

Zeitschrift: bulletin.ch / Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse
Band: 99 (2008)
Heft: 17

Artikel: Der Weg zur Normfrequenz 50 Hz
Autor: Neidhöfer, Gerhard
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-855884>

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: 13.12.2025

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

Der Weg zur Normfrequenz 50 Hz

Wie aus einem Wirrwarr von Periodenzahlen die Standardfrequenz 50 Hz hervorging

Allgegenwärtig ist die Frequenz 50 Hz, mit welcher der Wechselstrom in unseren Netzen und Geräten periodisch schwingt. Eine einheitliche Periodenzahl bildet die Voraussetzung dafür, dass alle Kraftwerksgeneratoren im Verbund zusammenarbeiten können. In der Anfangszeit der Wechselstromtechnik – etwa ab 1885 – betrieb man jede Anlage für sich allein, die Frequenz war beliebig mit 25 bis über 80 pro Sekunde, in Nordamerika sogar 125 oder 133. Im Unterschied zur Festlegung in den USA – um 1895 – auf 60 Perioden für allgemeine Zwecke und 25 Hz für Übertragungen bildete sich in Europa eine einheitliche Frequenz mit 50 Hz heraus. Zur Jahrhundertwende 1900 waren 50 Hz realer Standard; doch bis ein regulärer Normstatus erreicht wurde, sollte es 1920 (Österreich) bzw. 1930 (Deutschland) werden.

Die Frequenz des elektrischen Wechselstroms ist dem Wesen nach eine Schwingungszahl und sagt im Beispiel 50 Hz, dass der Strom 50-mal in der Sekunde perio-

Gerhard Neidhöfer

disch wechselt. Die Abkürzung «Hz» steht für den Namen des Physikers Heinrich Rudolf Hertz, der durch die Entdeckung schneller elektromagnetischer Wellen berühmt wurde. In manchen Ländern – vorab USA und Kanada – gelten 60 Hz. Ein Wechselstrommotor dreht dort im Verhältnis $60/50 = 1,2$ -mal schneller, d.h. 20% rascher als am 50-Hz-Netz.

Die Entstehungsgeschichte der Standardfrequenz 60 Hz ist hinlänglich bekannt, schon 1918 wurde sie ausführlich geschildert [1] und 1999 in einem Übersichtsartikel erneut dargestellt [2]. Auch «der Klassiker $16\frac{2}{3}$ Hz» bei elektrischen Bahnen wurde in ungezählten Schriften erklärt. Dagegen liegt die 50-Hz-Vergangenheit weitgehend im Dunkeln und wartet immer noch darauf, für die Fachwelt freigelegt zu werden.

Erste gebräuchliche Periodenzahlen

In der Anfangszeit der Wechselstromtechnik war der Begriff Frequenz nicht geläufig. Man zählte die Polwechsel in der Minute und drückte sie bald in Wechsel-

zahlen oder Periodenzahlen pro Sekunde aus.

133 oder 125 Perioden in Nordamerika

Die Geschichte der Stromfrequenzen begann in den Vereinigten Staaten im Jahr 1886, als die Firma Westinghouse einen der ersten betriebsfähigen Wechselstromgeneratoren baute [1, 2]. Man nahm ein achtpoliges Magnetgestell und befestigte auf der Mantelfläche eines zylindrischen

Rotors eine beschränkte Zahl von Wicklungsleitern. Um eine genügende Induktionsspannung zu erzielen, musste der Rotor ziemlich schnell gedreht werden. Mit 2000 Touren pro Minute vollzog der Generator $2000 \times 8 = 16000$ Polwechsel in der Minute und hatte demzufolge die Periodenzahl

$$16000 \text{ Polwechsel pro Minute} / (2 \times 60) = 133\frac{1}{3} \text{ Perioden pro Sekunde} \approx 133 \text{ Hz}$$

Die amerikanische Firma Thomson-Houston (später General Electric nach Fusion mit der Edison General Electric Company) bevorzugte 15000 Polwechsel, was der Periodenzahl 125 Hz entspricht. Beide Frequenzen waren in der Tat recht hoch; sie boten aber den Vorteil leichter Abspanntransformatoren, die man an den Lichtverteilungsmasten aufhängte.

Für den Bau guter Motoren stellten sich die hohen Periodenzahlen aber als Hindernis heraus. Um mit geringeren Touren fahren zu können und mit möglichst wenig Polen auszukommen, musste wegen des Zusammenhangs

$$\text{Periodenzahl (oder Frequenz)} = \frac{\text{Polpaarzahl} \times \text{Tourenzahl}}{\text{...}}$$

die Frequenz herabgesetzt werden. Der Trend wurde beschleunigt, als sich Dampfmaschinen mit den typisch niedrigen Tou-

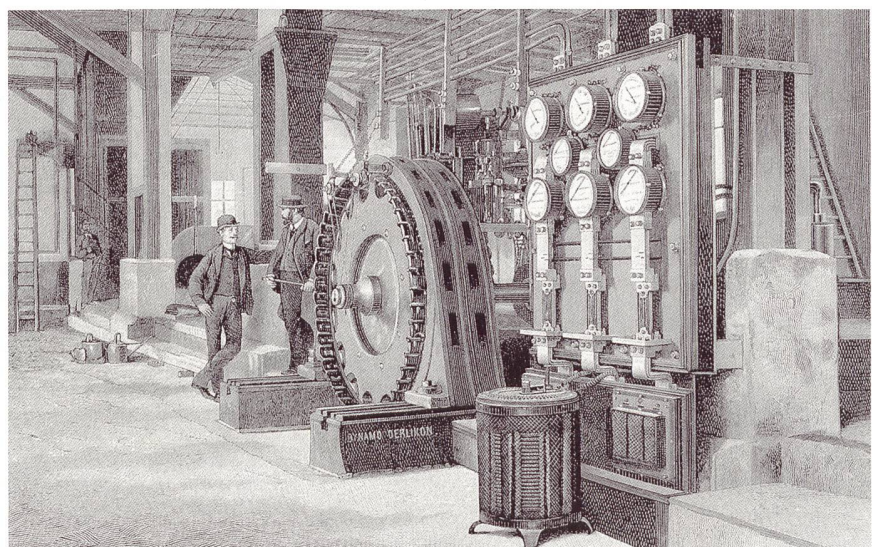


Bild 1 Wasserkraftwerk Lauffen am Neckar, 1891. Der 300-PS-Drehstromgenerator hatte 32 Pole, lief mit 150 U/min und lieferte 40-Hz-Strom.

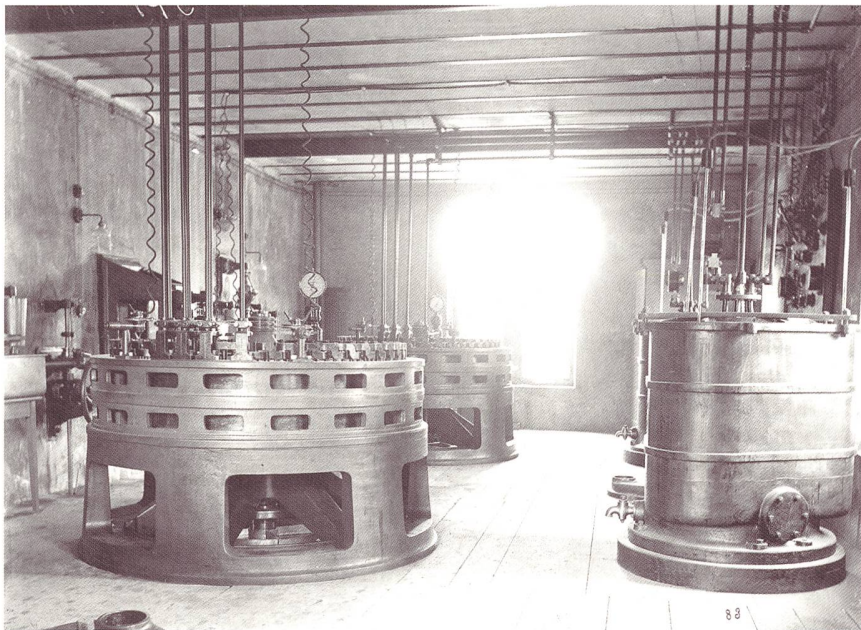


Bild 2 Wasserkraftzentrale Hochfelden bei Bülach, 1892.
Die Drehstromgeneratoren vom Typ Lauffen vertikal liefern mit 187,5 U/min und lieferten Strom der Frequenz 50 Hz.

renzzahlen für den direkten Antrieb von Generatoren anboten. Schon zu Anfang der 1890er-Jahre wurden die hohen Frequenzen durch Bewirken der Firma Westinghouse und ihres Beraters Nikola Tesla bei Neuanlagen verlassen und durch tiefere Werte, darunter 60 Hz, abgelöst [2].

133–83 Perioden in England

Ein Bericht aus dem Jahr 1894 [3] erklärt die Lage in England wie folgt: «... Der Betrieb der Alternatoren geschah bisher meist durch Seile [Anmerkung: oder Riemen]. In neuester Zeit ist die Tendenz jedoch auch auf direkte Kuppelung gerichtet. Was diese bisher ziemlich erschwerte, war die hohe Wechselzahl, die zwischen 83 und 133 vollen Perioden per Sekunde [10000–16000 Polwechsel pro Minute] schwankte. Man geht jedoch in neueren Werken mit der Periodenzahl herab. So hat zum Beispiel [die Station] Derby nur 40 Perioden. ... Man ist dadurch in den Stand gesetzt, Dampfmaschinen mit mässig schnellem Gang und direkt gekuppelte Alternatoren mit nicht zu vielen Polen zu verwenden.»

30–50 Perioden in Kontinentaleuropa

Auf dem europäischen Festland wurden von Beginn an eher niedrige Periodenzahlen bevorzugt. Angaben dazu findet man u.a. im Schriftverkehr zwischen der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft AEG in Berlin und der Maschinenfabrik Oerlikon MFO; diese hatten sich auf die gemeinsame Nutzung ihrer Drehstrom- und Übertragungstechnik verständigt [4]. So schrieb

Michael Dolivo-Dobrowolsky von der AEG im Jahr 1890 an Charles E. L. Brown, seinen Chefelektriker-Kollegen in der Schweiz [5]: «... Bezüglich der Wahl der Stromwechselzahl ... haben wir bereits gesprochen und die Zahl von 30 Perioden (60 Wechsel) per Sekunde als Norm angenommen. Ich will diese Zahl auch bei den Drehstrommaschinen der Allgemeinen Elektrici-

täts-Gesellschaft einhalten, damit unsere Apparate u. dergl. mit den Ihrigen gemeinschaftlich gebraucht werden können.»

Die Firma Ganz in Budapest führte aus Rücksicht auf den Betrieb mit elektrischen Bogenlampen 5000 Polwechsel pro Minute als eigenen Standard ein. Das entspricht der Frequenz

$$5000 \text{ Polwechsel pro Minute} / (2 \times 60) = 41\frac{2}{3} \text{ Perioden pro Sekunde} \approx 42 \text{ Hz}$$

Bei tieferen Wechselzahlen wurde das Bogenlicht vom Auge als unruhig empfunden. In den Absatzgebieten der Ganz-Werke, so auch Italien, waren 41,7 bzw. 42 Hz verbreitet und während Jahrzehnten im Gebrauch.

AEG und MFO hatten bald «eine Periodenzahl von im Allgemeinen etwa 40» verabredet [6] und 1891 die Kraftübertragung von Lauffen am Neckar nach Frankfurt am Main mit 40 Hz vorgeführt (Bild 1) [7]. In einem Vortrag am Elektrotechniker-Kongress in Frankfurt zum Abschluss der Internationalen Elektrotechnischen Ausstellung im selben Jahr bemerkte Dolivo-Dobrowolsky u.a. [8]: «Was die günstigste Periodenzahl des Stromes anbelangt, so können hier keine engen Grenzen festgestellt werden. Ich ziehe vor, bei Drehstrommotoren mit möglichst wenig, etwa 30–40 Perioden per Sekunde, zu arbeiten.»

Er meinte immerhin, «in bestimmten Fällen dürfe mit der Wechselzahl höher gegangen werden». Tatsächlich hatte die Partnerfirma MFO bei der eigenen Stromversorgung sich für 50 Perioden entschied-

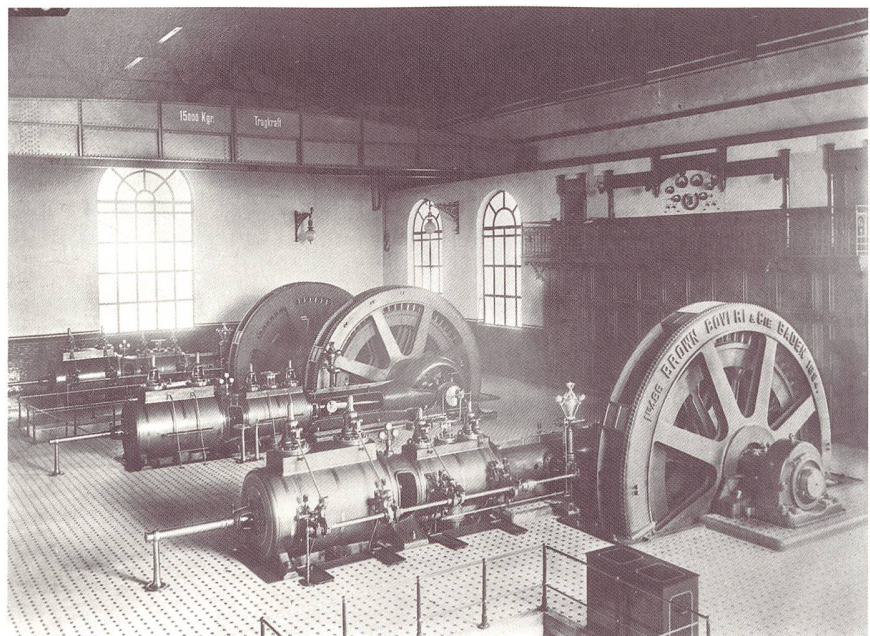


Bild 3 Einphasen-Wechselstromkraftwerk in Frankfurt am Main, 1894.
Die 750-PS-Dampfdynamos waren mit 64 Polen versehen und erzeugten bei 85 U/min eine Frequenz von 45 1/3 Hz.

den und war gerade dabei, im 23 km entfernten Hochfelden bei Bülach eine Hydrozentrale mit Kraftübertragung nach Oerlikon zu errichten (Bild 2) [7, 9].

Mustersammlung eines Zeitzeugen

Der langjährige Leiter des Konstruktionsbüros der Brown Boveri Cie., Emil Hunziker, blickte in einem Übersichtsvortrag 1934 in Baden [10] u.a. auf die Frequenzen seiner ersten Generatoren zurück (siehe auch Bild 3 und 4) und schilderte eine in der Tat verworrene Lage: «... So finden wir unter den von Brown Boveri gelieferten Anlagen Frequenzen zwischen 37 und 55 mit vielen Zwischenstufen vertreten, dazu noch einzelne Abstecher nach unten und nach oben. ... Ich nenne einige Beispiele: Baden, Aarau, Olten-Aarburg 40, Cham 46, Interlaken 50, Frankfurt 45,3, Paderno 42, Killwangen 48, Arlen 38,6, Chèvres 46, Bellegarde 47,5, Bellinzona 65,3 Perioden usw. Grössere italienische Anlagen wählten in Anlehnung an die von der Firma Ganz festgesetzte Frequenz eine solche von 41,7 entsprechend 5000 Polwechseln, die heute neben der Frequenz 50 ziemlich verbreitet ist.»

Suche nach günstigsten Periodenzahlen

Das Durcheinander der Frequenzen rief Experten beidseits des Atlantiks auf den Plan, die schon 1893/94 versuchten, günstigste Periodenbereiche herauszufinden und der Fachwelt zu empfehlen. Das Hauptproblem bestand in der Gegenläufigkeit zweier Tendenzen: Für «Lichtverteilungsanlagen» waren eher hohe Periodenzahlen gefragt, mit denen die Einzeltransformatoren leichter und billiger wurden, hingegen für «Kraftverteilungsanlagen» mit Generatoren, Übertragungsleitungen, Umformern und Motoren wirkten sich niedrige Periodenzahlen günstig aus. So hing eine Frequenzempfehlung von der Netzaufgabe ab – im Grunde also von der elektrischen Erschliessung eines Landes oder Kontinents.

Emil Kolben, der 5 Jahre bei der Edison General Electric Co. in USA gewirkt hatte und seit 1892 bei MFO in der Schweiz tätig war, kannte die Verhältnisse beidseits des Atlantiks und hielt zusammenfassend fest, «dass, exzeptionelle Fälle der Übertragung sehr grosser Kräfte auf besonders weite Entfernung ausgenommen, eine Periodenzahl zwischen 50 und 60 Perioden selbst weitgehenden Anforderungen einer ökonomischen Anlage mit gutem Wirkungsgrad, guter Regulierung und grosser Betriebssicherheit am besten entspricht» [11].

In Nordamerika ging 1895 das mächtige Wasserkraftwerk an den Niagarafällen mit

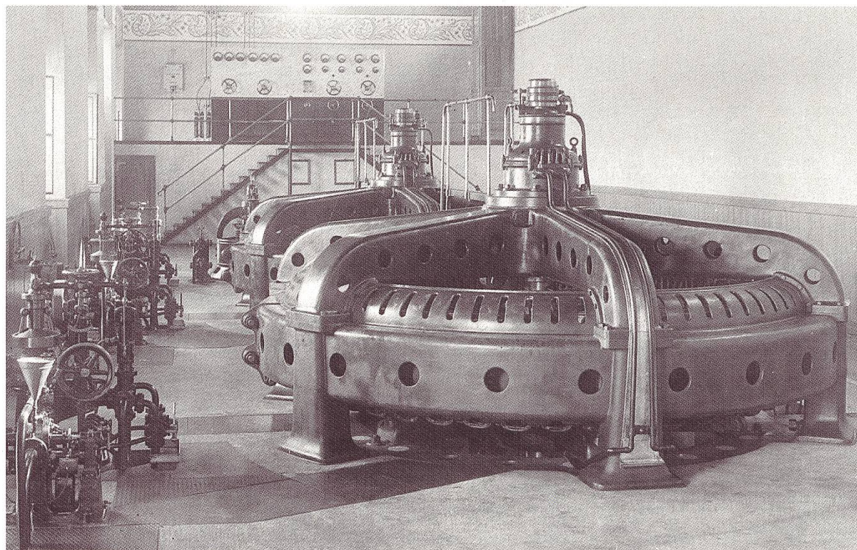


Bild 4 Elektrizitätswerk der Spinnerei und Weberei Festi-Rasini, Mailand 1903.

Die Wasserkraftgeneratoren von 600 kW Leistung wurden mit 60 Polen konstruiert. Bei 84 U/min entspricht dies 42 Hz.

drei 5000-PS-Grossdynamos in Betrieb, für die «nach einem Kompromiss mit den Fabrikanten» die Wechselzahl auf 25 festgesetzt worden war (Professor George Forbes, Mitglied der Expertenkommission, hatte zuerst sogar $16\frac{2}{3}$ Perioden vorgeschlagen) [12]. In den USA richtete man sich auf zwei Frequenzstufen ein: 60 Hz für Licht- und allgemeine Zwecke, 25 Hz für Kraftübertragung und Umformung. Der 25-Hz-Gebrauch sollte auf die US-amerikanische Niagara-Grenzregion beschränkt bleiben und immerhin das ganze 20. Jahrhundert überdauern [2, 12, 13].

Bewegung hin zu 50 Hz

In Europa war zur Mitte der 1890er-Jahre eine Bevorzugung der Periodenzahl 50 festzustellen. Ein Zeitbericht verwies auf den «Vorteil der leichten und schnellen Beschaffung von Motoren, Bogenlampen und zum Teil auch von Transformatoren, da diese in den meisten europäischen Etablissements gerade für 100 Wechsel [50 Perioden] fabrikmässig hergestellt werden» [14].

1894–1898: Kraftübertragungswerke Rheinfelden

An der schweizerisch-deutschen Grenze am Hochrhein entstand innerhalb von nur 4 Jahren das für damalige Begriffe gewaltige Wasserkraftwerk Rheinfelden. 20 Wasserturbinen und Generatoren wurden für eine Gesamtleistung von 12000 kW installiert (Bild 5). 10 Maschinensätze hatten Drehstrom für Licht und Kraft an Städte und Gemeinden beider Länder in einem Umkreis von ca. 20 km um Rheinfelden

herum zu liefern. Bei solchen Anlagebedingungen waren die Kraftwerksplaner gefordert, eine «für den speziellen Fall günstigste Wechselzahl des Stromes» zu bestimmen [14]. Emil Rathenau, Generaldirektor der AEG, dazu in einem Vortrag 1896 [15]: «... Nach eingehenden Erwägungen entschloss man sich zu 50 Perioden in der Sekunde, weil bei dieser Wechselzahl der Spannungsabfall [der Übertragungsleitungen] durch Selbstinduktion ... in angemessenen Grenzen zu halten ist; für den Betrieb von Transformatoren, Motoren und Glühlampen erscheint sie besonders geeignet, und auch die Benutzung von Bogenlampen ist zulässig, wenn die Anforderungen an Beständigkeit des Lichtes nicht übertriebene sind.»

Die AEG setzte den Bau städtischer Kraftwerke mit 50 Hz konsequent fort. So entstanden allein bis 1897 Kraftwerke in Strassburg, Magdeburg, Plauen, Berlin-Oberspree und Gleiwitz [16]. Die Kraftübertragungswerke Rheinfelden, im Grundkonzept späteren Überlandzentralen ähnlich, konnten eine ganz besondere Erfolgsgeschichte schreiben: Zur sicheren Versorgung der Stadt Basel schlossen sie 1903 einen Zuliefervertrag mit dem Flusskraftwerk Beznau in der Schweiz und nahmen 1912 mit dem soeben fertiggestellten zweiten Grenzkraftwerk Augst-Wyhlen einen Verbundbetrieb auf. Das 50-Hz-Netz des Kraftwerks Rheinfelden kann für sich in Anspruch nehmen, die Keimzelle des europäischen Verbundnetzes zu sein. Die Generatoren Nr. 10 und 13 mit Baujahr 1898 und 1897 sind übrigens heute (2008) noch in Betrieb!

1896: AEG und Siemens liefern nach Japan

1896 gingen in einem Kraftwerk der Tokyo Electric Light Company gleich 6 Drehstromgeneratoren der AEG in Betrieb, im selben Jahr waren es 4 Generatoren von Siemens für das Keage-Kraftwerk in Kyoto. Mit diesen Importen aus Deutschland holte Japan die Frequenz 50 Hz ins Land, wo sich vorher durch Einfuhren aus den USA schon die «amerikanische» Frequenz 60 Hz angesiedelt hatte. Als Folge davon ist Japan bis heute geografisch in zwei Frequenzgebiete geteilt: östlich des Fudschijamas gelten 50 Hz, westlich davon 60 Hz [17].

1901: Erster BBC-Turbogenerator

Auch die junge Firma Brown, Boveri & Cie. in der Schweiz verwendete zunehmend 50 Hz. So drehte die erste auf dem europäischen Festland im Jahre 1901 bei BBC – nach den englischen Parsons-Patenten – gebaute Dampfturbine mit 3000 U/min. Der direkt gekuppelte Generator war zweipolig und erzeugte 50-Hz-Strom (Bild 6).

Um 1900: Realer Standard 50 Hz

Die Aufzählung elektrischer Neuanlagen, die mit 50 Hz entstanden, liesse sich mühelos fortsetzen. Die 50-Hz-Welle erfasste immer mehr Länder Europas und blieb nicht unbedingt eine Exklusivität deutscher und schweizerischer Hersteller. Etwa zur Jahrhundertwende waren 50 Hz zu einer Art Gewohnheitsstandard geworden, immer deutlicher hatten sie andere Vorzugswerte,

wie 42 Hz, überflügelt. Darauf dürfte sich die – etwas vorschnelle und nicht ganz zutreffende – Auffassung von heute stützen, 50 Hz seien bereits um die Jahrhundertwende zur Norm geworden.

Warum genau 50 und nicht 60 Hz?

Für die Auslese stand eigentlich nur ein enger Frequenzbereich zur Diskussion. Die Periodenzahl sollte

- für reine Kraftzwecke eher niedrig sein mit unterster Grenze bei etwa 25,
- zur Gewähr ruhigen Lichts mindestens 42 betragen,
- für den Bau rationeller Transformatoren 60 oder mehr sein.

Wollte man nun Kraft-, Licht- und Spannungsaufgaben mit ein und derselben Frequenz erfüllen, so war ein Kompromiss gefragt. Oberhalb des fraglosen Mindestwertes 42 bot sich vor allem die nächste Zehnerzahl 50 (genau 100 Wechsel pro Sekunde) an. Die übernächste Stufe 60 hingegen lag weiter weg und war kaum erstrebenswert, weil die Standardfrequenz 60 Hz der amerikanischen Regeln nur zusammen mit der Nebenvariante 25 Hz tauglich schien [18].

Es gibt Vermutungen, die Zahl 50 sei in Europa auch deswegen bevorzugt worden, weil sie einer Normzahlreihe angehöre. In der Tat: Innerhalb der 10-stufigen dezimalgeometrischen Normzahlreihe R 10 (10/12,5/16/20/25/31,5/40/50/63/80/100)

kommt die Zahl 50 ausdrücklich vor, 60 hingegen nicht. Ob derartige Überlegungen (Normzahl statt beliebiger Wert) wirklich mit im Spiel waren, liess sich nicht herausfinden.

Schicksal der Nicht-50-Hz-Werke

Kraftwerke, die mit anderer Periodenzahl liefen, hatten eine schwierige Zukunft und mussten bei Erweiterungen oder Erneuerungen auf 50 Hz umschwenken. Zwei Fälle seien herausgegriffen. Die Stadt Heilbronn war aus dem Wasserkraftwerk Lauffen am Neckar (Bild 1) von Beginn an – ab 1892 – mit Drehstrom, dem besten Stromsystem, versorgt; die Periodenzahl 40 hingegen geriet immer mehr ins Abseits. Das städtische Elektrizitätswerk hielt mit 40 Hz bis 1925 durch, was ihm aber verunmöglichte, bei der Erschliessung umliegender Versorgungsgebiete mitzumachen [19]. Das erste Elektrizitätswerk der Stadt Frankfurt aus dem Jahr 1894 (Bild 3) hatte Einphasen-Wechselstrom mit $45\frac{1}{3}$ Perioden [20]. Damit war die urbane Lebenswelt mit den vielen Lichtanlagen bestens versorgt, und für die vielen Gleichstromverbraucher gab es genügend Umformer. Bald aber reichte die Eigenproduktion der Stadt nicht mehr aus: Zulieferleistung von aussen – mittlerweile nur Drehstrom 50 Hz – musste über Umformer eingespeist werden. Der verwickelte Betrieb bereitete dem Stadtwerk viele Umstände und Kosten [4].

50 Hz auf dem Weg zur Normfrequenz – Erste Etappe

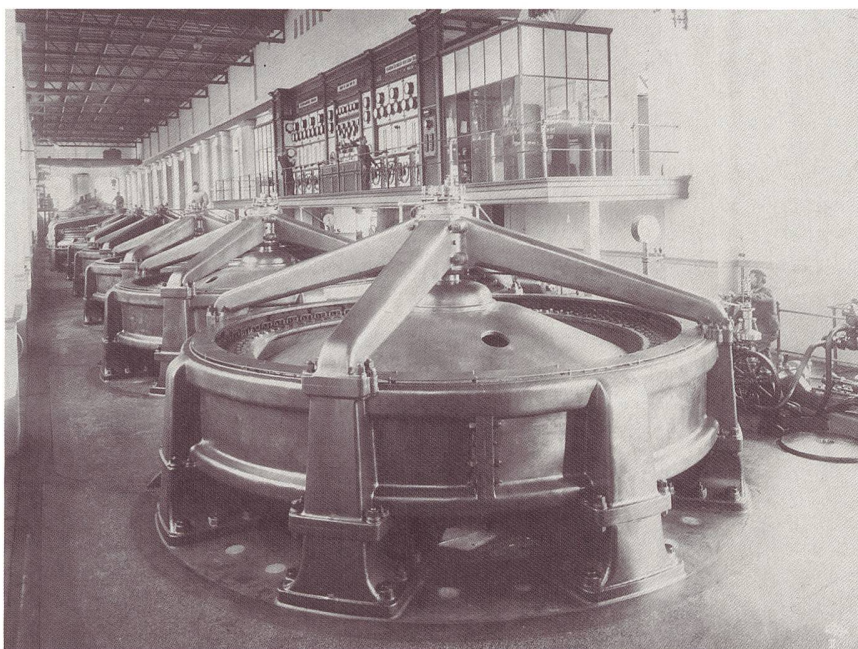
Die Beförderung der Wechselzahl 50 zur Normfrequenz wurde vom Verband Deutscher Elektrotechniker VDE an die Hand genommen, nachdem dieser im Jahr 1900 eine Normalkommission für elektrische Maschinen und Transformatoren gebildet hatte [21]. Der Fortschritt sollte mühsam werden und von der schweren Begleitaufgabe abhängen, konsensfähige Werte für Gebrauchs- und Übertragungsspannungen festzulegen.

1902/03 (Deutschland):

Die Frequenz soll 25 oder 50 sein

Bei den VDE-Maschinennormalien fand die Periodenzahl im Jahr 1902 Eingang ins Regelwerk. Dass sie lediglich als Empfehlung im Anhang erschien, erläuterte der Kommissionsleiter Georg Dettmar wie folgt [22]: «Es erschien zwar wünschenswert, über Frequenz, Spannung, Tourenzahlen usw. Normalien aufzustellen, wobei man sich jedoch darüber klar war, dass über diese Punkte keine Vorschriften gemacht werden können, da dies zu sehr in die Fa-

fachbeiträge



Energiedienst Holding AG Laufenburg

Bild 5 Kraftübertragungswerke Rheinfelden, 1898.
Die 700-kVA/600-kW-Drehstromgeneratoren hatten 88 Pole und lieferten bei 68,2 U/min Strom mit 50 Hz.

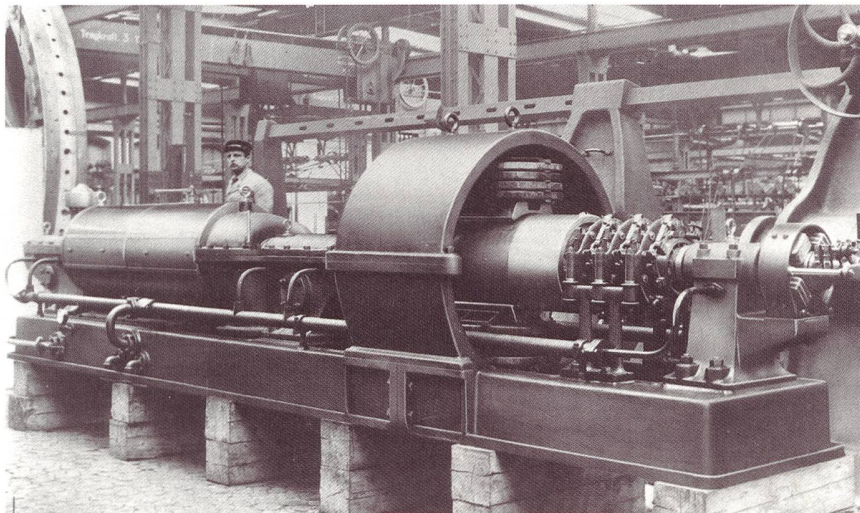


Bild 6 250-kW-Dampfturbogruppe für die Firma Wild & Abegg, Turin 1901.
Der 2-polige Synchrongenerator vom Aussenpoltyp gab bei 3000 U/min einen Strom mit 50 Hz ab.

brikation der einzelnen Firmen wie auch in die Wirtschaftlichkeit der Anlagen eingreifen würde. Um nun aber doch einen Anhaltspunkt geben zu können und eventuell einen Übergang für spätere Vorschriften nach dieser Richtung hin zu schaffen, einigte man sich dahin, diese Normalien nicht als Vorschriften herauszugeben, sondern dieselben in einem Anhang nur zu empfehlen. ... Im Allgemeinen hat man in Deutschland in den letzten Jahren ziemlich einheitlich eine Frequenz von 50 ... zur Ausführung gebracht, sodass hier eine Normalisierung verhältnismässig am leichtesten durchzuführen ist. Es sind nur wenige Anlagen mit anderen Frequenzen ... ausgeführt worden. Zu nennen sind ... 42, 40 und 25. Die letztere kommt in Frage für reine Kraftanlagen und hat hierbei entschieden bedeutende Vorteile gegenüber der Frequenz von 50. Man entschloss sich daher, die Frequenz 25 als normale mit aufzunehmen. Man ist mit diesen beiden Zahlen aber auch in der Lage, jede Anlage rationell auszuführen.»

Der Normalien-Text empfahl, bei Neuanlagen und in Preislisten bestimmte Werte für Frequenz, Tourenzahl und Spannung möglichst zu berücksichtigen, und fasste die Frequenzempfehlung in die schlichten Worte: Die Frequenz soll 25 oder 50 sein. Die Bestimmungen [23] wurden von der VDE-Jahresversammlung 1903 in Kraft gesetzt.

1912–1914 (Deutschland): Die Frequenz soll 50 sein

Die für Kraftverteilungsnetze vorgesehene Frequenz 25 hatte nur wenig Anklang gefunden. So schlug die VDE-Kommission im Jahr 1912 vor, diese Variante fallen zu lassen. Im Anhang des revidierten Textes

wurde eine einzige Frequenz aufgeführt [24]. Mit Gültigkeit ab dem 1. Juli 1914 galt die Empfehlung, bei Neuanlagen und in Preislisten die Frequenz 50 möglichst zu berücksichtigen.

Zweite Etappe zur Normfrequenz

Der Erste Weltkrieg 1914–1918 erzwang eine Unterbrechung der Normierungsarbeiten. Umso mehr war der Druck zur Vereinheitlichung gestiegen, nicht zuletzt weil die Kriegswirtschaft mancher Länder die Schwierigkeiten uneinheitlicher Elektrizitätsversorgung zu spüren bekommen hatte [1]. Schon vor Kriegsende plante der Elektrotechnische Verband Italiens eine Kampagne, die Periodenzahlen des Landes zu standardisieren [1]. Ebenfalls machte der Fachverein Österreichs entsprechende Bestrebungen publik [25].

1917–1920 (Österreich): Die Periodenzahl ist 50 pro s

Der Elektrotechnische Verein in Wien setzte Ende 1917 ein Komitee zur Vereinheitlichung von Periodenzahl und Spannungen ein, das dann in einem Entwurf vom Jahr 1918 «die Periodenzahl von 50 in der Sekunde» empfahl [25, 26]. Dazu gab es die knappe Anmerkung: «Die Periodenzahl von 50 pro s findet bereits jetzt in neuen Anlagen fast ausschliesslich Anwendung. Es erübrigt sich daher jede weitere Begründung dieses Wertes. Eine besondere Rücksichtnahme auf bestehende ältere Anlagen mit 42 Perioden pro s schien nicht erforderlich.»

Der Richtlinienentwurf wurde – zur Bereinigung der Spannungswerte und zwecks Abgleich mit den VDE-Regeln – in mehre-

ren Schritten nachgebessert [27] und von der Generalversammlung am 24. März 1920 als Norm beschlossen [28].

Das Bestreben, «dass hinsichtlich der Vorschriften für Maschinen und Transformatoren in Österreich und Deutschland tunlichste Einheitlichkeit herrscht» [29], zahlte sich spätestens Ende der 1920er-Jahre aus, als die rund 800 km lange Hochspannungsleitung zwischen dem rheinischen Braunkohlenrevier und den alpinen Wasserkraften Vorarlbergs in Betrieb ging [35].

1928–1930 (Deutschland): Genormte Nennfrequenz ist 50 Hz

Die erste Revision der deutschen Maschinennormalien nach dem Krieg brachte 1922 bezüglich Frequenz nichts Neues. Ein Durchbruch sollte erst 1928 einsetzen, als die Maschinen- und Transformatorregeln gründlich überarbeitet und erweitert wurden. Im Hauptteil erschien das neue Kapitel Genormte Werte, angeführt durch § 9a Frequenzen. Dort hiess es ausdrücklich [30]: Genormte Nennfrequenz ist 50 Hz. Die VDE-Jahresversammlung 1929 genehmigte die Vorlage mit Gültigkeit ab 1. Januar 1930.

Wegmarken in der Schweiz und Grossbritannien

Die Schweiz gehörte früh zu den Stützen der Periodenzahl 50 (Hochfelden b. Bülach 1892, Zufikon-Bremgarten 1895, Grenzkraftwerk Rheinfelden 1898, Beznau 1903, usw.). Ab 1918 gab es Bestrebungen, die schweizerische Stromlandschaft mittels einer «eidgenössischen Sammelschiene», einer vom Bodensee bis zum Genfersee verlaufenden Hochspannungsleitung, zu harmonisieren, «zum Zwecke der Vereinheitlichung von Stromsystem (Drehstrom), Periodenzahl 50 und Spannung 50 000 V» [31].

Für die Schweizer Maschinennormen war zunächst das Geschehen in Deutschland bestimmend, «hielt sich die Schweiz im allgemeinen an die Regeln des VDE, da sie bis 1934 keine eigenen Regeln für elektrische Maschinen besass» [32]. Die Schweizer Regeln für elektrische Maschinen (SREM, [33]), gültig ab 1. Mai 1934, waren von der internationalen IEC-Publikation 34-3 abgeleitet, die mit Rücksicht auf alle Erdteile die beiden Standardfrequenzen 50 und 60 Hz anerkennt. In den SREM wurde der Frequenznennwert definiert als «Teil der Betriebsgrössen, die ihm der Fabrikant nach den Angaben auf dem Leistungsschild zuspricht» [32] und somit vom Einsatzort der Erzeugnisse abhängig gemacht. Die Standardfrequenz in der

Schweiz war durch den landesweit realen Vorzugswert 50 Hz festgelegt.

In Grossbritannien herrschte eine besondere Vielfalt von Stromfrequenzen. 1914 kam das Beratungsbüro Merz & McLellan zur Empfehlung, dass die Stadt London mit 8 verschiedenen Periodenzahlen die Standardfrequenz 50 Hz einführen solle [1]. Zum nationalen Standard wurden 50 Hz im Jahr 1925, nachdem die Central Electricity Authority gebildet worden war und die Befugnis erhalten hatte, ein landesweites Hochspannungs-Verbundnetz einzurichten [34].

Referenzen

- [1] B. G. Lamme: The technical story of the frequencies. A.I.E.E. Transactions 37, 1918, pp. 65–85. Discussion pp. 86–89.
- [2] P. Mixon: Technical origins of 60 Hz as the standard ac frequency in North America. IEEE Power Engineering Review, March 1999, pp. 35–37.
- [3] G. Kapp: Entwicklung und Lage der englischen Elektrotechnik. ETZ Elektrotechnische Zeitschrift Bd. 15, 1894, H. 23, S. 310–313.
- [4] G. Neidhöfer: Michael von Dolivo-Dobrowolsky und der Drehstrom. VDE-Buchreihe Geschichte der Elektrotechnik, Band 19, Berlin und Offenbach, VDE-Verlag 2004.
- [5] M. Dolivo-Dobrowolsky: Erwiderung auf den Aufsatz von C.E.L. Brown über seinen Wechselstrommotor. ETZ Bd. 12, 1893, H. 13, S. 178–180.
- [6] M. Dolivo-Dobrowolsky: Aus der Geschichte des Drehstroms. ETZ Bd. 38, 1917, H. 28, S. 366–369.
- [7] M. Dolivo-Dobrowolsky: Kraftübertragung mittels Wechselströmen von verschiedener Phase (Drehstrom). ETZ Bd. 12, 1891, H. 12, S. 149–153 u. H. 13, S. 161–163.
- [8] M. Dolivo-Dobrowolsky: Elektrische Arbeitsübertragung mittels Wechselstroms. Sectionsitzungen des Internationalen Elektrotechniker-Congresses zu Frankfurt am Main vom 7. bis 12. September 1891. S. 151–160.
- [9] K. E. Müller: 50 Jahre Drehstrom-Kraftübertragung. Bulletin Oerlikon 1941, H. 231, S. 1437–1443 u. H. 232, S. 1445–1452.
- [10] E. Hunziker: Ein Lebenswerk. 43 Jahre Brown-Boveri-Konstruktionen 1891–1934. Druckschrift der AG Brown, Boveri & Cie.
- [11] E. Kolben: Dimensionierung von Wechselstrommotoren. ETZ Bd. 14, 1893, H. 40, S. 572–573, und: Zur Frage der günstigsten Periodenzahl für Wechselstromanlagen. ETZ Bd. 15, 1894, H. 6, S. 77–79.
- [12] Anonym: Elektrische Kraftübertragung von den Niagarafällen. ETZ Bd. 14, 1893, H. 50, S. 714.
- [13] T. J. Blalock, C. A. Woodworth: 25 Hz at Niagara Falls. End of an era on the Niagara Frontier. IEEE Power & Energy Magazine, January/February 2008, pp. 84–90 (part 1), March/April 2008, pp. 78–82 (part 2).
- [14] Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft (Hrsg.): Die Kraftübertragungs-Werke Rheinfelden. Technische und wirtschaftliche Darstellung der Ausnützung der Wasserkräfte des Rheins bei Rheinfelden. H. S. Hermann, Berlin 1896.
- [15] E. Rathenau: Die Kraftübertragungswerke zu Rheinfelden. ETZ Bd. 17, 1896, H. 27, S. 402–409.
- [16] W. Schäfer: 75 Jahre Drehstromübertragung Lauffen–Frankfurt a.M. ETZ-A, Bd. 87, 1966, H. 24, S. 847–853.
- [17] M. Yamamoto, M. Yamaguchi: Electric power in Japan. IEEE Power & Energy Magazine, March/April 2005, pp. 74–79.
- [18] G. Stern: Vergleich der amerikanischen und deutschen Maschinennormalien. ETZ Bd. 29, 1908, H. 23, S. 560–562.
- [19] E. Lauer: 100 Jahre Strom für Heilbronn. In: Moderne Energie für eine neue Zeit. ZEAG Zementwerk Lauffen – Elektrizitätswerk Heilbronn AG. Weinsberg, Druckerei und Grossbuchbinderei Wilhelm Röck 1991.
- [20] K. Jäger: Wechselstrom-Kraftwerke in Deutschland. Der Übergang vom Gleich- zum Drehstrom. VDE-Buchreihe Geschichte der Elektrotechnik Band 5. Berlin und Offenbach, VDE-Verlag 1987.
- [21] K. Jäger: Die Entwicklung der Starkstromtechnik in Deutschland, Teil 2: Von 1890 bis 1920 (nach einer Manuskript-Vorlage von Dettmar G. u. Humburg K.). VDE-Buchreihe Geschichte der Elektrotechnik, Band 9. Berlin und Offenbach, VDE-Verlag 1991.
- [22] G. Dettmar: Erläuterungen zu den Änderungen und Ergänzungen der Normalien für elektrische Maschinen und Transformatoren. ETZ Bd. 23, 1902, H. 23, S. 489–491.
- [23] Normalien für elektrische Maschinen und Transformatoren. ETZ Bd. 23, 1902, H. 23, S. 504–507.
- [24] Normalien für Bewertung und Prüfung von elektrischen Maschinen und Transformatoren. ETZ Bd. 34, 1913, H. 36, S. 1038–1041.
- [25] Vereinheitlichung der Periodenzahl und der Spannungen für die Errichtung von Elektrizitätswerken. E.u.M. Elektrotechnik u. Maschinenbau Bd. 36, 1918, H. 36, S. 125.
- [26] Vereinheitlichung der Periodenzahl und Spannungen für elektrische Beleuchtungs- und Kraft-Übertragungsanlagen (ausgenommen elektrische Bahnanlagen). E.u.M. Bd. 36, 1918, H. 49, S. 529–531.
- [27] Protokoll der 37. ordentlichen Generalversammlung vom 26. März 1919. E.u.M. Bd. 37, 1919, H. 18, S. 192/193.
- [28] Protokoll der 38. ordentlichen Generalversammlung vom 24. März 1920. E.u.M. Bd. 38, 1920, H. 20, S. 232–236, resp. im selben Band H. 41, S. 477: Normen für Periodenzahl und Spannungen elektrischer Anlagen (ausgenommen elektrische Bahnanlagen).
- [29] Protokoll der 39. ordentlichen Generalversammlung vom 13. April 1921. E.u.M. Bd. 39, 1921, H. 30, S. 372/373.
- [30] Regeln für die Bewertung und Prüfung von elektrischen Maschinen R.E.M./1930. ETZ Bd. 50, 1929, H. 23, S. 829–842.
- [31] E. Kohler: Die schweizerische eidgenössische Sammelschiene. ETZ Bd. 39, 1918, H. 23, S. 230 u. 329, Bd. 40, 1919, H. 38, S. 469.
- [32] Regeln für elektrische Maschinen. Bericht und Antrag des Comité électrotechnique suisse. Bulletin des SEV, Bd. 24, 1933, H. 26, S. 696–704, u. Bd. 25, 1934, H. 10, S. 268.
- [33] Regeln für elektrische Maschinen (einschliesslich Transformatoren) SREM. Bulletin des SEV, Bd. 25, 1934, H. 10, S. 268.
- [34] V. Vickers: Recent trends in turbogenerators. Proc. IEE, vol. 121, 1974, No. 11, pp. 1273–1306.
- [35] Von der Leitung zum Netz. VDE-Buchreihe Geschichte der Elektrotechnik, Band 22, Berlin und Offenbach, VDE-Verlag 2006.

Angaben zum Autor

Gerhard Neidhöfer, Prof. Dr., war nahezu 40 Jahre bei BBC bzw. ABB in Baden, Aargau, in der Entwicklung elektrischer Gross- und Mittelmaschinen tätig. Daneben gab er regelmässig Vorlesungen an der TH/TU Darmstadt, gelegentlich auch im Nachdiplomstudium der ETH Zürich. In Veröffentlichungen und Vorträgen befasste er sich mit technisch-wissenschaftlichen Problemen wie auch mit Neuerungen im Generatoren- und Motorenbau. Seit seiner Pensionierung wirkt Prof. Gerhard Neidhöfer als Berater bei ABB Power Generation und nunmehr Alstom Power Systems. Auch forscht und publiziert er in geschichtlichen Fragen der Starkstromtechnik. 2004 erschien in der VDE-Buchreihe Geschichte der Elektrotechnik sein Buch «Michael von Dolivo-Dobrowolsky und der Drehstrom», das die Anfänge der modernen Antriebstechnik und Stromversorgung beschreibt; der Band kommt jetzt im zweiten ergänzten Nachdruck heraus.
Gerhard Neidhöfer, 5212 Hausen bei Brugg

Résumé

Origine de la fréquence standard de 50 Hz

Comment la fréquence standard de 50 Hz est issue d'un fatras de nombres de périodes. La fréquence de 50 Hz du courant alternatif alimentant nos réseaux et appareils est omniprésente. Une fréquence unifiée est indispensable pour que toutes les génératrices des centrales électriques puissent être interconnectées. Dans les débuts de la technique à courant alternatif – vers 1885 – chaque installation était exploitée isolément, la fréquence pouvant aller de 25 à plus de 80 cycles par seconde, en Amérique du Nord même 125 ou 133. Contrairement à ce qui a été fixé aux USA – vers 1895 – soit 60 périodes pour applications générales et 25 Hz pour les lignes de transmission, la fréquence unifiée de 50 Hz s'est établie en Europe. Au tournant du siècle de 1900, la fréquence de 50 Hz était une norme de fait; mais elle n'a obtenu le statut de norme régulatrice qu'en 1920 (en Autriche) et 1930 (en Allemagne).