

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 56 (1965)
Heft: 9

Artikel: Zur Vereinheitlichung der 16-kV-Verteiltransformatoren
Autor: Wild, R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916362>

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: 01.02.2025

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

Zur Vereinheitlichung der 16-kV-Verteiltransformatoren

Mitgeteilt vom Ausschuss des SEV für die Vereinheitlichung von Transformatoren (AVT)

von R. Wild, Zürich

Der steigende Bedarf an Transformatoren veranlasste einige Hersteller und Käufer zur Prüfung der Frage, ob eine vereinheitlichte Konstruktion auch für diese Erzeugnisse zu erreichen wäre. Der in der Folge vom SEV und vom VSE gebildete Ausschuss für die Vereinheitlichung von Transformatoren (AVT) teilte die Transformatoren in kleine (63...1000 kVA), mittlere (1600...40 000 kVA) und grosse Leistungen (63 000 kVA und darüber) auf. Das Ergebnis der Beratungen für die kleinen Leistungen ist im vorliegenden Bulletin veröffentlicht. Es handelt sich um die Leitsätze für die Vereinheitlichung von 16-kV-Verteiltransformatoren.

Um die Türe zur zukünftigen Entwicklung offen zu halten, wurde nur das vereinheitlicht, was nicht dem technischen Fortschritt unterliegt. Aus diesem Grunde ist davon abgesehen worden, die Verluste der Transformatoren zu normen; desgleichen sind auch die äusseren Abmessungen, mit Ausnahme der Durchführungs- und Rollenabstände, frei geblieben. Es zeigte sich, dass eine Beschränkung der Zahl der Nennleistungen und einheitliche Ober- und Unterspannungen dem angestrebten Ziel am dienlichsten sind. Sodann bedurfte es allgemein akzeptierter Kurzschlußspannungen. Selbstverständlich sind auch gewisse Zubehörteile genormt worden.

Im folgenden werden die wichtigsten Punkte der Leitsätze erläutert:

Die Nennleistungen

Neben den genormten Werten der ISA-Reihe sind bis heute noch viele andere Nennleistungen hergestellt worden. Aus diesem Grunde konnten Verteiltransformatoren von den Lieferfirmen nur in sehr kleinen Serien fabriziert werden; vielfach mussten die Konstrukteure sogar Einzelobjekte entwerfen. Diese unwirtschaftliche Fabrikation soll nun durch eine dem Hersteller und Käufer dienende groszügige Serienproduktion ersetzt werden, was aber eine Reduktion der Zahl der Nennleistungen zur Voraussetzung hat. Die Konzentration auf wenige Leistungen hat eine verbilligte Anschaffung zur Folge und ist auch vereinbar mit einem wirtschaftlichen Werkbetrieb. Dieser liegt vor, wenn erstens die Jahreskosten der Transformatoren möglichst niedrig sind und zweitens zur Vermeidung von kostspieligen Auswechslungen der Energie-

bedarfszuwachs möglichst lange vom gleichen Transformator übernommen werden kann.

Unter den Jahreskosten sind die finanziellen Belastungen infolge Verzinsung und Abschreibung (Kapitaldienst) sowie durch die Leer- und Lastverluste (Transformationskosten) zu verstehen. Da die Verteiltransformatoren der Elektrizitätswerke, von wenigen Ausnahmen abgesehen, jährlich während 8760 Stunden unter Spannung stehen, gehören neben dem Kapitaldienst auch die Leerverluste zu den festen Kosten. Die Lastverluste dagegen sind von der Grösse des Stromes abhängig und verursachen den variablen Kostenanteil. Da diese Verluste quadratisch mit der Stromstärke steigen und sinken, kann ihrer Berechnung keine mittlere Transformatorbelastung zugrunde gelegt werden. Massgebend für die Jahreskosten der Lastverluste ist deren «Gebrauchsdauer». Diese ergibt sich aus dem Quotienten der jährlichen Lastverlustenergie zur Lastverlustleistung bei maximaler Belastung des Transformators und beträgt für ein normales Belastungsdiagramm eines Elektrizitätswerkes zirka 4000 Stunden. Der auf dieser Grundlage berechnete variable Jahreskostenanteil ist kleiner als derjenige des gleichmässig belasteten Transformators. Die Kurven K_A und K_B in Fig. 1 zeigen den Unterschied.

Wenn man für eine ausgewählte Nennleistungsreihe alle Kurven K_B bestimmt, ergeben sich Schnittpunkte, welche für jede Transformatorgrösse den wirtschaftlich günstigsten Betriebsbereich eingrenzen. Diese Kurven sind in Fig. 2 dargestellt.

Die in Fig. 2 gewählte Nennleistungsreihe entspricht den Empfehlungen des Ausschusses. In diesem Fall ergibt sich z. B. für den 250-kVA-Transformator ein wirtschaftlich günstiger Arbeitsbereich bei einer Belastung von 136...221 kVA. Die berechneten Kurvenschnittpunkte S sind in Tabelle I zusammengestellt.

In die Tabelle I sind neben den vom AVT empfohlenen Leistungen noch Zwischenwerte aufgenommen worden. Dadurch wird die Reihe zwar verfeinert, doch ergeben sich als wirtschaftliche Arbeitspunkte nur kleine Belastungsbereiche von 17 % der Nennleistung. Infolge des Verlaufes des Tagesbelastungsdiagrammes kann ein Transformator in diesen engen Grenzen nicht unter optimalen Bedingungen betrieben werden. Fragwürdig wird die Einhaltung dieser Gren-

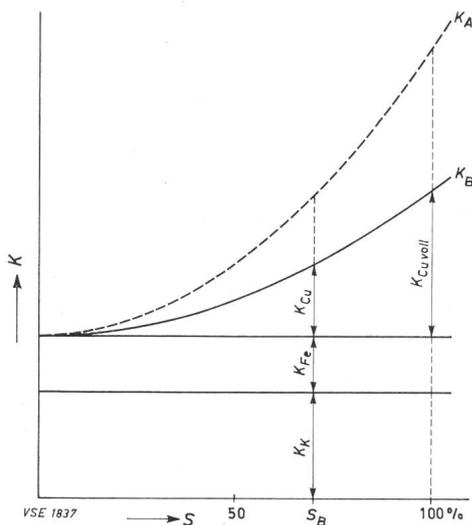


Fig. 1

Jahreskosten K in Abhängigkeit von der Transformatorbelastung S

K_A Jahreskosten bei konstanter Belastung des Transformators;
 K_B Jahreskosten bei Belastung gemäss Normaltagesdiagramm (Gebrauchsdauer: 4000 Std./Jahr); K_{Cu} Lastverlustkosten bei Belastung S_B ;
 $K_{Cu,voll}$ Lastverlustkosten bei Vollast; K_{Fe} Leerverlustkosten;
 K_K Kapitalkosten

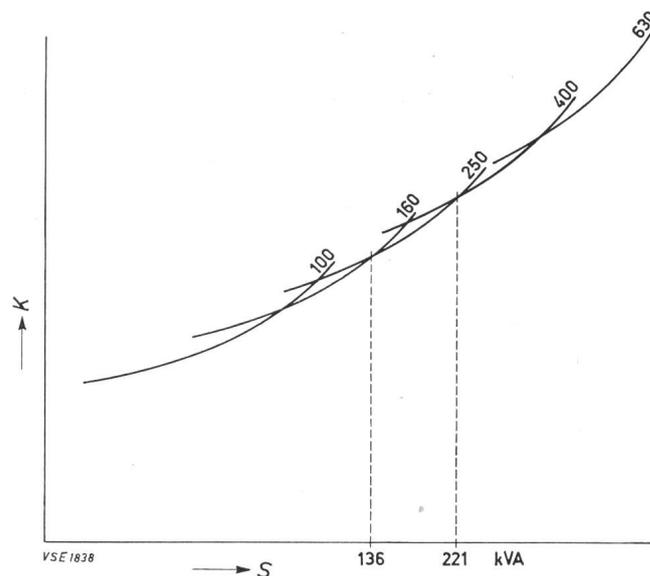


Fig. 2

Jahreskosten bei verschiedenen Nennleistungen in Abhängigkeit von der Belastung S in kVA

Parameter: Nennleistungen in kVA

zen auch bezüglich der charakteristischen Daten der Transformatoren. Diese entsprechen einer genauen geometrischen Reihe; wenn z. B. die Leerverluste um 9 % oder die Lastverluste um 6 % oder der Preis um 5 % höher oder niedriger sind, dann ist in jedem Fall der Betrieb mit dem nächstgrösseren oder nächst kleineren Transformator bei allen Belastungszuständen wirtschaftlich günstiger. Mit der gröberen AVT-Leistungsreihe werden nun die Grenzen der günstigen Arbeitsbereiche von 17 auf 34 % erweitert.

Die dadurch in Kauf genommene Erhöhung der Jahreskosten ist aber sehr gering. Sie beträgt verglichen mit dem theoretisch günstigsten Belastungspunkt des weggelassenen Zwischentransformators nur 1,5...2,5 %. Sobald aber die Belastung der nun unterdrückten Zwischengrösse um $\pm 8,5$ % vom günstigsten Arbeitspunkt abweicht, entstehen höhere Lastverlustkosten als bei Betrieb mit den nächstgelegenen Transformatoren der gröberen AVT-Reihe. Diese empfohlene Reihe mit nur 7 Nennleistungen erfüllt auch die

Forderung nach möglicher Einschränkung der Transformatorauswechslungen infolge Zunahme der Netzbelastung.

Aus diesen betrieblichen Gründen rechtfertigt sich eine zu feine Nennleistungsabstufung nicht. Die vom Ausschuss vorgeschlagene Reihe 1 : 1,6 ist in Frankreich und Deutschland ebenfalls eingeführt worden. Auch in diesen Ländern waren die Vereinfachung des Werkbetriebes und die Erhöhung der Produktivität der Ausgangspunkt für die Schaffung von vereinheitlichten Transformatoren.

Die Nennspannungen

Der grösste Einbruch in die bisherigen Verhältnisse scheint durch die Neufestsetzung der Ober- und Unterspannungen erfolgt zu sein. Tatsächlich existieren die vorgeschlagenen Werte in der Schweiz bisher nicht. Andererseits gibt es nicht zwei Elektrizitätswerke, welche das gleiche 16-kV-Transformator-Übersetzungsverhältnis haben, was zur Folge hat, dass 22 verschiedene 16-kV-Transformatoren-Typen bestellt werden. Die Oberspannungen variieren zwischen 14 650 und 17 000 V, die Unterspannungen zwischen 390 und 416 V. Ausserdem gibt es Transformatoren mit 3 und solche mit 4 Oberspannungsanzapfungen.

Diese Vielfalt hat nicht nur den Herstellern eine unrationale Fabrikation auferlegt, sondern auch den Transformatorenbesitzern die gegenseitige Aushilfe sehr eingeschränkt. Es ist daher verständlich, wenn der Vereinheitlichung der Spannung allseits grosse Bedeutung zugemessen wird. Der Nachteil des nicht ganz einwandfreien Parallellaufes zwischen neuen und alten Transformatoren in der gleichen Station fällt kaum ins Gewicht, da der sogenannte Sammelschienen-Parallellauf nicht sehr oft vorkommt. Wenn er dennoch nötig wird, empfiehlt es sich, folgende Möglichkeiten in Betracht zu ziehen:

1. Die Zusammenschaltung erfolgt nur primärseitig; auf der Sekundärseite sind die abgehenden Linien entsprechend den alten und den neuen Transformatoren aufzutrennen.

Tabelle I

Nennleistung kVA	Kurvenschnittpunkte S bzw. wirtschaftlicher Betrieb der Transformatoren	
	bei 13 Nennleistungen kVA	bei 7 Nennleistungen (gemäss Empfehlungen des AVT) kVA
63	(30)... 41	(27)... 48
80	41... 55	
100	55... 72	48... 82
125	72... 93	
160	93...120	82...136
200	120...154	
250	154...196	136...221
315	196...250	
400	250...318	221...357
500	318...403	
630	403...510	357...571
800	510...646	
1000	646...(816)	571...(911)
Grenzen der wirtschaftlichen Ausnützung	ca. 17 % der Nennleistung	ca. 34 % der Nennleistung

2. Wenn mehrere Stationen vorhanden sind, können in ein und derselben Station entweder nur alte oder nur neue Transformatoren eingesetzt werden.

3. Es ist abzuklären, ob während der Übergangszeit zwischen den Werken und ihren Hochspannungsbezüglern entweder alte oder neue Transformatoren vorübergehend ausgetauscht werden können.

4. Es ist zu untersuchen, ob die gewünschte Sekundärspannung das Zusammenschalten auf bestimmten verschiedenen Anzapfstufen zulässt, da ein noch annehmbarer Parallelauf mit fast allen alten Übersetzungsverhältnissen auf wenigstens einer Anzapfstellung möglich ist. Nach den Transformatorregeln beträgt die zulässige Abweichung der Übersetzungsverhältnisse 0,8...1,0 %.

5. Der Ausgleichstrom wird in Kauf genommen. Das ist zulässig, wenn die Abweichung der Übersetzungsverhältnisse nicht mehr als 2 % ausmacht. In diesem Fall betragen die Mehrverluste etwa 9 % der Lastverluste bei Vollast der beiden Transformatoren zusammen. Die Jahreskosten steigen dadurch um 5...6 %. Eine Überlastungsgefahr des Transformators mit dem kleineren Übersetzungsverhältnis (OS : US) besteht nicht, da die Transformatoren wegen des wirtschaftlichen Betriebes je nach Nennleistung nicht über 76...91 % derselben hinaus eingesetzt sein sollen.

Allgemein kann gesagt werden, dass der absolut einwandfreie Parallelauf praktisch nicht erreichbar ist, denn neben dem gleichen Übersetzungsverhältnis ist als weitere Bedingung auch noch gleiche Kurzschlußspannung bzw. gleiches Kurzschlußdreieck erforderlich. Die Kurzschlußspannung darf gemäss den Transformatorregeln bis $\pm 10\%$ vom garantierten Wert abweichen, also z. B. $\epsilon_{c1} = 3,6\%$ und $\epsilon_{c2} = 4,4\%$. Die dadurch entstandenen Belastungsverschiebungen erreichen im vorliegenden Beispiel die gleiche Grösse wie ein fehlerhaftes Übersetzungsverhältnis von etwa 1,3 %.

Von der Festsetzung von nur mehr drei Oberspannungen (17 000...16 500...16 000 V) statt deren vier werden 12 von 22 Werken betroffen. Die neuen Werte weichen um $\pm 3,03\%$ von der mittleren Oberspannung ab. Dieser Prozentsatz ist dem Spannungsabfall auf der vollbelasteten 16-kV-Leitung gleichzusetzen und entspricht somit der Länge der Leitung, an welcher die Transformatoren auf der gleichen Anzapfstufe betrieben werden können. Bei voller Ausnutzung der Stufenbereiche ergibt sich folglich ein totaler Spannungsabfall von $3 \times 3,03\% \approx 9,1\%$. Aus wirtschaftlichen Gründen sollten keine höheren Spannungsabfälle bzw. Wirk- und Blindverluste auf der 16-kV-Leitung zugelassen werden. Unter dieser Voraussetzung kann eine

8-mm-Kupferdraht-Freileitung vom Unterwerk aus einen Umkreis von etwa $3 \times 3 \text{ km} = 9 \text{ km}$ Radius bedienen. Dies gilt wohlverstanden für eine vollbelastete Leitung (200 A); abgelegene Höfe mit ihrem verhältnismässig kleinen Energiebezug können selbstverständlich über grössere Distanzen versorgt werden. Der Stufensprung von 500 V gestattet die Einhaltung der Spannung an den Niederspannungsklemmen des Transformators in den zulässigen Grenzen, d. h. zwischen Nennspannung und + 5 % Überspannung (z. B. zwischen 380 und 399 V). Ein kleinerer Stufensprung würde an bestimmten Leitungspunkten die erlaubten Unterspannungen unnötigerweise auf zwei verschiedene Anzapfstellungen einhalten. Die Reduktion von 4 auf 3 Stellungen schafft also keine Komplikationen. Es gibt Werke, welche von den 4 Stellungen ihrer Transformatoren (z. B. $3 \times 400 \text{ V}$) die unterste Stufe sehr selten benötigt haben.

Die Prüfspannung

Unter Ziff. 4.1 der Leitsätze sind für die Prüfung der Transformatoren mit Industriefrequenz (50 Hz) die Effektivwerte 38 kV und 50 kV vorgesehen, die gemäss Tabelle V der Ziff. 38 der Regeln und Leitsätze für die Koordination der Isolation in Wechselstrom-Hochspannungsanlagen (Publ. 3001.1964 des SEV) den höchsten Betriebsspannungen 17,5 kV bzw. 24 kV zugeordnet sind.

Die Wahl der Prüfspannung erfolgt auf Grund der Netzverhältnisse und wird durch die Isolationsfestigkeit des Hochspannungsmaterials, die höchste Betriebsspannung im Netz, die Art des Netzes (Freileitungs- oder Kabelnetz), das Schutzniveau und den gewünschten Sicherheitsgrad bestimmt.

Die Koordinationsregeln schreiben in logischer Weise für sämtliche Anlageteile den gleichen Wert der Isolationsfestigkeit vor, wie es in Ziff. 1 der Tabelle II dargestellt ist.

Von diesem allgemein geltenden Leitsatz lassen die Koordinationsregeln folgende Ausnahmen zu:

1. Da Isolatoren, Trenner, Schalter usw. für die höchste Betriebsspannung 17,5 kV nicht hergestellt werden und daher dieses Material für eine höchste Betriebsspannung von 24 kV gewählt werden muss, sind das Schutzniveau (Ableiter oder Schutzfunkenstrecken) oder allfällige zusätzliche Funkenstrecken gemäss Ziff. 51 der Koordinationsregeln für eine höchste Betriebsspannung von 17,5 kV einzustellen, wenn Transformatoren für die höchste Betriebsspannung, d. h. mit einer 50-Hz-Prüfspannung von 38 kV gemäss den Regeln für Transformatoren, Publ. 189 des SEV, verwendet werden, wie Ziff. 2 der Tabelle II zeigt.

Tabelle II

Ziffer	Genormte höchste Betriebsspannung U_m (Effektivwert) kV			50-Hz-Prüfspannung		Stosshaltespannung		Schutzniveau des Ableiters (Scheitelwert) \hat{u}_S kV	Schutz- verhältnis Trans- formator zu Ableiter \hat{u}_{hT}/\hat{u}_S
	Trans- formatoren	Anderes Stations- material	Ableiter	Transformator (Effektivwert) U_{pT} kV	Anderes Stationsmaterial (Effektivwert) U_{pM} kV	Transformator (Scheitelwert) \hat{u}_{hT} kV	Anderes Stationsmaterial (Scheitelwert) \hat{u}_{hM} kV		
1	24	24	24	50	55	125	125	95	1,32
2	17,5	24	17,5	38	55	95	125	75	1,27
3	24	24	17,5	50	55	125	125	75	1,67

2. Liegt die wirkliche höchste Betriebsspannung des Netzes wesentlich unter dem genormten Wert, der der Wahl des Materials zu Grunde gelegt wird, so kann es gemäss Ziff. 63 der Koordinationsregeln mit Rücksicht auf die Schutzwirkung bei Stössen mit steiler Front vorteilhafter sein, die Ansprechstoss- und Restspannung der Ableiter etwas tiefer einzustellen, d. h. die Nennspannung der Ableiter tiefer zu wählen. Diese Empfehlung trifft für die Fälle zu, in denen sowohl das Hochspannungsmaterial und die Isolatoren als auch die Transformatoren in bezug auf ihre Isolationsfestigkeit für eine höchste Betriebsspannung von 24 kV bzw. für eine 50-Hz-Prüfspannung von 50 kV gewählt werden; wie in Ziff. 3 der Tabelle II angegeben ist, finden hier Überspannungsableiter für eine höchste Betriebsspannung von 17,5 kV Verwendung.

In der letzten Kolonne der Tabelle II ist das Verhältnis der Stosshaltspannung des Transformators zur 100^o/_o-Ansprechstossspannung bzw. Restspannung des Überspannungsableiters eingesetzt. Der Quotient \hat{u}_{HT}/\hat{u}_S stellt den Sicherheitsgrad der Anlage dar.

Schlussbetrachtung

Der Trend vom Vielfältigen zum Einfachen ist auf wirtschaftlichem Gebiet nicht mit einer Modeströmung zu vergleichen. Es handelt sich hier um ein irreversibles Geschehen, welches den einmal erreichten ökonomischen Stand nur in Richtung einer grösseren Produktivität verändern lässt.

Der Vorteil des neuen Transformators kann in vollem Umfang natürlich nur jenen Werken zugute kommen, welche mit ihrem Verteilnetz im Bereich der «16-kV»-Spannung liegen. Alle anderen Vereinheitlichungen aber, und unter ihnen namentlich die Leistungsreihe, werden auch für die Werke der übrigen Nennspannung von Nutzen sein. Abgesehen von den Betriebs- und Prüfspannungen richten sich daher die in diesem Bulletin veröffentlichten Leitsätze an alle schweizerischen Transformatorenbesteller. Im übrigen kann erwähnt werden, dass sich der Ausschuss nach dem erfolgreichen Abschluss der Arbeiten für den «16-kV»-Einheitstransformator die Frage vorlegen wird, ob sich auch wesentlich andere Netzspannungen (z. B. 10/11 kV) vereinheitlichen lassen.

Der vereinheitlichte Transformator verlangt zwar von jedermann einen gewissen Tribut. Dieser kann um so eher geleistet werden, als er nur vorübergehend und nur in geringem Masse materieller Natur ist. Neben den vielen Vorteilen, welche der neue Transformator den Fabrikanten und Bestellern bietet, verschwinden die kleinen Unzukömmlichkeiten gänzlich. Die grosse Perspektive liegt in der ökonomischen Verbesserung, an die wir unseren Teil beisteuern müssen. Davon werden letzten Endes nicht nur die direkt Beteiligten, sondern auf weite Sicht gesehen, das ganze Land profitieren.

Adresse des Autors:

R. Wild, dipl. Elektrotechniker, Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ), Zürich.

Kraftwerkbau und öffentliche Meinung

(Vertrauen in die Lösung einer grossen Aufgabe)

Die Elektrizität gehört in der Schweiz zu jenen Dingen, deren täglicher Gebrauch für den Armen wie für den Reichen, in der Stadt und auf dem Land und selbst in den abgelegensten Bergdörfern längst selbstverständlich geworden ist. Der Bürger kann sich ein Leben ohne Elektrizität kaum mehr vorstellen; er rechnet heute einfach mit ihrer Allgegenwart, obwohl sein Wissen um das Phänomen «Elektrizität» oft nicht besonders gross ist. So will zwar der moderne Mensch auch in Zukunft in jedem Moment auf die Dienste seines unsichtbaren Helfers «Elektrizität» zählen können, aber es scheint ihm nicht, oder doch viel zu wenig bewusst zu sein, dass die Stromerzeugung zur Sicherung des ständig wachsenden Bedarfes schon im nächsten Jahrzehnt auf eine neue Grundlage gestellt werden muss. Angesichts der bevorstehenden Ergänzung unserer bisher praktisch ausschliesslich hydraulischen Erzeugung durch thermische Kraftwerke und der neuen Probleme, die sich damit für die Elektrizitätsproduzenten stellen, scheint es dringend, den Bürger in vermehrter Masse für die Elektrizitätspolitik zu interessieren. Er muss sich bewusst werden, dass die Schwierigkeiten, die man dem Bau von Kraftwerken in unserm Land seit einiger Zeit bereitet, schon morgen auch ihn und seine Familie und seinen Arbeitsplatz berühren können. So ist es keineswegs

gleichgültig, ob die Elektrizitätswerke jahrelang um die Verwirklichung ihrer Projekte für die Stromerzeugung ringen müssen. Der Zustand ist ungesund und mit einem vermeidbaren Mehraufwand von Kosten verbunden, für die letzten Endes vor allem der Konsument aufzukommen hat, wenn die Stromproduzenten gezwungen werden, gleichzeitig mehrere Projekte auszuarbeiten, um schliesslich nach langen Kämpfen mit Sicherheit eines davon verwirklichen zu können. So ergibt sich immer wieder das bemühende Schauspiel, dass zwar jedermann die enormen Vorteile der Elektrizität für die Einsparung von Arbeitskräften, für die Bequemlichkeit und den Komfort im eigenen Heim anerkennt, dass aber die Haltung der Bevölkerung gegenüber dem Kraftwerkbau mit mancherlei Vorurteilen behaftet ist und man oft mit völlig unberechenbaren rein gefühlsmässigen Reaktionen rechnen muss. Und zwar gilt das für den Bau von Wasserkraftwerken, wie für den Bau thermischer Werke, die im Ausland keineswegs jener Feindseligkeit und jenen Entüstungstürmen begegnen, wie in einzelnen Regionen der Schweiz.

Vom Betrieb eines thermischen Werkes, wie übrigens auch von einer Raffinerie, befürchtet der sonst so modern eingestellte und in einer Industrielandschaft des Mittellandes le-