

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

**Band:** 56 (1965)

**Heft:** 11

**Artikel:** Die Anpassung der Dimensionierung der Synchronmaschine an die Betriebsbedingungen

**Autor:** Noser, R.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-916369>

#### 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:** 17.02.2026

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

# Die Anpassung der Dimensionierung der Synchronmaschine an die Betriebsbedingungen

621.313.32.004.2

Kurzvortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 11. November 1964 in Zürich, von R. Noser, Baden

Die Aufgaben, die einem Pumpspeicherwerk zugeordnet werden, können sehr verschieden sein. Die Konzeption, Dimensionierung und Konstruktion der elektrischen Maschine muss dem vorgesehenen Verwendungszweck angepasst wer-

*33'781 - 283*

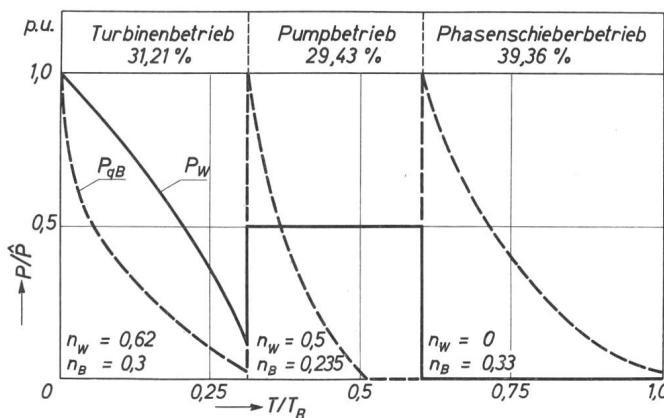


Fig. 1

**Jahresdauerkurve einer Pumpspeichergruppe**  
(Schluchsee-Werk AG, Kraftwerk Waldshut)  
44 MVA,  $\cos \varphi = 0,8$ , 250 U./min

$\hat{P} = 40 \text{ MW}$ ;  $\hat{P}_{qB} = 30 \text{ Mvar}$ ;  $P$  Leistung;  $P_W$  Wirkleistung;  
 $P_{qB}$  Blindleistung;  $n_W$  mittlere Wirkleistung;  $n_B$  mittlere Blindleistung;  
 $T$  Betriebsdauer;  $T_B$  totale Betriebsdauer im Berichtsjahr (7950 h)

- den, um die wirtschaftlichste Maschine zu erhalten. Die elektrische Maschine wird deshalb verschieden sein, je nachdem — ob es sich um eine Anlage mit Jahresspeicher im Saisonbetrieb oder um eine Anlage mit Tagesspeicher handelt,
- ob die Maschine während der Betriebszeit praktisch dauernd mit Vollast betrieben wird, oder ob sie als Regelsatz für die Frequenzleistungs-Regelung oder sogar zeitweise als drehende Reserve eingesetzt wird,
- ob sie für die Netzspannungsregelung mit zeitweisem, reinem Phasenschieberbetrieb eingesetzt wird oder nicht.

Eine grosse Rolle für die Gesamtauslegung, besonders bei Kraftwerken mit Pumpturbinen mit verschiedenem Drehsinn, spielt auch die Zeit, innerhalb welcher die Umschaltung vom Generatorbetrieb auf Motorbetrieb gefordert wird.

Den verschiedenen Bedingungen kann sich der Konstrukteur weitgehend anpassen. Er muss aber dazu die nötigen Informationen bei der Stellung der Offerte erhalten. Vom wirtschaftlichen Standpunkt aus betrachtet ist für den Kon-

strukteur die wichtigste Angabe die Bewertung der Verluste und Reaktanzen, d. h. derjenige Betrag, den der Kunde für eine Maschine pro eingespartes Verlust-kW oder pro Prozent der Veränderung der Reaktanz zu bezahlen gewillt ist. Bei Werken, die öfters einen Teillastbetrieb haben, sollte die Verlustbewertung aufgetrennt werden in eine Bewertung der Leerlaufverluste und eine Bewertung der Lastverluste.

Die Grundlage zur Festlegung der Verlustbewertung ist die Jahressdauerkurve. Fig. 1 zeigt als Beispiel die Jahressdauerkurve einer Pumpspeichergruppe mit getrennter Turbine und Pumpe, mit einer Leistung von 44 MVA und 250 U./min. Von der totalen Betriebsdauer im Berichtsjahr von 7950 h entfallen 31,21 % auf Turbinenbetrieb, 29,43 % auf Pumpbetrieb und 39,36 % aus Phasenschieberbetrieb. Die in jedem entsprechenden Bereich eingetragenen Kurven zeigen den prozentualen Anteil der Höhe der Belastung, getrennt nach Wirk- und Blindleistung. Die Integration dieser Kurven ergibt eine mittlere Belastung der Maschine im Turbinenbetrieb von 62 %, im Pumpbetrieb von 50 % und im Phasenschieberbetrieb von 33 %. Dieses Diagramm ist somit charakteristisch für einen Einsatz der Maschine im Regelbetrieb. Bei Maschinen, die in einem solchen Einsatz stehen, ist der Teillastwirkungsgrad besonders wichtig. Die Bewertung der Leerlaufverluste wird in diesen Fällen gegenüber der Bewertung der Lastverluste relativ hoch sein.

Im folgenden soll an Hand eines Beispiels gezeigt werden, wie weit der Konstrukteur imstande ist, sich den Gegebenheiten anzupassen. Die Variationsmöglichkeit in diesem Beispiel wird besonders gross sein, da dabei nicht nur die Dimen-

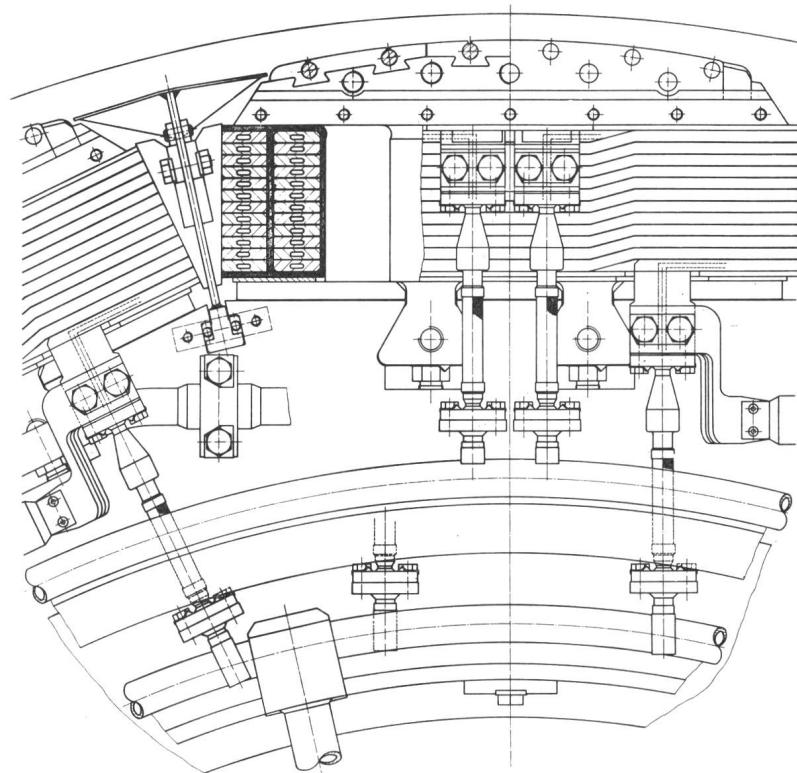


Fig. 2

**Schenkelpole mit wassergekühlter Feldwicklung**

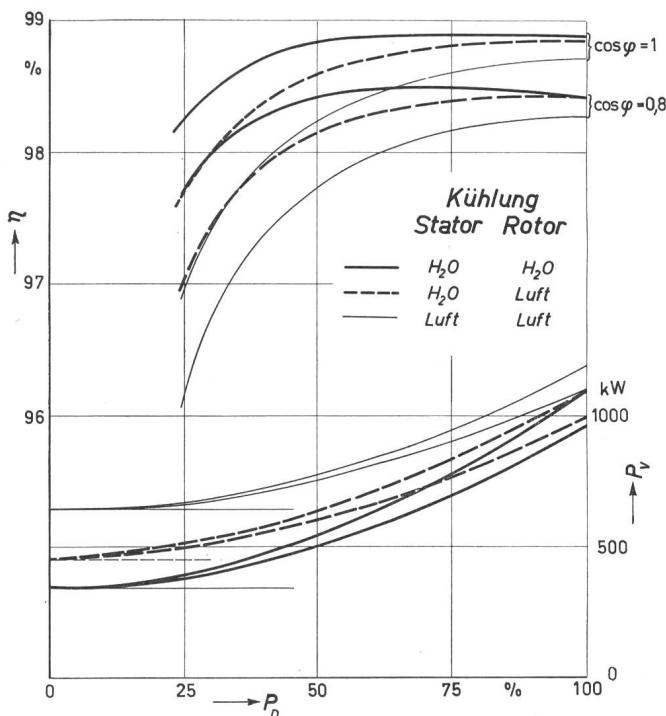


Fig. 3

**Wirkungsgrade  $\eta$  und Verluste der Synchron-Generatoren, 86 MVA, 428,5 U./min, bei verschiedenen Kühlungskonzeptionen**  
P<sub>n</sub> Scheinleistung bezogen auf die Nennleistung; P<sub>v</sub> Verlustleistung

sionierung geändert wird, sondern auch die Grundkonzeption der Maschine.

Als Beispiel sei hier ein Synchron-Generator mit einer Leistung von 86 MVA und 428 U./min, der sich momentan in Bau befindet, erwähnt. Man kann nun für diese Leistungsdaten drei verschiedene Konzeptionen vergleichen:

a) Die Kühlung der Maschine erfolgt konventionell mit Luft. Zwei Ventilatoren fördern die Kühlung von beiden Seiten aus axial durch den Rotor und radial durch die Ventilationsschlitz im Stator.

b) Der Rotor wird weiterhin wie in Variante a) mit Luft gekühlt, der Stator jedoch direkt mit Wasser. Dies bedeutet, dass in den Roebelstäben Hohlleiter eingestreut sind, durch welche das Kühlwasser fließt. Das Statorisen wird durch eingebettete, wasserdruckflossene Rohre gekühlt. Die Pressplattenverluste werden ebenfalls durch einen separaten Wasserkreislauf abgeführt.

c) Nicht nur der gesamte Stator, sondern auch die Rotorwicklung wird direkt mit Wasser gekühlt. Ein stark reduzierter Luftstrom dient zur Abführung der restlichen, mit dem Wasser nicht direkt erfassten Verluste. Es betrifft dies die Luftreibungsverluste, Polschuhoberflächenverluste und Verluste, die durch das Stirnraumfeld entstehen.

Fig. 2 zeigt zur Verdeutlichung einen Schnitt durch das Polrad der vollständig wassergekühlten Maschine, gemäß Konzeption c). Das Rotorkupfer ist hohl und wasserdruckflossen. Die Pollücke ist abgedeckt, um der Luft einen angenähert glatten Zylinder vorzutäuschen und damit die Luftreibungsverluste zu senken.

In Fig. 3 sind der Verlauf des Wirkungsgrades und die Größe der Verluste der verschiedenen Konzeptionen bei  $\cos \varphi = 1$  und 0,8 dargestellt. Beim Vergleich der Verlustkurven ist der grosse Unterschied in den Leerlaufverlusten besonders auffällig. Dieser ist im wesentlichen dadurch bedingt, dass die Luft zwar ein sehr billiges, aber auch ein schlechtes Kühlmedium ist. Seine Wärmekapazität ist klein und die benötigte Förderleistung, um bei der gegebenen Erwärmung eine bestimmte Verlustleistung abzuführen, ist gross. Die benötigte Förderleistung, um das Kühlwasser für die direkte Kühlung durch die Maschine zu schicken, beträgt nur einige Prozente von derjenigen, die man für die Förderung der Luft aufwenden muss. Durch die vorher schon erwähnte Abdeckung der Pollücken werden auch die Luftreibungsverluste stark vermindert. Die Dimensionierung der Varianten b) und c) wurde so gewählt, dass sich deren Wirkungsgrade im Vollastpunkt demjenigen der vollständig luftgekühlten Variante a) nähern. Im Vollastpunkt ist somit der Anteil an lastabhängigen Verlusten bei den Varianten b) und c) grösser. Die Wirkungsgradkurve durchläuft daher ein Maximum, das für die vollständig wassergekühlte Maschine mit  $\cos \varphi = 0,8$  bei etwa 65 % der Nennleistung liegt. Der Wirkungsgrad erreicht hohe Werte, z. B. bei  $\cos \varphi = 1$  beträgt er 98,9 %. Der Wirkungsgrad der nur im Stator flüssigkeitsgekühlten Maschine nach Variante b) verläuft zwischen denjenigen der beiden anderen Maschinen, da die Kühlluft für den Rotor umgewälzt werden muss.

Für die Dimensionierung der total wassergekühlten Maschine spielt die Erwärmung und damit die Grenztemperatur praktisch keine Rolle mehr, da die Temperaturen der aktiven Teile weit unter den zulässigen Grenzen liegen. Man ist daher bei dieser Variante weitgehend frei, den Wirkungsgradverlauf den Betriebsbedingungen anzupassen. Wie diese Maschine dimensioniert werden soll ist daher nur eine Frage der Verlustbewertung des geforderten Schwungmomentes und der Reaktanzen.

#### Adresse des Autors:

R. Noser, dipl. Ingenieur ETH, AG Brown, Boveri & Cie, 5400 Baden.

## Diskussionsbeiträge

### zu den an der Diskussionsversammlung des SEV vom 11. November 1964 gehaltenen Vorträgen

**H. Billeter**, dipl. Ingenieur, Elektro-Watt AG, Zürich: Wie aus dem Referat von Dr. R. Galli<sup>1)</sup> hervorgeht, kommt den Anlagekosten von Pumpspeicherwerken im Hinblick auf einen möglichst günstigen Spitzenergiepreis entscheidende Bedeutung zu. Der Zweck dieses kurzen Beitrages ist, die für die Anlagekosten von Pumpspeicheranlagen massgebenden Faktoren und deren relative Wichtigkeit zu beleuchten.

Neben den topographischen und geologischen Verhältnissen sind das Bruttogefälle, die Länge der Verbindungsleitungen zwischen Ober- und Unterwasser und die Art der Maschinengruppen für die Anlagekosten bestimmend. Die beiden letzten Faktoren sind dabei direkt auch von der Fallhöhe abhängig.

In Tabelle I, die für schweizerische Verhältnisse und Anlagen

<sup>1)</sup> Siehe Bull. SEV 56(1965)3, S. 91...101.

#### Spezifische Anlagekosten von Pumpspeicherwerken

Tabelle I

Brutto-gefälle m	Spezifische Anlagekosten ((Preisbasis 1964) in Fr./kW installierte Turbinenleistung bei einer Druckleitungslänge von				
	0,25 km	0,5 km	1,0 km	2,0 km	4,0 km
250	650...900	700...900	700...950	750...1050	900...1200
500	—	500...650	500...700	550...750	650...900
750	—	—	600...800	650...850	750...1000
1000	—	—	600...800	600...850	700...950