Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 40 (1949)
Heft: 5

Artikel: Nochmals zur Frage der Fundamente der Freileitungstragwerke
Autor: Sulzberger, G.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1056351

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

Nochmals zur Frage der Fundamente der Freileitungstragwerke[1])

Von *G. Sulzberger*, Bern

621.315.66.00273

Da, namentlich auf Grund von Erfahrungen im Krieg 1939—1945, neuerdings die Auffassung vertreten wird, die Fundamente der Freileitungstragwerke seien im allgemeinen nach klassischer Berechnung überdimensioniert, so dass sich die Revision der Berechnungsmethode aufdränge, legt der Verfasser die Gesichtspunkte dar, die bei der Berechnung zu berücksichtigen sind. Die daraus gezogenen Schlüsse rechtfertigen vorläufig, d. h. bis zur allfälligen besseren Abklärung der in bodenphysikalischer Hinsicht noch bestehenden Unsicherheiten, eine Änderung des bisherigen Verfahrens nicht.

Certains spécialistes, se basant notamment sur les expériences faites durant la dernière guerre mondiale, estiment que les fondations des pylônes de lignes aériennes sont en général surdimensionnées, lorsqu'elles sont calculées de la manière classique, de sorte qu'une révision de cette méthode de calcul serait nécessaire. M. Sulzberger fait un exposé des divers points qui doivent être considérés lors des calculs et il démontre qu'une modification de la méthode appliquée jusqu'ici ne serait, pour le moment, guère justifiée, réserve faite d'un éclaircissement plus complet de certaines questions relatives aux notions de la physique des terres.

Seit einiger Zeit sind Stimmen laut geworden, die behaupten, nach der bisherigen Praxis seien die Fundamente der Freileitungswerke im allgemeinen überdimensioniert worden; dementsprechend sei der dafür gemachte Kostenaufwand übertrieben und könnte ohne Gefahr für die Sicherheit erheblich vermindert werden.

In einer Zeit grosser Knappheit der Baumaterialien aller Art und ihres hohen Preises wegen kommt der Forderung möglichst wirtschaftlicher Bauweise auch auf dem Gebiete des Freileitungsbaues zweifellos erhöhte Bedeutung zu. Es scheint daher schon aus diesem Grund geboten, zu prüfen, ob und inwiefern diese Behauptung gerechtfertigt ist und gegebenenfalls die sich daraus ergebenden Folgerungen zu ziehen.

Die Vertreter der erwähnten Behauptung stammen hauptsächlich aus dem kriegsgeschädigten Ausland, wo reichlich Erfahrungen über Freileitungsbeschädigungen durch kriegerische Handlungen gemacht werden konnten. Sie stützen sich auf die Feststellung, dass von den verschiedenen Teilen der Freileitungen die Tragwerkfundamente von den direkten und indirekten Folgen solcher Handlungen am wenigsten, meistens gar nicht beschädigt worden seien.

Soweit es sich um die Folgen *direkter* Geschosseinwirkungen auf die einzelnen Teile (Leiter, Isolatoren, oberirdische Tragwerkteile, Fundamente) handelt, scheint diese Feststellung ohne weiteres verständlich, sind doch die Fundamente vor solchen Einwirkungen durch den sie umschliessenden Erdboden weitgehend geschützt. In Betracht fallen daher vorwiegend die durch Geschosswirkung *indirekt* entstehenden Fundamentbeanspruchungen durch die bei Leiterbruch plötzlich, schlagartig auftretenden einseitigen Leiterzüge, die ja auch für die oberirdischen Tragwerkteile die ungünstigsten Belastungsverhältnisse bewirken. Bilden zwar der oberirdische und der unterirdische Tragwerkteil, so gut wie ein Baum mit seinen Wurzeln, ein einheitliches Ganzes, so rechtfertigen doch die verschiedenen Aufgaben dieser Teile und die Anforderungen an ihre konstruktive Ausbildung je eine besondere Betrachtung.

Der oberirdische Teil, das eigentliche Tragwerk, dient zur Aufhängung der Leiter im Luftraum in einem durch die massgebenden Vorschriften festgesetzten kleinsten Abstand von der Bodenoberfläche und unter sich. Er muss so gebaut und bemessen sein, dass bei den durch diese Vorschriften festgesetzten ungünstigsten Belastungsannahmen die geforderte Sicherheit gegen Bruch des Ganzen und seiner Einzelteile gewährleistet ist, bzw. dass keine Überschreitung der entsprechenden Materialbeanspruchungen eintritt. Dies gilt auch für den unterirdischen Teil, das Fundament als Teil des Ganzen (*Eigenfestigkeit* des Fundamentes).

Die Berechnung des *oberirdischen Tragwerkteiles* stösst grundsätzlich auf keine Schwierigkeiten, denn die äusseren Angriffkräfte sind nach Grösse, Richtung und Angriffstelle gegeben, die Festigkeits- und Elastizitätseigenschaften der Baumaterialien sind bekannt und über die anzuwendenden Berechnungsmethoden bestehen keine Zweifel. In besondern Fällen kann durch Probebelastungen und Messungen mit bekannten, geeigneten Instrumenten der Grad der Übereinstimmung zwischen Rechnung und Wirklichkeit am fertigen, frei zugänglichen Probeobjekt festgestellt werden.

Bei dem unterirdischen Teil, dem *Fundament*, liegen in mehrfacher Hinsicht andere Verhältnisse vor. Wohl sind auch hier die Festigkeitseigenschaften der Bauelemente bekannt, und für die Berechnung der Eigenfestigkeit gelten die gleichen Regeln der Baustatik und die gleichen Sicherheitsanforderungen wie für den oberirdischen Teil. Zweifel könnten bei der Berechnung des Fundamentkörpers auf Biegefestigkeit bestehen. In der Regel wird diese Berechnung unter der Annahme völlig starrer Einspannung des fest gedachten Fundamentteils durchgeführt, trotzdem in Wirklichkeit die Einspannung nicht oder nur unvollkommen starr ist, da der Baugrund fast immer mehr oder weniger elastisch-plastische Eigenschaften hat und infolgedessen nachgiebig ist. Der durch die Annahme starrer Einspannung begangene Fehler ist jedoch für die tatsächliche Sicherheit ohne nachteilige Folgen, da sich die Nachgiebigkeit des Baugrundes entlastend auf die Beanspruchung des Fundamentes auswirkt, dies allerdings um den Preis einer grösseren Lageveränderung bei zunehmender Belastung.

Beiläufig kann in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen werden, dass die Eigenfestigkeit glatter, richtig ausgeführter Blockfundamente im allgemeinen ohne besondere Nachprüfung als gewähr-

[1]) Vgl. Bull. SEV Bd. 36(1945), Nr. 10, S. 289...308.

leistet betrachtet werden kann, da die Fundamente dieser Art aus Gründen der Standsicherheit so reichlich bemessen werden müssen, dass dies der Fall ist. Für die Eigenfestigkeit von Fundamenten mit Querschnittabstufungen, mit oder ohne Bewehrung, und solchen von besonderer Form dagegen ist im allgemeinen eine rechnerische Überprüfung erforderlich.

Das Fundament muss aber nicht nur die nötige Eigenfestigkeit aufweisen, sondern auch seine Hauptaufgabe erfüllen, die nötige Standsicherheit des Tragwerkes zu gewährleisten. Unter dem Sicherheitsgrad wird meist der Quotient aus dem Moment der die Standfestigkeit sichernden Kräfte (Stabilitätsmoment) und demjenigen der das Tragwerk auf Umsturz beanspruchenden Kräfte (Umsturzmoment) verstanden. Über die Grösse des in Rechnung zu stellenden Umsturzmomentes bestehen, von Fragen untergeordneter Bedeutung abgesehen (z. B. Drehachsenlage), keine Zweifel.

Weniger eindeutig liegen die Dinge in bezug auf das Stabilitätsmoment. Beschränkt man die Betrachtung zunächst auf glatte Blockfundamente, so setzen sich die hier zur Wirkung kommenden Kräfte zusammen aus dem Gesamtgewicht des ausgerüsteten Tragwerkes und seines Fundamentes. Beginnt dieses unter dem Einfluss eines Umsturzmomentes sich, hauptsächlich in Form einer Drehbewegung, aus seiner Ruhelage zu verschieben, entstehen an den quer zu den Angriffskräften gerichteten Seitenwänden des Fundamentes und an seiner Sohle Bodenreaktionskräfte (passiver Erddruck), die sich der Drehung widersetzen. Zu diesen Kräften gesellen sich in gleichem Sinne wirkende Reibungskräfte zwischen dem Fundament und dem dasselbe umschliessenden Baugrund. Diese Reibungswiderstände sind indessen von so vielen schwer zu bewertenden Faktoren abhängig, dass sie in den Berechnungen, trotz ihrer die Stabilität beträchtlich erhöhenden Wirkung, besser nicht in Rechnung gestellt werden.

Mit zunehmender Drehung des Fundamentblockes und in Abhängigkeit davon nehmen nicht nur die Bodenreaktionskräfte bis zu einem Höchstwerte zu, sondern Hand in Hand damit geht auch eine Verlagerung der Drehachsenlage, die ihrerseits eine Rückwirkung auf die Grösse und Verteilung der Reaktionskräfte hat. Es geht daraus hervor, dass das Stabilitätsmoment eines im Erdboden «eingespannten» Blockfundamentes nicht eine konstante Grösse ist, sondern dass sie bei zunehmender Grösse des Umsturzmomentes und dadurch bewirkter Verdrehung des Blockes bis zu einem Höchstwert ansteigt, um nach Überwindung der verschiedenen Reaktionskräfte allmählich auf ein Minimum abzusinken. Dies lässt erkennen, dass sich bei dem Belastungsvorgang ein ziemlich kompliziertes Kräftespiel abwickelt, dessen rechnerische Behandlung durch die von Fall zu Fall in sehr weiten Grenzen verschiedenen bodenmechanischen Festigkeitseigenschaften des Baugrundes erschwert wird. Da hier eine eingehendere Behandlung dieser Vorgänge zu weit führen würde, sei auf die früheren Veröffentlichungen hierüber im Bulletin des SEV verwiesen, z. B. 1945, Nr. 10.

Es erscheint nach dem Gesagten immerhin geboten, auf den Begriff der Standsicherheit eines Tragwerkes zurückzukommen.

In den meisten ausländischen Vorschriften wird eine gewisse Sicherheit gegen Tragwerkumsturz gefordert. Anderseits wird zur Stützung der eingangs erwähnten Behauptung festgestellt, dass wohl Brüche des oberirdischen Teils von Tragwerken aus verschiedenen Ursachen vorgekommen seien, eigentliche Umstürze infolge Versagens des Fundamentes so gut wie nie.

Versuch und praktische Erfahrung zeigen übereinstimmend, dass jedenfalls dem Umsturz eines überlasteten Tragwerks dessen langsam fortschreitende Neigung vorangeht. Unter diesen Umständen ist die Frage naheliegend: Welche Phase dieses Vorganges ist als gleichbedeutend mit dem Umsturz zu betrachten?

Die Frage könnte kurzerhand dahin beantwortet werden, dass ein *stark gelockertes* Fundament Zweck und Aufgabe nicht mehr richtig erfüllen kann (zum Vergleich: Wackliger Zahn). Stark gelockertes Erdreich kann meist nicht mehr so verdichtet werden, dass es die ursprünglichen Festigkeitseigenschaften des sogenannten gewachsenen Bodens wiedererlangt. Zur Behebung des Schadens ist in der Regel eine Neuerstellung erforderlich.

Zur Beantwortung der Frage, von welcher Neigung eines auf Umsturz beanspruchten Tragwerkes an der Baugrund als stark gelockert zu betrachten sei, kann zweckmässig zu einem Vergleich mit dem Vorgang beim Zerreissen eines Probestückes aus geeignetem Metall gegriffen werden. Das Zerreissdiagramm weist mehr oder weniger ausgesprochen eine Proportionalitäts- oder Elastizitäts-, eine Streck- und eine Fliessgrenze auf. Nach Erreichung der Fliessgrenze ist die Festigkeit als erschöpft zu betrachten.

Die Kraft–Weg-Diagramme von Proben an Tragwerkfundamenten fast jeder Art weisen einen solchen Zerreissdiagrammen ganz ähnlichen Verlauf auf. Analog den Verhältnissen bei Metallkonstruktionen sollten Tragwerkfundamente so bemessen werden, dass ihre Lageveränderung (Neigung) bei grösster Belastung die «Streckgrenze» nicht übersteigt. Sind zwar in solchen Fällen die einzelnen Grenzen bedeutend weniger scharf ausgeprägt als bei Metallen, so sind sie doch meist deutlich genug erkennbar. Bis zu dieser Grenze kann angenommen werden, die für die Neigung des Tragwerkes massgebenden Baugrunddeformationen überschreiten noch nicht erheblich den Bereich der elastischen Deformationen. Nach den Proben mit ausgeführten Fundamenten kann für die entsprechenden höchstzulässigen Neigungswinkel des Tragwerkes der Betrag von $tg\,\alpha \leqq 0{,}01$ angenommen werden. Für Tragwerke gewöhnlicher Freileitungen erscheint dieser Betrag vom Standpunkt der Betriebssicherheit und auch in ästhetischer Hinsicht annehmbar.

Ist in besonderen Fällen, z. B. bei Bahnfahrleitungen, grössere Stabilität erforderlich, so erlaubt die auf dieser Grundlage entwickelte Berechnungsmethode, auch für diese Fälle die nötigen Fundamentabmessungen zu bestimmen.

Für die bei bestimmten Belastungen eintretenden Lageveränderungen (Neigungen) eines Blockfundamentes sind einerseits die an den Grubenwänden und an der Sohle auftretenden Bodenpressungen, anderseits die daselbst vorhandenen Baugrundziffern, das sind die eine Einsenkung von 1 cm bewirkenden Pressungen in kg/cm², massgebend. Vom Grad der Übereinstimmung dieser Ziffern mit den von Fall zu Fall tatsächlich vorhandenen, in weiten Grenzen verschiedenen Baugrundverhältnissen hängt die Zuverlässigkeit der Rechnungsergebnisse ab. Zwar sind für die bei den verschiedenen Bodenarten in Betracht fallenden Ziffern Richtwerte in den erwähnten Veröffentlichungen angegeben worden. Es ist aber zuzugeben, dass es sich dabei vorwiegend um Schätzungen handelt und dass für deren Anwendung eine gewisse Übung in der richtigen Beurteilung der tatsächlichen Verhältnisse vorausgesetzt werden muss. Nach den bisherigen Erfahrungen sind die für die widerstandsfähigen, harten Bodenarten angegebenen Ziffern eher etwas zu niedrig, für die wenig konsistenten, weichen Arten eher zu hoch. Es ist daher namentlich in diesen letzten Fällen Vorsicht angezeigt. Eine experimentelle Nachprüfung der Werte, z. B. nach der von *Kögler* [2]) angegebenen Messmethode, wäre wünschbar. Es handelt sich dabei jedoch um Untersuchungen, die in den Aufgabenkreis eines Erdbaulaboratoriums fallen würden und die wahrscheinlich mit beträchtlichen Kosten verbunden wären.

Die vorstehenden Ausführungen beziehen sich hauptsächlich auf sogenannte einstielige Tragwerke mit einem bei Einwirkung eines Umsturzmomentes auf Verdrehung um eine horizontale Achse beanspruchten, im Boden eingespannten Blockfundament irgendwelcher Form.

Bei mehrfüssigen Tragwerken muss das Umsturzmoment durch ein lotrecht gerichtetes Zug–Druck-Kräftepaar mit einer gewissen Sicherheit im Gleichgewicht gehalten werden. Die Druckkräfte werden durch die entsprechenden Einzelsockel auf den Baugrund übertragen, die Zugkräfte durch das Gewicht der auf Zug beanspruchten Sockel, der durch Reibung damit verbundenen Erdmassen und den Tragwerk-Eigengewichtsanteil ausgeglichen. Es handelt sich somit in diesen Fällen in der Hauptsache um ein einfaches Gleichgewichtsproblem. Eine erhebliche Neigung des breitflächigen Tragwerkes kann nur eintreten, wenn die auf Zug beanspruchten Sockel bzw. ihre Gewichts- und Reibungs-Widerstände nicht genügen, um jedes Nachgeben derselben mit Sicherheit zu verhüten. Ein solches Nachgeben wäre als Erschöpfung der Sicherheit gegen Umsturz zu betrachten wegen der damit verbundenen Lockerung der Erdmassen auf der Zugseite. Es kann jedoch angenommen werden, bei Einhaltung des vorgeschriebenen 1,5fachen Sicherheitsgrades sei nicht nur jede Gefahr eines Umsturzes, sondern auch erheblicher Tragwerkneigung oder von Lockerungen des Baugrundes ausgeschlossen. Dass die auftretenden Querkräfte durch Reibung und andere Reaktionskräfte mit Sicherheit ohne schädliche Wirkungen kompensiert werden, sei nur nebenbei erwähnt.

Zurückkommend auf die eingangs erwähnte Behauptung sei zur Ergänzung des Gesagten und zur teilweisen Erklärung der ihr zu Grunde liegenden Feststellungen noch folgendes erwähnt:

Werden Teile mit verschiedenen Festigkeitseigenschaften, die jedoch für gleiche Sicherheit bei einer bestimmten Endbelastung berechnet und bemessen sind, zu einem einheitlichen Ganzen verbunden, so kommen bei rasch ansteigender, z. B. schlagartiger Belastung die Teile mit der kleinsten Arbeitsfestigkeit zuerst zum Bruch, vor den rechnungsmässig gleich widerstandsfähigen, die aber mit der grösseren Arbeitsfestigkeit ausgestattet sind.

Freileitungstragwerke sind häufig solche Gebilde. Ihr Erdteil hat im allgemeinen wegen der Nachgiebigkeit des Baugrundes grössere Arbeitsfestigkeit als der oberirdische Teil. Deshalb kann dieser bei Beanspruchungen der erwähnten Art zerstört werden, bevor die Beanspruchung im Erdteil ein gefährliches Mass erreicht, was einer Entlastung

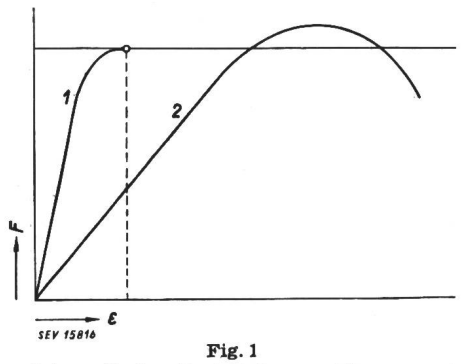

Fig. 1
Schematisches Last-Dehnungs-Diagramm
1 des Mastes bis zur Bruchgrenze des Mast-Oberteils
2 des Fundamentes

dieses Teiles gleichkommt. Figur 1 mag diese Zusammenhänge etwas verdeutlichen. Man könnte diese Eigenschaften zu einer Abstufung der Sicherheiten einzelner Teile, z. B. in dem Sinne benutzen, dass schwer zu ersetzende Teile mit grösserer Sicherheit erstellt werden als leicht zu ersetzende. In diesem Sinne müssen jedenfalls Tragwerkfundamente als schwer zu ersetzende Tragwerkteile betrachtet werden. Es erscheint deshalb nicht ratsam, gestützt auf die der eingangs erwähnten Behauptung zu Grunde liegenden Beobachtungen die Tragwerkfundamente knapper zu bemessen, als es bisher bei wichtigen Objekten üblich war.

[2]) *Kögler, F.*, und *A. Scheidig:* Baugrund und Bauwerk. Berlin, Wilhelm Ernst und Sohn, 1938.

Adresse des Autors:
G. Sulzberger, alt Kontrollingenieur, Dählhölzliweg 13, Bern.