

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 37 (1946)

Heft: 25

Artikel: Beitrag zur Berechnung von Einspannfundamenten für Freileitungen

Autor: Kohler, Karl

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1057371>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 18.01.2025

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

einigen Minuten die *normale Schlagfrequenz* wieder zu erreichen.

Versuchsgang: Das isolierte, normal schlagende Säugetierherz wird durch einen Elektrokutionsstrom von 80...100 mA zum Flimmern gebracht (Fig. 5a). Durch Injektion von Acetylcholin wird

haben ebenfalls zu brauchbaren Resultaten geführt. Dieser günstige Verlauf der Tierexperimente eröffnet begründete Aussichten, auch beim elektrisch verunfallten Menschen, zusammen mit andern Wiederbelebungsverfahren, zu einem positiven Resultate zu gelangen. Ueber weitere, ebenfalls positiv

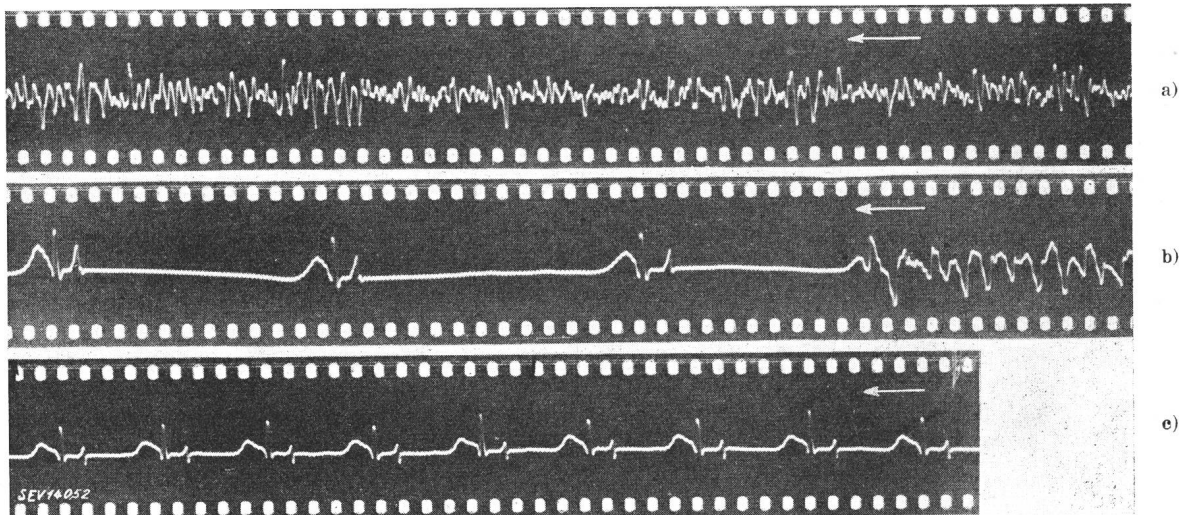


Fig. 5

Elektrokardiogramm der erfolgreichen Anwendung eines Wirkstoffes im Sinne der Wiederherstellung des normalen Herzschlages nach vorausgegangenem, durch Elektrokution Herzkammerflimmern (von rechts nach links zu lesen)

- a) Herzkammerflimmern nach Elektrokution
 b) Uebergang von Herzkammerflimmern in normales Schlagen, hervorgerufen durch die Injektion eines Wirkstoffes
 c) 5 min nach Schlagbeginn; Herzschlag normal

das Herz vorübergehend zum Stillstand (Fig. 5b) und unmittelbar daran anschliessend zum normalen Schlagen gebracht (Fig. 5c).

Die mit Acetylcholin am isolierten Säugetierherzen erreichten, fast 100 % positiven Ergebnisse — im Sinne der Wiederbelebung des Herzens — sind durch Versuche am Ganztier ergänzt worden und

verlaufene Versuche am isolierten Herzen mit anderen chemischen Stoffen und über den Fortgang der Experimentalarbeiten wird in einem späteren Zeitpunkt wieder berichtet werden.

Adresse des Autors:

Dr. med. R. Fröhlicher, prakt. Arzt, Rietstrasse 37, Zollikon (ZH).

Beitrag zur Berechnung von Einspannfundamenten für Freileitungen

Von Karl Kohler, Tuttlingen

621.315.66.00273

Für die an anderer Stelle nach den Grundvorstellungen der klassischen Erddrucklehre entwickelten Gleichgewichtsbedingungen prismatischer Einspannfundamente wird eine Näherungsgleichung abgeleitet. Diese gestattet, auch bei bindigen Böden die erforderliche Eingrabetiefe bei gegebener Beanspruchung zu berechnen.

Etablissement d'une formule approchée des conditions d'équilibre de fondations prismatiques selon les principes de l'enseignement classique de la poussée des terres. Cette formule permet de calculer la profondeur d'enfouissement pour une contrainte donnée, même dans les terrains argileux.

I. Einleitung

In früheren Arbeiten konnte gezeigt werden [1, 2]¹⁾, dass die klassische Erddruckbetrachtung nach Entwicklung abgewandelter, d. h. dem Vorgang angepasster Hilfsvorstellungen gut geeignet ist, Gleichgewichtsbedingungen für Einspannfundamente zu liefern. Die mitgeteilten Ergebnisse fanden dabei zunächst eine grundsätzliche Bestätigung, indem gezeigt wurde, dass die bekannten Belastungsversuche an Einspannfundamenten der Reichspost und von Sulzberger [3] deutlich feststellbare Sonderpunkte aufweisen, die den Eintritt des sogenannten Grenzfalles des Gleichgewichts, bzw. des Auf-

tretens geschlossener plastischer Gebiete im Erdreich, kennzeichnen.

Für prismatische Fundamente, d. h. Gründungen mit längs der Einspannung gleichbleibendem Querschnitt, konnten verhältnismässig leicht zu handhabende Beziehungen entwickelt werden, welche bei gegebenen Fundamentabmessungen und Bodenwerten den dem Eintreten des Grenzfalles entsprechenden Spitzenzug bestimmen lassen. Dabei konnte der Einfluss auch bindiger Böden genau berücksichtigt werden. Die Berechnung der Fundamentgrösse, bzw. Eingrabetiefe bei gegebener Belastung, ist jedoch hiebei unmittelbar nicht möglich. In diesem Falle muss über den Umweg der Spitzenzugbestimmung mehrerer Fundamente verschiedener

¹⁾ s. Literaturverzeichnis am Schluss.

Einbautiefen die $Z-t_1$ -Kurve ermittelt und der gesuchte Wert t_1 dieser Kurve entnommen werden. Grundsätzliche Schwierigkeiten entstehen dadurch nicht.

Soweit nur wenig Bodenwerte zu berücksichtigen sind, z. B. normales Erdreich mit Festigkeiten nach Bauvorschrift, könnte eine Vereinfachung der Fundamentberechnung durch Normung der Fundamentabmessungen erreicht werden. In Uebereinstimmung mit der nicht willkürlich veränderlichen Spreizung der Masten könnten für den üblichen Fundamenttyp Form und einheitliche Breite festgelegt werden. Damit sind für die Regelfälle Bodenwerte und wesentliche Systemmasse gegeben; veränderlich ist nur noch der Spitzenzug Z , die Angriffshöhe h und die Eingrabetiefe t_1 . Ueber den Zusammenhang dieser drei Grössen liesse sich eine Kurvenschar zeichnen, der sich bei gegebenen Z und h die erforderliche Einbautiefe entnehmen lässt.

Anschliessend sollen nun in der strengen Lösung einige Vereinfachungen erfolgen, um eine Faustregel zur unmittelbaren Bestimmung der Fundamentabmessungen zu erhalten. Dem Wesen des Belastungsvorganges entsprechend ist eine genaue Einhaltung der durch das Auftreten geschlossener plastischer Gebiete erkannten Grenze nicht absolut nötig. Für die Praxis kann daher eine Arbeitsgleichung, die den Zustand im wesentlichen beschreibt, von besonderem Vorteil sein. Notfalls kann durch Versuch oder genaue Berechnung eine Verbesserung des Näherungsergebnisses angestrebt werden.

2. Begründung einer Arbeitsgleichung

In der Hauptarbeit [1, 2] sind für prismatische Fundamente als Gleichgewichtsbedingungen die Gleichungen

$$Z + (R_s + Q_0) = Q' (2 \lambda_0'^2 - 1) \quad \text{und} \\ h'Z - t_1'' (R_s + Q_0) = \frac{2}{3} Q' t_1' (1 - 2 \lambda_0'^3)$$

abgeleitet worden. Dieselben lauten mit

$$k_z = Z/Q'; \quad v' = (R_s + Q_0)/Q'; \\ n' = (h - T_0)/(t_1 + T_0) \quad \text{und}$$

$$\varkappa = t_1''/t_1' = \frac{\frac{2}{3} T_0 + \left(t_1 + \frac{T_0}{3}\right) \frac{R_s}{R_s + Q_0}}{t_1 + T_0}$$

folgendermassen:

$$k_z = 2 \lambda_0'^2 - (1 + v');$$

bzw.
$$\lambda_0' = \frac{\sqrt{2}}{2} (1 + v' + k_z)^{1/2}$$

und
$$k_z = \frac{1,5 \varkappa v' + (1 - 2 \lambda_0'^3)}{1,5 n'}$$

Die Bedeutung der Zeichen ist aus Fig. 1 ersichtlich; dabei ist noch

$$T_0 = K_s/\gamma \mu; \quad \bar{\varepsilon} = 2\mu (\mu + \sqrt{1 + \mu^2});$$

$$\lambda_0' = (t_0 + T_0)/(T_0 + t_1); \quad Q_0 = \frac{1}{2} \alpha \bar{\varepsilon} \gamma b T_0^2$$

und
$$Q' = \frac{1}{2} \alpha \bar{\varepsilon} \gamma b (T_0 + t_1)^2,$$

wenn K_s die Schubfestigkeit des Bodens, γ das spez. Bodengewicht, μ den Tangens des inneren Reibungswinkels des Erdreichs, b die Fundamentbreite senkrecht zum Spitzenzug, α den Formfaktor des Fun-

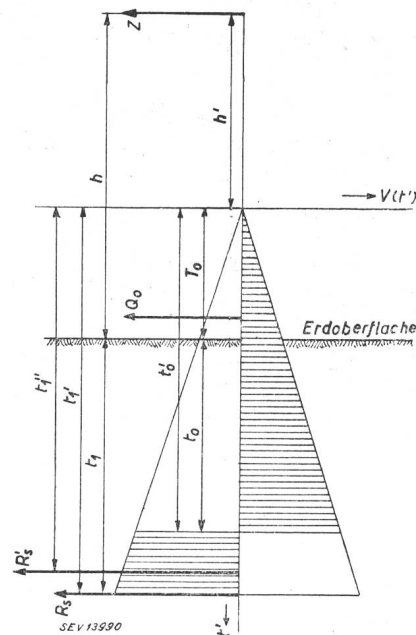


Fig. 1
Kräfte und Erd-druckverteilung am prismaförmigen Einspannfundament in nicht bindigem Boden

damentquerschnitts und R_s die Sohlenreibung (Mast + Fundamentgewicht multipliziert mit dem Reibungsbeiwert μ_1) darstellen.

Durch Elimination von k_z bzw. λ_0' aus den Systembedingungen erhält man für λ_0' bzw. k_z die Bestimmungsgleichung

$$n' = \frac{1,5 \varkappa v' + 1 - 2 \lambda_0'^3}{1,5 [2 \lambda_0'^2 - (1 + v')]} = \frac{1,5 \varkappa v' + 1 - \frac{\sqrt{2}}{2} (1 + v' + k_z)^{3/2}}{1,5 k_z}$$

Die Werte v' und k_z sind nun für ausgesprochene Einspannfundamente klein im Vergleich zu 1 (für $n' > 3$ wird $k_z < 0,08$, v' bewegt sich in der Grössenordnung von 0,1). Soweit aber $(v' + k_z)$ genügend klein ist, kann der Potenzausdruck $(1 + v' + k_z)^{3/2}$ durch $1 + \frac{3}{2}(v' + k_z)$ ersetzt werden, und man erhält als gute Näherungslösung

$$k_z \cong \frac{\frac{2 - \sqrt{2}}{3} + v' \left(\varkappa - \frac{\sqrt{2}}{2}\right)}{n' + \frac{\sqrt{2}}{2}} \quad (1)$$

M_n bezeichne nun das bei einer Angriffshöhe h über Erde aus dem Grenzfallspitzenzug errechnete

Moment einer Gründung in bezug auf einen in der Tiefe $t' = \sqrt{2}(t_1 + T_0)/2$ angenommenen Punkt. Das Moment desselben Spitzenzugs auf den Ursprung der Koordinaten bezogen ist dann

$$\begin{aligned} Zh' &= M_n \left(h - T_0 \right) / \left(h - T_0 + \frac{\sqrt{2}}{2} t_1 \right) = \\ &= M_n n' / \left(n' + \frac{\sqrt{2}}{2} \right) \end{aligned}$$

Nun ist nach Begriffsbestimmung $Z/Q' = k_z$, also auch $Zh'/t_1' Q' = n' k_z$, bzw. nach Einsetzen der gefundenen Werte

$$\frac{M_n}{t_1' Q'} = \frac{2 - \sqrt{2}}{3} + v' \left(\kappa - \frac{\sqrt{2}}{2} \right) = k_m \quad (2)$$

(k_m Momentenkennziffer). Durch Auflösung dieser Gleichung nach t_1 erhält man

$$t_1 = \sqrt[3]{\frac{M_n}{0,5 k_m \alpha \varepsilon \gamma b}} - T_0 \quad (3)$$

Aus (2) ergibt sich, dass M_n von der Höhe des Angriffspunktes des Spitzenzugs unabhängig ist. Es ist daher zweckmässig, diese Grösse als Nennmoment der Gründung zu bezeichnen. Zwischen dem auf die Erdoberfläche bezogenen Moment des Spitzenzugs $M = hZ$ und M_n besteht die Beziehung

$$M_n = M \left[h - T_0 + \frac{\sqrt{2}}{2} (t_1 + T_0) \right] / h$$

Soweit $(h - T_0)$ wesentlich grösser als $\frac{\sqrt{2}}{2}(t_1 + T_0)$ ist, was meist bei Freileitungen zutrifft, kann auch wegen der wenig beachtlichen Auswirkung auf die Standsicherheit der Masten $M_n \cong M$ gesetzt werden, wenn man M_n nicht durch einen mittleren prozentuellen Zuschlag aus M bestimmen will.

Der Wert κ , der von den Fundamentabmessungen und Bodenwerten abhängt, kann zwischen 0 und 1 liegen und ist nur bei bindigem Boden von 1 verschieden; eine wesentliche Abweichung ist nur bei stark bindigen Böden und bei geringen Einbautiefen zu erwarten. Die bereits getroffene Voraussetzung über v' ($v' \ll 1$) verlangt aber schon grössere Werte von t_1 , wie sie ausgesprochene Einspannfundamente im Freileitungsbau aufweisen ($t > 2$ m). Bei nicht allzu bindigem Erdreich ist dann die Ein-

grenzung $1 \leq \kappa \leq \frac{\sqrt{2}}{2}$ zulässig. Damit ist $k_m \geq$

$(2 - \sqrt{2})/3$ und da dabei $v' \left(\kappa - \frac{\sqrt{2}}{2} \right)$ selbst

im Vergleich zu $(2 - \sqrt{2})/3$ klein wird, ist auch $k_m \cong (2 - \sqrt{2})/3 = 0,195 \cong 0,2$. Zum selben Er-

gebnis führt die Annahme eines κ von $\frac{\sqrt{2}}{2}$. Dieser

Zustand wäre durch eine willkürliche Bemessung der Sohlenreibung nach

$$R_s = \frac{\sqrt{2} - \frac{4}{3} \frac{T_0}{t_1 + T_0}}{(2 - \sqrt{2})} Q_0$$

herbeizuführen.

Mit $k_m = 0,2$ erhält man dann aber als Arbeitsgleichung für die Bemessung reiner prismatischer Einspannfundamente

$$t_1 = \sqrt[3]{\frac{M_n}{0,1 \alpha \varepsilon \gamma b}} - \frac{K_s}{\gamma \cdot \mu} \quad (4)$$

Die oben begründete Ungleichung über die Grösse von k_m bewirkt, dass die nach (4) bestimmten Einbautiefen, wenn auch nur unwesentlich, grösser ausfallen als die tatsächlich erforderlichen Einspannlängen. Dies ist besonders bei ausgesprochen schlechten Böden der Fall, da hier naturgemäss grosse Einbautiefen auftreten und beachtliche Kohäsivkräfte nicht wirksam sind. Bei stark bindigen Böden kann die vorgeschlagene Beziehung an sich zu kleine Einbautiefen liefern. Grundsätzlich ist es aber möglich, eine Verbesserung des Ergebnisses vorzunehmen, indem man nach erfolgter Ermittlung von t_1 nach (4) für diesen Wert k_m und allenfalls M_n genauer bestimmt und dann (3) für eine weitere Berechnung der Einbautiefe verwendet. Da aber gerade bei guten Böden eine geringe Ueberschreitung der Grenzfallbelastung ohne besondere Bedeutung ist, kann (4) unbedenklich für alle Voraussetzungen benützt werden, umso mehr als für den Fall der Höchstbeanspruchung sichere Angaben zur Bestimmung der Bodenwerte schon wegen deren Abhängigkeit vom Wassergehalt des Erdreichs meist nicht vorliegen.

(3) und (4) zwingen zu einem Vergleich mit dem von *Sulzberger* [3] vorgeschlagenen Verfahren. Für nicht bindige Böden ($K_s = T_0 = 0$) und bei vernachlässigter Sohlenreibung liefern beide Verfahren mit $M_n = M$ dasselbe Ergebnis, wenn man die von *Sulzberger* vorgeschlagene Baugrundziffer $c_t = 1,8 \alpha \varepsilon \gamma k_m \cdot 10^{-3} \cong 0,36 \alpha \varepsilon \gamma \cdot 10^{-3}$ kg/cm³ setzt (Blockneigung = 1:100; γ in kg/m³). Bei bindigem Erdreich lässt sich Übereinstimmung der beiden Verfahren nicht mehr herstellen. Es zeigt sich aber schon hier, dass die *Sulzbergersche* Baugrundziffer kein reiner Bodenwert ist, sondern auch Formeinflüssen unterliegt.

3. Zusammenfassung

An früher abgeleiteten Gleichgewichtsbedingungen für Einspannfundamente werden nach Begründung der Näherung Vereinfachungen vorgenommen, die eine nach der Eingrabbtiefe leicht auflösbare Form ergeben. Dabei ist die Bestimmung eines von der Angriffshöhe des Spitzenzuges unabhängigen Nennmomentes erforderlich; ausserdem ergibt sich eine Momentenkennziffer k_m , die bei den im Freileitungsbau üblichen Voraussetzungen als praktisch unveränderlich angesehen werden kann. Die abgeleitete Arbeitsgleichung gilt sowohl für bindige, als auch für nicht bindige Böden. Ein Vergleich mit dem Berechnungsverfahren von *Sulzberger* ergibt

einen Zusammenhang der dort verwendeten Bau-
grundziffern mit den Bodengrundwerten der klassi-
schen Erddrucklehre.

Literatur

[1] Kohler, K.: Die Erddruckverteilung an Freileitungs-
Einspannfundamenten in natürlich gelagertem Boden und
ihre Auswirkung auf die Standsicherheit. Dtsche Wasser-
wirtsch. Bd. 34(1939), Nr. 1, S. 9...19; Nr. 2, S. 71...81, u.
Nr. 3, S. 131...133.

[2] Kohler, K.: Bestimmung des Grenzfallspitzenzuges
prismatischer Einspannfundamente von Freileitungen. Elek-
trotechn. Z. Bd. 61(1940), Nr. 22, S. 491...493.

[3] Sulzberger, G.: Die Fundamente der Freileitungstrag-
werke und ihre Berechnung. Bull. SEV Bd. 36(1945), Nr. 10,
S. 289...308. [Auch als Sonderdruck, deutsch und französisch,
erhältlich im Verlag des SEV, Zürich 1945 (Nr. S 1434).]

Adresse des Autors:

Dozent Dr. Ing. habil Karl Kohler, Oberamteistrasse 28, Tutt-
lingen (Deutschland).

Umstellung der Verkehrsbetriebe der Stadt Winterthur auf Trolleybus

629.113.62(494)

Der Gemeinderat der Stadt Winterthur hat am 21. Oktober
1946 grundsätzlich beschlossen, die gesamten Verkehrsbe-
triebe einheitlich auf Trolleybus umzustellen und den ge-
genwärtig bestehenden Tram- und Autobusbetrieb aufzu-
heben. Dieser Beschluss stützt sich auf folgende Erwägungen:

1. Allgemeines

Das Netz der Verkehrsbetriebe der Stadt Winterthur
(VW) besteht gegenwärtig aus einer 4,7 km langen Strassen-
bahnlinie, einer 7,2 km langen Trolleybuslinie und einer
2,3 km langen Autobuslinie.

Die Leistungsfähigkeit dieses Betriebes genügt den ge-
genwärtigen Bedürfnissen nicht mehr. Das Geleise der Stras-
senbahn ist veraltet, abgenützt und teilweise sehr schlecht ver-
legt; die Reisegeschwindigkeit der Strassenbahnwagen ist zu
klein, und ein Umbau dieser Fahrzeuge lohnt sich nicht
mehr. Die Autobusse haben die ansehnliche Verkehrsleistung
von 500 000 km pro Fahrzeug hinter sich und sind an der

Das die VW vor allem konkurrenzierende private Ver-
kehrsmittel ist das Velo, entfällt doch auf 2 Einwohner
1 Fahrrad. Mit einem künftigen Nachlassen dieser Konkur-
renz darf nicht gerechnet werden. In Zeiten wirtschaftlicher
Depression wird das Fahrrad von manchem Werk tätigen
wieder dem öffentlichen Verkehrsmittel vorgezogen, wenn
dieses nicht rascher und bequemer als das Velo ist. Da mit
dem Fahrrad leicht eine Reisegeschwindigkeit bis 18 km/h
erzielt wird und dieses zudem jederzeit und an jedem Ort
bereit steht, muss das künftige öffentliche Verkehrsmittel
mindestens die Reisegeschwindigkeiten des Fahrrades er-
reichen. Die Reisegeschwindigkeit muss auch noch darum
möglichst hochgetrieben werden, weil das Einzugsgebiet des
Verkehrnetzes mit der Reisegeschwindigkeit wächst.

Der hauptsächlichste Fahrgast der VW wünscht vor allem
gute Verbindungen zwischen den Wohnquartieren und den
Industriegebieten. Ein grosses Bedürfnis nach Verbindungen
für den Geschäftsverkehr, wie es zum Beispiel Zürich be-
sitzt, besteht nicht; auch der Aus-
flugsverkehr ist nicht bedeutend. Die bis nahe an das Stadtzentrum
vorstossenden bewaldeten Höhen-
züge zwingen zu einem strahlen-
förmigen Ausbau des Verkehrs-
netzes; Querverbindungen sind
erst an der Peripherie der Stadt
möglich. Ferner beeinflusst die
SBB die Linienführung stark,
weil sie die Stadt in zwei nur

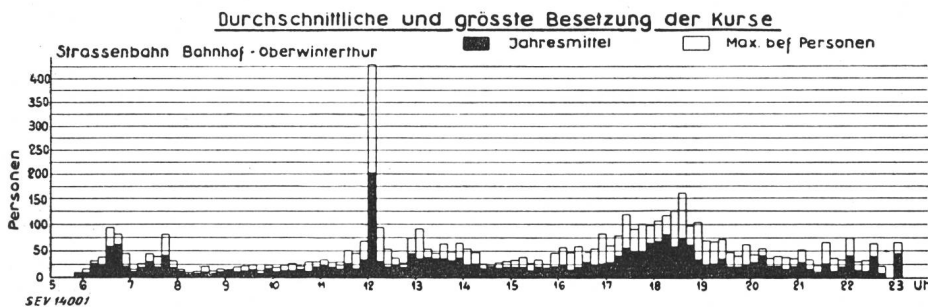


Fig. 1.

Grenze ihrer Lebensdauer angelangt. Dagegen erfüllen die
seit 1938 angeschafften Trolleybusse ihre Aufgabe gut. Die
Fahrgäste verlangen zudem ein günstigeres Platzangebot, eine
dichtere Kursfolge in den Spitzenzeiten und eine Erwei-
terung des bisherigen Netzes. Es war darum zu prüfen, wie
die VW als öffentliches Nahverkehrsmittel am zweckmässig-
sten zu modernisieren seien. Dabei durfte nicht nur von den
gegenwärtigen Bedürfnissen ausgegangen werden; es musste
auch die voraussichtliche künftige Entwicklung einbezogen
werden.

2. Die künftigen Verkehrsbedürfnisse

Der wichtigste Benützer der VW ist heute und auch in
absehbarer Zukunft der Werk tätige mit festem Arbeitsplatz
und regelmässiger Arbeitszeit. Die frei Erwerbenden machen
nur etwa 15 % der Einwohnerzahl aus. Diese Tatsache führt
zu ausserordentlich grossen Spitzenbeanspruchungen bei nor-
malem Arbeitsbeginn und Arbeitsschluss und zu sehr ge-
ringem Besetzungen während der normalen Arbeitszeit. Es
treten derart ausgeprägte Spitzen auf, wie sie in anderen
städtischen Verkehrsbetrieben kaum zu finden sein werden.

Zur Illustration dieser Tatsache sind in Fig. 1 die im
Jahre 1945 aufgetretenen durchschnittlichen und die maxi-
mal aufgetretenen Besetzungen der einzelnen Kurse einer
Strassenbahnlinie aufgetragen. Dazu kommt, dass diese
Spitzenbelastungen nicht voraussehbar sind. Das künftige
Verkehrsmittel muss also möglichst beweglich und innert
kürzester Zeit eingesetzt werden können.

durch wenige Engpässe verbundene Hälften teilt. Unter Be-
rücksichtigung dieser Umstände und der künftigen Entwick-
lung der Stadt wird voraussichtlich das Verkehrsnetz so aus-
gebaut, wie es Fig. 2 zeigt. Mit diesen Erweiterungen bleiben
die VW im Rahmen dessen, was auch andere Städte zur Be-
friedigung des Verkehrsbedürfnisses tun (Tabelle I).

Tabelle I

Unternehmung	Einwohner	Totale Betriebslänge in km	Einwohner pro km Betriebslänge
Zürich	342 000	84,3	4 100
Basel	211 000	72,5	2 900
Bern	140 000	46,1	3 000
Luzern mit Vororten	80 000	22,1	3 600
St. Gallen	64 000	18,8	3 400
Biel	42 000	15,3	2 700
Winterthur bisher	61 000	14,1	4 300
Winterthur neu		17,8	3 400

Mit der Erweiterung des Verkehrsnetzes steigt die bis-
herige Verkehrsleistung von gegenwärtig 1,2 Millionen auf
1,7 Millionen Wagenkilometer pro Jahr.

3. Die Wahl des geeignetsten Verkehrsmittels

Es wurde eingehend untersucht, mit welchen Verkehrs-
mitteln diese Leistungen bei geringsten jährlichen Kosten
vollbracht werden können. Dabei musste ein Autobusbetrieb