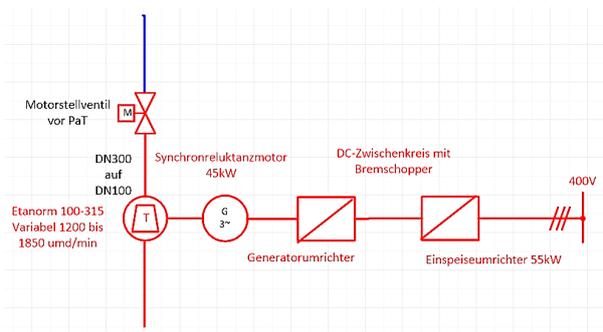
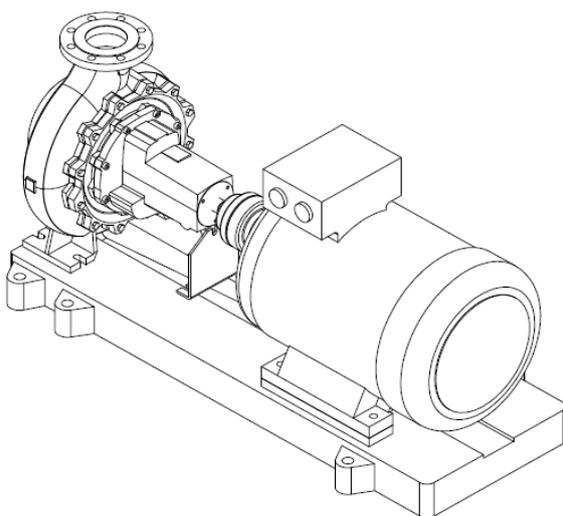


ENERGIEGEGWINNUNG DURCH DRUCKREDUZIERUNG VON TRINKWASSER MIT KREISELPUMPE, IE5- HOCHEFFIZIENZGENERATOR UND 4105-KONFORMER NETZEINSPEISUNG

Anlage:
Trinkwasser-Hochbehälter der Stadt Wernigerode



1. Einleitung

1.1. Vorbemerkungen

Der Wunsch, „normale“ Serien-Kreiselpumpen als Turbinen einzusetzen, taucht mit großer zeitlicher Regelmäßigkeit vor allem als Alternative zu Francis/Kaplan-Turbinen im Zusammenhang mit alternativer Energiegewinnung auf. Die deutlich günstigeren Anschaffungskosten gegenüber „richtigen“ Wasserturbinen legen diesen Gedanken nahe. Pumpen sind deutlich einfacher in Wartung und Handhabung als „echte“ Turbinen.

Es gibt Anwendungen z.B. im Trinkwasserbereich, bei denen bewusst Pumpen als Turbinen eingesetzt werden. Oft ist hierbei die zu erwartende „Ausbeute“ des vorhandenen Trinkwasservolumenstroms relativ gering und zu schwankend, um die Anschaffungskosten einer teuren, „echten“ Wasserturbine zu amortisieren, die darüber hinaus für Trinkwasser zugelassen sein muss. Hier bieten sich rückwärtslaufende Kreiselpumpen an. Diese stehen dank großer Fertigungsstückzahlen kostengünstig zur Verfügung. Einen etwas ungünstigeren Wirkungsgrad nimmt man für den niedrigen Anschaffungspreis in Kauf. Das an der drehenden Welle verfügbare Moment wird durch Kopplung von Kreiselpumpe und Generator zur Netzeinspeisung genutzt. Bei Einsatz einer Invertereinspeisung wird die Drehzahl nicht von der elektrischen Netzfrequenz vorgegeben.

Der wesentlicher Nachteil von Pumpen als Turbinen (PaT) ist – anders als bei Francis- und Kaplan-Wasserturbinen – das Nichtvorhandensein einer regelbaren Leiteinrichtung zur Anpassung an ein schwankendes Wasserangebot. Dieses Problem ist im nachfolgend beschriebenen Beispiel durch einen drehzahlvariablen Betrieb optimiert worden. Die Invertereinspeisung erlaubt einen 4105-konformen Netzbetrieb, aber auch Inselbetrieb. Als Generator wurde ein Synchronreluktanzmotor der Effizienzklasse IE5 eingesetzt.

1.2. Ausgangssituation

Das Trinkwasser-Netz der Stadt Wernigerode (Harz) wird aus verschiedenen Hochbehältern (HB) eingespeist. An einem HB wurde eine Eigenerzeugungsanlage mit Pumpe als Turbine (PaT) errichtet. Die Speisung des HB wird über zwei getrennte Trinkwasser-Versorgungsleitungen realisiert. Das Fassungsvermögen des HB beträgt 50Tm³. Die Schwankungsbreite von Durchflüssen und Drücken sind nachstehend spezifiziert:

Volumenstrom 1:

- Rohrleitung DN300
- min. Druck 6 bar
- max. Druck 13 bar
- min Durchfluss 0 m³/h
- max. Durchfluss 250 m³/h

Volumenstrom 2:

- Rohrleitung DN300
- min. Druck 3 bar
- max. Druck 6,5 bar
- min Durchfluss 0 m³/h
- max. Durchfluss 700 m³/h

Dem HB ist ein Schwallbehälter als Beruhigungsstrecke vorgeschaltet.

Der Schwallbehälter hat zwei Anschlussstutzen.

Auf den Anschluss Nr.1 speisen die Versorgungsleitungen über entsprechende Regelventile mit Motor-Verstellung. Damit steht eine Noteinspeisung für den Fall einer Störung der PaT-Strecke zur Verfügung.

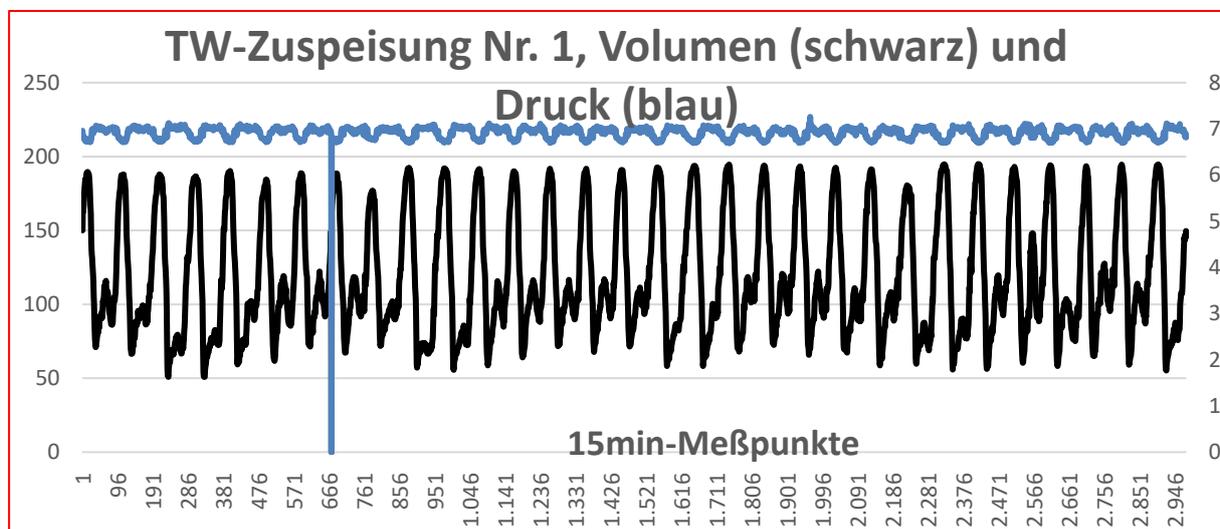
Der Anschluss Nr. 2 wurde zum Einbau einer PaT genutzt.

Geregelt wird auf den Füllstandes des HB (klassische Füllstandsregelung) und nach Erreichen von 95% wird auf eine Abspeiseregulung umgeschaltet.

Diese Ablöse- Regelungsstruktur wurde Mitte 2020 in Betrieb genommen und funktioniert robust.

1.3. Q- und P- Messwertkurven

Die folgenden Bilder 1 und 2 zeigen den Monats-Verlauf des Druckes (blau, Achse 0-8 bar) vor der PaT und den Volumenstrom (Q, schwarz, in m³/h) für die beiden TW-Zuspeisungen, gemessen in 15min- Intervallen für einen Monat. Man erkennt deutlich die tages- und wochenweise Schwankungen im Trinkwasserverbrauch.



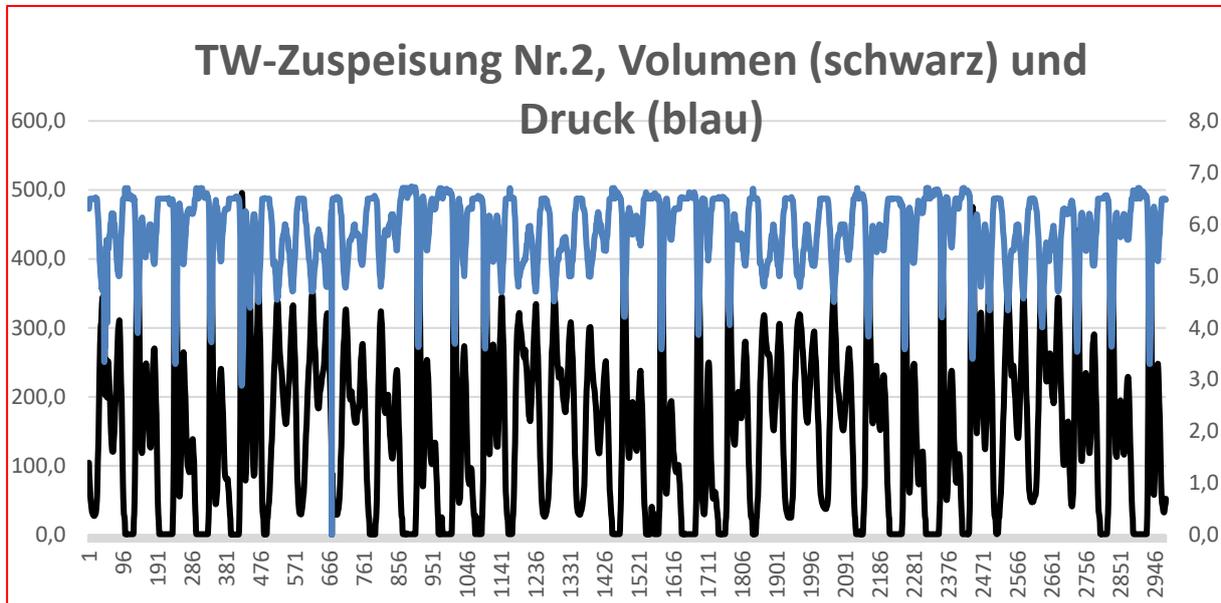
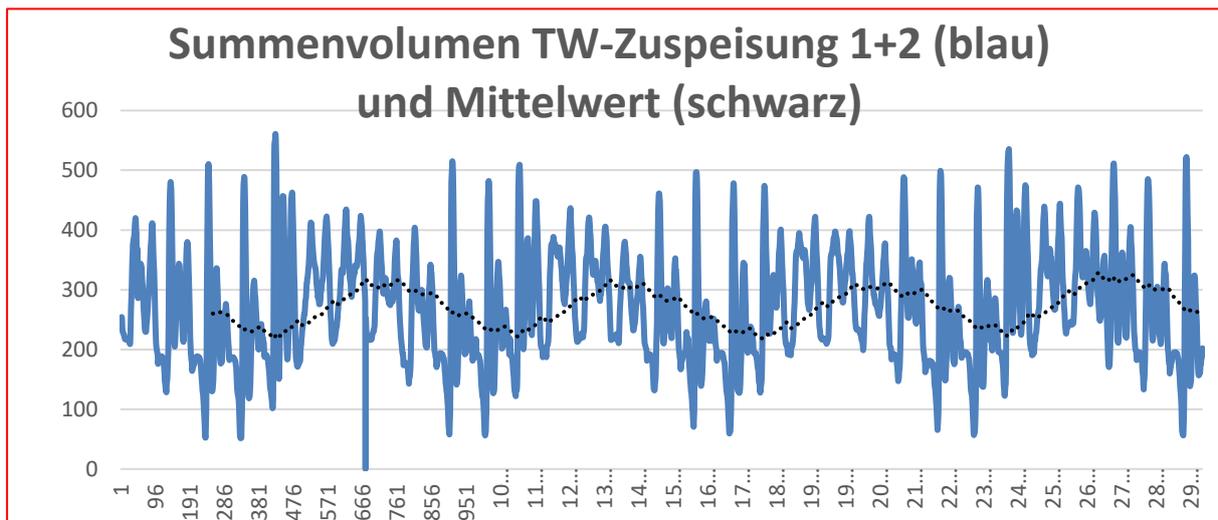


Bild 3 zeigt den Gesamtvolumenstrom (Q, blau) mit einer Mittelwertlinie (schwarz). Im praktischen Betrieb schwankt die Fallhöhe (P) zwischen 1,9 und 5,4 bar - abhängig vom Durchfluss von 550 und 200 m³/h. Das entspricht einer hydraulischen Leistung von 23 kW bei einem Arbeitspunkt von z.B. 3,3 bar und 410 m³/h.



2.0 Technische Basisdaten

Nachfolgend sind die technischen Daten der PaT, des Generators und der Umrichtereinheit zusammengestellt.

- Serien-Kreiselpumpe, Fabrikat: KSB,
Typ: Etanorm ETB 125-100-315 GBXAV11D303704 B
Technische Daten:
Volumenstrom 262,00 m³/h
Fallhöhe 55,00 m
Wirkungsgrad 80,1 %
Wellenleistung 31,46 kW
Bemessungs-Drehzahl 1520 1/min
zulässiger Betriebsdruck 16,00 bar
Max. zul. Drehmoment 256 Nm

- Elektrischer Generator, Fabrikat KSB
45kW- Synchron-Reluktanzmaschine
Ein Reluktanzmotor hat prinzipbedingt einen höheren Wirkungsgrad als ein Asynchronmotor und erfüllt die Effizienz-Anforderungen nach IE5.

- Invertereinspeisung, Fabrikat Siemens
 - Active-Line-Module und active Interface Module
Eingang: 3AC 380-480V, 50/60Hz
Ausgang: DC 600V, 92A, 55kW

 - Voltage SENSING Module VSM10 und Control Unit CU320-2 PN

 - Single Motor-Module
Eingang: DC 600V
Ausgang: 3AC 400V, 200A

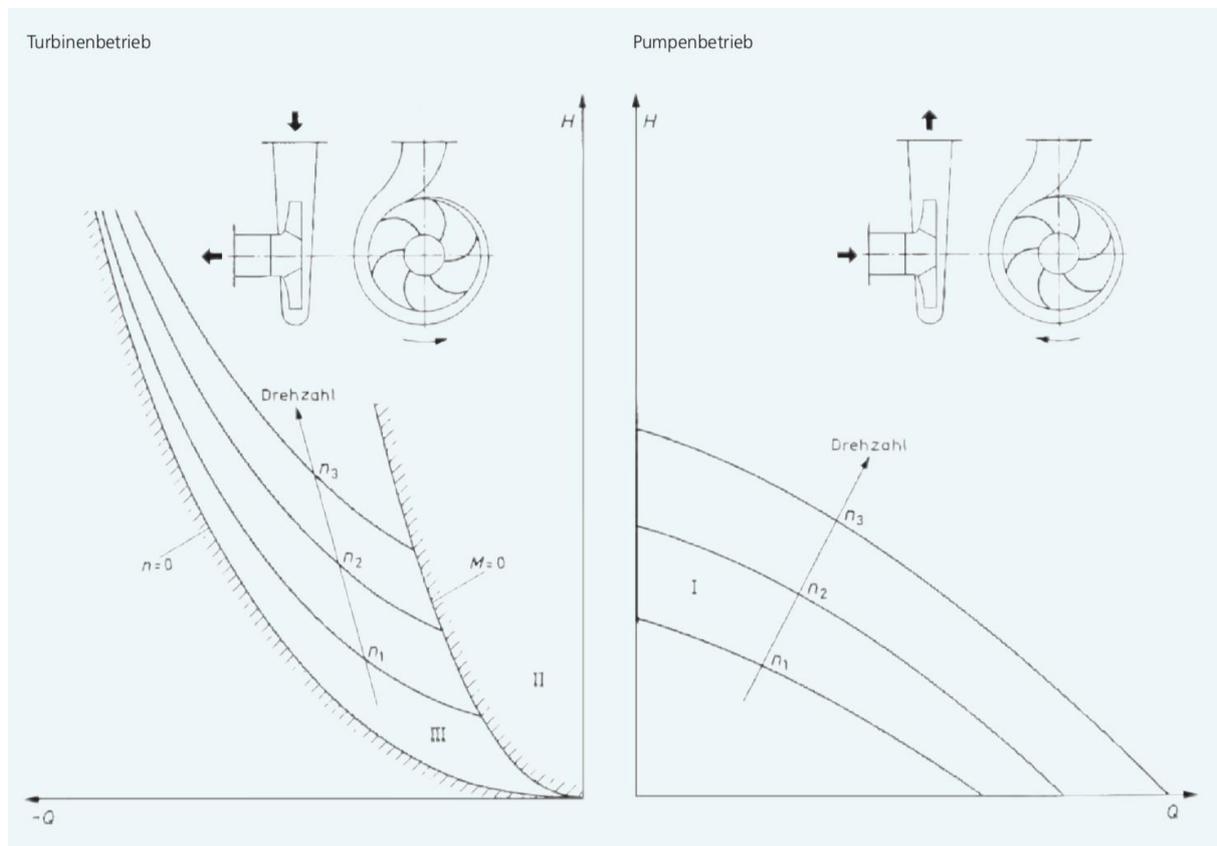
 - Braking Module und Bremswiderstand

3.0 Kreiselpumpe als Turbine (PaT)

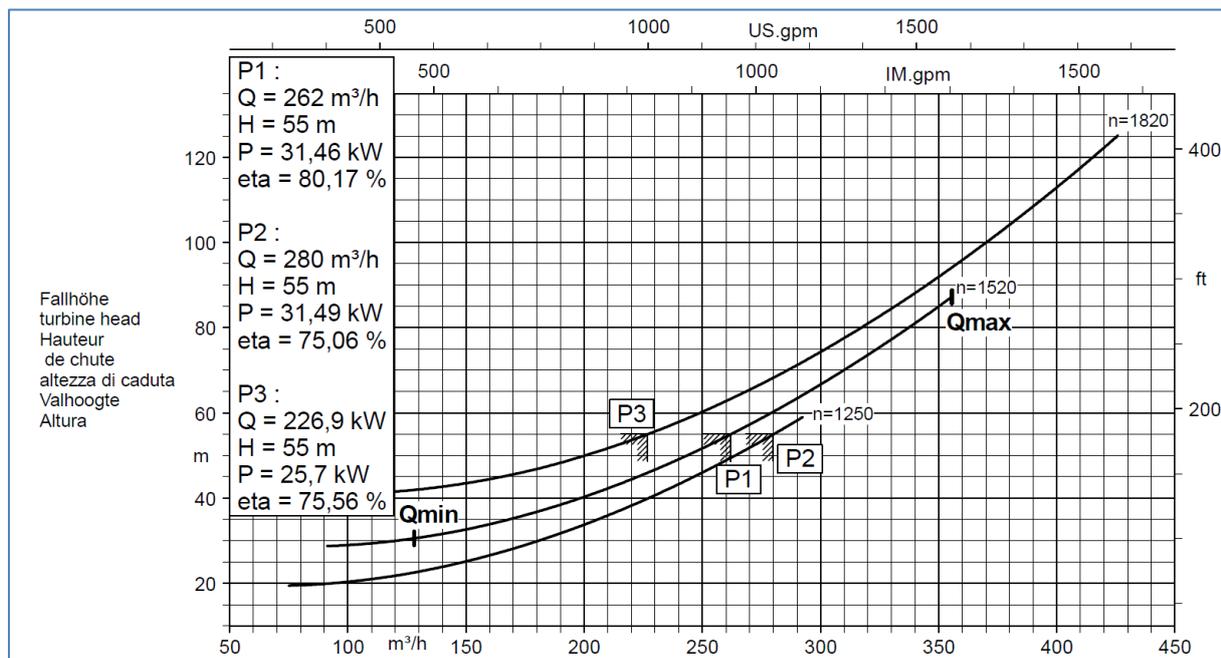
Strömt ein Medium gegen die Pumprichtung vom Druck- zum Saugstutzen, kehrt sich die Drehrichtung des Laufrades um. Ist die am Druckstutzen anliegende Druckenergie (Fallhöhe) groß genug, kann man mit diesem Drehmoment einen Generator antreiben. Die Pumpe gibt an der Welle ein Drehmoment ab. Im „3. Quadranten“ ihres Kennfeldes unterscheidet sich die „Pumpe als Turbine“ (pump as turbine, PaT) dann von der „echten“ Wasserturbine nur noch dadurch, dass sie gewöhnlich nicht ganz die Wirkungsgrade erreicht, die mit klassischen Francis- oder Kaplan-turbinen möglich sind. Zum Vergleich: Kaplan und Francisturbinen haben einen Wirkungsgrad von 84-90%, eine PaT hat 80%. In Bild 2 sind die prinzipiellen Kennlinien für Pumpen- und Turbinenbetrieb gegenübergestellt. Die Kurve „ $M = 0$ “ bezeichnet die Leerlaufkennlinie. Es wird kein Moment an der Welle abgenommen. Die PaT dreht ungebremst frei durch. Mit „ $n = 0$ “ bezeichnet man die Festbremskennlinie. Hier wird die Maschine zwangsdurchströmt, ohne daß sich die Welle dreht. Zwischen diesen beiden Grenzkurven findet der „normale“ Turbinenbetrieb statt.

Bild 4: Kennlinien für Pumpen u. Turbinenbetrieb

Quelle: Technik kompakt Nr. 11, Juli 2005 © KSB Aktiengesellschaft



Das von KSB bereitgestellte PaT-Kennlinienfeld zeigt drei Arbeitspunkte (Bild 5).



- Die Netzspannung beträgt 3x400V/50 Hz, die Reluktanzmaschine wird ohne Impuls-Geber betrieben. KSB lieferte eine einsatzfertige Baueinheit aus PaT und Motor.

Die Bilder 6,7 und 8 zeigen die örtlichen Einbauverhältnisse am Schwallbehälter vor (erstes Bild) und nach dem Umbau. Man erkennt gut die beiden Zuspeisungen.

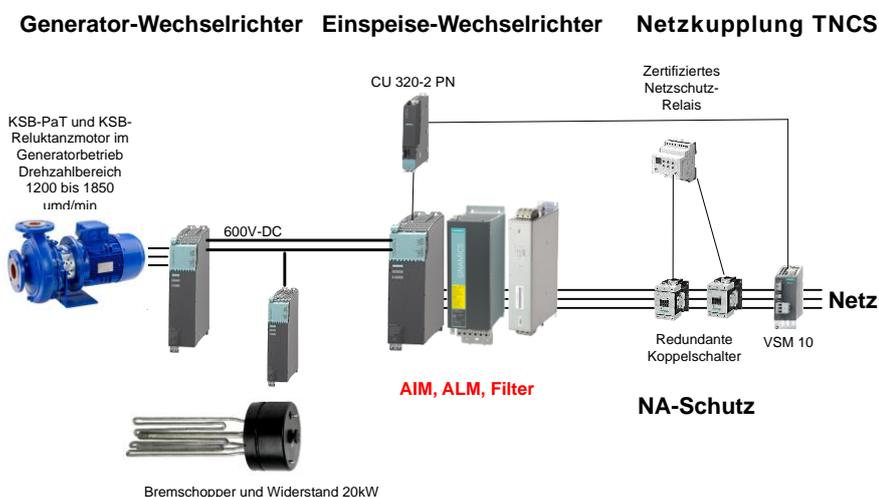


- **Optimaler Arbeitsbereich der PaT**
Der Drehzahl-Arbeitspunkt der PaT wird in Abhängigkeit von der aktuellen Fallhöhe vorgegeben. Die Invertereinspeisung steuert den elektrischen Generator auf die vorgegebene Drehzahl und speist trotz unterschiedlicher Generatordrehzahlen immer mit 50Hz auf das Netz. Die Vorgabe der optimalen PaT- Drehzahl zeigt Bild 9.

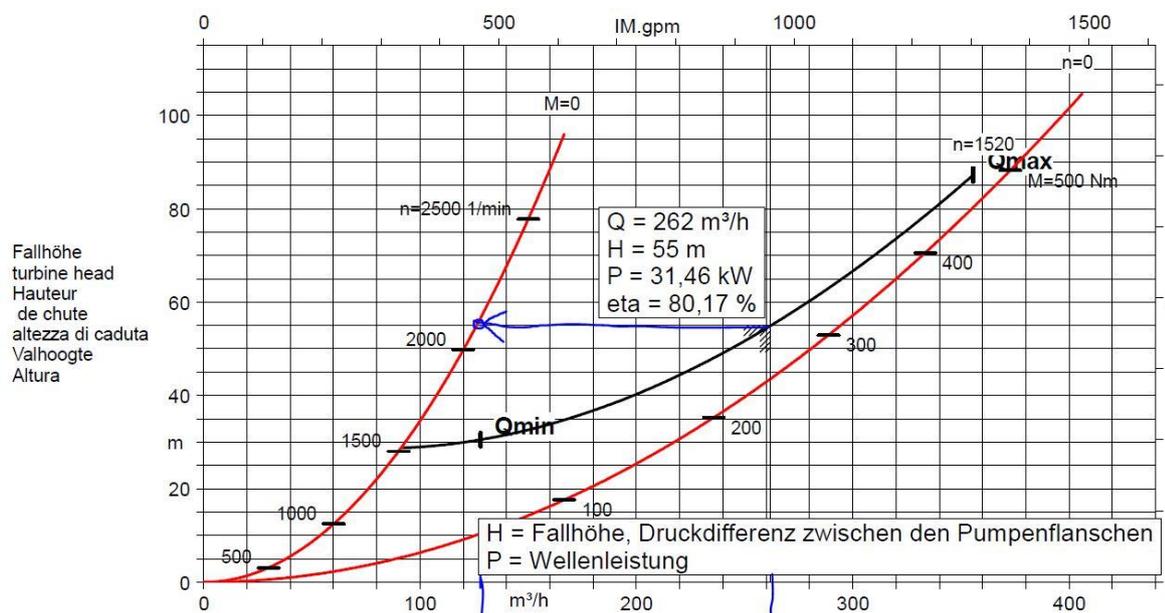


Bild 10 zeigt die Gesamtstruktur der Invertereinspeisung.

Konform zur VDE AR-N 4105: Konzept der kompletten Inverterspeisung



- Fehlerfall: Lastabwurf, z.B. durch Netzausfall
Bei einer plötzlichen Entlastung der PaT sinkt der Durchfluß innerhalb von Sekundenbruchteilen. Bild 11 zeigt, daß die PaT im Fehlerfall auf die Leerlaufkennlinie wechselt und eine schlagartige Verringerung des Volumenstromes um ca. 135m³/h erfolgt. Das entspricht –52% in kürzester Zeit. Die Folge wäre ein Druckschlag.



Zur Beherrschung der Situation wurde ein redundantes System verwirklicht. Bei Netzausfall kann die Energie über Widerstände vernichtet werden, bis das vorgelagerte Motorventil geschlossen ist. Dadurch werden eine plötzliche Drehzahländerung und ein Druckschlag vermieden. Als zweite Maßnahme wurde eine gewichtsbetätigte Schnellschluß-Klappe vor der PaT und eine Schnellöffnungsklappe in den Bypass eingebaut. Das folgende Bild 12 zeigt eine Klappe.



- Der Netz-Schutz wurde konform zu den Einspeisevorschriften (VDE AR- 4105) realisiert
- Es erfolgt eine sichere Kommunikation mit der Fernwirkzentrale der Stadtwerke über Fernwirk-Protokoll IEC 60870-5-104 über eine sichere VPN-Verbindung.

Fazit

- 1) Die Synchron-Reluktanzmaschine ist gehäuseseitig baugleich zu einer Standard-Asynchronmaschine mit Kurzschlussläufer. Das erleichtert den Einsatz. Der Preis für eine Reluktanzmaschine dieser Leistung liegt ca. 9% höher als ein vergleichbarer IE3-Asynchronmotor und 3% niedriger als ein vergleichbarer IE4-Asynchronmotor. Die IBS des Inverters (Sinamics-S120) mit der KSB-Reluktanzmaschine gestaltete sich recht problemlos. Wegen des besseren Wirkungsgrades stellt der Reluktanzmotor in Erzeugeranlagen eine innovative Alternative dar.
- 2) Die in das Netz eingespeiste elektrische Leistung schwankt zwischen 2,5 kW (Bypassbetrieb mit 600 umd/min und 1,9 bar) bis 29,2 kW (Normalbetrieb mit 1500 umd/min und 6 bar).
- 3) Die Erzeuger-Anlage ist seit über zwei Jahren störungsfrei in Betrieb.
- 4) Die Trinkwasserversorgung wurde zu keiner Zeit durch die Errichtung der PaT-Anlage beeinträchtigt.
- 5) Die Steuerung der PaT-Anlage wurde mit einem WAGO-Controller 8216 realisiert. Zur Leitwarte der Stadtwerke besteht eine sichere Datenanbindung über VPN, konform zu 104.

Wir danken KSB in Halle für die Unterstützung bei der Realisierung des Projektes und den Stadtwerken Wernigerode für die freundliche Genehmigung zur Veröffentlichung.

Bildquellen:

Bild 1 bis 12: Dr. Ecklebe Engineering GmbH