

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 17 (1926)  
**Heft:** 11

**Artikel:** Betriebszuverlässigkeit von Stromerzeugern  
**Autor:** Pupikofer, H.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1059816>

#### **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:** 16.01.2026

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

Ich bitte, noch eine Schlussbemerkung machen zu dürfen. Ich habe absichtlich fast ganz auf Literaturzitate verzichtet, denn derartige Verzeichnisse sind in vielen Arbeiten der letzten 15 Jahre enthalten und bilden manchmal fast deren einzigen Inhalt. Mancher Leser dieser kleinen Abhandlung wird vielleicht bemerken, der Schreibende habe mehr *Vorschläge* für Experimentalarbeiten gebracht, als Berichte über seine eigenen. Darüber bin ich mir selbst klar, und ich schreibe hauptsächlich deshalb, weil ich einsehe, dass ich von den geplanten Arbeiten selber nur noch wenige werde in Angriff nehmen können und weil ich hoffe, jüngere Biologen für dieses oder jenes Thema begeistern zu können. — Die Theorie über die Wirkung elektrischer Potentiale auf Zellen und Kolloide ist das Resultat langjähriger Beschäftigung mit elektrophysiologischen Problemen im Tier- und Pflanzenreich (letztere noch nicht publiziert, erstere Pflügers Archiv, Bd. 53, pag. 494; ferner Pflügers Archiv 55, Biochem. Zeitschrift, Vol. 60,4 do. 5 und 6).

## Betriebszuverlässigkeit von Stromerzeugern.

Von *H. Pupikofer*, dipl. Ing., Baden.

621.312(0065)

*Der Autor berichtet über die statistischen Ergebnisse von Erhebungen, die von der Vereinigung der nordamerikanischen Elektrizitätswerke über die Zuverlässigkeit von Maschinengruppen in Elektrizitätswerken angestellt wurden. Diese Erhebungen erstrecken sich sowohl auf thermische, wie auf Wasserkraftwerke, und auch auf die Antriebsmaschinen. Aus den Erhebungen kann der Schluss gezogen werden, dass die Zuverlässigkeit der Maschinen in Elektrizitätswerken absolut eine sehr hohe ist, und dass dieselbe für Wasserturbinenaggregate eine höhere ist als für thermische Aggregate.*

*L'auteur réfère sur les résultats d'une enquête statistique relative à la stabilité de fonctionnement de groupes de machines dans les centrales, organisée par l'association des centrales d'électricité de l'Amérique du Nord. Cette enquête s'étend aux usines thermiques comme aux usines hydrauliques, et embrasse aussi les moteurs entraînant les génératrices. Elle conduit à la conclusion que la sécurité de fonctionnement des machines dans les centrales électriques est très élevée, et qu'elle est supérieure pour les agrégats hydrauliques que pour les agrégats thermiques.*

Die Statistik erfasst heute stets weitere Gebiete; sie ist bei weiser Verwendung offenbar auch in der Lage, gute Dienste zu leisten. Das Hydraulic Power Committee der National Electric Light Association hat der Konferenz vom März 1926 in Atlantic City einen Bericht vorgelegt, in dem die Betriebszuverlässigkeit von 56 hydroelektrischen Stromerzeugergruppen untersucht und verglichen wurde mit der Zuverlässigkeit von 87 kalorischen Gruppen. Die Untersuchung erstreckte sich auf Einheiten mit einer Leistung von 2500 PS und mehr bei einem Gefälle von 50 Fuss und darüber, sowie auf Einheiten, die mit einem Gefälle unter 50 Fuss laufen, aber Wassermengen von mehr als 500 Kubikfuss verarbeiten. Der Wert einer Statistik wächst natürlich mit der Anzahl der davon erfassten gleichartigen Gegenstände. Es muss daher die Anzahl speziell der hier untersuchten Freistrahl-Turbinen als etwas klein bezeichnet werden. Die Ergebnisse gestatten immerhin verschiedene Schlüsse zu ziehen und scheinen mir wert, unsren schweizerischen Werksleitern zur Kenntnis gebracht zu werden. Die ganze Arbeit ist in mustergültig knapper Weise in zwei Tabellen zusammengefasst, deren Zahlen in Prozenten ausgedrückt sind, so dass der unmittelbare Vergleich sehr erleichtert wird.

Bei der Schwierigkeit, für die einzelnen Begriffe eindeutig zutreffende Bezeichnungen zu finden, wird es angezeigt sein, einige Erläuterungen zu geben. Während unter der Nichtbetriebszeit die Zeit zu verstehen ist, während welcher die Einheit aus irgend einem Grunde, sei es Reparatur, sei es Reservehaltung usw. von den Sammelschienen abgeschaltet werden muss, ist unter Ausfallzeit nur die Zeit der Abschaltung wegen Störungen, Reparaturen, Reinigung usw. gemeint. Die Zeit des Stillstandes wegen Wassermangel ist in der Reservezeit inbegriffen. Unter Reservezeit ist also die Zeit zu verstehen, während welcher die Einheit still steht, aber

jederzeit bereit ist, in Betrieb zu gehen. Diese Ruhezeit kann sowohl durch Mangel an Last, als auch durch Mangel an Wasser verursacht sein. Die Bedarfszeit ist die Zeit, während welcher die Einheit für den Betrieb benötigt war, sei es wegen zunehmender Last oder günstigerem Wirkungsgrad usw., ob die Einheit tatsächlich im Betriebe war oder nicht. Der Jahresbelastungsgrad ist die mittlere Leistung während der ganzen Berichtszeit dividiert durch die Nennleistung. Diese Zahl gibt einen Hinweis auf die Betriebsverhältnisse einer Einheit oder eines Kraftwerkes. Bei einem Grundbelastungswerk wird diese Zahl selbstverständlich hoch sein, während ein Flusswerk, dessen Ausbau gross, d. h. entsprechend einer kurzzeitigen Wassermenge, gewählt wurde, einen schlechten Belastungsgrad aufweisen kann. Dividiert man die mittlere Leistung während der eigentlichen Betriebszeit (unter Pos. 3 der Tabelle I) durch die Nennleistung, so erhält man den effektiven Belastungsgrad der

*Hydraulische Einheiten 1924.*

Tabelle I.

	Hydraulische Einheiten 1924					Dampf-Einheiten 1923
	Freistrahl-Turbinen	Ueberdruck-Turbinen	installiert vor 1920	installiert nach 1920	Mittel sämtlicher hydraulisch. Einheiten	
1. Anzahl der Einheiten . . .	8	48	21	18	56	87
2. Mittlere Einheitsleistung PS .	10 080	18 070	12 160	19 170	16 930	38 600
3. Wirkliche Betriebszeit in % .	51,39	81,25	75,34	73,02	76,98	72,4
4. Nichtbetriebszeit (Reparatur und Reserve) in % . . . . .	48,61	18,75	24,66	26,98	23,02	27,6
5. Gesamte Ausfallzeit (wegen Störungen usw.) in %; 5=6+7	3,55	5,73	4,66	7,87	5,40	12,9
6. Ausfallzeit, während welcher Bedarf war in %; 6=5-7	0,41	1,87	3,15	1,28	1,67	6,0
7. Ausfallzeit, während welcher kein Bedarf war in %; 7=5-6	3,14	3,86	1,51	6,59	3,73	6,9
8. Reservezeit (Mangel an Last und an Wasser); 8=4-5 . .	45,06	13,02	20,00	19,11	17,62	14,7
9. Bedarfszeit %; 9=3+6 . .	51,80	83,12	78,49	74,30	78,65	78,4
10. Max. mögliche Betriebszeit in %; 10=3+8 oder 100 % - 5 .	96,45	94,27	95,34	92,13	94,60	87,1
11. Jahresbelastungsgrad, = Mittl. Belastung d. Jahres/Nennleistg.	16,5	51,5	51,3	40,1	48,1	51,6
12. Effektiver Belastungsgrad, = Mittlere Belastung während Betriebszeit/Nennleistung . .	32,2	63,3	68,1	54,9	62,4	71,3
13. Zuverlässigkeitsgrad; 13= $\frac{3}{9}$ . .	99,59	97,75	96,75	97,86	98,02	92,3

Einheit. Er zeigt an, wie stark die Einheit während ihrer effektiven Betriebszeit ausgenützt wurde. Der Zuverlässigkeitsgrad einer Einheit ergibt sich endlich durch die Division der eigentlichen Betriebszeit durch die Bedarfszeit. Er gibt ein Mass für die dauernde Betriebsfähigkeit einer Einheit und zeigt an, inwieweit sie zur Verfügung war, wenn sie benötigt würde. Dass in verschiedenen Fällen diese Zahl, wie es scheint, zu 100 % gemeldet wurde, mag darauf hindeuten, dass die unumgänglich notwendigen Unterhalts- und Kontrollarbeiten während der Zeit gemacht werden könnten, während welcher kein Bedarf für diese Maschinen war. Daraus erhellte, dass Grundbelastungswerke oft einen schlechten Zuverlässigkeitsgrad aufweisen werden, als Spitzenwerke, trotzdem ihre Maschinen sich im Betriebe besser bewährt haben können. Das erklärt vielleicht auch zum Teil die höhere Zahl bei den Freistrahl-Turbinen, die eventuell mehrheitlich zu Akkumulierwerken gehören

können. Ich glaube daher, dass die Ergänzung der Tabelle I nach der Art des Betriebes sehr vorteilhaft wäre und manch weitere Aufschlüsse geben könnte.

Die Tatsache, dass bei Ausfall einer Gruppe wegen irgend einer Störung sofort die gleichwertige, freistehende Reserve zur Stromlieferung herangezogen wird, bringt es mit sich, dass der Zuverlässigkeitgrad auch von der mehr oder weniger starken Reservehaltung abhängig ist, da dann die Zeit des Ausfalles, während welcher die Gruppen benötigt werden, natürlich dementsprechend abnimmt. Es sollte daher, meiner Ansicht nach, die Bemessung der Reserve, d. h. die Anzahl und Leistung der in Reserve stehenden im Verhältnis zur Anzahl und Leistung der arbeitenden Maschinen, irgendwie besonders zum Ausdruck gelangen.

Beim Vergleich zwischen der hydraulischen und der kalorischen Erzeugung bestätigt sich (offenbar unter Annahme gleicher Reservehaltung), dass die erstere weit zuverlässiger ist als die letztere. Dabei darf nicht vergessen werden, dass der Ausfall der hydraulischen Erzeuger auch durch Störungen am hydraulischen Teil, wie Schieber, Rohrleitungen, Stollen, Kanäle, Wehre usw. verursacht werden kann. Die angegebenen Zahlen gelten also nicht nur für den Stromerzeuger allein, sondern für die gesamte hydraulische Stromerzeugungsanlage, während bei den verglichenen kalorischen Erzeugern nicht gesagt ist, auf was alles sich die Zahlen beziehen. Jedenfalls weisen die Dampferzeuger eine Ausfallzeit von 12,9 % auf, während die hydraulischen Gruppen nur 5,4 % melden. Der Zuverlässigkeitgrad der Wasserturbinengruppen beträgt 98 % im Gegensatz zu 92,3 % bei den Dampfgruppen, trotz der etwas überraschenden Tatsache, dass die eigentliche Betriebszeit der Wasserturbinen mit rund 77 % grösser ist als die der Dampfturbinen mit 72,4 %. Bei der heutigen Tendenz, die Flusswerke und auch die Akkumulierwerke für eine grössere aber kurzzeitige Wassermenge auszubauen, muss das Verhältnis der Betriebszeiten allerdings als auffallend bezeichnet werden. Die maximal mögliche Betriebszeit der Wasserturbinen ist mit 94,6 % auch grösser als die der Dampfturbinen von 87,1 %. Bei der Ermittlung dieser Zahlen soll allerdings angenommen worden sein, dass die Ausfallzeit sich mit der Zunahme der Betriebszeit nicht vergrössert, was streng genommen kaum zutreffen würde. Der Belastungsgrad während des ganzen Jahres ist bei Dampf- und Wasserturbinen nahezu 50 % (bei Wasserturbinen 48,1 %, bei Dampfturbinen 51,6 %). Dagegen ist wegen der längeren Betriebszeit bei den Wasserturbinen deren Belastungsgrad für die eigentliche Betriebszeit kleiner, d. h. 62,4 % gegenüber 71,3 % bei den Dampfturbinen.

Leider ist, wie eingangs erwähnt, die Anzahl der in Betracht gezogenen Freistrahl-Turbinen klein und die meisten davon sollen in Kalifornien aufgestellt sein, wo im Jahre 1924 eine beispiellose Trockenheit herrschte, so dass der Vergleich zwischen den Betriebsergebnissen mit Freistrahl- und denen mit Ueberdruck-Turbinen an Wert verliert. Vielleicht ist dadurch auch die Betriebszeit, die, weil es sich wahrscheinlich doch meistenteils um Akkumulierwerke handelt, sowieso schon klein ist, noch mehr vermindert worden, so dass sie nur 51,4 % beträgt gegenüber 81,25 % bei den Reaktions-Turbinen. Die Ausfallzeit der Freistrahl-Turbinen ist erheblich kleiner als die der Reaktions-Turbinen.

Bei der Unterteilung nach dem Alter der Turbinen konnte dieses nur bei 39 Einheiten aus den zur Verfügung stehenden Berichten einwandfrei herausgelesen werden. Dieser Vergleich ergibt nichts besonderes, ausser dass der Belastungsgrad bei den seit 1920 installierten Einheiten erheblich kleiner ist als bei den vor 1920 installierten Maschinen. Es ist dies vielleicht auch darauf zurückzuführen, dass man heute, wie schon erwähnt, bei gleicher Wassermenge den Ausbau verhältnismässig höher wählt als früher.

Es wäre vielleicht auch interessant gewesen zu erfahren, wie oft es nötig war, eine Einheit wegen Defekt plötzlich aus dem Betriebe zu nehmen.

In Tabelle II sind die Gründe, die zum Ausfall geführt haben, zusammengestellt, und ihr Anteil an der Ausfallzeit ist in Prozenten der totalen Ausfallzeit ausgedrückt.

## Untersuchung der Ursachen des Ausfallen in % der totalen Ausfallzeit.

Tabelle II.

	Freistrahl-Turbinen	Ueberdruck-Turbinen	Mittel sämtlicher hydraulischen Einheiten
Anzahl der betrachteten Einheiten . . . . .	8	44	52
1. Ursachen am allgemeinen hydraulischen Teil:			
Eis oder Geschwemmsel . . . . .	3,2	2,2	2,3
Hochwasser . . . . .	—	—	—
Druckleitung oder Kanal . . . . .	23,3	2,0	4,2
Einlauf oder Hauptklappe . . . . .	1,2	4,0	3,7
Andere Ursachen allgemeiner hydraulischer Natur . . . . .	—	1,8	1,6
Total der Ursachen allgemeiner hydraulischer Natur	27,7	10,0	11,8
2. Turbinen und Zubehör:			
Laufräder . . . . .	—	19,7	17,7
Turbinendrosselklappe . . . . .	—	4,3	3,9
Turbinenschieber . . . . .	—	0,7	0,7
Führungs Lager . . . . .	3,9	4,0	4,0
Spurlager . . . . .	—	0,7	0,6
Drehzahlregler und Regulierapparat . . . . .	0,6	1,0	0,9
Druckregler . . . . .	0,1	0,3	0,3
Saugrohr . . . . .	—	2,0	1,8
Schmierung . . . . .	—	2,7	2,4
Kontrolle und Inspektion . . . . .	8,5	1,7	2,4
Andere Ursachen . . . . .	2,4	21,5	19,5
Vibration . . . . .	—	—	—
Konstruktion . . . . .	—	—	—
Gesamtrevision . . . . .	—	1,6	1,5
Total für Wasserturbinen . . . . .	15,5	60,2	55,7
3. Generatoren und Zubehör:			
Vibration . . . . .	—	—	—
Schmierung oder Oelverluste . . . . .	—	3,4	3,0
Rotor oder Feld . . . . .	17,1	0,4	2,1
Statoreisen oder Wicklung . . . . .	23,2	13,2	14,2
Erreger und Regulierwiderstände . . . . .	0,2	0,6	0,6
Ventilation . . . . .	—	—	—
Reinigung . . . . .	0,1	7,5	6,7
Kontrolle und Inspektion . . . . .	11,3	0,4	1,5
Andere Ursachen . . . . .	0,1	0,6	0,6
Bürsten . . . . .	—	—	—
Total für Generatoren . . . . .	52,0	26,1	28,7
4. Ursachen elektrischer Natur, aber ausserhalb des Generators:			
Schaltmaterial . . . . .	—	0,3	0,3
Sammelschienen . . . . .	3,8	1,1	1,3
Transformatoren . . . . .	0,3	1,3	1,2
Aussen liegende Teile, Uebertragung usw. . . . .	0,7	1,0	1,0
Total für Ursachen elektrischer Natur ausserhalb des Generators . . . . .	4,8	3,7	3,8
5. Total für alle Ursachen . . . . .	100,0	100,0	100,0
6. Ausfallzeit in % der totalen Berichtszeit nach Tabelle I . . . . .	3,55	5,73	5,40

Da die Unterlagen für vier Einheiten unvollständig waren, sind in dieser Tabelle nur 52 Turbinen aufgenommen worden. Im Mittel für alle Turbinen, sowie bei den Reaktions-Turbinen ist mehr als die Hälfte der Ausfallzeit durch Störungen an den Laufrädern und deren Zubehör verursacht. Die Generatoren kommen als Störungs-

quelle in zweiter Linie. Bei den Freistrahl-Turbinen können die Zahlen aus vorher erläuterten Gründen nicht als absolut gültiger Maßstab angesehen werden. Hier wäre das Verhältnis der Störungen im Turbinenlaufrad und im Generator umgekehrt, als wie bei den Reaktions-Turbinen. Ein ganz kleiner Teil der Störungen ist auf ausserhalb des Generators liegende Ursachen zurückzuführen. Da die Statistik sich eigentlich nur auf die Stromerzeuger selbst beziehen soll, wird das Komitee in Zukunft die elektrischen Teile, wie Schaltanlage, Sammelschienen, Transformatoren usw. nicht mehr einbeziehen.

Bei der heutigen Tendenz, die hydroelektrischen Gruppen mit vertikaler Achse aufzustellen, scheint mir der statistische Nachweis, dass die Störungen, die durch die Spurlager hervorgerufen wurden, sehr klein, beinahe verschwindend klein sind, d. h. 0,7 resp. 0,6 % der totalen Ausfallzeit betragen, sehr wertvoll. Die durch die Führungslager verursachte Ausfallzeit ist dagegen sechsmal grösser und beträgt 4 %. Hier mag noch erwähnt werden, dass in einem andern der Konferenz vorgelegten Berichte von der Verwendung von Gummi für Führungslager an Stelle des in Amerika schon verwendeten Holzes speziell bei sandhaltigem Wasser die Rede war. Die gewaltigen Abmessungen, die offenbar wegen der kleinen zulässigen Pressung des Materials erforderlich sind, werden jedenfalls zu teuren Maschinen und Gebäuden führen. Es scheint, dass auch hier die Amerikaner im Interesse der Sicherheit sogar von sehr grossen Ausgaben nicht zurückschrecken. Die Ausfallzeit die unter „Andere Ursachen“ gebucht wurde, ist noch derart ansehnlich, dass eine weitere Unterteilung dieses Sammelkontos offenbar angezeigt wäre. Dass unter den Rubriken Konstruktionsfehler und Vibration keine Ausfallzeit vermerkt ist, scheint mir nicht nur auf den hohen Stand der Technik in Amerika hinzudeuten, sondern auch darauf, dass die amerikanischen Betriebsleiter bestrebt sind, ihre Konstrukteure in allen Teilen zu unterstützen und ihnen offenbar die Maschinen nach beendigter Montage längere Zeit für Versuche usw. überlassen.

Es ist klar, dass derartige Statistiken, wenn sie zuverlässig gemacht werden, sowohl für die Betriebsleiter als auch für die Projekten-Ingenieure von sehr grossem Werte sind. Unsere grossen Fachvereinigungen fänden hier ein dankbares Feld zur Erweiterung ihrer Tätigkeit auf statistischem Gebiete und ich möchte daher dem S. E. V. vorschlagen, sich mit dieser Frage näher zu befassen.

## Einrichtung zur Messung elektrischer Energie in ein- oder mehrphasigen Wechselstromnetzen.

Von den Bernischen Kraftwerken, Bern.

621.374.5

*Es wird eine Messeinrichtung für elektrische Energie beschrieben, mittels welcher die Energie gemessen werden kann, wenn die Richtung des Energieflusses wechselt. Gegenüber den heute üblichen Anordnungen zeichnet sich die beschriebene vor allem dadurch aus, dass die Anzahl der benötigten Zähler und vor allem auch Umschaltapparate erspart werden können, indem die Rücklaufhemmungen zugleich als Umschaltkontakte ausgebildet werden.*

*On donne ici la description d'un dispositif de mesure d'énergie électrique qui fonctionne quel que soit le sens du transport de cette énergie. Le système décrit se distingue surtout des autres systèmes actuels en ce qu'il nécessite un nombre plus restreint de compteurs et d'appareils inverseurs; on obtient ce résultat grâce aux arrêts de marche arrière qui tiennent lieu en même temps de contacts inverseurs.*

Beim Energieaustausch zwischen Elektrizitätswerken ist nicht nur der Verbrauch an Kilowattstunden (kWh), sondern auch der wattlose Verbrauch (kVAh  $\sin \varphi$ ) wichtig. Man findet daher in neuerer Zeit bei solchen Messeinrichtungen neben den kWh-Zählern häufig auch die kVAh  $\sin \varphi$ -Zähler eingebaut. Schon in Fällen, wo die Energie nur in einer Richtung abgegeben wird, ist diese Messung verhältnismässig kompliziert, besonders aber da, wo die Richtung des Energieflusses wechselt. In diesem letztern Fall erfolgt die Messung so, dass die kWh und die kVAh  $\sin \varphi$  für