

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 64 (1973)  
**Heft:** 12

**Artikel:** Die Optimierung des Maschineneinsatzes in Regelkraftwerken  
**Autor:** Nyvelt, F. / Gutschmann, A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-915562>

### **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:** 01.04.2025

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

# Die Optimierung des Maschineneinsatzes in Regelkraftwerken

Von F. Nyvelt und A. Gutschmann

621.311.21.221.4:65.012.122

Durch den Einsatz von Prozessrechnern in Speicherkraftwerken, die für Regelaufgaben herangezogen werden, kann der Einsatz der Maschinensätze mit dem Ziel einer Wirkungsgradoptimierung gesteuert werden. Im vorliegenden Aufsatz wird über den Vergleich zwischen der bisherigen Steuerung und einer möglichen, über den Prozessrechner geführten Steuerung berichtet und der Gewinn aus der Steuerung mit dem Prozessrechner ermittelt.

Des ordinateurs utilisés pour des tâches de réglage dans des usines génératrices à accumulation permettent de commander d'une façon optimale l'intervention des groupes de machines. Dans cet article, la possibilité de commande par ordinateurs est comparée avec la commande classique et on en détermine les avantages.

## 1. Die Anlagen der Tauernkraftwerke AG und ihre Regelaufgaben

Mit der Fertigstellung der Kraftwerkanlagen in Kaprun standen dem österreichischen Verbundnetz die ersten leistungsfähigen Großspeicherkraftwerke zur Verfügung. Seit dieser Zeit hat die Tauernkraftwerke AG mit diesen Kraftwerken und auch mit den später dazugekommenen Kraftwer-

ken die Regelaufgaben im österreichischen Verbundnetz durchzuführen (Fig. 1).

Beim Hauptlastverteiler der Verbundgesellschaft in Wien arbeiten die zentralen Einrichtungen für die Netzkennlinienregelung, und von dort ausgehend können die Maschinen der einzelnen Kraftwerke der Tauernkraftwerke AG für diese Regelaufgaben herangezogen werden. Dafür stehen in der Kraftwerkgruppe Kaprun (Haupt- und Oberstufe) 320 MW Turbinenleistung, in den Gerloskraftwerken 85 MW und seit dem vergangenen Jahr in den Kraftwerken Mayrhofen und Rosshag der Zemmkraftwerke 520 MW Turbinenleistung zur Verfügung. Ergänzt wird dieses Regelvermögen durch Pumpen im Kraftwerk Kaprun-Oberstufe mit einer Leistung von 130 MW und durch Speicherpumpen im Krafthaus Rosshag mit einer Leistung von 120 MW. Das Kraftwerk Schwarzach mit 120 MW ist wegen des verhältnismässig kleinen Speichers nur in geringem Ausmass für Regelaufgaben geeignet.

Während man in Kraftwerken, die für den Grundlastbetrieb oder auch für Trapezlast, das heisst also für einen Betrieb mit geringeren Leistungsschwankungen, eine Wirkungsgradoptimierung durch menschliches Überlegen und menschlichen Eingriff durchaus und ausreichend ermöglichen kann, lassen sich derartige Optimierungsaufgaben in Regelkraftwerken auf solche Art praktisch nicht durchführen. Mit dem Aufkommen der Prozessrechner entstanden neue Möglichkeiten. Im Rahmen der Tauernkraftwerke AG wurden Überlegungen angestellt, in welcher Weise man das Problem der Wirkungsgradoptimierung mit Hilfe der Prozessrechner lösen könnte. Derzeit sind Prozessrechner in den Gerloskraftwerken und, seit vergangem Jahr, auch in den Zemmkraftwerken (Kraftwerke Mayrhofen und Rosshag) in Betrieb. Besonders bei letzteren Anlagen mit den verhältnismässig grossen Turbinenleistungen ist die Lösung dieses Problems von besonderer Wichtigkeit. In den nachstehenden Ausführungen wird darüber berichtet, in welcher Grösse der Energiegewinn durch Ausnützung eines Prozessrechners hinsichtlich einer Wirkungsgradoptimierung liegen kann.

Der grosse Kapitaleinsatz für Anlagen zur Gewinnung elektrischer Energie fordert einen möglichst wirtschaftlichen Betrieb. Geeignete Automatisierungsmassnahmen können diesbezüglich nicht unwesentlich zu einem Erfolg beitragen. Im Bull. SEV 61(1970)26, S. 1263...1269, wurde von der Absicht, den Prozessrechner der Zemmkraftwerke auch für die

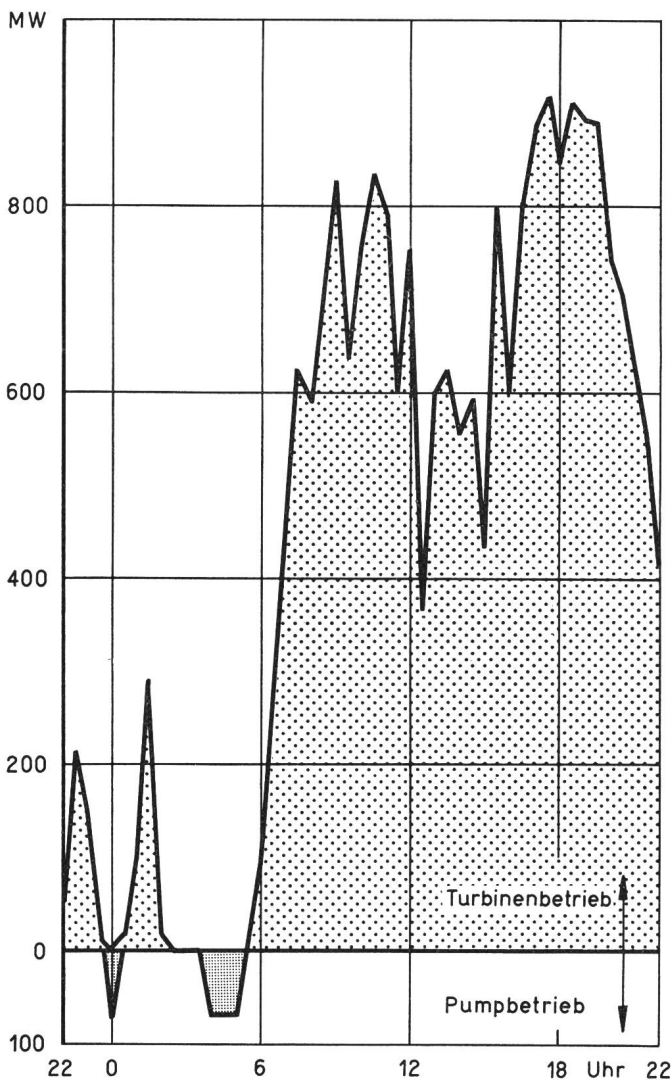


Fig. 1  
Tagesbelastung vom 17. 1. 1972 der Tauernkraftwerke AG

Maschineneinsatzoptimierung zu benützen, berichtet. Heute soll über erste Betriebsergebnisse mit diesem Programm informiert werden.

## 2. Allgemeine Überlegungen

Die Frage, ob in Regelkraftwerken die Maschineneinsatzoptimierung – es ist hier die Momentanoptimierung gemeint – möglich und sinnvoll ist, war bisher nicht eindeutig zu beantworten, da der wirtschaftliche Ertrag einer solchen Massnahme nur schwer eindeutig nachweisbar ist. Der Ertrag muss aber genau abschätzbar sein, um prüfen zu können, ob der notwendige Aufwand an Automatisierungsmitteln durch einen entsprechenden Rentabilitätseffekt gedeckt ist.

Nach unseren Überlegungen kann der Nutzen einer sinnvoll angewandten Betriebsoptimierung die Kosten der Automatisierungsmittel ganz erheblich übersteigen. Natürlich kann ein finanzieller Gewinn, gemessen am Gesamtumsatz des Unternehmens, nicht so gross sein, dass er sich ohne weiteres aus der Jahresbilanz ablesen lässt. Er wird überdeckt von Auswirkungen anderer Einflussfaktoren, wie z. B. von Kraftwerkerweiterungen, meteorologischen Schwankungen, Vertragsänderungen usw. Der indirekte Erfolgsnachweis, d. h. der rein rechnerische, ist so glaubwürdig wie die angewandte Rechenmethode, an deren Richtigkeit der Sachverständige nicht zweifeln wird. Es ist aber oft sehr schwierig, den aussenstehenden kritischen Prüfer von der Gültigkeit und Richtigkeit dieser Berechnungen, Annahmen und Überlegungen zu überzeugen.

Man suchte daher nach einer Lösung, die es ermöglichte, die Untersuchungen zur Maschineneinsatzoptimierung durch Ergebnisse aus der effektiven Betriebsführung zu belegen. Die Maschineneinsatzoptimierung soll die Bereitstellung der angeforderten Leistung mit einem Minimum an Rohenergie erreichen. Für ein Speicherkraftwerk bedeutet dies, dass mit dem zur Verfügung stehenden gespeicherten Wasser eines Regeljahres mehr kWh erzeugt werden sollen als bisher. Die Untersuchungsmethode soll den zu erwartenden Gewinn möglichst genau ermitteln.

Der zahlenmässige Nachweis des Nutzens einer Maschineneinsatzoptimierung könnte einfach an zwei gleichartigen Anlagen, von denen die eine wie bisher, die andere optimiert gefahren wird, erbracht werden. Eine solche Anlagenkonfiguration gibt es aber nicht. Daher wurde der Optimie-

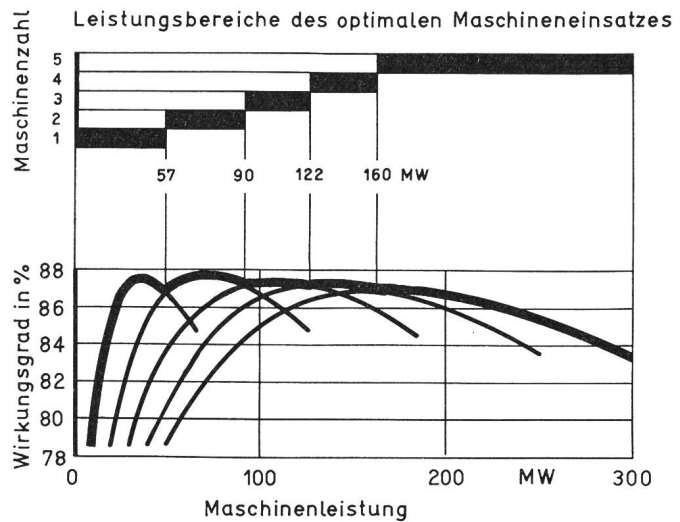


Fig. 2  
Anlagenwirkungsgrade des Kraftwerkes Mayrhofen

rungseffekt quantitativ mit dem Prozessrechner ermittelt, indem parallel zum Effektivbetrieb mit den Maschinen des Kraftwerkes Mayrhofen per Programm ein fiktiver Optimierungsbetrieb mit dem Prozessrechner – also prozessgekoppelt, aber mit offenem Wirkungsablauf – durchgeführt wurde. Vom Programm wird der erzielte Minderverbrauch an Wasser ermittelt und auf Anwahl bzw. zu den Tarifwechselzeiten protokolliert. Dieser Gewinn an Wasser in m<sup>3</sup>, multipliziert mit dem Arbeitswert, ergibt den durch die Optimierung erreichbaren Gewinn in kWh.

Damit das Ergebnis mit dem Effektivbetrieb vergleichbar ist, arbeitet der Rechner mit aktuellen gemessenen Werten. Die so gewonnenen Unterlagen sind objektiv und in ihrer Aussage neutral. Ihre Anwendung auf andere Anlagen ist ohne Schwierigkeiten möglich.

## 3. Praktische Durchführung der Optimierung

Für jede Belastung eines Kraftwerkes gibt es eine optimale Maschinenanzahl, mit der der günstigste Anlagenwirkungsgrad erzielt wird. Im Anlagenwirkungsgrad sind folgende Einzelwirkungsgrade enthalten:

- Turbinenwirkungsgrad,
- Generatorwirkungsgrad,
- Transformatorwirkungsgrad,
- Wirkungsgrad der Triebwasserführung.

MI 24.05.72 ZEMMKRAFTWERKE		ZEIT 22.00.09 OPTIMIERUNG		ERZEUGUNG * MWH *		LAUFZEIT * H * MIN *		BETR - ART - WECHS		DVA - OPT * H * MIN *	
		S - MON <sup>1)</sup>	S - TAG <sup>2)</sup>	S - MON	S - TAG	S - MON	S - TAG	S - MON	S - TAG	S - MON	S - TAG
GEN 5	3033	257	73.34	5.42	0	0	71.26	5.36			
GEN 6	1	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0.0			
GEN 7	4525	364	136.55	11.41	0	0	110.16	9.6			
GEN 8	5007	431	155.22	12.41	0	0	120.6	10.26			
GEN 9	2991	305	84.11	8.24	0	0	50.6	4.54			
GEN 10	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0.0			
SU5 - 10	15557	1357									
Q - EFFEKTIV <sup>3)</sup>	* 1000 M3 *	13675	1239								
Q - FIKTIV <sup>4)</sup>	* 1000 M3 *	13580	1226								
GEWINN DURCH OPTM	* KWH *	108205	15232								
	* PROZENT *	0.69	1.12								

Fig. 3  
Tagesprotokoll

- <sup>1)</sup> Monatssumme vom Beginn des Monats bis zum ausgeführten Datum
- <sup>2)</sup> Erzeugungssumme des Tages
- <sup>3)</sup> Wasserverbrauch in 1000 m<sup>3</sup>
- <sup>4)</sup> Wasserverbrauch bei der Wirkungsgradoptimierung in 1000 m<sup>3</sup>

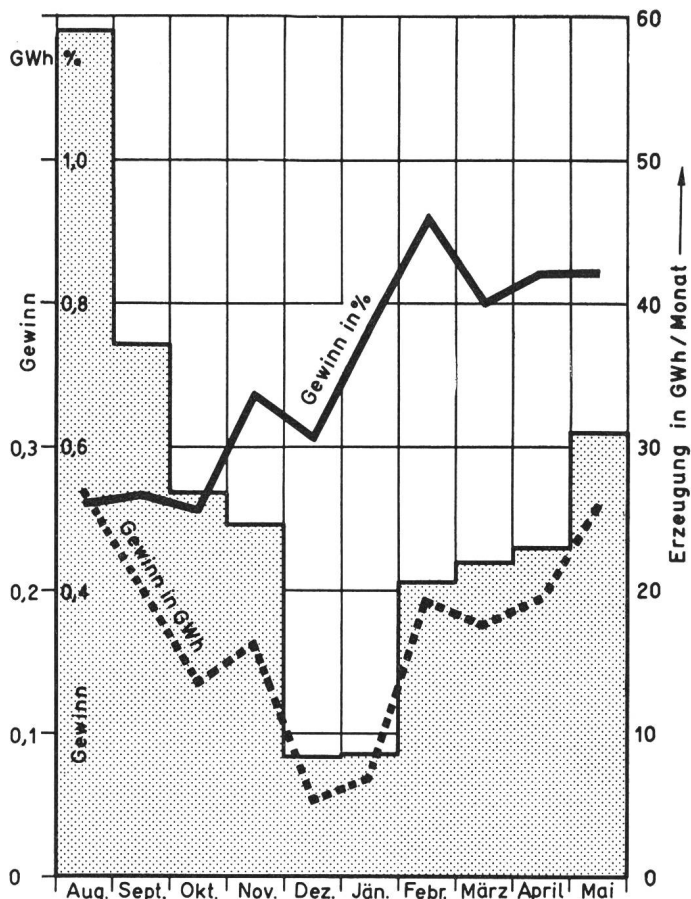


Fig. 4  
Ergebnis der fiktiven Optimierung im Kraftwerk Mayrhofen  
in den Monaten August 1971 bis Mai 1972

Man kann für alle möglichen Maschineneinsätze den Verlauf der Anlagenwirkungsgrade bestimmen. Die Einhüllende aller dieser Wirkungsgrade ergibt die Kurve für den optimalen Maschineneinsatz (Fig. 2).

Vom Rechner wird zyklisch alle Minuten die augenblicklich abgegebene Regelleistung ermittelt. Liegt diese Leistung ausserhalb des optimalen Bereiches für die Anzahl der eingesetzten Maschinen, wird durch den Rechner eine Änderung des Maschineneinsatzes veranlasst.

Ist der optimale Leistungsbereich unterschritten, wird eine Maschine auf Bereitschaftsbetrieb gesteuert. Im Bereitschaftsbetrieb werden die Düsen der Turbinen geschlossen, die Kugelschieber bleiben offen und der Maschinensatz wird vom Netz angetrieben. Steigt die Belastung über einen bestimmten Bereich an, setzt der Rechner die Bereitschaftsmaschine innerhalb weniger Sekunden wieder zur Regelung ein. Damit durch den Betriebsartenwechsel keine Änderung der Leistungsabgabe erfolgt, wird die Stellgrösse durch den Rechner dem jeweiligen Maschineneinsatz angepasst.

Die Betriebsartenwechsel werden vom Rechner durch direkten Zugriff auf die Maschinensteuerung veranlasst. Daneben gibt der Prozessrechner auf Blattschreiber Aufforderungen zum Anfahren von einzelnen Maschinen aus.

Um das Optimierungsprogramm eingehend studieren und erproben zu können, wurde über zehn Monate ein Fiktivbetrieb gefahren. Während dieser Zeit waren die Stellbefehle des Optimierungsprogrammes unterbrochen. Parallel zum tatsächlichen Kraftwerkbetrieb wurde mit dem Rechner ein

fiktiver, optimierter Betrieb gefahren. Diese Vorgangsweise ergab die Möglichkeit, den Nachweis für die Rentabilität dieses Verfahrens zu erbringen.

Für den effektiven und den fiktiven Maschineneinsatz wurden laufend die Gesamtverluste ermittelt und daraus eine Verlustdifferenz gebildet. Die Verlustdifferenzen wurden über festgelegte Zeiträume aufsummiert und ergaben so den für die Optimierung erzielbaren Gewinn. Die Ergebnisse dieser laufenden Berechnungen durch den Prozessrechner wurden täglich in Form eines Protokolles ausgedruckt (Fig. 3). Auf einem Zeitmarkenschreiber wurden die Häufigkeit und der zeitliche Verlauf der durch den Rechner fiktiv durchgeführten Betriebsartenwechsel registriert. Mit Hilfe dieser Aufzeichnung konnten die Umsteuerpunkte der Leistungsbereiche unter Berücksichtigung der Schalzhäufigkeit eingestellt werden.

#### 4. Erfahrungen aus dem fiktiven Optimierungsbetrieb

In Fig. 4 sind die Ergebnisse der über zehn Monate durchgeführten fiktiven Optimierung eingetragen. Aus dem Diagramm kann man ersehen, dass sich nach einer gewissen Anlaufzeit für eine optimale Programmanpassung ein Gewinn in der Höhe von etwa 1 % durch das angewandte Verfahren erzielen lässt. Die an einzelnen Tagen innerhalb der registrierten Monate ermittelten relativen Gewinne zeigen eine grosse Abhängigkeit von der jeweiligen Tageserzeugung. Es stellt sich heraus, dass bei hoher Erzeugung nur ein geringer prozentualer Gewinn erreicht werden kann (Fig. 5). Die Erklärung für diese Tatsache ist im Verlauf der Anlagenwirkungsgrade gegeben (Fig. 2). An Tagen mit hoher Erzeugung bewegt sich die Leistungsabgabe meist in der rechten Hälfte der Anlagenwirkungsgradkurve, und es gibt dann keine Optimierungsmöglichkeiten mehr, wenn alle betriebs-

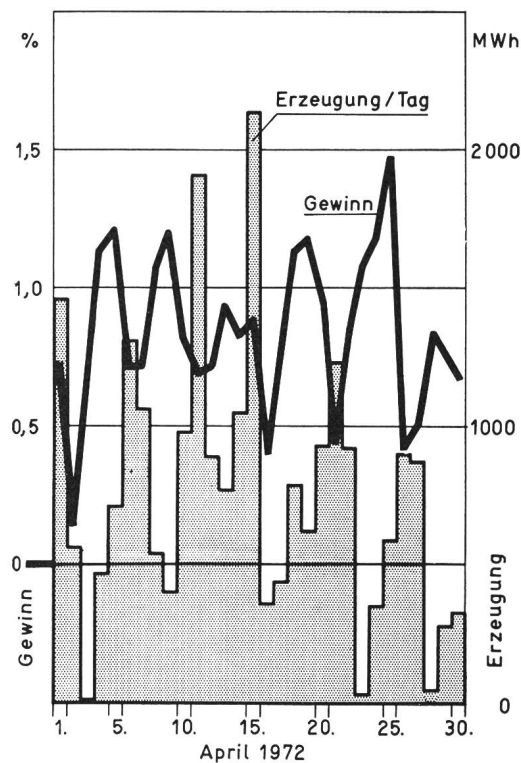


Fig. 5  
Ergebnis der fiktiven Optimierung im Kraftwerk Mayrhofen

bereiten Maschinen mit Vollast eingesetzt sind. Daher wirken sich auch die Revisionszeiten der Maschinensätze auf die Optimierungsergebnisse aus.

Bei einem Regelkraftwerk wird zwar der gesamte Leistungsbereich öfter durchfahren, die volle Kraftwerkleistung wird dagegen nur bei einem Bruchteil der Einsatzstunden benötigt. Es ist daher durchaus sinnvoll, eine Maschineneinsatzoptimierung mit dem angegebenen Verfahren durchzuführen. Sicher ist auch, dass durch die Einbeziehung mehrerer Kraftwerke in eine übergeordnete Optimierung ein erheblich höherer wirtschaftlicher Effekt erzielt werden kann als

durch das Ergebnis der fiktiven Maschineneinsatzoptimierung allein nachgewiesen werden konnte.

Seit Oktober 1972 stehen alle Maschinen des Kraftwerkes Mayrhofen dem Prozessrechner für den effektiven Optimierungsbetrieb zur Verfügung. Seit Mai 1972 wurde mit einem Teil der Maschinen bereits diese Betriebsart mit sehr gutem Erfolg gefahren. Der Gewinn pro Jahr wird ca. 3,5 GWh betragen.

**Adresse des Autors:**

Dipl.-Ing. *Friedrich Nyvelt*, Vorstandsmitglied der Tauernkraftwerke AG, Rainerstrasse 29, A-5021 Salzburg.

## RICHARD THEILER

1841–1923

Der 1812 geborene Einsiedler Uhrmacher Meinrad Theiler interessierte sich intensiv für die Telegraphie und baute einen Schreibtelegraphen, der in London zur Börsenübermittlung Verwendung fand. 1856 wanderte er mit seiner sechsköpfigen Familie nach London aus, wo er in der «Electric Telegraph Company» Abteilungsleiter wurde.

1866 entschloss sich Vater Theiler zur Gründung eines eigenen Unternehmens, in dem auch seine Söhne Richard (geb. 1841) und Meinrad (1844) mitarbeiteten. Man stellte vor allem Telephonapparate her.

Um seine Kenntnisse über Elektrizität zu ergänzen, besuchte Richard den Physikunterricht am Gymnasium der Klosterschule in Einsiedeln.

1873 starb Vater Theiler, und die beiden Söhne hatten den Betrieb zu übernehmen. Nach 10 Jahren wandte sich Meinrad einer andern Tätigkeit zu und überliess die Leitung des Geschäftes seinem Bruder Richard. 1891 entschloss dieser sich zum Verkauf des Unternehmens, um mit seiner Frau, einer gebürtigen Rapperswilerin, in die Schweiz zurückzukehren.

Er liess sich in Luzern nieder und übernahm die Vertretung des von der Westinghouse gebauten Shallenberger-Zählers. Es handelte sich um einen Induktionszähler mit Windflügelbremsung, der offenbar nicht in allen Teilen befriedigte. Theiler brachte zwar verschiedene Verbesserungen an, die ihm aber nicht genügten. Daher entwarf er eine Eigenkonstruktion, bei der er als einer der Ersten die Bremsung mit Hilfe eines Stahlmagneten anwandte. Für diesen Zähler erhielt er am 13. Juni 1896 das Patent. Um es auszuwerten, tat er sich mit *Adelrich Gyr*, ebenfalls einem Einsiedler, zusammen. So kam es im gleichen Jahr zur Gründung des «Electrotechnischen Institutes Theiler & Co.» in Zug. Man baute neben Zählern noch Telephoninduktoren für die PTT und Grammophonwalzen. Nebenbei erteilte Theiler den Schülern eines benachbarten Knabeninstitutes Unterricht im technischen Zeichnen.

Da seine beiden im Jahre 1878 geborenen Zwillingssöhne, von denen der eine Chemiker, der andere Pharmazeut geworden war, am väterlichen Unternehmen keinen Gefallen fanden, suchte Theiler einen Associé. 1903 fand er diesen in der Person von Dipl. Ing. Heinrich Landis, der am Eidg. Polytechnikum und an der Techn. Hochschule zu Charlottenburg studiert und nachher bei der MFO gearbeitet hatte. Schon im darauf folgenden Jahr verkaufte ihm Theiler das Geschäft, das unter der Firma «H. Landis, vormals Theiler & Co.» weitergeführt wurde und aus dem wenig später die Firma Landis & Gyr entstand.

Theiler zog sich nachher vom Geschäftsleben zurück. Eine Zeitlang lebte er in München, kam dann nach Luzern, wo er am 30. Januar 1923 starb.

*H. Wüger*

