Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 87 (1969)
Heft: 24

Artikel: Die Einsatzbereitschaft von Pumpspeichersätzen
Autor: Gössler, Dieter
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-70716

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: 10.12.2025

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

Schliesslich mögen auch noch einige Kostenangaben interessieren:

Felsversuche:	Versuchsapparatur . . .	Fr.	50 000.—
	Versuchsdurchführung . .	Fr.	390 000.—
Modellversuche	. . . . .	Fr.	210 000.—
Total	. . . . .	Fr.	650 000.—

Abgesehen von gewissen Spezialfällen sind solche Beträge natürlich nur bei so grossen Bauvorhaben, wie dem vorliegenden, tragbar. Um so mehr möge zum Schluss auf die Notwendigkeit hingewiesen werden, dass bei solchen Grossuntersuchungen die auch bei kleineren Objekten durchführbaren einfacheren Untersuchungen, wie Bohrkernprüfungen, Seismik usw., ebenfalls vorgenommen werden. Nur so kann man hoffen, dereinst über genügend Vergleichsmaterial zu verfügen, um auch die genannten landläufigeren Objekte gleich gut und zuverlässig behandeln zu können.

Adressen der Verfasser: *Niklaus Schnitter,* dipl. Ing. ETH, Motor-Columbus AG, 5401 Baden; Dr. *T. Schneider,* 8002 Zürich, Am Schanzengraben 27.

Die Einsatzbereitschaft von Pumpspeichersätzen

DK 621.221.4

Von Dipl.-Ing. **Dieter Gössler,** Heidenheim

ZUSAMMENFASSUNG

Es werden die verschiedenen Anfahr- und Abstellmethoden vorhandener Pumpspeichersätze im Hinblick auf die benötigten Schaltzeiten beschrieben. Anschliessend wird ein Überblick über die technischen Massnahmen gegeben, mit denen kürzeste Umstellzeiten dieser Maschinen zwischen Energiespeicherung und Energieerzeugung erzielt werden können.

1. Rückblick und Stand der Technik

Der wirtschaftliche Wert energieerzeugender Maschinen hängt ausser von vielen anderen Faktoren auch von der Einsatzbereitschaft der Maschinen selbst ab. Hier haben die Wasserkraftmaschinen gegenüber thermischen Anlagen von Haus aus den physikalischen Vorteil der kürzeren Vorbereitungszeit vom Stillstand bis zur Energieerzeugung, und umgekehrt auch die geringsten Energieverluste beim Ausserbetriebnehmen. Dies ist auch der Grund dafür, dass heute in grossen Verbundnetzen, in welchen die Grundlast von thermischen, mit optimalem Wirkungsgrad betriebenen Maschinen erzeugt wird, die Wasserkraftmaschinen und insbesondere Pumpspeichersätze nicht mehr hinwegzudenken sind; mit ihnen kann eine plötzlich auftretende Lastspitze schnell gedeckt und Überschussenergie ohne grossen Zeitverlust gespeichert werden.

Bei den ersten, vor annähernd 40 Jahren gebauten, grossen, vollautomatisch gesteuerten Pumpspeichersätzen mit Leistungen über 30 MW benötigt man für den Übergang von einem auf den anderen der vier Betriebszustände (Stillstand–Generatorbetrieb–Phasenschieberbetrieb–Pumpbetrieb) mehrere Minuten, wobei Zeiten zur Herstellung der Betriebsbereitschaft der Hilfsmaschinen noch nicht eingeschlossen sind. Heute liegt bei neugebauten Maschinen und deren Steuerung die Anfahrzeit vom Stillstand bis zur Vollastleistungsabgabe bei Einheiten von 100 MW wesentlich unter 1 min. Wenn der Generator als Phasenschieber am Netz läuft, verkürzen sich diese Zeiten von Last Null bis zur vollen Stromabgabe auf weniger als 30 s; und für das Anfahren einer ähnlich grossen Speicherpumpe bis zur vollen Förderung werden weniger als 20 s benötigt.

Diese Entwicklung ist damit für gewisse Maschinenanordnungen in bezug auf die Einsatzbereitschaft so gut wie abgeschlossen, denn die theoretisch kürzestmöglichen Umschaltzeiten sind dort nur noch abhängig von den kürzesten Öffnungs- und Schliesszeiten der Hauptabsperrorgane in den wasserführenden Leitungen oder Stollen, die aus Gründen der dort maximal zulässigen Drucksteigerungen und Druckabsenkungen eingestellt werden dürfen.

2. Wo entstehen Verlustzeiten in den Schaltvorgängen, und wie lassen sie sich vermeiden?

Im nachfolgenden werden die Totzeiten, also die Verlustzeiten, bei diesen Umschaltvorgängen beschrieben, die je nach Bauart der Maschinen und deren Steuerungssystemen unvermeidlich sind, wobei in jedem Fall eine vollautomatische Steuerung und Selbstüberwachung des gesamten Maschinensatzes Voraussetzung ist.

Die Verlustzeiten entstehen:

a) Durch das Steuersystem selbst und die Fortleitung der elektrisch-hydraulischen Steuerbefehle,

b) beim Anfahren des Motorgenerators mit der Hauptturbine bis zum Parallelschalten mit dem Netz,

c) beim Anfahren der Pumpe,

d) beim Leerblasen der Turbine und der Pumpe,

e) beim Füllen und Entlüften der Turbine und der Pumpe,

f) beim Anfahren der Turbine und Kuppeln mit dem am Netz laufenden Generator.

Zu a)

Bei einem Umschaltvorgang müssen eine Vielzahl von Steuervorgängen – eingeleitet durch elektrische Impulse – in voneinander streng abhängiger Reihenfolge ablaufen. Es müssen Motoren der Hilfspumpen anlaufen, die verschiedensten Ventile und Düsen geöffnet und geschlossen werden, und Druckölservomotoren mit über 200 000 mkp Arbeitsvermögen die Hauptabsperrorgane und Regelorgane der Hauptwasserführung betätigen. Würde man diese Steuermanöver mittels elektrischer Stellmotore ausführen, dann würden völlig indiskutable Verlustzeiten entstehen, die ein Vielfaches der eingangs geschilderten theoretischen Minimalzeiten betrügen.

Mit hubmagnet- oder druckluftbetätigten Hydraulikvorsteuerventilen werden Relaisventile gesteuert, durch die dann über Hauptsteuerventile mit grossen Leitungsquerschnitten die Druckölservo-

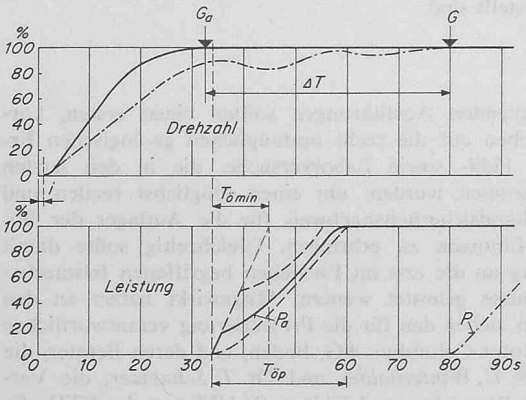


Bild 1 (links). Vorgänge beim Anfahren eines Generators durch die Hauptturbine

—·—·—	Turbinendrehzahl ohne Anfahrstatik
———	Turbinendrehzahl mit Anfahrstatik
i	Impulszeit
$T_{ö\,min}$	kürzeste Öffnungszeit der Lastverstellung
$T_{ö\,p}$	Öffnungszeit der Lastverstellung
P / P_a	Turbinenleistung ohne / mit Anfahrstatik
G / G_a	Generator ans Netz geschaltet (ohne / mit Anfahrstatik)
ΔT	Zeitgewinn durch Anfahrstatik

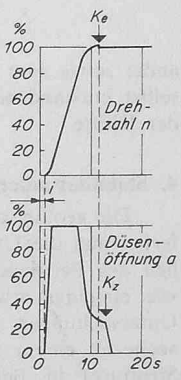


Bild 2 (rechts). Vorgänge beim Hochfahren einer Pumpe in Luft mittels Anwurfturbine

i	Impulszeit
n	Pumpendrehzahl
a	Öffnung der Anwurfturbinendüse
K_e / K_z	Beginn / Ende des Einrückens der Kupplung

Die gestrichelten Linien schliessen das Feld ein, in welchem die Turbinenleistung P_a je nach Einstellung der Anfahrstatik ansteigen kann; die ausgezogene Linie entspricht einer mittleren Einstellung

motoren aus dem Energiespeicher gespeist werden. Als Energiespeicher haben sich die üblichen Windkessel bewährt, deren Betriebsdrücke gegenüber früher erheblich gesteigert wurden, womit kleine Abmessungen erzielt werden konnten.

Durch optimale Anordnung der Verstärkerventile und bei richtiger, das heisst selbstentlüftender Verlegung der Steuerleitungen ist es möglich, die elektrischen Impulse, welche auf die zentral zusammengefassten Vorsteuerventile wirken, in Bruchteilen von Sekunden auf die Hauptsteuerorgane weiterzuleiten. Für die kontinuierlich arbeitenden Hilfsmaschinen, wie Lageröl- und Kühlwasserpumpen, werden deren Motoren ohne Zeitverlust direkt eingeschaltet. Die Energiespeicher werden durch eine eigene Automatik, die auch im Stillstand des Maschinensatzes in Tätigkeit bleibt, in dauernder Betriebsbereitschaft gehalten. Die Betriebsbereitschaft wird daher praktisch ohne Zeitverlust hergestellt. Ein wesentlicher Zeitgewinn bei dem Anfahr- und Abstellmanöver kann mit Hilfe der Steuerung dadurch erzielt werden, dass die elektrische Rückmeldung eines Steuervorganges, welcher die Vorbedingung für den nächsten Steuervorgang ist, nicht von der Meldung des Endzustandes abhängig gemacht wird, sondern schon dann gemeldet wird, wenn dieser Vorgang angelaufen ist, also die Gewissheit besteht, dass über die verschiedenen Verstärker der Befehl bis zum letzten Verstellglied durchgegangen ist. Schliesslich sind zur Zeiteinsparung nur die für die Sicherheit der Gesamtanlage «lebenswichtigen» Vorgänge hydraulisch miteinander zu verriegeln, denn diese Verriegelungen sind mit einem nicht zu vermeidenden Zeitverlust verbunden. Für alle anderen Steuervorgänge genügt die ohne Zeitverlust wirkende elektrische Verriegelung, wenn bei deren Versagen, zum Beispiel durch mangelhafte Kontaktgabe, keine grösseren Schäden an der Maschine oder der Gesamtanlage entstehen können, sondern nur zum Beispiel eine Unterbrechung des Anfahr-, Umstell- oder Abstellvorganges des Maschinensatzes die Folge wäre.

Zu b)

Die wesentlichste Verkürzung der Anfahrzeit des Motorgenerators beim Anfahren mit der Turbine wurde durch die Vervollkommnung des Drehzahlreglers der Turbine erzielt, der unter anderem mit einer besondern Anfahrstatik ausgerüstet wurde. Mit dieser wird die Turbine rasch auf eine optimale Anfahröffnung gesteuert, wodurch der Hochlauf der Maschine, soweit es das hydraulische Verhalten der Turbine zulässt, sehr weitgehend verkürzt und ausserdem das asymptotische Einsteuern in den Synchronismus ohne Überschwingen der Maschinendrehzahl ermöglicht wird. Die Anfahrstatik ermöglicht es ausserdem, dass man nach dem Parallelschalten und Ausschalten dieser Einrichtung die Maschine ohne weiteren Steuerungseingriff, also ohne Zeitverlust, auf eine vorher einstellbare Last laufen lässt und damit zunächst das Netz stützt. Vom Lastverteiler wird dann von dieser Teillast ausgehend die Maschine auf die gewünschte Leistung gesteuert. Bild 1 zeigt den Anlauf eines Generators mit und ohne Anfahrstatik des Turbinenreglers.

Zu c)

Es gibt drei Möglichkeiten des Anfahrens einer Speicherpumpe:

1. Wassergefüllt – mit Hilfe der Hauptturbine, wobei vorher der Maschinensatz stillgesetzt werden muss, damit die Pumpe mit dem Generator gekuppelt werden kann.
2. In Luft laufend – mit Hilfe einer kleinen Anwurfturbine wird der Läufer der Pumpe auf Synchrondrehzahl des am Netz laufenden Generators hochgefahren und dann mit diesem mittels einer Schaltzahnkupplung starr verbunden. Nach dem Entlüften bzw. Füllen der Pumpe setzt dann deren Förderung ein. Hierbei wurden mit besonderen Anwurfturbinenreglern Anfahrzeiten bis zum vollzogenen Kupplungsvorgang von weniger als 15 s erreicht, jedoch geht beim anschliessenden Füllen bzw. Entlüften viel Zeit verloren. Bild 2 zeigt den Anfahrvorgang eines in Luft laufenden Pumpenläufers mit einer Freistrahlanwurfturbine, gesteuert von einem Anwurfturbinenregler.
3. Wassergefüllt – mit Hilfe eines Synchronisierwandlers, der seine Antriebsleistung über den Motorgenerator aus dem Netz erhält. Durch entsprechende Bemessung der Fülleitung können beliebig kurze Anfahrzeiten erreicht werden. Bemerkenswert ist die Selbstregelung in den Synchronismus, die allerdings nicht mit Füllungsregelung, sondern nur mit Leitschaufeljustierung und einem Mindestüberlagerungsdruck im Drehmomentwandler möglich ist. Ein solcher hydraulischer Drehmomentwandler ermöglicht es, die Zahnkupplung, welche bei Synchronismus die Pumpenwelle starr mit dem Motorgenerator verbindet, in weniger als 10 s nach Anfahrbeginn einzurücken. Bild 3 zeigt den Drehzahlverlauf, die Motor-Abgabeleistung und Pumpenförderung sowohl beim Anfahr- als auch beim Abstellvorgang. Bei letzterem wird der Sychronisierwandler zunächst gefüllt, damit bei geschlossenem OW-Hauptabsperrorgan der Pumpe die Zahnkupplung vom Flankendruck entlastet ausgerückt werden kann. Anschliessend wird der Wandler sofort wieder entleert, damit die Pumpe rasch zum Stillstand kommt, währenddessen der Motor unbelastet am Netz weiterläuft. Die Pumpe bleibt dabei immer wassergefüllt.

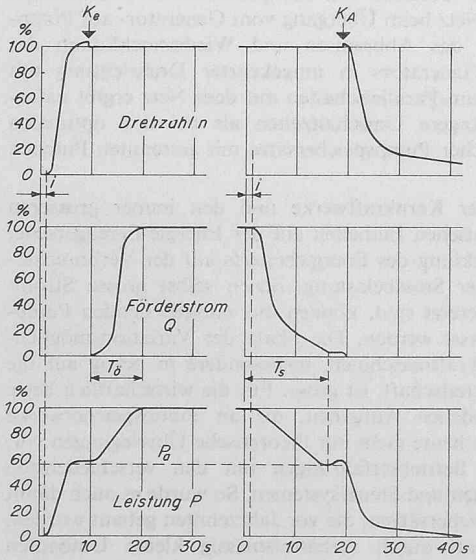


Bild 3. Vorgänge beim Anfahren und Abstellen einer Pumpe mittels Synchronwandlers

i	Impulszeit	T_s	Schliesszeit des oberwasserseitigen Hauptabsperrorgans
n	Pumpendrehzahl		
K_e	Kupplung rückt ein		
K_a	Kupplung rückt aus	P_a	Leistungsbedarf bei $Q = o$
Q	Förderstrom der Pumpe	P	Leistungsbedarf der Pumpe
$T_ö$	Öffnungszeit		

Bild 4 (rechts). Vorgänge beim Entleeren einer laufenden Pumpe

P_a	Leistungsbedarf bei $Q = o$
P	Leistungsbedarf der Pumpe
p_a	Druck in der Pumpenspirale bei $Q = o$
p_r	Druck in der Rohrbahn
p_h / p_v	Druckverlauf in der Pumpenspirale bei horizontaler / vertikaler Welle
K_A	Kupplung rückt aus

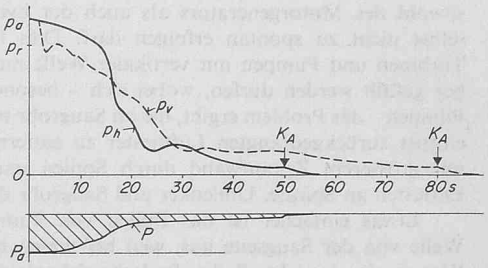
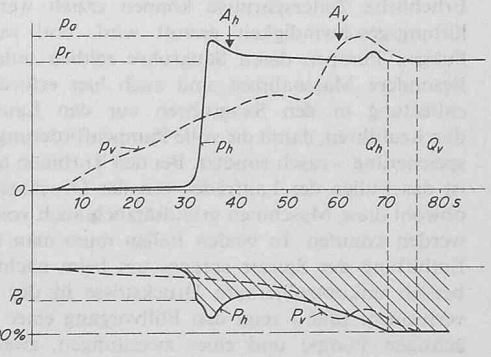


Bild 5 (rechts). Vorgänge beim Füllen einer laufenden Pumpe

P_a	Leistungsbedarf bei $Q = o$
P_h / P_v	Leistungsbedarf einer Pumpe mit horizontaler / vertikaler Welle
p_a	Druck in der Pumpenspirale bei $Q = o$
p_r	Druck in der Rohrbahn
p_h / p_v	Druckverlauf in der Pumpenspirale bei horizontaler / vertikaler Welle



Q_n / Q_v volle Förderung erreicht bei einer Pumpe mit horizontaler / vertikaler Welle

A_n / A_v Öffnungsbeginn des Hauptabsperrorgans bei einer Pumpe mit horizontaler / vertikaler Lage

Zu d)

Turbinenlaufräder, die starr mit dem Generator gekuppelt bleiben, lässt man in Luft laufen, wenn sie im Phasenschieber- oder Pumpbetrieb mit möglichst geringen Verlusten leer mitlaufen müssen. Bei Freistrahlturbinen ist diese Betriebsart bereits nach Schliessen der Düsen gegeben. Francisturbinen werden entweder nach Schliessen der oberwasser- und unterwasserseitigen Absperrorgane entleert, oder aber es wird nach dem Schliessen des oberwasserseitigen Haupt-Absperrorgans in der Druckleitung der Wasserspiegel in der Turbine mit Pressluft bis unterhalb des rotierenden Laufrades heruntergedrückt. Dieselbe Methode wird angewandt, um Pumpen, die ja während des Generator- und Phasenschieberbetriebes bei geschlossenem OW-Hauptabsperrorgan abgekuppelt stehen, mit einer kleinen Anwurfturbine wieder anfahren zu können, oder um nach dem Pumpbetrieb die Zahnkupplung bei laufender Maschine entlastet ausrücken zu können.

Während das Leerblasen der Laufräder bei Stillstand der Maschinen sehr einfach ist, kann – abgesehen von unnötigem Pressluftverbrauch – wertvolle Zeit verlorengehen, wenn bei laufender Maschine die Strömungsverhältnisse in den im Wasser watenden Laufrädern und in den Saugrohren nicht genügend berücksichtigt werden. Die optimalen Leerblasemethoden sind nicht nur bei Pumpen mit feststehenden Leiträdern und Turbinen mit beweglichen Leitschaufeln verschieden, sondern unterscheiden sich auch bei vertikalen und horizontalen Maschinen, bei einflutigen oder mehrflutigen, einstufigen oder mehrstufigen Maschinen und bei den verschiedenen, von der spezifischen Drehzahl abhängigen Laufradformen. Für einen möglichst kurzen Leerblasevorgang sind nicht nur die Bemessung der Lufteinblaseeinrichtungen, die Rohrführung der Druckluft in das Innere der Maschine, die Ausbildung der schwimmergesteuerten Luftventile, sondern auch die Bemessung der Entleerventile im schaufellosen Raum oder in den Umlenkern oder Spiralen von Einfluss. Schliesslich wird die Leerblasezeit beeinflusst von der Abstimmung der zeitlichen Folge für das Öffnen der Drosseln dieser Ventile. Bild 4 zeigt beispielsweise den Druckverlauf beim Leerblasen einer einflutigen zweistufigen Pumpe mit vertikaler Welle und einer zweiflutigen zweistufigen Pumpe mit horizontaler Welle. In jedem Fall hat das Leerblasen einen Zeitverlust zur Folge und bedingt einen Zusatzaufwand an Steuerung und Einrichtungen zur Sicherstellung und Überwachung der Spaltkühlung der Laufräder und Druckluftbereitstellung.

Zu e)

Analog zum Entleervorgang verläuft der Füllvorgang der Gehäuse und Laufräder, der einerseits so kurz wie möglich sein soll und anderseits aber wegen der damit verbundenen Belastungszunahme sowohl des Motorgenerators als auch der hydraulischen Maschine selbst nicht zu spontan erfolgen darf. Dies führt dazu, dass alle Turbinen und Pumpen mit vertikaler Welle nur von der Druckseite her gefüllt werden dürfen, wobei sich – besonders bei mehrstufigen Pumpen – das Problem ergibt, die im Saugrohr bzw. vor dem Laufradeintritt zurückgedrängten Luftnester zu entfernen, welches sich nur mit grösserem Zeitaufwand durch Spülen und zeitlich abgestuftes Entlüften an Spirale, Umlenker und Saugrohr durchführen lässt.

Etwas einfacher ist das Füllen von Pumpen mit horizontaler Welle von der Saugseite aus, weil bei diesen beim Hochsteigen des Wasserspiegels nicht alle Laufradschaufeln gleichzeitig Wasser fassen. Erhebliche Zeitersparnisse können erzielt werden, wenn die Entlüftungsgeschwindigkeit gestuft wird, und wenn man bei mehrflutigen Pumpen deren Saugrohre zeitlich unterschiedlich entlüftet. Besondere Massnahmen sind auch hier erforderlich, um die Restentlüftung in den Saugrohren vor den Laufrädern wirkungsvoll durchzuführen, damit die volle Pumpenförderung – und damit Energiespeicherung – rasch einsetzt. Bei den Turbinen mit horizontaler Welle ist das Füllen der Laufräder von der Druckseite her zeiteinsparend, obwohl diese Maschinen grundsätzlich auch von der Saugseite gefüllt werden könnten. In beiden Fällen muss man für eine ausreichende Entlüftung der Spirale sorgen, um beim nachfolgenden Generatorbetrieb unkontrollierbare Druckstösse in der Druckrohrleitung zu vermeiden. Bild 5 zeigt den Füllvorgang einer zweistufigen vertikalachsigen Pumpe und einer zweistufigen, zweiflutigen horizontalen Pumpe.

Zu f)

Um für den Übergang aus dem und in den Generatorbetrieb keine Totzeiten für das Leerblasen und Füllen von Turbinen zu erhalten, ausserdem aber um die Leerlaufverluste von Turbinenläufern gänzlich zu vermeiden, wenn der Motorgenerator im Phasenschieber- oder Pumpbetrieb läuft, ordnet man zwischen Generator und Turbine eine während des Laufs ein- und ausschaltbare Kupplung an; die Turbine kann dann immer wassergefüllt bleiben. Beim Übergang des Maschinensatzes aus dem Phasenschieber- oder Pumpbetrieb muss das Turbinenlaufrad mit seiner Welle in möglichst kurzer Zeit auf den Synchronismus hochgefahren werden, damit es mit dem am Netz laufenden Generator starr gekuppelt werden kann.

Der Anfahrvorgang an der Turbine ist dabei grundsätzlich derselbe wie beim Anfahren eines Generators, um ihn ans Netz zu schalten. Jedoch sind die dynamischen Verhältnisse und damit das Regulierproblem wegen des Fehlens von Schwungmasse auf der Turbinenwelle völlig anders. Man kann, wenn man diesem Problem aus dem Weg gehen will, die Kupplung als Überholkupplung ausbilden. Dabei sind dann aber verschiedene Zusatzeinrichtungen und ein besonderer Steuermechanismus notwendig, um diese Kupplung eingerückt zu blockieren, wenn die Turbine nach einer Lastabschaltung den Generator von seiner vorübergehenden Überdrehzahl abbremsen muss.

Die wesentlich einfachere Methode besteht darin, dass man für das Einsteuern der Turbine in den Synchronismus zum Kuppeln nur eine der Leitschaufeln mit einem Anfahrregler steuert, während die übrigen Leitschaufeln normalerweise geschlossen bleiben, wobei es sich regeltechnisch günstig auswirkt, dass dann die höchstmögliche Leerlaufdrehzahl der Turbine nur wenig über der Nenndrehzahl liegt. Da die Schwungmasse des Turbinenlaufrades mit Welle in der Grössenordnung von nur 2 bis 3% der Schwungmasse des Generators liegt, ausserdem mit einer Leitschaufel nur weniger als 10% des maximalen Wasserstroms geregelt werden können, lassen sich die Schliess- und Öffnungszeiten dieses Regelorgans so abkürzen, dass ein asymptotisches Einsteuern in den Synchronismus und damit das Kuppeln der Turbine mit dem Generator in weniger als 10 s keine Schwierigkeiten bereitet. Es ergibt sich ein Anfahrvorgang, ähnlich wie er in Bild 2 dargestellt ist. Anschliessend können ohne Zeitverlust auch die anderen Leitschaufeln geöffnet, das heisst die Turbine belastet werden.

Das Entkuppeln vollzieht sich ohne jeden Zeitverlust, wenn alle Leitschaufeln bis auf Leerlauföffnung geschlossen sind, wobei dann die entlastete Zahnkupplung ausgerückt werden kann. Nach dem Schliessen des oberwasserseitigen Hauptabsperrorgans der Turbine kommt die Turbinenwelle rasch zum Stillstand.

3. Ausblick

Diese Überlegungen und Erfahrungen gelten sinngemäss auch für das Anfahren und Abstellen von Pumpenturbinen. Das Trennen des Generators vom Netz beim Übergang vom Generator- auf Pumpbetrieb und zurück, das Abbremsen und Wiederhochfahren der Schwungmasse des Generators in umgekehrter Drehrichtung mit Synchronisieren bis zum Parallelschalten mit dem Netz ergibt naturgemäss wesentlich längere Umschaltzeiten als bei den optimalen Anordnungen klassischer Pumpspeichersätze mit getrennten Pumpen und Turbinen.

Dem Bau grosser Kernkraftwerke und den immer grösseren Leistungen der thermischen Einheiten auf der Energie-Erzeugerseite, aber auch der Entwicklung des Energiebedarfs auf der Verbraucherseite, insbesondere der Stossbelastung, denen selbst grosse Stromverteilungsnetze ausgesetzt sind, können die «ausgleichenden Pumpspeichersätze» angepasst werden. Die Skala der Variationsmöglichkeiten dieser Wasserkraftmaschinen, insbesondere in bezug auf die notwendige Einsatzbereitschaft, ist gross. Für die wirtschaftlich beste Lösung der verschiedenen Aufgaben, die an Pumpspeicherwerke gestellt werden, liegen heute nicht nur theoretische Überlegungen vor, sondern langjährige Betriebserfahrungen mit den verschiedensten Maschinenanordnungen und Steuersystemen. So wurde es auch damit möglich, an Pumpspeichersätzen, die vor Jahrzehnten gebaut wurden, die Betriebsbereitschaft durch verhältnismässig kleine Umbauten und Ergänzungen wesentlich zu verbessern, das heisst die Totzeiten auf weniger als die Hälfte zu verringern. Ausserdem konnten durch Änderung einiger Teilsteuerungen, welche die zeitliche Überlappung der Vorgänge an der Turbine und an der Pumpe zulässt, ohne die Sicherheit der Anlage anzutasten, die Gesamtumschaltzeiten vom Pumpen- auf Turbinenbetrieb und zurück wesentlich verkürzt werden.

Adresse des Verfassers: Dipl.-Ing. *Dieter Gössler*, Oberingenieur der J. M. Voith GmbH, D-7920 Heidenheim, Postfach 45.