

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 28 (1937)
Heft: 22

Rubrik: Allgemeine Diskussion

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: 03.04.2026

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

quence-puissance ou à statisme virtuel. Nous avons indiqué quelles étaient, à notre avis, les considérations dont devrait s'inspirer le choix des valeurs de l'énergie réglante, indépendamment de la question du statisme des régulateurs.

Nous avons exposé quelles étaient les possibilités actuelles des régulateurs mécaniques, spécialement du type accéléro-tachymétrique, pour le réglage direct de la fréquence dans les solutions proposées pour le contrôle des échanges dans un système d'interconnexions. Ce type de régulateur, dont l'application dans le domaine des turbines hydrauliques n'a rencontré aucune difficulté qui lui soit particulière, pourrait être avantageusement utilisé pour les turbines à vapeur. Ce genre de machine motrice n'est-il pas en effet spécialement indiqué pour satisfaire favorablement aux petites variations momentanées qui caractérisent la dentelle d'un diagramme de charge? Il nous paraît l'être aussi bien que les turbines hydrauliques bénéficiant de bonnes conditions d'installation et ainsi pourrait-on subvenir, dans l'ensemble d'un réseau, aux difficultés inévitables que peut offrir le réglage d'autres turbines hydrauliques qui, comme nous l'avons signalé, sont moins favorablement placées, du fait des valeurs relatives de leurs dimensions, de la longueur

de leur système d'alimentation sous pression et de leur chute.

Nous avons indiqué dans quel sens les constructeurs électriciens pouvaient, non seulement apporter leur aide, mais fournir des solutions nécessaires au perfectionnement des régulateurs mécaniques.

Nous voudrions, en terminant, adresser un appel aux exploitants qui, seuls, peuvent donner aux constructeurs un champ d'expérience vraie. Ce serait une juste récompense aux efforts développés par les constructeurs que de les voir conviés à des fournitures d'essais, sans devoir prendre seuls à charge les responsabilités et les frais de recherches, de mises au point successives et parfois même d'échecs qui sont l'inévitable rançon de tout progrès.

En retour, les exploitants peuvent s'attendre à obtenir, par un meilleur réglage de l'ensemble des interconnexions, une discipline mieux observée dans le régime des échanges de puissance, le respect plus précis des programmes horaires de livraison ou d'absorption d'énergie et, en conséquence, une utilisation plus avantageuse de leurs centrales de production.

Der Vorsitzende dankt Herrn Gaden verbindlich für das interessante Referat.

4. Allgemeine Diskussion.

Herr A. Engler, Direktor der Nordostschweiz. Kraftwerke A.-G., Baden (NOK): Herr Prof. Dubs hat auf die physikalischen Zusammenhänge hingewiesen, die für eine gegebene Anlage bei Reguliervorgängen bestehen zwischen der sogenannten Schliesszeit der Turbinenregulierung (Schliesszeit des Leitapparates bei Francis-turbinen, Schliesszeit des Ablenkens bei Freistrahlturbinen) und dem vorübergehenden Drehzahlanstieg einerseits und zwischen der Schliesszeit des Wasserabschlussorgans (Schliesszeit des Druckreglers bei Francis-turbinen, bzw. Schliesszeit der Düsenadel bei Freistrahlturbinen) und der vorübergehenden Drucksteigerung in der Rohrleitung andererseits. Ich möchte mir gestatten, aus der Praxis des Betriebes von Wasserkraftwerken auf einige mit dem Regulierproblem zusammenhängende spezielle Fragen zu sprechen zu kommen.

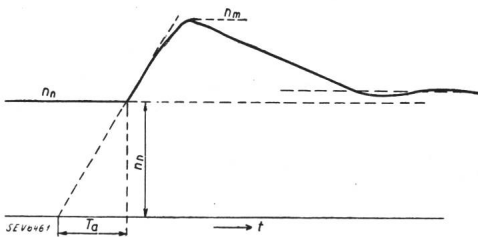


Fig. 1.

1. Massgebend für das Verhalten verschiedener Kraftmaschinen nach plötzlicher Entlastung bei Störung ist das Regulierdiagramm, welches die Abhängigkeit der Drehzahl in Funktion der Zeit darstellt (Fig. 1).

Die Winkelbeschleunigung im ersten Moment nach der Entlastung ist:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{M_a}{\Theta} = \frac{38\,200 \cdot P_a}{n_n \cdot GD^2}$$

d. h. sie ist für eine gegebene Maschine mit der Normaldrehzahl n_n und dem Schwungmoment GD^2 nur abhängig von der abgeschalteten Leistung P_a (in kW). Bei Vollastabschaltung ($P_a = P_n$) ist:

$$\frac{d\omega}{dt} = 0,104 \cdot \frac{n_n}{T_a}$$

wo
$$T_a = \frac{1}{365\,000} \cdot \frac{n_n^2 \cdot GD^2}{P_n}$$

Beim gleichzeitigen Hochgehen zweier verschiedener Turbinen-Generator-Gruppen besteht kein Bestreben für Pendelungen oder Aussertrittfallen, wenn die Zunahme der relativen Winkelgeschwindigkeit $d\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)$ gleich gross ist; das

ist bei Vollastabschaltung nur dann der Fall, wenn die beiden Maschinen die gleiche Anlaufzeit T_a aufweisen. Diese Anlaufzeit ist im Drehzahldiagramm dargestellt durch die Subtangente der Regulierkurve im ersten Moment nach der Abschaltung.

Die Grösse der Anlaufzeit ist für verschiedene Maschinengruppen von normal parallellaufenden Werken gar nicht so sehr verschieden, wie man vielleicht vermuten möchte. Sie beträgt für die Maschinen der wichtigsten Werke, die im NOK-Netz parallelarbeiten, z. B.:

	P_n kW	n_n 1/min	GD^2 t m ²	T_a s
a) Niederdruckwerke:				
Beznau	1 750	66,7	600	4,13
Eglisau	4 500	83,4	1 400	5,88
Ryburg-Schwörstadt	28 500	75	12 500	6,62
b) Hochdruckwerke:				
Löntsch	4 500	375	55	4,68
	11 000	300	300	6,56
Wäggitäl, Siebnen	13 000	500	120	6,25
» Rempen	16 500	500	110	4,46
Etzelwerk	16 000	500	130	5,40

Im Betrieb wirken sich weniger die verschieden grossen Anlaufzeiten verhängnisvoll aus als die verschiedenen Belastungszustände der verschiedenen Maschinengruppen. Stellen wir uns als Grenzfall in einem Werk 2 Maschinengruppen vor, von denen die eine leer läuft ($\beta = 0$), die andere vollbelastet ist ($\beta = 100\%$) (Fig. 2). Wird das Werk infolge Öffnens des Leitungsschalters entlastet, so wird die vollbelastete Gruppe 2 mit maximaler Winkelbeschleunigung hochgehen, während Gruppe 1 keine Beschleunigung erfährt. Die beiden Gruppen haben also das Bestreben, ausser Tritt zu

fallen, was das nachherige Wiedereinschalten des Werkes zum Netz erschwert.

Aus solchen Erfahrungen heraus soll das Mitlaufen unbelasteter Maschinen am Netz, das aus Gründen der Reservestellung oder des Phasenschiebers manchmal erwünscht wäre, möglichst unterbleiben oder es ist dafür zu sorgen, dass bei einer Störung die leer laufenden Maschinen so rasch als möglich abgetrennt werden und den Parallellauf der belasteten

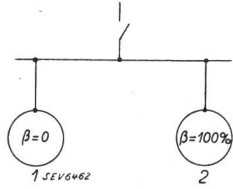


Fig. 2.

Gruppen bei Störung nicht gefährden. Eine ähnliche Gefahr für den Netzbetrieb stellen die rotierenden Phasenschieber dar.

Im Betrieb der NOK macht man seit Jahren mit einer sogenannten «Gewitterschaltung» gute Erfahrungen. In Zeiten drohender Gewitterstörungen wird die Netzbelastung möglichst gleichmässig auf sämtliche Werke verteilt, obwohl damit unter Umständen ein Produktionsausfall aus Laufwerken verbunden ist. Die gleichmässige Werk- und Maschinenbelastung bewirkt aber, dass bei eintretenden Störungen mit

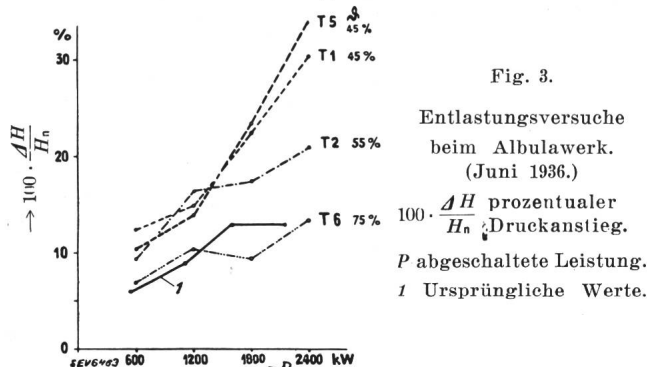


Fig. 3.

Entlastungsversuche
beim Albulawerk.
(Juni 1936.)
 $100 \cdot \frac{\Delta H}{H_n}$ prozentualer
Druckanstieg.
P abgeschaltete Leistung.
1 Ursprüngliche Werte.

Netzauftrennung infolge Blitzeinschlägen die aufgetrennten Netzteile ihren Betrieb aufrechterhalten und raschestens wieder zusammenschaltet werden können.

2. Die Turbinen-Regulatoren haben heute einen technisch hohen Stand erreicht. Es lassen sich sehr kurze Schliesszeiten erreichen, wodurch die vorübergehenden Drehzahl-erhöhungen bei Abschaltungen in engen Grenzen gehalten werden können. Andererseits können durch sorgfältige Abstimmung der Schliesszeiten der Druckregler und Nadeldüsen auch die Drucksteigerungen in angemessenen Grenzen gehalten werden. Man kann also an neue Anlagen hohe Anforderungen stellen. Die Aufrechterhaltung dieser günstigen

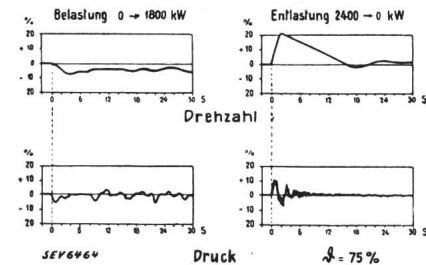


Fig. 4.
Turbine 6.

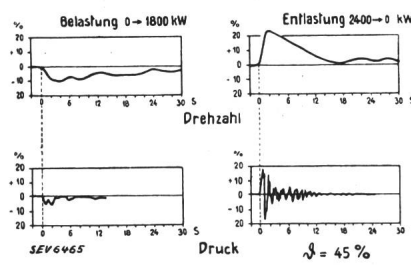


Fig. 5.
Turbine 5.

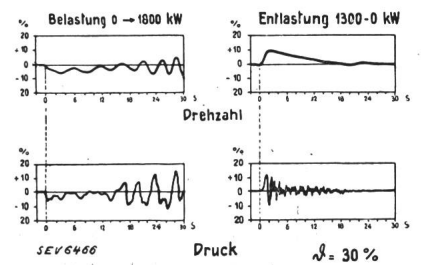


Fig. 6.
Turbine 3.

Regulierkurven vom Albulawerk.

Arbeitsbedingungen setzt aber voraus, dass sich die Einrichtungen im Laufe der Jahre nicht ändern. Solche Änderungen sind aber sehr leicht möglich und oft ohne genaue Prüfung kaum festzustellen. Ich kann hier auf ein besonders interessantes Beispiel verweisen.

Das Elektrizitätswerk der Stadt Zürich sah sich letztes Jahr nach einem Betriebsunfall, nach welchem infolge eines

Wasserausbruches im Apparatenhaus das ganze Werk zwecks Behebung der entstandenen Schäden während mehrerer Wochen ausser Betrieb genommen werden musste, veranlasst, die Kraftwerkeinrichtungen einer neuen systematischen Prüfung zu unterziehen, bei welcher der Sprechende mitzuwirken Gelegenheit hatte. Herr Direktor Trüb hat mich in verdankenswerter Weise ermächtigt, Ihnen vom Ergebnis dieser Versuche einiges mitzuteilen.

U. a. wurde die Turbinenregulierung einer Kontrolle unterworfen in der Weise, dass an einer Gruppe nach der andern Regulierversuche mit plötzlichen Entlastungen und Belastungen auf den Wasserwiderstand vorgenommen wurden. Dabei wurden gleichzeitig Tachogramme und Druckregistrierungen aufgenommen.

Das Ergebnis in bezug auf die bei den plötzlichen Entlastungen auftretenden Druckschwankungen zeigt Fig. 3. Es sind darin die grössten Druckanstiege in Funktion der abgeschalteten Leistung dargestellt. Die ausgezogene Linie zeigt den Druckanstieg, wie er bei den Abnahmeversuchen bei Betriebseröffnung des Werkes gemessen wurde. Man erkennt, dass einzelne Turbinen nach fast 30 Jahren Betrieb noch dieselben Werte ergeben. Bei andern Turbinen hingegen steigt der Druckanstieg auf den 2—2½fachen Betrag der ursprünglichen Messwerte. Die Ursache dieser Verschiedenheit fand sich darin, dass die Druckregler z. T. nicht mehr den vollen Öffnungsweg erreichten (β), einerseits, weil sich bei den mehrfachen Revisionen der Maschinen kleine Verschiebungen am Reguliergestänge eingestellt hatten, andererseits, weil Niederschläge in den Druckwasser-Servomotoren die Bewegung der Antriebskolben hemmten.

In Fig. 4 bis 6 sind einige typische Regulier-Diagramme dargestellt, in Fig. 4 zunächst dasjenige der Turbine 6, die noch nahezu die ursprünglichen Reguliereigenschaften aufwies, dann dasjenige der Turbine 5 (Fig. 5), die stärkere Veränderung aufwies. Bei Turbine 3 (Fig. 6) zeigt sich ein sehr schönes Beispiel von Resonanzerscheinungen zwischen den Drehzahl-Variationen und den Druckschwankungen in der Rohrleitung. Diese Resonanz führte zu einem sehr raschen Aufschaukeln der Druckschwankungen, so dass die Turbine raschestens abgestellt werden musste, um gefährliche Amplituden der Druckschwankungen zu vermeiden. Die Ursache dieser Erscheinung lag vermutlich in einer fortgeschrittenen Abnutzung der Regulierorgane.

Solchen Veränderungen gegenüber dem ursprünglichen Zustand einer Anlage kommt man nur durch systematische Messungen auf die Spur, möglichst in Verbindung mit Registrierung der Vorgänge; denn diese Vorgänge sind ja im Betrieb nur bei Störungserscheinungen zu beobachten, und in solchen Momenten ist die Aufmerksamkeit des Personals auf andere Dinge gerichtet.

Es wird deshalb eine dankbare Aufgabe für die gegründete «Druckstosskommission» des SIA sein, eine geeignete Messeinrichtung zu entwickeln, welche den Kraftwerken zur Vornahme systematischer Untersuchungen an ihren Maschinengruppen zur Verfügung gestellt werden kann.

3. In einem dritten Punkt möchte ich ferner auf die Ausführung von Herrn Professor Dubs hinweisen. Es betrifft dies die Bemerkung, dass sich selbst bei Niederdruckanlagen ohne Rohrleitung die Massenwirkung des strömenden Wassers auf den Reguliervorgang in sehr störender Weise auswirken könne. Im Kraftwerk Beznaun konnte z. B. folgende Beobachtung gemacht werden.

Beim Umbau der Turbinenanlage wurden die in offener Wasserkammer eingebauten dreikräftigen Francis-Turbinen durch moderne einfache Propeller-Turbinen höherer Schnellläufigkeit ersetzt. Zur Erzielung grösster Wirkungsgrade musste die Einlaufkammer speziell ausgebildet und mit einem Rechenvorbau versehen, das Saugrohr durch einen Vorbau im Unterwasser verlängert werden. Mit Rücksicht auf eine möglichst Begrenzung des Drehzahlanstieges bei Entlastungen war andererseits die Schliesszeit der Regulierung so kurz als möglich anzusetzen. Bei einer Schliesszeit von 1,2 s erhöhte sich das wirksame Gefälle an der Turbine während des Abschaltvorganges um 100 %; die der Turbine zugeführte Leistung, statt sofort abzunehmen, stieg infolgedessen zunächst um 37 % über die volle Leistung der Turbine vor der Abschaltung an. Die maximale vorübergehende Drehzahlsteigerung erreichte infolge der Massenwirkung des Wassers 51,6 % gegenüber 29 %, welche sich errechnete ohne Berücksichtigung der Massenwirkung. Man erkennt aus diesen Zahlen, dass der verhältnismässige Einfluss der Massenwirkung bei Niederdruckanlagen ohne Rohrleitung sogar viel höher sein kann, als er bei Hochdruckanlagen mit Rohrleitungen ist. Es ist dies darauf zurückzuführen, dass man bei den Niederdruckanlagen nicht zu den kombinierten Regulierungen greifen kann, wie sie die Leitschaukel-Druckregler-Regulierung oder die Ablenker-Nadel-Regulierung bei Hochdruckanlagen darstellt.

Der **Vorsitzende** verdankt diese sehr interessanten Angaben aus der Praxis angelegentlich.

M. G. Darrieus, conférencier (remarques faites à la suite de l'exposé de **M. D. Gaden**): Le statisme que nous avons mis à la base de nos calculs pour le régime stationnaire est le statisme naturel des régulateurs tel qu'il se manifeste, non momentanément au cours de la période transitoire, mais après retour à l'équilibre et action éventuelle du dispositif de compensation. La caractéristique correspondante qui traduit la relation entre la fréquence et la puissance, non celle d'interconnexion, mais celle de la machine elle-même, représente la fonction normale et spontanée du régulateur, à savoir le réglage primaire. Durant la période variable le point figuratif du fonctionnement décrit une courbe qui, avant de rejoindre la caractéristique d'une manière plus ou moins amortie, commence par s'en écarter en raison du statisme transitoire beaucoup plus élevé qu'introduit en général l'asservissement.

Par intervention ou réglage secondaire nous avons donc entendu désigner, non plus l'action spontanée ci-dessus du régulateur sur le vannage, mais la commande à main à partir du tableau, qui change la vitesse à vide ou l'ordonnée à l'origine de la caractéristique.

Nous avons considéré comme données les valeurs du statisme des divers régulateurs des centrales, mais bien entendu une étude complète du problème de l'interconnexion devra comprendre une discussion et un choix raisonné de ces valeurs, dépendant des sujétions diverses imposées, ou des fonctions respectives assignées, par leur nature particulière (type de turbine, haute ou basse chute... etc.), aux diverses centrales considérées.

Tandis que ces considérations déterminent les valeurs relatives à donner aux divers statismes, leur ordre de grandeur commun, qu'il y a évidemment intérêt à tenir aussi réduit que possible pour serrer le réglage de la fréquence, dépend des tolérances simultanées admises pour le maintien des puissances d'échange, ainsi que des écarts de mesure inévitables entre les divers fréquencesmètres.

Mais sous cette réserve nous ne pensons pas qu'il soit justifié de retenir pour le coefficient K ou «énergie réglante» qui doit caractériser le réglage secondaire, aucune autre valeur que celle résultant des valeurs adoptées pour les divers statismes car, comme nous l'avons montré, seule cette concordance est susceptible, en prévenant des interventions inutiles, de réduire au minimum les mouvements de vannage et la durée du réglage.

En ce qui concerne les turbines à basse chute dont la difficulté de réglage vient d'être mentionnée, il n'est pas sans intérêt de signaler que le rapport de l'énergie cinétique de l'eau au double de la puissance normale brute, qui représente

un supplément de temps de démarrage, peut se mettre sous la forme très simple

$$T = \frac{\int v ds}{gH}$$

du quotient de la «circulation» ou variation du potentiel des vitesses d'amont en aval, par le produit de la gravité g et de la hauteur de chute H .

Si par exemple $H = 10$ m, $L = \int ds = 50$ m et

$$v_{\text{moyen}} = 5 \text{ m/s}, \quad T = \frac{5 \cdot 50}{9,8 \cdot 10} \cong 2,5 \text{ s.}$$

Bien que l'exemple numérique ci-dessus corresponde, par la valeur admise de la vitesse moyenne, à un cas extrême, ce supplément reste relativement faible par rapport aux temps de démarrage usuels (7 à 10 s), et ne permet pas à première vue d'expliquer les lenteurs de réglage que **M. R. Keller** a signalées. Mais il y a lieu de tenir compte de ce que la masse d'eau correspondante est liée aux masses tournantes, non rigidement, mais par l'intermédiaire de l'accouplement à rapport de vitesse variable que constituent le distributeur, et éventuellement les pales orientables de la roue, de sorte que la puissance instantanée peut bien, par l'effet du coup de bélier, varier momentanément, au cours du réglage, dans un sens opposé à celui du débit et de l'énergie cinétique de la colonne d'eau.

En terminant, à l'occasion de ce problème qui intéresse à la fois la mécanique et l'électricité, qu'il me soit permis d'émettre le vœu de voir les mécaniciens renoncer peu à peu, comme certains commencent à le faire dans le domaine thermique, au système technique du kilogramme force, du kilogrammètre et du cheval (variable suivant les pays, PS, ch, ou HP) pour se rallier à un système d'unités rationnel moderne conforme au système CGS des physiciens, et tel que le système légal français mètre-tonne-seconde ou le système presque identique Giorgi, mètre-kilogramme-seconde, dont est imminente l'adoption officielle par la Commission Electrotechnique Internationale. Outre l'intérêt de n'avoir plus qu'une unité de puissance, le kilowatt, qui, découlant immédiatement du choix de la tonne-masse, du mètre et de la seconde comme unités fondamentales, est au surplus celle des électriciens, et à l'avantage de supprimer bien des facteurs inutiles (75, 3600... etc.), seul un système basé sur l'unité de masse et non celle de force, est de nature à rétablir dans les formules g non plus, en des endroits insolites comme un coefficient sans signification physique, mais au contraire aux seuls points où cette grandeur intervient réellement, comme intensité de la pesanteur.

Herr Professor R. Dubs, Vortragender: Ich danke den Herren Hug, Engler und Gaden bestens für ihre interessanten Ergänzungen und Stellungnahmen. Mit Herrn Engler bin ich in bezug auf die Charakteristik der Geschwindigkeits-Regler natürlich einverstanden. Die Steilheit der Tangente der ω -Kurve hängt nur von der Trägheit der Massen und von der abgeschalteten Leistung ab. Es ist stets:

$$\theta \frac{d\omega}{dt} = M_a - M_w$$

und wenn $M_w = 0$:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{M_a}{\theta} = \frac{P_a}{\omega \theta}$$

und für $t = 0$:

$$\left. \frac{d\omega}{dt} \right|_{t=0} = \left. \frac{P}{\omega \theta} \right|_{t=0}$$

Herr Engler hat weiter über Differenzen berichtet, die zwischen den Charakteristiken der gleichen Druck-Regler im Laufe der Jahre aufgetreten sind. Diese Differenzen sind leicht zu erklären. Es ist ja keine starre Uebertragung zwischen den einzelnen Teilen der Regler vorhanden, sondern die Uebertragung erfolgt hydraulisch. Das Wasser ist aber immer unrein. Es enthält Sand, oft auch chemisch korrosive Stoffe. Die Durchfluss-Oeffnungen werden dadurch abgenutzt. Sie vergrössern sich. Dadurch ändert aber die Reglercharakteristik. Durch Ersatz der abgenutzten Teile kann ohne weiteres der frühere Zustand hergestellt werden.

Herr Hug hat Frequenzdiagramme gezeigt, wo Frequenzabweichungen bis 4% vorkommen. Solche Frequenzabweichungen sind ganz bedenklich, wenn man an das Funktionieren der Pumpen denkt, die durch Elektromotoren angetrieben werden; denn die Pumpen sind in bezug auf die Drehzahl ganz ausserordentlich empfindlich. Bei 4% Drehzahlverringerung kann die Förderung der Pumpen überhaupt aufhören. Sämtliche Energie, die sie noch aufnehmen, setzen sie dann in Wärme um. Das Pumpengehäuse wird warm. Für die Förderhöhe H_t einer Pumpe kann man nämlich schreiben:

$$H_t = K n^2$$

und für die normale Drehzahl n_n :

$$H_{t_n} = K n_n^2$$

Somit ist:

$$H_{t_n} - H_t = K (n_n^2 - n^2)$$

und ist z. B. $n = 0,96 n_n$, so folgt:

$$H_{t_n} - H_t = 0,08 K n_n^2, \text{ d. h.}$$

$$\Delta H_t = 0,08 H_n$$

Wenn also z. B. der Druckverlust in der Rohrleitung 8% von H_n beträgt, so hört die Förderung auf.

Die Ausführungen von Herrn Gaden in bezug auf die Empfindlichkeit der heutigen Geschwindigkeits-Regler kann ich nur unterstützen. Mein früherer Chef in der Praxis sagte jeweils, der Regler müsse so sensibel sein wie eine Pariserin. Heute ist die Technik so weit; moderne Regler erfüllen alle Forderungen nach Empfindlichkeit. Verschiedentlich wurde schon der Ansicht Ausdruck gegeben, der mechanische Regler werde mit der Zeit verschwinden und durch einen rein elektrischen Regler ersetzt werden. Es wurde heute durch Herrn Keller das Prinzip eines solchen elektrischen Reglers beschrieben. Ich glaube nicht, dass der elektrische Regler je in der Lage sein wird, den mechanischen Regler vollständig zu ersetzen, denn es liegt in der Natur der Sache, dass die elektrischen Verbindungen nie so betriebssicher sind wie mechanische Verbindungen. Der Betrieb eines Kraftwerkes darf aber nicht von der Zuverlässigkeit eines elektrischen Kontaktes, einer Drahtverbindung oder eines Schraubchens abhängen. Die Erfahrung zeigt immer wieder, dass mit der Zeit in komplizierten elektrischen Anlagen irgend etwas nicht mehr geht, sei es durch einen Feuchtigkeitseinfluss oder sonst durch einen Defekt. Die Betriebssicherheit wird stets viel wichtiger sein als grosse Empfindlichkeit.

Zum Schlusse möchte ich noch wünschen, dass mehr solche gemeinsame Aussprachen zwischen den Vertretern der Elektrizität und der Mechanik stattfinden. Wir alle bauen ja auf der gleichen und gemeinsamen Grundlage auf, nämlich der Physik. Auf dieser Grundlage können wir zum Nutzen der Weiterentwicklung der Technik zusammenarbeiten.

Herr R. Keller, Referent: Zur Frage der Frequenz- und Leistungsregulierung in grossen Netzverbänden äusserte sich Herr D. Gaden; er erachtet in erster Linie die langsame Ausregulierung von eingetretenen Störungen als Hauptgrundlage für den stabilen Netzbetrieb. Die in dem erwähnten Gross-Kraftwerk in dieser Hinsicht gemachten Erfahrungen haben diese Auffassung vollauf bestätigt. Ferner machte Herr Gaden die Anregung, nach einem Reglersystem zu suchen, welches sich bei gewissen Vorgängen selbst blockiert. Diese Forderung kann durch die erwähnten elektrischen Regler auf einfache Art erfüllt werden. Teilweise ist dies durch die Natur den neuen vorgeschlagenen elektrischen Regler selbst gegeben, indem sie sich z. B. bei völligem Wegbleiben der Spannung mangels einer Gegenkraft selbsttätig blockieren oder es kann durch einfache elektrische Kombination dafür gesorgt werden, dass bei gewissen Netzvorgängen, z. B. nach Vorschlag von Herrn Darrieus die Turbinenöffnung ebenfalls unverändert bleibt. Nachdem es sich gezeigt hat, dass künftig die Beeinflussung der Turbinensteuerung durch die elektrische Leistung in vielen Fällen eine absolute Notwendigkeit sein wird und als Leistungsregler selbstverständlich nur ein elektrischer Apparat in Frage kommt, ist es naheliegend, auch den Drehzahlregler durch einen elektrischen, direkt die

Frequenz erfassenden Regler zu ersetzen. Wie mein Vortrag gezeigt hat, sind heute die konstruktiven Elemente geschaffen.

Herr Prof. R. Dubs misst den elektrischen Reglern eine weniger grosse Betriebssicherheit bei als den mechanischen Reglern. Die Verwendung von elektrischen Leistungsmessern zur Steuerung von Turbinen hat wegen unbefriedigendem Resultat wieder verlassen werden müssen. Herr Prof. Dubs hat Bedenken, dass wegen geringfügigen Kontaktdefekten ernsthafte Störungen auftreten könnten. Es darf aber darauf hingewiesen werden, dass die Benützung von elektrischen Hilfsmitteln von den Turbinen-Konstrukteuren selbst und zuerst herangezogen wurde. Es war in den meisten Fällen die grosse Schwierigkeit, den Pendelantrieb auf mechanischem Wege herzustellen, welche die Turbinenlieferanten dazu bewegte, diese Frage auf elektrischem Wege besser zu lösen. Dadurch kam man auf den elektrischen Pendelantrieb mittels Elektromotoren. Diese waren zunächst direkt vom Stator des Generators gespeist, was zu den bekannten Mängeln führte, welche ihrerseits wieder durch weitere elektrische Zusatzeinrichtungen behoben werden sollten. Diese elektrischen und verhältnismässig komplizierten Einrichtungen bieten selbstverständlich hinsichtlich Sicherheit mindestens dieselbe Gefahr wie ein rein elektrischer Regler. Letzterer kann nun aber dank zweckmässiger Konstruktion so gebaut werden, dass die erwähnten Sicherheits-Vorrichtungen gar nicht nötig sind oder doch bedeutend einfacher ausfallen. Die mit grossem Verständnis für Neuerungen durch Herrn Dir. Grossen im EW Aarau geschaffene Gelegenheit, einen solchen elektrischen Regler für eine moderne Kaplanturbine aufzustellen, wird zeigen, in welchem Masse die in diese neue Regulierart gesetzten Hoffnungen sich praktisch erfüllen werden. Ueber die nun bereits vorliegende mehrmonatige Betriebserfahrung dieser Erstaussführung wird in einer nächsten Nummer des Bulletin des SEV eingehender berichtet werden.

Der Vorsitzende: Es wären noch eine ganze Reihe Punkte zu diskutieren, z. B. haben die Vertreter der Elektrizitätswerke noch viel zu wenig mitgeteilt, was für Methoden sie brauchen, um ihre Betriebsprobleme zu lösen. Leider ist die Zeit so vorgeschritten, dass wir die Diskussion abbrechen müssen; ich lade alle diejenigen, die nicht zu Worte gekommen sind, ein, ihre Äusserungen dem Generalsekretariat schriftlich zuzustellen, damit sie im Bulletin des SEV veröffentlicht werden können.

Ich danke nochmals allen Herren Referenten und Diskussionsrednern herzlich für ihre aktive und wertvolle Mitarbeit und schliesse damit die Versammlung.

Nachträge.

(Schriftlich eingereicht.)

M. Ch. Jean-Richard, Forces motrices bernoises S.A., Berne: Après avoir entendu, ce matin, l'exposé si intéressant de M. G. Darrieus au sujet du réglage de la fréquence et de la puissance dans les réseaux interconnectés, nous nous sommes demandé ce qui arriverait au cas où le statisme d'un réseau, qui participe à l'interconnection, serait modifié. Il se peut en effet que le statisme change à la suite d'une intervention opérée sur le régulateur d'une turbine, ou bien à la suite de la mise en service d'une turbine, ou encore à cause d'un déclenchement qui détache une partie du réseau. Ces événements ne peuvent pas rester sans effet puisque le réglage de la fréquence et de la puissance dépend d'après M. G. Darrieus justement du statisme connu de chaque réseau individuellement.

Nous allons grouper nos réflexions autour de trois dessins.

La figure 1 montre à gauche le statisme fortement incliné de la centrale I et à droite le statisme légèrement incliné de la centrale II. Nous supposons que les deux centrales sont reliées par une ligne d'interconnexion. La puissance qui va de la centrale I à la centrale II est positive, en sens inverse elle est négative. La fréquence est indiquée par les ordonnées.

La centrale I, grâce à son statisme élevé, est prédestinée au réglage de la puissance, tandis que la centrale II doit régler la fréquence.

Nous admettons d'abord que la centrale I est la première à corriger un écart survenu. Ainsi le point figuratif suivra le parcours *AB-C-D-E-F* etc. jusqu'en *O*. Les lettres sont les mêmes pour les deux parties de la fig. 1.

Ensuite nous admettons que c'est la centrale II qui réagit la première. Le point figuratif suit alors le parcours *A-C'-D'* etc. jusqu'en *O*.

En réalité le point figuratif suivra un parcours intermédiaire.

La figure 2 se rapporte aux mêmes deux centrales I et II. Les statismes sont les mêmes que pour la figure 1; seule-

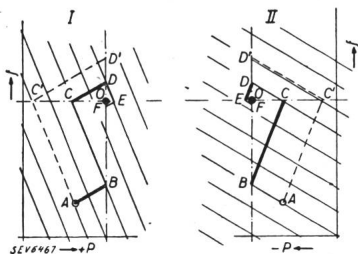


Fig. 1.

ment chacune des centrales effectue le réglage mixte: fréquence-puissance, selon l'idée de M. G. Darrieus.

Nous admettons de nouveau que la centrale I est la première à corriger un écart survenu. Ainsi le point figuratif suivra le parcours *AB-O*, directement sans faire de détour.

Si nous admettons que c'est la centrale II qui réagit la première, le point figuratif suivra le parcours *A-C'-O*. En réalité le point figuratif suivra un parcours intermédiaire.

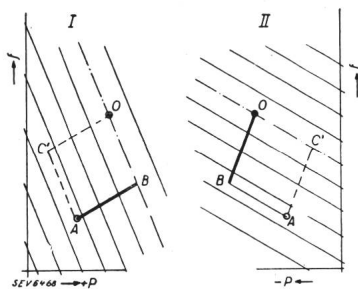


Fig. 2.

La figure 2 montre bien l'avantage qu'il y a à incliner les caractéristiques de réglage conformément aux statismes individuels de chaque réseau.

La figure 3 se rapporte à deux centrales dont les caractéristiques de réglage sont inclinées et dont les statismes différent des caractéristiques de réglage. Le parcours du point figuratif, d'étape en étape, passe par les points *AB-C-D-E-F-G-H* etc. jusqu'en *O* si c'est la centrale I qui commence les manœuvres. Dans le cas contraire où c'est la centrale II qui commence les manœuvres, le point figuratif touchera les étapes *A-C'-D'-E'-F'-G'-H'* etc. jusqu'en *O*. En réalité le parcours du point figuratif sera un parcours intermédiaire non dessiné.

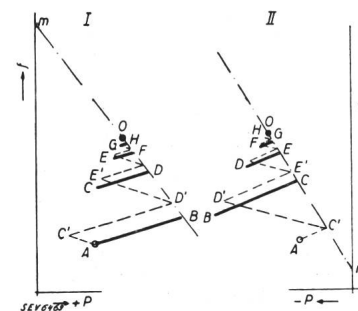


Fig. 3.

Le diagramme de la figure 3 a ceci de commun avec le diagramme de la figure 1 que les deux diagrammes s'approchent du point *O* asymptotiquement seulement. Pour arriver à la netteté du diagramme de la figure 2, il ne suffira donc pas d'incliner les caractéristiques de réglage, mais il faut en plus que les caractéristiques de réglage s'accordent aux statismes dans chaque réseau individuellement.

Au cas d'une rupture entre les deux réseaux I et II la fréquence du réseau I atteindra la valeur *m*, tandis que la fréquence du réseau II atteindra la valeur *n* situées respectivement en dessus et en dessous de la valeur normale. A ce moment il faut que chacun des deux réseaux règle momentanément la fréquence pour arriver au synchronisme.

Notons en passant que l'interconnexion des réseaux pose des problèmes tout à fait analogues en ce qui concerne le réglage de la tension et de la puissance réactive.

Herr H. Wüger, Elektrizitätswerke des Kantons Zürich, Zürich: Herr Prof. Dubs und Herr Gaden haben auf die Schwierigkeiten hingewiesen, die bei Niederdruckanlagen dadurch entstehen, dass bei grossen Laständerungen die grossen, in Bewegung befindlichen Wassermengen abgebremst werden müssen. In diesem Zusammenhang möchte ich auf weitere Schwierigkeiten aufmerksam machen, die besonders ausgeprägt bei Kanalwerken bestehen, vor allem dann, wenn an einem Fluss mehrere aufeinanderfolgende Gefällsstufen ausgebaut sind.

Werden in einem Kanalwerk die Turbinen plötzlich geschlossen, so muss das Wasser durch Öffnen des Wehres über die meist längere Flußstrecke umgeleitet werden. Diese Umleitung bringt mehrere Uebelstände mit sich.

1. Da das Öffnen der Schützen ziemlich langsam vor sich geht (meist einige Minuten bis einige Dekaminuten), so wird das Oberwasser zusätzlich aufgestaut.

1. Das leere oder nicht entsprechend der vollen Abflusswassermenge gefüllte Flussbett muss zuerst aufgefüllt werden. Auch dieser Vorgang dauert recht lange. (Größenordnung $\frac{1}{4}$ Stunde bis einige Stunden.)

3. Die beiden genannten Erscheinungen zusammen wirken dahin, dass der Zufluss zu den unterliegenden Kraftwerken während längerer Zeit ganz oder teilweise unterbrochen wird, wodurch dort sehr tiefgreifende Störungen entstehen können.

4. Da in den Wasserrechts-Konzessionen gewöhnlich die Innhaltung einer festen Oberwasserstauhöhe vorgeschrieben ist, deren Ueberschreitung oft mit Konventionalstrafen verbunden ist, wird die Wehrbedienung versuchen, den unter 1 genannten Ueberstau so rasch als möglich zum Verschwinden zu bringen, was nur durch kurzzeitiges Ueberöffnen des Wehres, also zu hohe Dotierung des Flusses möglich ist. Auf diese Weise können ganz gewaltige Schwankungen der Abflusswassermenge entstehen.

5. Parallel mit diesen technisch-ökonomischen Nachteilen ergeben sich aus diesen Schwankungen grosse Gefahren für die Schifffahrt und für den an unsern Flüssen ausgedehnten Badebetrieb.

Zur Illustration dieser Angaben sei erwähnt, dass bei der Inbetriebsetzung der Werke Dietikon und Wettingen (an der Limmat durch Abschalt-Versuche im Werk Dietikon (ohne Wasserwiderstände) im Werk Aue der Stadt Baden die Abflusswassermenge der Limmat, statt konstant 70 m³/s zu betragen, vorübergehend zwischen einem Minimum von 30 m³/s und einem Maximum von 110 m³/s pendelte!

Auch an der Glatt kommen sehr starke und lange Schwankungen der Abflussmengen vor, die auf das abwechselungsweise Füllen der Kanäle und des Flussbettes zurückzuführen sind. Dort geht die Wassermenge von ursprünglich 5 m³/s während bis 1 Stunde auf etwa die Hälfte zurück.

Starke Störungen soll ferner auch das Kanalwerk Albruck-Dogern auf die unten liegenden Rheinwerke Laufenburg, Ryburg und Rheinfeldern ausüben.

Will man solche Störungen vermeiden, was mir als durchaus nötig erscheint, so darf man die Regulierprobleme nicht nur vom Turbinen- und Reglerbau aus betrachten. Die Lösung des Problems ist aber bei Niederdruckanlagen nicht so einfach wie bei Hochdruckanlagen, wo mit Hilfe der Strahl-ableitung eine befriedigende Regelung möglich ist. Prinzipiell sind heute schon zwei Lösungen möglich. Die eine besteht in einem gesteuerten Synchronauslass im Turbinenhaus, wie er z. B. beim Kraftwerk Kembs (Patent Koechlin) verwirklicht wurde. Die andere, verhältnismässig häufig angewandte, sind Wasserwiderstände, die beim Auslösen der

Leitungsschalter die Last übernehmen und so gestatten, die Turbinen mit gleicher Öffnung weiter laufen zu lassen (z. B. Ruppoldingen, Olten-Gösgen, Dietikon).

Die erste Lösung hat den Vorteil, dass sie auch bei Schäden an der Turbine oder am Generator wirksam bleibt; sie ist aber teuer, erfordert verhältnismässig viel Raum und arbeitet kaum so rasch wie die Turbinenregulierungsorgane. Die Wasserwiderstände andererseits sind verhältnismässig billig, gestatten eine feine und, weil die zu bewegenden Massen der Elektroden sehr klein sind, eine äusserst rasche Regulierung; sie haben aber den Nachteil, dass sie bei Fehlern an den Maschinen selbst wirkungslos sind.

Ich wollte auf diese Verhältnisse hinweisen, weil mit dem Fortschreiten des Ausbaues der Flüsse, wo sich Kraftwerk an Kraftwerk reiht, die geschilderten Zustände mehr und

mehr Bedeutung erlangen. Aus dem gleichen Grund scheint mir auch der Vorschlag von Herrn R. Keller, dass auch Niederdruckwerke zur Frequenzregelung herangezogen werden können, vorläufig keine grosse praktische Bedeutung zu haben; technisch ist sie wohl möglich, praktisch wird sie aber meist an rechtlichen Schwierigkeiten scheitern.

Neben der Weiterentwicklung der Turbinen und der Turbinenregler scheint es mir angezeigt, besonders für Niederdruckwerke brauchbare und billige Synchronauslässe zu erörtern. Ferner wird der Bau und die Steuerung der Wasserwiderstände weiter entwickelt werden müssen und schliesslich wird es nötig sein, die Wasserrechtsbehörden zu überzeugen, dass durch Aufstellung elastischerer Vorschriften manche Schwierigkeiten behoben werden können, ohne dass berechnete Interessen Dritter verletzt werden.

Technische Mitteilungen. — Communications de nature technique.

Elektrische Decken- und Wandheizung in England.

621.364.3

Allgemeines. England ist ein Zukunftsland für elektrische Raumheizung. Das klingt merkwürdig. Doch die Tatsache, dass die Zentralheizung in England nicht beliebt ist, dass Kohle- und Gasfeuerungen den modernen Ansprüchen nicht mehr genügen, gibt der elektrischen Heizung einen weiten Anwendungsbereich.

Die ersten elektrischen Heizkörper, die auf dem englischen Markt erschienen, waren Strahler mannigfacher Konstruktion. Darauf kamen Konvektoren auf; doch sie vermochten die elektrischen Strahler nicht zu verdrängen. Der Engländer ist zu sehr an die Strahlung des offenen Kohlenfeuers und der Glühkörper von Gasheizungen gewöhnt und er möchte die angenehme Wirkung strahlender Wärme nicht vermissen. Aus dem Bedürfnis heraus, eine elektrische Heizung zu konstruieren, welche Strahlung und Konvektion in richtigem Verhältnis vereint, entstanden in den letzten Jahren elektrische Decken- und Wandheizkörper.

Die Niedertemperaturheizflächen sind punkto elektrischer Belastung und Oberfläche derart konstruiert, dass die Temperatur der Strahlungsfläche 70 bis 80° C nicht überschreitet. Diese Maximaltemperatur garantiert absolute Geruchlosigkeit und vermeidet das «Austrocknen» der Luft, das ja bekanntlich als nichts anderes als ein Prozess der Staubzersetzung bei höheren Temperaturen erkannt worden ist. Die Hochtemperaturheizflächen weisen eine höhere spez. Belastung auf und ergeben eine Temperatur der Strahlungsfläche bis 150° C. Der hierbei auftretende hygienische Nachteil wird durch kleineren Raumbedarf und niedrigeren Preis wettgemacht. Selbstredend können solche Flächen nur an Decken und nicht erreichbaren, hochgelegenen Wandteilen angebracht werden.

Die wärmetechnische Wirkung einer an der Zimmerdecke angebrachten Niedertemperaturheizfläche kann etwa folgendermassen erläutert werden: Die Wärmeableitung nach der Decke ist durch die Glaswolle auf ein Minimum reduziert. Direkte Konvektion kann wegen der horizontalen und nach unten gerichteten Lage der Heizfläche nicht stattfinden. Die

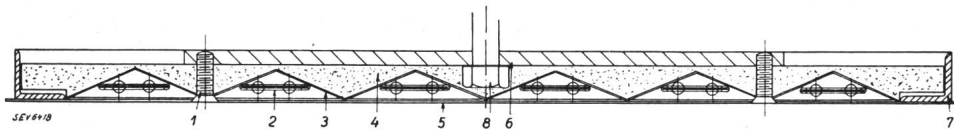


Fig. 1.

Elektrischer Decken- oder Wandheizkörper.

- 1 Befestigungsschraube. 2 Heizelement. 3 Blechkanal. 4 Wärme-Isolation aus Glaswolle. 5 Deckplatte. 6 Befestigungsband. 7 Rahmen aus Winkelisen. 8 Befestigungsbolzen.

Konstruktives. Normalerweise bestehen solche Heizkörper aus einer wärmeabstrahlenden Fläche, welche von der oberen, bzw. hinteren Seite durch elektrische Glühkörper geheizt wird. Fig. 1 zeigt, wie die Glühkörper in dachförmigen Blechkanälen gegen die Strahlungsfläche befestigt werden. Die Blechkanäle sind an die Fläche durch elektrische Punktschweissung wärmeleitend befestigt. Diese Massnahme ist wichtig, denn die Glühkörper erwärmen auch den Blechkanal und auch dieser Wärmeanteil soll durch das Blech beidseitig an die Strahlungsfläche abgeleitet werden. Gegen die Decke, bzw. gegen die Wand sind die Heizkörper durch eine ca. 5 cm dicke Schicht von Glaswolle wärmetechnisch isoliert. Fig. 2 zeigt die Konstruktion der Glühkörper. Eine der Länge und Breite des Kanals angepasste Glimmerplatte besitzt Löcher im Abstand von 3 cm, durch welche die Chrom-

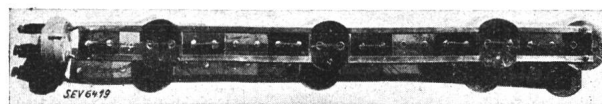


Fig. 2.

Glühkörper, 2 in Fig. 1.

nickel-Glühspirale schlangenförmig hindurchgezogen wird. Der Glimmerstreifen ist beidseitig in eine Blechschiene eingefasst, welche Distanzfüsse besitzt.

Wärmetechnisches. Diese elektrischen Decken- und Wandheizungen werden grundsätzlich in zwei Klassen eingeteilt, nämlich in Niedertemperatur- und Hochtemperatur-Heizflä-

chen. Die gesamte elektrisch zugeführte Energie wird daher als Strahlungswärme kegelförmig nach unten in den Raum gestrahlt. Wärmestrahlen gehen praktisch verlustlos durch Luft. Sie erwärmen aber alle Gegenstände, auf die sie auffallen, also die im Raum befindlichen Personen, das Mobiliar und den Fussboden. Boden, Teppiche, Stühle und Teile der Wand geben nun ihrerseits einen guten Teil der empfangenen Wärme an die Raumluft ab (sog. indirekte Konvektion). Dieser Vorgang ist analog demjenigen der Erwärmung der Erde durch die Sonne. Auch hier wirken Strahlung und Luft-erwärmung durch indirekte Konvektion gleichzeitig. Es ist also ein besonderer Vorzug dieser Art Heizkörper, die Natur nachzuahmen.

Wirtschaftliches. Heute schon kann vielerorts in England die Elektrizität zum Einheitspreis von $\frac{1}{2}$ Penny (ca. $4\frac{1}{2}$ Rp.) bezogen werden. Trotzdem kommt die elektrische Heizung etwas teurer zu stehen als Gas oder Kohle, was aber gerne in Kauf genommen wird, braucht doch die mit Thermostaten gesteuerte elektrische Deckenheizung überhaupt keine Wartung. Sie findet häufige Anwendung zur Heizung von Banken, Bibliotheken, Verkaufslökalen, Bureauräumlichkeiten und Privathäusern. Speziell im letzten Falle erfreut sie sich stets grösser werdender Beliebtheit, denn die Engländer scheut allzuviel Hausarbeit. Das gemässigte englische Klima mit oft kühlen Sommerabenden und warmen Wintertagen kommt der elektrischen Heizung, auch vom wirtschaftlichen Standpunkt der Elektrizitätswerke aus gesehen, entgegen. Hochtemperaturheizflächen finden oft Verwendung zur lokalen Heizung des Arbeitsplatzes. Sie werden dann normalerweise an der Wand über dem Arbeitsplatz in schräger Lage montiert. Intensivere Strahlung und kleineres Strahlungsfeld