

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 35 (1944)
Heft: 11

Artikel: Graphische Bestimmung des Durchhanges von Freileitungen
Autor: Wettstein, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1061577>

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>

Die Statistik des Anschlusses elektrischer Grossküchen in der Schweiz im Jahre 1943 ergibt eine wesentliche Zunahme der Neuanschlüsse gegenüber dem Jahre 1942¹⁾.

In den Zahlen über den Anschlusswert sind auch

¹⁾ Für 1942 siehe Bull. SEV 1943, Nr. 13, S. 367.

Erweiterungen schon bestehender Betriebe im Betrage von 1269 kW inbegriffen. Die 302 Neuanschlüsse bedeuten mit den Zahlen des Jahres 1941 (304 Neuanschlüsse) einen Rekord.

Der mittlere Anschlusswert pro Grossküche beträgt Ende 1943 38,5 kW gegenüber 38,3 kW Ende 1942, blieb also beinahe gleich.

Statistik des Verkaufes elektrischer Wärmeapparate für den Haushalt in der Schweiz im Jahre 1943

Vom Sekretariat des Schweiz. Wasserwirtschaftsverbandes, Zürich (A. Härry)

31 : 621.364.5(494)

An der Erhebung für das Jahr 1943 beteiligten sich 53 Firmen gegenüber 50 Firmen im Jahre 1942.

Tabelle I

	Zahl der verkauften Apparate		Anschlusswert in kW	
	1942	1943	1942	1943
Kochherde mit Backofen . . .	22 661	24 069	149 543	176 554
Réchauds, Kochplatten (ohne Ersatzplatten)	26 119	16 370	41 412	27 039
Schnellkocher, Tee- und Kaffeemaschinen	30 549	32 528	14 838	12 773
Frotröster	5 866	9 821	2 728	5 027
Bügeleisen	52 188	47 033	23 596	19 822
Heizöfen :				
a) Schnellheizer	12 577	20 644	20 360	36 685
b) Wasser- und Öl-Radiatoren	2 664	2 954	3 643	4 060
c) Akkumulatoren	216	242	519	553
Strahler	6 198	8 632	6 100	8 326
Heisswasserspeicher	14 791	15 596	23 162	24 360
Patisserie- und Backöfen . . .	98	156	2 020	3 031
Kochkessel	271	303	3 051	3 401
Waschkessel u. Waschmaschinen	164	183	1 339	2 654
Wärme- und Trockenschränke .	370	483	1 207	1 075
Futterkocher	89	229	294	450
Diverse Apparate (Hausbäckchen, Grills, Bratpfannen, Durchlauferhitzer kl. Heizapparate, Dörrapparate, medizin. Apparate, Autokühlerwärmern u. ä.) . . .	51 482	39 986	41 013	30 000
Total	226 303	219 229	334 825	355 810

¹⁾ Für 1942 siehe Bull. SEV 1943, Nr. 12, S. 342.

Die Ergebnisse sind in Tabelle I zusammengefasst. Sie umfassen nur Apparate, die in der Schweiz hergestellt und verkauft wurden, also weder den Import noch den Export.

Aus der Tabelle geht hervor, dass die Gesamtzahl der verkauften Apparate im Jahre 1943 rund 219 000 betrug gegenüber 226 000 Apparate im Jahre 1942¹⁾. Gegenüber dem Mittel der Jahre 1930 bis 1939 ist diese Zahl beinahe doppelt so gross. Eine Zunahme gegenüber dem Jahre 1942 zeigen die Kochherde mit Backofen, die mit 24 069 alle bisherigen Zahlen übersteigen. Auch die Raumheizapparate haben trotz der Einschränkungen gegenüber 1942 wieder stark zugenommen, wenn auch die Rekordzahlen der Jahre 1940/41 nur zur Hälfte erreicht worden sind. Die Heisswasserspeicher zeigen eine bescheidene Zunahme, die Patisserie- und Backöfen, Kochkessel, Wärme- und Trockenschränke, namentlich die Futterkocher haben gegenüber 1942 stark zugenommen. Trotzdem die Zahl der verkauften Apparate im Jahre 1943 gegenüber 1942 abgenommen hat, ist der Anschlusswert der Apparate im Jahre 1943 um rund 20 000 kW grösser als im Jahre 1942, was zur Hauptsache auf die starke Zunahme der Apparate mit hohen Anschlusswerten, Kochherde mit Backofen und Schnellheizer, zurückzuführen ist.

Graphische Bestimmung des Durchhangs von Freileitungen

Von H. Wettstein, Biel

621.315.1.056.1

Es wird ein Verfahren zur graphischen Ermittlung des Durchhangs als Funktion der Spannweite und der Temperatur für Freileitungen mit gegebenem Querschnitt entwickelt. Dasselbe eignet sich zur übersichtlichen Beurteilung der mechanischen Zustände einer Leitung mit gleich hohen Aufhängepunkten. Hierbei handelt es sich nur darum, eine für die Montage nötige Genauigkeit zu erzielen, wobei die Seilkurve in üblicher Weise als Parabel betrachtet wird.

Développement d'un procédé pour la détermination graphique de la flèche des lignes aériennes de section donnée, en fonction de la portée et de la température. Ce procédé permet de se rendre nettement compte des conditions mécaniques d'une ligne dont les appuis sont de même hauteur. Dans un pareil cas, il ne s'agit que d'atteindre la précision nécessaire pour le montage, de sorte que la chaînette est considérée, de la manière habituelle, comme parabole.

Die Bestimmung der Durchhangänderungen einer Freileitung auf rein rechnerischem Wege erfordert infolge der sich ergebenden komplizierten Gleichungen höheren Grades eine sehr zeitraubende Berechnung. Deren Bestimmung auf graphischem Wege ist schon verschiedentlich veröffentlicht worden. Trotzdem die verschiedenen Verfasser meist eigene Wege zur Aufstellung eines solchen Verfahrens beschritten, lässt sich doch nach-

weisen, dass sämtliche Verfahren auf die Blondel'schen Rechentafeln zurückgeführt werden können.

Blondel hat seine Methode erstmals im Jahre 1902 veröffentlicht und mehrere Male modifiziert, bis im Jahre 1914 seine am geeignetesten scheinende Lösung publiziert wurde¹⁾). Es soll nun versucht werden, durch Kombination der bisher erschienenen Verfahren zur graphischen Ermittlung

¹⁾ Vgl. Rev. gén. électr. 1922, Heft 12, S. 421.

von Durchhangänderungen ein Diagramm aufzustellen, das für eine übersichtliche Bewertung der von Temperatur, Zusatzlast usw. abhängigen mechanischen Zustände einer Freileitung gute Dienste leistet.

Wir betrachten zu diesem Zweck die allgemeine Zustandsgleichung einer Leitung (nach Weil²⁾):

$$t = \frac{\delta^2}{24\vartheta} \cdot \frac{s^2}{p^2} - \frac{\alpha}{\vartheta} \cdot p - \frac{\delta_0^2}{24\vartheta} \cdot \frac{s^2}{p_0^2} + \frac{\alpha}{\vartheta} \cdot p_0 + t_0 \quad (1)$$

sowie

$$f = \frac{s^2 \delta}{8p} \quad (2)$$

In diesen Formeln bedeuten:

- t die gesuchte Temperatur,
- t_0 die Ausgangstemperatur (0° oder -20°),
- δ das Materialeigengewicht ohne Zusatzlast in kg/cm^3 ,

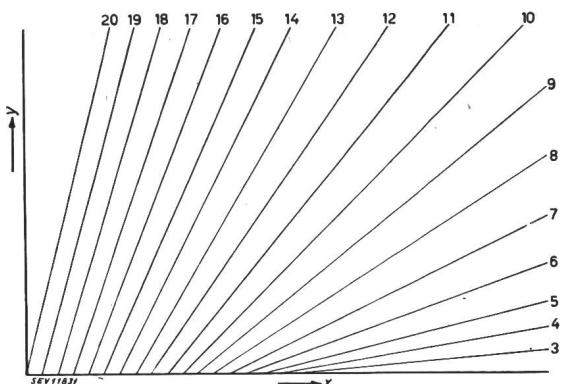


Fig. 1.
Isotases (nach Blondel)
 $y = p^2 x + p^3$

Die Zahlen rechts und oben geben zugleich den Wert der Materialbeanspruchung p in kg/mm^2 an.

- δ_0 das Materialeigengewicht mit Zusatzlast bei 0° in kg/cm^3 ,
- p die Materialbeanspruchung in kg/cm^2 bei der Temperatur t ,
- p_0 die Materialbeanspruchung in kg/cm^2 bei der Temperatur t_0 , also gleich der höchstzulässigen Beanspruchung,
- s die Spannweite in m,
- α die mechanische Dehnung in cm^2/kg ,
- ϑ den Wärmedehnungskoeffizienten für 1°C ,
- f den Durchhang.

Wir ordnen Gleichung (1) nach p und erhalten dann:

$$\frac{\delta^2 s^2}{24\alpha} = p^2 \left[\frac{\delta_0^2 s^2}{24\alpha p_0^2} + (t - t_0) \frac{\vartheta}{\alpha} - p_0 \right] + p^3 \quad (3)$$

oder im Prinzip:

$$y = p^2 x + p^3, \quad (4)$$

wo:

$$x = \frac{\delta_0^2 s^2}{24\alpha p_0^2} + (t - t_0) \frac{\vartheta}{\alpha} - p_0 \quad (5)$$

²⁾ R. Weil, Beanspruchung und Durchhang von Freileitungen. Springer, Berlin.

$$y = \frac{\delta^2 s^2}{24\alpha} \quad (6)$$

Gleichung (4), $y = p^2 x + p^3$

stellt in bezug auf x und y die Gleichung einer Geraden dar, sobald der Unbekannte p irgendein bestimmter Wert gegeben wird. Erreicht man z. B. die Zahl p der Reihe nach die Werte 1, 2, 3, 4, ..., so erhält man ebenso viele gerade Linien, die man in ein Koordinatensystem eintragen kann (Fig. 1). Diese Geraden schneiden die Achsen in den Punkten ($x = -p$, $y = 0$) und ($x = 0$, $y = p^3$) und haben den Neigungswinkel $\tan \varphi = p^2$ gegen die x -Achse. Wir nennen diese Geradenschar *Isotases* (nach Blondel), d. h. Linien gleicher Beanspruchung. Diese sind vom Material unabhängig und können somit allgemein verwendet werden.

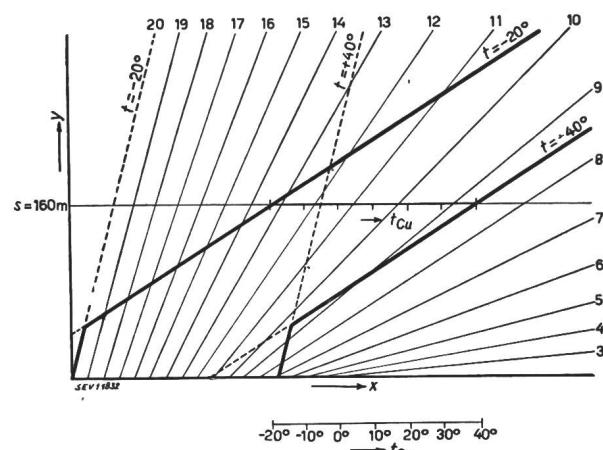


Fig. 2.
Isotases
 t_{Cu} Temperaturmaßstab für Kupfer.
(Siehe auch Legende von Fig. 1.)

Aus der Beziehung (6) ist ersichtlich, dass y bei gegebenem Material nur von der Spannweite s abhängt. Somit entspricht jeder solchen eine Gerade parallel zur x -Achse, die wir ebenfalls in das Diagramm eintragen und mit der zugehörigen Spannweite bezeichnen können (Fig. 3).

Vorschriften

Die Vorschriften für die Erstellung einer Starkstromfreileitung sind niedergelegt in der bundesrätlichen Verordnung über die Erstellung, den Betrieb und den Unterhalt von elektrischen Starkstromanlagen vom 7. Juli 1933. Diese bestimmen in Art. 88, dass für die Berechnung der Zugbeanspruchungen der Leiter und des für die grösste zulässige Leiterbeanspruchung massgebenden Durchhanges von Weitspannleitungen, je für sich, folgende Zustände zugrunde zu legen sind:

- Tiefste Ortstemperatur (bis 1000 m Höhe $= -20^\circ$) ohne Zusatzlast und ohne Wind.
- Bei der Temperatur von 0° , ohne Wind, eine gleichmässig verteilte Zusatzlast, herrührend von Schnee und Eis, von 2 kg auf den Meter Länge

Bei zunehmender Spannweite verliert die Temperaturniedrigung bis zu -20° immer mehr an Einfluss, während die Belastung des Seiles durch die erwähnte Zusatzlast anfängt, mehr und mehr eine Rolle zu spielen. Demzufolge gibt es eine Spannweite, bei welcher im Seil die höchstzulässige Beanspruchung gleichzeitig bei -20° und bei 0° + Zusatzlast erreicht wird. Diese Spannweite bezeichnet Weil als «kritische Spannweite». Wir betrachten in unseren Ausführungen beide in den Vorschriften verankerten Fälle und werden feststellen, dass die kritische Spannweite, welche für die Untersuchung einer Leitung massgebend ist, ebenfalls aus dem Diagramm herausgelesen werden kann.

1. p_0 tritt bei -20° auf (dann wird $\delta_0 = \delta$).

Fasst man nun s als veränderlich und die Temperatur t als eine feste Größe auf, so stellt das Wertepaar (x, y) nach Gl. (5) und (6) eine Gerade dar mit der Neigung $\operatorname{tg} \varphi = p_0^2$ gegen die x -Achse.

keit hängt davon ab, wie viele Isotasen man gezeichnet hat.

2. p_0 tritt bei 0° und Zusatzlast auf.

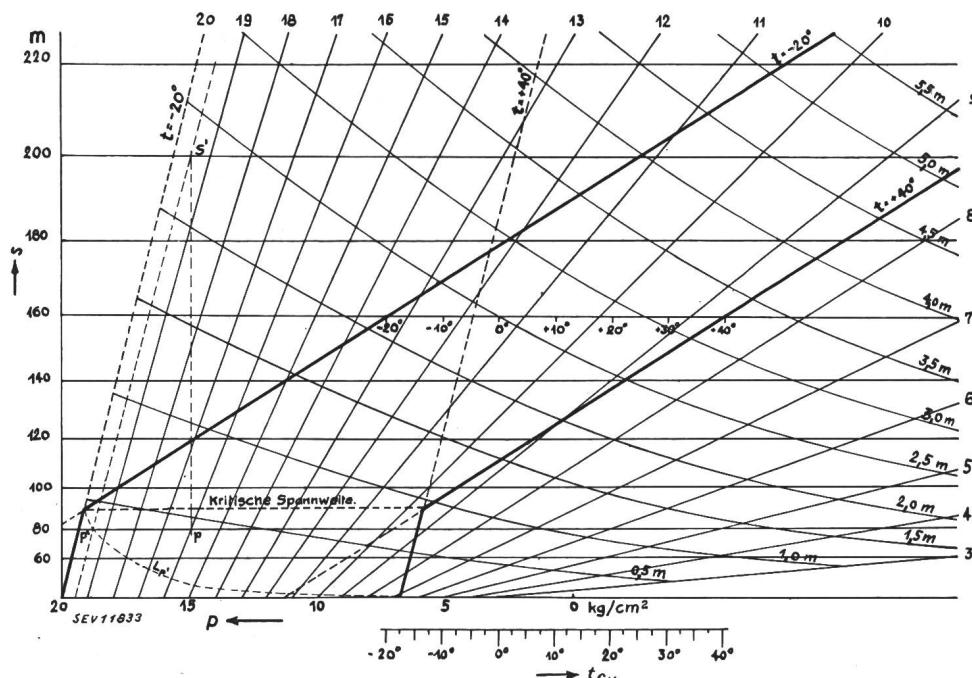
Man hält wieder t fest und macht s veränderlich; dann bestimmt das Wertepaar (x, y) nach Gl. (5) und (6) wieder eine Gerade, aber ihre Neigung ist jetzt

$$\operatorname{tg} \varphi = \left(\frac{\delta}{\delta_0} p_0 \right)^2$$

Diese ist nun nicht mehr unveränderlich, sondern abhängig von der zusätzlichen Belastung pro cm^3 , somit vom Querschnitt der Leitung. Demnach gehört jetzt zu jedem Querschnitt eine besondere Schar t -Linien, welche alle durch einen, zu jedem Wert t gehörenden, festen Punkt der x -Achse gehen. Diese Punkte (x_0) lassen sich einfach bestimmen:

$$x_0 = (t - t_0) \frac{\vartheta}{\alpha} - p_0$$

Der Neigungswinkel gegen die x -Achse ist ebenfalls



Das ist auch die Neigung der Geraden $p = p_0$ aus der zuerst gezeichneten Geradenschar, und die Gerade $t = -20^\circ$ deckt sich also mit der Geraden $p = p_0$. Im übrigen entspricht jedem Wert t eine Gerade parallel zu p_0 ; der Abstand ist proportional zu t . Es ist nicht nötig, alle t -Linien in das Diagramm einzutragen, sondern es empfiehlt sich zur Abgrenzung des Bereiches, nur noch die Linie $t = +40^\circ$ zu zeichnen (Fig. 2) und für die dazwischenliegenden Temperaturen einen Temperaturmaßstab anzufertigen. Dieser ist in Fig. 2 z. B. für die Spannweite $s = 160$ m eingezeichnet. Er kann bei jeder gewünschten Spannweite parallel zur x -Achse eingetragen werden, so dass der Punkt -20° mit dem zugehörigen Wert p_0 zusammenfällt. Hernach können für alle übrigen Temperaturen die p -Werte abgelesen werden. Die Genauig-

Fig. 3.

Diagramm zur graphischen Bestimmung des Durchhangs einer Freileitung mit dem Leiterquerschnitt
150 mm² Cu

p Materialbeanspruchung
 s Spannweite
 t Temperatur
 t_{Cu} Temperaturmaßstab für Kupfer.

Die Kurven mit den Bezeichnungen 0,5...5,5 m geben den Durchhang an.

bekannt; die Geraden können somit in das Diagramm gezeichnet werden (ebenfalls für -20° und $+40^\circ$). Den oben beschriebenen Temperaturmaßstab legt man wieder auf die Linie $t = -20^\circ$ und es kann die gesuchte Beanspruchung für jede gewünschte Temperatur abgelesen werden. In Fig. 2 sind die Verhältnisse für einen Querschnitt von 150 mm² Cu dargestellt.

Die nach den beiden beschriebenen Fällen konstruierten Temperaturlinien schneiden sich für jede bestimmte Temperatur in Punkten auf einer Horizontalen parallel zur x -Achse. Der dieser Horizontalen entsprechende Wert der Spannweite entspricht der beschriebenen kritischen Spannweite³⁾.

³⁾ Rechnerisch ergibt sich die kritische Spannweite s_K zu:

$$s_K = 8 p_0 \sqrt{\frac{7,5 \vartheta}{\delta_0^2 - \delta^2}} = 88,5 \text{ m}$$

Der zur Betrachtung unserer Leitung massgebende Raum wird also durch die in Fig. 2 und 3 dick ausgezogenen Linien begrenzt.

Der Vollständigkeit halber bestimmen wir jetzt noch die Beanspruchung für $0^\circ +$ Zusatzlast unterhalb der kritischen Spannweite. Hierzu zeichnet man eine Parallelle zur x -Achse entsprechend einer virtuellen Spannweite $s' = \frac{\delta_0}{\delta} s$. Diese schneidet die

Vertikale durch den der Beanspruchung 0° ohne Zusatzlast entsprechenden Punkt p im Punkt s' . Die Isotase durch diesen Punkt s' entspricht der Beanspruchung bei 0° mit Zusatzlast. Die zugleich auf der Horizontalen der zugehörigen Spannweite liegenden Punkte p' bilden die Kurve L_p , die nun leicht konstruiert werden kann. In Fig. 3 ist dieser Vorgang für $s = 80$ m dargestellt.

Bisher war nur die Rede von der Beanspruchung der Leitung. Zur Ermittlung des Durchhangs wird auf jeder Isotase ein einem bestimmten Durchhang f (z. B. 1, 2, 3, ... m) entsprechender Punkt markiert, indem die zu einem Wertepaar von f und p zugehörige Ordinate ermittelt wird:

$$y = \frac{8fp\delta}{24\alpha}$$

Die Punkte gleichen Durchhangs werden miteinander verbunden, wobei die Kurvenschar der *Isokoilen* (Linien gleicher Senkung) entsteht (Fig. 3).

Die allgemeine Gleichung dieser Isokoilen ist 4. Grades; da die Spannweite jedoch in quadratischem Maßstabe aufgetragen ist, reduziert sich diese auf den 2. Grad und stellt eine Hyperbel dar, die asymptotisch zur x -Achse verläuft.

An Hand des nun durch die Isokoilen vervollständigten Diagrammes ist es nun möglich, neben der Beanspruchung auch gleich den Durchhang abzulesen. In Fig. 3 ist als Beispiel der Temperaturmaßstab auf der Spannweite 160 m angelegt. Demnach beträgt die Beanspruchung bei $+10^\circ$ $p = 10,6$ kg/mm² und der Durchhang $f = 2,68$ m.

Die Herstellung eines solchen Diagrammes erfordert wenig Zeit und gibt für alle praktisch vorkommenden Fälle von Durchhang und Beanspruchung mit den verschiedenen Einflüssen von Zusatzlast und Temperatur und für beliebige Spannweiten ohne jede Hilfsrechnung eine aufschlussreiche Uebersicht.

Aktuelle Betrachtungen zur Technologie der Zählergehäuse

Von Paul Gürtsler, Luzern

621.317.785.085.6

Nach einer einleitenden Betrachtung über die besondere Eigenart der konstruktiven Entwicklung im Elektrizitätszählerbau werden Aufgabe und technologische Eigenschaften der Zählergehäuse in ihren spezifischen Varianten beschrieben. Dem auf dem europäischen Kontinent am meisten verbreiteten Blechgehäuse steht das in den Vereinigten Staaten sowie in Südamerika weit verbreitete Glasgehäuse gegenüber, während sich in England das Preßstoffgehäuse gut eingeführt hat. Vom Werksstandpunkt aus besitzt jede Gehäuseart ihre besonderen Vor- und Nachteile, wobei die Zerbrechlichkeit des Glasgehäuses scheinbar paradoxerweise als Vorteil figuriert, da sie eine sorgfältige Behandlung des Zählers bewirkt. Das für die Schweiz noch neue Preßstoffgehäuse besitzt den Vorzug einer guten Isolierung sowie der Korrosionsfestigkeit und spart wertvolle Metalle; eine grössere Verbreitung des Preßstoffzählers ist daher auch vom volkswirtschaftlichen Standpunkt aus zu begrüssen.

Après avoir donné quelques indications sur le développement caractéristique de la construction des compteurs d'énergie électrique, l'auteur décrit le but et les propriétés technologiques des différents types de boîtiers de compteurs. Tandis qu'en Europe continentale le boîtier en tôle est le plus répandu, les Etats-Unis d'Amérique et les pays de l'Amérique du Sud utilisent de préférence des boîtiers en verres. En Angleterre, les boîtiers sont généralement en matière synthétique moulée. Au point de vue de la fabrication, chaque type de boîtier a ses avantages et ses inconvénients. La fragilité du boîtier en verre offre l'avantage — moins paradoxal qu'on pourrait le penser — d'exiger des manipulations beaucoup plus soignées. Le coffret en matière synthétique moulée, qui est une nouveauté en Suisse, offre l'avantage de présenter un bon isolement et de résister à la corrosion. En outre, il permet d'économiser de précieux métaux. Du point de vue de l'économie nationale, un emploi plus général des boîtiers en matière synthétique serait donc désirable.

In der prinzipiellen konstruktiven Entwicklung des Wechselstromzählers ist von den verschiedenen Zähler-Weltfirmen seit Jahrzehnten eine parallele Richtlinie verfolgt worden. In der Tat erwies sich der Ende der neunziger Jahre eingeführte Induktionszähler bald als technisch brauchbarste Lösung, die auch in absehbarer Zukunft dank ihrer überaus einfachen Konstruktionsgrundlage voraussichtlich keine grundlegende Umgestaltung mehr erfahren wird. Die im Laufe der letzten Jahrzehnte erzielte bedeutende Verbesserung der Messgenauigkeit, mit der gleichzeitig eine nennbare Gewichtsreduktion des Zählers parallel ging, war somit das Resultat intensiver konstruktiver Detailarbeit. Die erreichten Fortschritte sind nicht zuletzt auch der Anwendung höherwertiger Werkstoffe mit verbesserten Eigenschaften zu verdanken, sowie der konsequenten Anwendung der

Leichtbauweise. Tabelle I veranschaulicht diese Entwicklung am Beispiel eines schweizerischen Elektrizitätszählers.

Technische Entwicklung des Einphasenzählers

Tabelle I.

	1905	1914	1942
Raumbedarf in dm ³	2,6	2,2	1,2
Gewicht in kg	3,6	2,0	1,0
Fehlergrenze	4 %		1 %
(Hochpräzisionszähler)			(0,5 %)

In der technischen Entwicklung des Zählers nimmt jedoch das Zählergehäuse eine interessante Sonderstellung ein. Wohl sind die primären Funktionen dieses Konstruktionsteils überall dieselben, nämlich, den empfindlichen messtechnischen Apparat vor Staub, mechanischer Beschädigung sowie