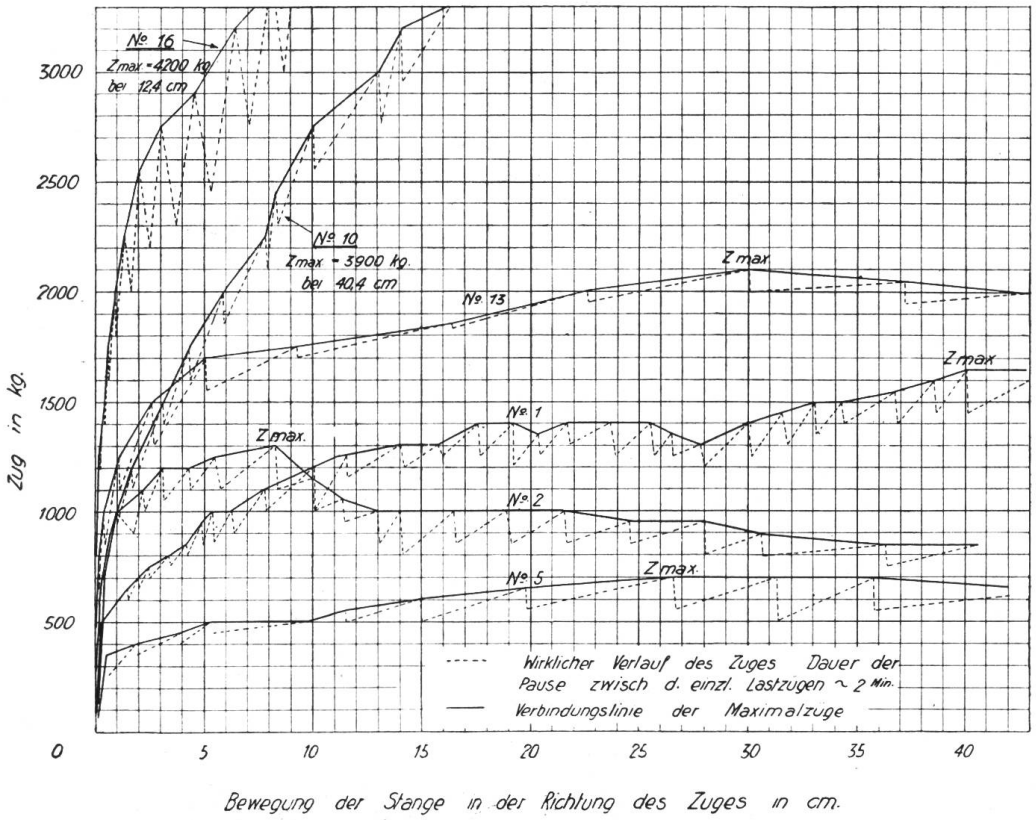


Fig. 1.

Anstieg tritt nach Erreichung des grössten Zuges ein allmählicher Abfall desselben bis auf ungefähr den Betrag des Eigengewichtes des Stangenstumpfes ein. Beispielsweise sind in Fig. 1 einige dieser Kurven dargestellt. Aus der folgenden Tabelle I sind die wichtigsten Versuchsergebnisse ersichtlich.

Bewegung von Holzstangen in Funktion der Zugkraft in Richtung ihrer Achse.

Tabelle I.

No.	Eingrabtiefe	Stangendurchmesser an der Bodenoberfläche	Stangendurchmesser am untern Ende	Grösster erreichter Zug Z'_{max} (momentan)	Z_{max} bleibend	Weg der Stange nach Erreichung von Z'_{max}	Bemerkungen
	cm	cm	cm	kg	kg	cm	
1	170	19,8	22,5	1 650	1 450	45,3	1) Durchmesser in halber Eingrabtiefe = 21,5 cm
2	153,5	20,8	24,0	1 250	1 100	5,5	2) Durchmesser in halber Eingrabtiefe = 24,6 cm
3	157	18,3	23,0	1 200	1 100	60,5	3) Durchmesser in halber Eingrabtiefe = 32,5 cm
4	155	20,0	20,8	650	550	20,6	4) Durchmesser in halber Eingrabtiefe = 30,0 cm
5	155	20,1	21,2	700	550	26,6	5) Kuppelstange
6	153	20,4	23,5	1 200	1 000	19,28	
7	153	18,9	23,5	1 400	1 250	51,9	
8	146	19,5	23,0	1 050	900	49,0	
9	150	19,4	22,1	1 000	850	12,25	
10	170	21,3	28,0 1)	3 900	3 500	40,4	
11	163	23,7	27,7 2)	1 600	—	24,4	
12	152	19,4	21,0	800	750	13,6	
13	149	19,6	23,1	2 100	2 000	31,1	
14	150	19,4	21,6	1 200	1 100	17,7	
15	150	17,7	20,4	950	850	26,2	
16	215	31,9	38,9 3)	4 200	3 450	12,4	
17	210	29,5	35,0 4)	3 500	3 000	98,95	
18	210	19,9/21,8 5)	24,3/27,1	3 750	3 450	28,0	

Aus dem Umstand, dass keine grösseren Erdmassen an den Stangen haften blieben, ist zu schliessen, dass der Widerstand gegen deren Ausziehen aus dem Boden, abgesehen von ihrem Eigengewichte, auf der Reibung zwischen Stangenoberfläche und dem sie umgebenden Erdreich und den Steinkränzen beruht. Von einem aktiven Erddruck auf die Stange im gewöhnlichen Sinne des Wortes kann kaum die Rede sein. Der die Reibung erzeugende Druck des Erdreiches auf die Stange rührt her von der Verspannung, die das Einstampfen von Steinen und Erde bewirkt.

Beim Ausziehen nach unten verdickter Stangen wird die sie umgebende Erde durch die verdickten Teile seitlich verdrängt. Der dadurch entstehende Reaktionsdruck vergrössert die Reibung wesentlich, wie dies deutlich aus den Versuchsergebnissen ersichtlich ist. Somit ist es angezeigt, Stangen, die dauernd oder zeitweise auf Zug beansprucht werden, mit einem Teil ihrer natürlichen Verdickung über dem Wurzelstock zu verwenden. Der Widerstand gegen Ausziehen kann dadurch vervielfacht werden.

Eine genaue Vorausberechnung des Widerstandes gegen das Ausziehen ist kaum möglich. Für annähernde Berechnungen kann folgendermassen vorgegangen werden:

Handelt es sich um ungefähr zylindrische Stangen, so kann angenommen werden, die Reibung sei proportional der Oberfläche des im Boden steckenden Teiles und einer Reibungsziffer, die, nach den Versuchen zu urteilen, den Wert von 0,03 bis 0,06 hat. Die niedrigere Ziffer gilt für steinarmen, plastischen, die höhere für steinreichen Boden. Höhere Ziffern anzunehmen ist wegen der Ungleichmässigkeit des Erdbodens nicht empfehlenswert.

Für die ungefähre Berechnung der zusätzlichen Reibung, die beim Ausziehen unten verdickter Stangen entsteht, dürfte folgende Ueberlegung wegleitend sein: Die zur Wirkung kommenden Reibungsziffern sind ungefähr die gleichen wie bei zylindrischen Stangen. Wenn gute Steinkränze vorhanden sind, so können eher etwas höhere Ziffern angenommen werden. Durch die beim Durchgang des dicken Stangenendes an den seitlichen Grubenwänden auftretenden Reaktionen entsteht jedoch erhöhter Druck zwischen Stangenoberfläche und dem anliegenden Erdreich oder den Steinkränzen. Dieser Druck ist gleich der Baugrundziffer der zu verdrängenden Teile der Grubenwandung multipliziert mit der linearen Grösse der Verdrängung. Er wird am besten auf die Oberflächeneinheit bezogen. Die durch ihn erzeugte zusätzliche Reibung kommt nur auf demjenigen Teil der Stangenoberfläche zur Wirkung, auf welchem eine Verdrängung stattfindet.

Es ist zu beachten, dass die so berechneten Züge Maximalwerte darstellen, bei deren Erreichung die Stange schon einen beträchtlichen Weg zurückgelegt hat. Soll die Belastung den Betrag, bei welcher dieser Weg nur unbedeutend ist, nicht überschreiten, so darf der wirkliche Zug nur ungefähr $^1/_3$ des berechneten Maximalzuges erreichen.

Beispiele:

1. Eine zylindrische Stange sei 150 cm tief eingegraben und in üblicher Weise festgerammt. Der Durchmesser an der Bodenoberfläche betrage 20 cm. Somit ist $F = 20 \cdot 3{,}14 \cdot 150 = 9420$ cm². Nehmen wir die Reibungsziffer zu 0,04 an, das Eigengewicht der Stange zu 250 kg, so beträgt der Widerstand gegen Ausziehen $= 0{,}04 \cdot 9420 + 250 = 624{,}8$ kg.

2. Stange gemäss Fig. 2.

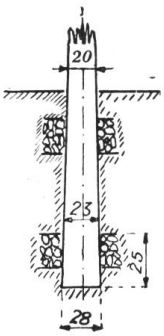


Fig. 2.

Der Widerstand gegen Ausziehen, unter der Annahme, die Stange habe zylindrische Form, beträgt:

$W_1 = 3{,}14 \cdot 20 \cdot 150 \cdot 0{,}04$ . . . . . = 377 kg

Die Zusatzreibung beim Ausziehen um 25 cm berechnet sich wie folgt:

Seitliche Verdrängung radial $= \frac{28 - 23}{2} = 2{,}5$ cm. Wird die Baugrundziffer der Lochwandung in 140 cm Tiefe zu 8 kg/cm³ angenommen, so ist der Reaktionsdruck $= 8 \cdot 2{,}5 = 20$ kg/cm². Wird μ zu 0,05 angenommen (unterer Steinkranz), so beträgt die Reibung auf den cm² $= 20 \cdot 0{,}05 = 1$ kg. Der Reibungswiderstand des verdickten Stangenteils auf dem Weg durch den unteren Steinkranz beträgt somit $\frac{23 + 28}{2} \cdot 3{,}14 \cdot 25 \cdot 1$ . . . . . $\cong$ 2000 kg

Eigengewicht der Stange . . . . . 300 kg

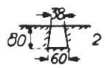
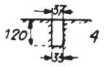
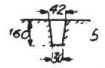
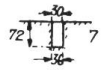
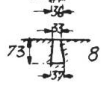
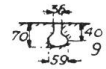
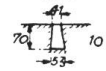
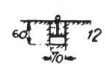
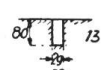
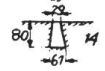
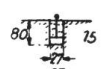
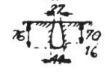
Gesamtwiderstand gegen Ausziehen 2677 kg

2. *Versuche betreffend den Widerstand, den verschiedenartige Betonfundamente dem Ausziehen aus dem Erdboden entgegensetzen.*

Bei diesen Versuchen handelte es sich hauptsächlich darum, zu ermitteln, welchen Einfluss die Form, Grösse und Herstellungsart solcher Fundamentkörper auf den Widerstand gegen das Ausziehen derselben aus Erdboden verschiedener Beschaffenheit haben, um Anhaltspunkte für eine ungefähre Vorausberechnung dieses Widerstandes zu gewinnen. Da nur noch bescheidene Mittel hierfür zur Verfügung standen, musste man sich mit der Erprobung verhältnismässig kleiner Objekte begnügen. Aus Zweckmässigkeitsgründen wurden für diese Versuche der Werkplatz der Zementwarenfabrik Hunziker & Cie. in Olten und in der Nähe davon befindliche Stellen gewählt. Die Fundamente wurden durch das Personal dieser Firma hergestellt. Die eidg. Telegraphenverwaltung stellte das für die Durchführung der Versuche nötige Personal.

Die Versuchsergebnisse sind aus der folgenden Zusammenstellung (Tabelle II) ersichtlich.

Widerstand verschiedener Betonfundamente gegen Ausziehen aus dem Boden. Tab. II.

No.	Bodenart	Grösse und Form des Körpers	„Proportionalitätsgrenze"		„Fliessgrenze"		Grösster erreichter Zug		Oberer Durchmesser d. Erdfliesskegels[1]
			Z kg	Weg mm	Z kg	Weg mm	kg	Weg mm	cm
1	Kies mit viel feinem Sand		400	0	1600	11,5	2200	47	~120
2	do.		1000	0	2200	6,5	2550	19	140
3	do.		1200	0	2200	2,0	2600	8	105
4	do.		1200	0,5	2500	6,0	2500	6,0	120
5	do.		1500	0,6	3000	7,0	3600	41	130
6	Gewachsener Humus mit wenig Sand und Lehm		6000	3,5	6000	3,5	8000	39	220
7	do.		700	0,5	1700	6,5	1950	36	170
8	do.		1000	1,0	2100	14,0	2200	44,5	120
9	do.		1000	0,5	2100	8,5	2300	17,0	170
10	do.		800	0,5	2000	17,0	2100	45	170
11	do.		600	0,5	1600	7,0	1700	23,0	110
12	do.		750	0,5	1600	8,5	2000	61,0	~70
13	Fester, reiner Lehm . .		1550	0,5	2500	3,5	2700	9,0	140
14	do.		2000	0,5	3500	2,0	3700	4,0	200
15	do.		1300	0,5	2000	14,0	2050	36,5	130
16	do.		1400	0,7	2000	3,0	2200	6,5	145
17	Kies mit viel Sand . . .		1400	0,5	2000	3,7	3000	36,7	[2]
18	do.		1400	1,5	2000	8,0	3000	47	[2]
19	do.		600	1,0	1000	2,5	1300	20	~80
20	do.		4200[3]	1,1	–	–	–	–	–
21	do.		400	0,5	750	3,0	1250	31	70

[1]) Der „obere Durchmesser des Erdfliesskegels" gibt nur ungefähr an, bis zu welcher Ausdehnung die Erdoberfläche durch die Sockelbewegung in Mitleidenschaft gezogen wurde. Nach Ueberschreitung der Fliessgrenze hörte im allgemeinen die Adhäsion zwischen Sockel und Erdreich auf, weshalb das letztere nur in geringem Masse ganz ausgezogen wurde.

[2]) Eingestampfter Stangenfuss von Hunziker & Cie. $t = 130$ cm. $G \simeq 300$ kg.

[3]) Versuch abgebrochen, da Zugvorrichtung ungenügend.

Es lassen sich daraus folgende Schlüsse ziehen:

Im *festen („gewachsenen") Boden* erreicht man auf die Betonvolumeneinheit des Fundamentes bezogen den grössten Widerstand gegen das Ausziehen durch unmittelbares Einstampfen oder Giessen des Betons in nach unten erweiterte, rauhwandige Gruben.

Der Widerstand nach der Erdoberfläche zu verbreiterter Fundamentkörper ist verhältnismässig klein. Diese Form ist daher bei auf Zug beanspruchten Fundamenten zu vermeiden.

Unter sonst gleichen Verhältnissen hängt der Widerstand gegen das Ausziehen in hohem Masse von der Beschaffenheit des Erdbodens hinsichtlich seiner Zusammensetzung, Kompaktheit und seinem Wassergehalt ab. In stark plastischem Boden hängt das „Nachgeben" des Fundamentes gegenüber den Zugkräften auch von der Dauer der Einwirkung derselben ab, weshalb in solchen Fällen besondere Vorsicht angezeigt ist.

Für eine ungefähre Vorausberechnung des grössten Widerstandes gegen das Ausziehen führt folgende einfache Annahme zu genügend zuverlässigen Ergebnissen:

Ausser dem Eigengewicht des Fundamentkörpers selbst und der unmittelbar darüber befindlichen Erde ist dasjenige einer Erdmasse zu heben, die eingeschlossen ist durch eine um seine Grundfläche gelegte, gegen die Lotrechte um einen Winkel β nach aussen geneigte Mantelfläche. Die Grösse des Winkels β hängt ab von der Bodenbeschaffenheit und -Art und von der Form des Fundamentkörpers.

In nicht gewachsenem Boden (Schüttungen, losem Geröll und Geschiebe, leichtem Humus und dergleichen) dürften eingegrabene Platten im Verhältnis zum Kostenaufwande die besten Ergebnisse zeitigen. Für die Berechnung des Widerstandes solcher Platten oder Roste gegen Ausziehen können die gleichen Annahmen wie im vorhergehenden Falle gemacht werden.

Eine einigermassen zuverlässige Vorausberechnung des „Nachgebens" solcher Fundamente bei einem bestimmten Zuge stösst auf Schwierigkeiten, da es in hohem Masse von den besonderen Verhältnissen sowohl des Bodens als der Fundamente selbst abhängig ist. In Fällen von besonderer Wichtigkeit dürfte es sich empfehlen, Versuche vorzunehmen. Etwelche Anhaltspunkte bieten die aus Tabelle II ersichtlichen Versuchsergebnisse.

Auf Grund der in diesem Aufsatz beschriebenen Versuche und derjenigen, über welche bereits früher berichtet worden ist, sind die nachfolgend abgedruckten Vorschläge der Spezialkommission des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke für die neuen Vorschriften betreffend die Fundamente von Freileitungstragwerken, samt „Anhang" mit einer Wegleitung für die Berechnung der gebräuchlichsten Fundamente aufgestellt worden.

REVISION DER BUNDESVORSCHRIFTEN BETR. ELEKTRISCHE ANLAGEN

Vorschlag für die Artikel betreffend Tragwerksfundamente von Starkstromfreileitungen, nebst Anhang und Erläuterungen.

Art. 29.

1. Die Tragwerksfundamente von Starkstromfreileitungen müssen unter den in Art. 26 festgesetzen Belastungsannahmen folgende Bedingungen erfüllen:

a) Die Sicherheit gegen Umsturz soll eine wenigstens 1,5fache sein.