

Bernburg
Dessau
Köthen



Hochschule Anhalt
Anhalt University of Applied Sciences



Fachbereich
Elektrotechnik, Maschinenbau
und Wirtschaftsingenieurwesen

Bachelorarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades
Bachelor of Engineering (B. Eng.)

Michael Quaas

Vorname Nachname

Bachelor-Fernstudiengang

Elektrotechnik, 2008, 4049878

Studiengang, Matrikel, Matrikelnummer

Thema:

**Untersuchung des Einsatzes von
elektronischen Leistungsstellern an den
Hauptantrieben des Wirbelschicht-
kessels im IKW Wühlitz unter den
Gesichtspunkten der Steigerung der
Effizienz und dem Erhalt der
Verfügbarkeit.**

Prof. Dr. Schwarz

1. Prüfer/in

Prof. Dr. Merfert

2. Prüfer/in

31.03.2014

Abgabe am

Selbständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich/wir, dass die Arbeit selbständig verfasst, in gleicher oder ähnlicher Fassung noch nicht in einem anderen Studiengang als Prüfungsleistung vorgelegt wurde und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel und Quellen, einschließlich der angegebenen oder beschriebenen Software, verwendet wurden.

Wahlitz, 28.03.2014

Ort, Datum

Unterschrift des Studierenden

Sperrvermerk

Sperrvermerk: ja nein

wenn ja: Der Inhalt der Arbeit darf Dritten ohne Genehmigung der/des
(Bezeichnung des Unternehmens) nicht zugänglich gemacht werden.
Dieser Sperrvermerk gilt für die Dauer von X Jahren.

Wahlitz, 28.03.2014

Ort, Datum

Unterschrift des Studierenden

Angaben zum Unternehmen

Logo des Unternehmens



Name des Unternehmens Mitteldeutsche Braunkohlengesellschaft mbH
(MIBRAG)

Abteilung TVW Kraftwerk Wühlitz

Namen des Betreuers Dipl.-Ing. Günter Zausch

Kontaktdaten

Anschrift des Standortes, an dem die Arbeit verfasst wurde Mitteldeutsche Braunkohlengesellschaft mbH
Kraftwerk Wühlitz
Fabrikstraße 26, 06679 Wühlitz

E-Mail-Adressen des Betreuers Günther.Zausch@mibrag.de

Kurzfassung

Die Bachelorarbeit befasst sich mit der theoretischen Untersuchung, Einsparpotentiale auf dem Gebiet des Elektroenergieverbrauchs am MIBRAG Standort Kraftwerk Wühlitz (Sachsen-Anhalt) aufzudecken. Dabei soll der Schwerpunkt auf der Betrachtung der elektrotechnischen Hauptverbraucher liegen. Aus Gründen der Verbesserung der Energieeffizienz und somit des Erhalts der Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens ist eine Untersuchung über den Einsatz von elektronischen Leistungsstellern an den Hauptantrieben des Wirbelschichtkessels im Industriekraftwerk Wühlitz (IKW) durchzuführen und zu bewerten. Zunächst soll im Kapitel 2 ein Überblick über die Grundlagen der Kraftwerkstechnik vermittelt und nichtelektrische Einsparpotentiale benannt werden. Unter Berücksichtigung der Fahrweise des Kraftwerkes soll die Bachelorarbeit eine Aussage über elektrische Einsparpotentiale enthalten, welche im Kapitel 3 durch Analysieren des elektrischen Eigenverbrauches ermittelt werden. Weiterhin soll eine Auswahl der Antriebe erfolgen, an denen sich der Einsatz von elektronischen Leistungsstellern wirtschaftlich darstellt. Aufbauend auf die gewonnenen Erkenntnisse aus den vorhergehenden Kapiteln zeigt Kapitel 4 Grundlagen zur Betrachtung der vorhandenen Ventilatoren auf. In den Kapiteln 5 und 6 werden die Funktion und das Verhalten eines Frequenzumrichters im Zusammenspiel mit einem Drehstrom – Asynchronmotor erläutert. Eine ausführliche Überarbeitung des Schwerpunktthemas, dem Einsatz von elektronischen Leistungsstellern an einem der Hauptantriebe sowie eine Aufstellung von Anforderungskriterien für elektronische Leistungssteller, unter Berücksichtigung des Erhalts der Verfügbarkeit des Kraftwerkes, erfolgt im Kapitel 7. Am Ende dieser Untersuchung soll ein aussagekräftiges Ergebnis zu dieser Thematik mit dem Ziel entstehen, die erlangten Erkenntnisse für das neu installierte Energiemanagementsystem (EnMS) bereitzustellen und damit die Effektivität im Unternehmen zu steigern und Kosten einzusparen.

Die Durchführung der einzelnen Arbeitsschritte ist umfassend zu dokumentieren und jeweilige Ergebnisse sind kritisch zu diskutieren. Sicherheitstechnische und datenschutzrechtliche Vorgaben der MIBRAG sind bei der Bearbeitung des Themas einzuhalten.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Formelverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

Einheiten und Formelzeichen

1	Motivation und Zielsetzung	1
1.1	Einleitung in die Thematik	1
1.2	Zielsetzung und Rahmenbedingungen	1
2	MIBRAG und Kraftwerk Wühlitz	2
2.1	Grundlagen	3
2.2	Überblick des nichtelektrischen Einsparpotentials	4
3	Ermittlung des elektrischen Eigenverbrauch	4
3.1	Ermittlung des Anteils der Einzelverbraucher am Gesamtverbrauch des IKW	5
3.2	Bewertung des elektrischen Eigenbedarfs	6
4	Grundlagen Ventilatoren	7
4.1	Bauformen	9
4.2	Radialventilator	10
4.2.1	Antriebsarten von Radialventilatoren	11
4.2.2	Schaufelgeometrie von Radialventilatoren	12
4.3	Kennlinien und Betriebspunkt	13
4.3.1	Anlagenkennlinie	14
4.3.2	Ventilatorkennlinie	14
4.3.3	Betriebspunkte	15
4.4	Regelung von Ventilatoren	16
4.4.1	Drosselregelung	16
4.4.2	Drehzahlregelung	17
4.4.3	Vordrallregelung	18
4.4.4	Bypassregelung	20
4.5	IST-Zustand	20
5	Grundlagen Frequenzumrichter	22
5.1	Aufbau	22

5.2	Funktion und Vorgänge	24
5.2.1	Verarbeitung der Eingangsspannung mittels Gleichrichter	24
5.2.2	Zwischenkreis	25
5.2.3	Erzeugung der Ausgangsspannung durch den Wechselrichter	26
5.3	Regelungsverfahren für Pulswechselrichter	29
5.3.1	U/f - Kennlinie	30
5.3.2	Feldorientierte Regelung	31
6	Drehzahlreglung mit Frequenzumrichter	32
6.1	Prinzip	33
6.2	Motorkennlinie bei Umrichterbetrieb	35
6.3	Netzurückwirkungen	36
7	Schwerpunktthematik Rezirkulationsluftgebläse und Saugzug	38
7.1	Energetische Untersuchung des Rezirkulationsluftgebläses	38
7.1.1	Berechnung	39
7.1.2	Neudimensionierung Rezirkulationsluftgebläse	43
7.1.3	Ökonomische Betrachtung Rezirkulationsluftgebläse	46
7.2	Energetische Untersuchung des Saugzuggebläses	48
7.2.1	Feststellen von energetischen Einsparpotential	49
7.2.2	Betrachtung technischer und technologischer Voraussetzungen	54
7.2.3	Umstellung des Saugzugantriebsstangs auf Niederspannungsebene	56
7.2.4	Ökonomische Betrachtung Saugzug	64
7.2.5	Einbindung der Drehzahlregelung in das Leittechniksystem	66
8	Zusammenfassung und Ausblick	68

Literaturverzeichnis

Anhang

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Besucherinformation Kraftwerk Wühlitz.....	2
Abbildung 2	Prinzip Axialventilator	9
Abbildung 3	Prinzip Radialventilator	10
Abbildung 4	Aufbau Radialventilator	11
Abbildung 5	Typenbezeichnung Radialventilatoren.....	11
Abbildung 6	Bauformen Radial-Standardventilator	11
Abbildung 7	Schaufelgeometrie Radialventilatoren	12
Abbildung 8	Ventilator Kennlinienfeld	14
Abbildung 9	Anlagen- und Ventilator Kennlinie mit Betriebspunkten	15
Abbildung 10	Kennlinienfeld mit Drallregler	15
Abbildung 11	Drosselklappe	16
Abbildung 12	Kennlinienfeld Drosselregelung.....	16
Abbildung 13	Kennlinienfeld Drehzahlregelung.....	17
Abbildung 14	Drallregler.....	19
Abbildung 15	Kennlinienfeld Drallregelung.....	19
Abbildung 16	Leistungsbedarf Drossel- / Drall- und Drehzahlregelung.....	21
Abbildung 17	Prinzipschaltbild eines Pulsumrichters mit Gleichspannungszwischenkreis	23
Abbildung 18	Wechselrichter in IGBT – Technik.....	26
Abbildung 19	Ersatzschaltbild IGBT.....	26
Abbildung 20	Schaltzustände des Wechselrichters	27
Abbildung 21	Darstellung der resultierenden Motorspannung als Raumzeiger.....	28
Abbildung 22	Motorspannung bei Raumzeigermodulation.....	28
Abbildung 23	Drehmoment – Drehzahl – Kennlinie	30
Abbildung 24	Prinzipielles Strukturbild der U/f – Steuerung.....	31
Abbildung 25	Prinzipielles Strukturbild der feldorientierten Regelung.....	32
Abbildung 26	Leerlaufersatzschaltbild des Drehstrom – Asynchronmotors.....	34
Abbildung 27	Feldschwächung.....	35
Abbildung 28	Ersatzschaltbild belasteter DASM.....	36
Abbildung 29	Drehmoment – Drehzahl – Kennlinie	36
Abbildung 30	Fließbild Rauchgasrezirkulation	40
Abbildung 31	Ventilator Kennlinie neue Gebläse.....	44
Abbildung 32	Grundsätzlicher Aufbau eines Umrichter-Schrankgerätes.....	60
Abbildung 33	Überlast.....	62
Abbildung 34	Vorladegleichrichter.....	63

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Energieabrechnung IKW Wähilitz 2013	T1
Tabelle 2: Auszug energetische Bewertung KW Wähilitz gesamt Verbrauch 2013	6
Tabelle 3: Eigenverbrauch 2011 durch Luftversorgung des ZWS-Kessels IKW Wähilitz	T3
Tabelle 4: Toleranzen in Abhängigkeit von der Genauigkeitsklasse DIN 24 166	41
Tabelle 5: Vergleich technische Daten Ventilatoren	45
Tabelle 6: Preisübersicht Maßnahmen Rezirkulationsluftgebläse	47
Tabelle 7: Preisübersicht Maßnahmen Niederspannungsvariante	66

Formelverzeichnis

Formel 1:	Energie.....	5
Formel 2:	Näherungsgleichung spezifische Arbeit.....	8
Formel 3:	Druckdifferenz.....	8
Formel 4:	mittlere Dichte.....	8
Formel 5:	Volumenstrom.....	8
Formel 6:	Totaldruckerhöhung.....	8
Formel 7:	Proportionalitätsgesetz, Volumenstrom/Drehzahl.....	17
Formel 8:	Beziehung Leistung/Drehzahl.....	18
Formel 9:	Reynold – Zahl.....	18
Formel 10:	Zwischenkreisspannung, unbelastet.....	25
Formel 11:	Zwischenkreisspannung, belastet.....	25
Formel 12:	Zwischenkreisspannung, Rückspeisung.....	25
Formel 13:	maximale Motorspannung RZM.....	29
Formel 14:	Näherungsgleichung Ausgangsspannung Frequenzumrichter.....	29
Formel 15:	Synchrondrehzahl.....	33
Formel 16:	Steuergesetz Frequenzregelung.....	33
Formel 17:	magnetischer Fluss.....	33
Formel 18:	Magnetisierungsstrom.....	34
Formel 19:	Magnetisierungsstrom.....	34
Formel 20:	Verhältnis Magnetisierungsstrom zu Spannung und Frequenz.....	34
Formel 21:	Drehmoment.....	35
Formel 22:	elektrische Wirkleistung.....	42
Formel 23:	Energie.....	46
Formel 24:	Einsparung pro Jahr.....	46
Formel 25:	Amortisierung.....	47
Formel 26:	Normvolumen.....	49
Formel 27:	Betriebsdruck.....	49
Formel 28:	Proportionalitätsgesetz, Wellenleistung.....	52
Formel 29:	mechanische Wellenleistung.....	52
Formel 30:	Gesamtwirkungsgrad.....	53
Formel 31:	Wirkungsgrad.....	53
Formel 32:	Spannungsabfall.....	56
Formel 33:	prozentualer Spannungsabfall.....	56
Formel 34:	Anzugsmoment.....	58
Formel 35:	Dauerstrom.....	59

Formel 36:	Kurzschlussstromfestigkeit.....	61
Formel 37:	zulässiger Kurzzeitstrom.....	62
Formel 38:	Strom – Derating – Faktor.....	62
Formel 39:	Einsparkosten.....	64

Abkürzung - Kurzbeschreibung

MIBRAG	-	Mitteldeutsche Braunkohlengesellschaft mbH
EnMS	-	Energiemanagementsystem
VUW	-	vereinfachtes Umspannwerk
ZWS	-	zirkulierende Wirbelschicht
EGR	-	elektrische Gasreinigung
IKW	-	Industriekraftwerk
DASM	-	Drehstrom - Asynchronmotor
MOSFET	-	metal-oxide-semiconductor-field-effect-transistor
RZM	-	Raumzeigermodulation
USV	-	unterbrechungsfreie Stromversorgung
ASI	-	Antriebs – Steuerung - Inkremental
PI – Regler	-	proportional – integral Regler

Einheiten und Formelzeichen

[t/h]	-	Tonnen pro Stunde
[kV]	-	Kilovolt
[MWh]	-	Megawattstunden
[mbar]	-	Millibar

1 Motivation und Zielsetzung

1.1 Einleitung in die Thematik

In Zeiten der kritischen Betrachtung der nationalen Energieproduktion und des Wandels der konservativen Energiepolitik durch das stärkere Aufkommen der regenerativen Energien, ist jeder Energieverbraucher, sowie jeder Energieproduzent, verpflichtet, seinen Verbrauch an Elektroenergie zu analysieren und die Effizienz der Anlage stetig zu verbessern. Durch die Verabschiedung des "Stromsteuergesetzes vom 24. März 1999 (BGBl. I S. 378; 2000 I S. 147)", das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 5. Dezember 2012 (BGBl. I S. 2436, 2725) geändert worden ist, fordert der Bundestag im §10 Absatz 3, dass ein Energiemanagementsystem errichtet und betrieben werden soll. Um Steuererlass, -erstattung oder -vergütung beantragen zu können, muss den Anforderungen der DIN EN ISO 50001 entsprochen werden [1, S. 5]. „Zweck dieser Internationalen Norm ist es, Organisationen in die Lage zu versetzen, Systeme und Prozesse aufzubauen, welche zur Verbesserung der energiebezogenen Leistung, einschließlich Energieeffizienz, Energieeinsatz und Energieverbrauch erforderlich sind. Die Anwendung dieser Internationalen Norm soll durch ein systematisches Energiemanagement zu einer Reduzierung von Treibhausgasemissionen und anderer Umweltauswirkungen sowie von Energiekosten führen.“ [2, S. 5]. MIBRAG beantragt und nutzt Steuervergünstigungen im Energie- und Stromsteuergesetz der Unternehmenden des produzierenden Gewerbes. Seit dem 01.01.2013 gilt eine Neuregelung dieser Steuerentlastung. Ohne eine Zertifizierung würde dies den Wegfall erheblicher Steuerentlastung bedeuten. Aus diesem Grund hat sich MIBRAG entschlossen, ein Energiemanagementsystem nach DIN EN ISO 50001 einzuführen und hat im Zuge dessen begonnen, seine Standorte einer Energieverbrauchsanalyse zu unterziehen. Dadurch wird ein Überblick über den aktuellen Energiebedarf ermittelt und daraus möglicher Handlungsbedarf abgeleitet.

1.2 Zielsetzung und Rahmenbedingungen

Die Zielsetzung dieser Untersuchung basiert auf der Forderung des Energiemanagements (EnMS) der MIBRAG, eine ständige Optimierung der Produktionsprozesse mit Kosten- und Energieeinsparungen durchzuführen. Dazu soll unter Berücksichtigung des Standes der Technik in der Bachelorarbeit eine theoretische Untersuchung angefertigt werden, welche Elektroenergie - Einsparpotentiale am Standort benennt. Um fachliche und quantitative Grenzen nicht zu überschreiten sind nichtelektrische Potentiale nur zu benennen, nicht zu erörtern. Der Schwerpunkt dieser Betrachtung soll dabei auf den elektrischen Hauptverbrauchern liegen, die anhand einer Eigenbedarfsanalyse durch Auswertung von Monatsbilanzen „monatliche Energieabrechnung“ zu identifizieren sind. Das Ergebnis der Eigenbedarfsanalyse zeigt einen ersten Überblick über die

Verbrauchsschwerpunkte, aus denen die zu untersuchenden Verbraucher ausgewählt werden. Durch die Untersuchungen der Abschlussarbeit zu dem Thema der Effektivitätssteigerung sollen der Abteilung für Energiemanagement Informationen über Elektroenergie – Einsparpotentiale bereitgestellt werden.

2 MIBRAG und Kraftwerk Wähilitz

MIBRAG ist ein Bergbauunternehmen mit ca. 2000 Beschäftigten, zwei Tagebauen, zwei Kraftwerken, zahlreichen Geschäftsfeldern und Tochtergesellschaften.

Das MIBRAG - Kraftwerk Wähilitz bei Hohenmölsen, wurde 1994, mit einer installierten elektrischen Leistung von 37,4 Megawatt und einer Feuerungswärmeleistung von 119 Megawatt, neu erbaut. Herzstück der über 100 Millionen – Euro – Investition ist die zirkulierende Wirbelschichtkesselanlage mit einer Leistung von 150 Tonnen Dampf pro Stunde. Die moderne Anlage erfüllt die hohen Auflagen des Umweltschutzes und sichert dank Kraft-Wärme-Kopplung effizient und umweltschonend die Fernwärme-, Dampf- und Elektroenergieerzeugung. Das Wirbelschichtkraftwerk deckt den gesamten Fernwärmebedarf der Stadt Hohenmölsen und der angeschlossenen Ortschaften mit etwa 10700 Einwohnern (Spitzenleistung bis 35 Megawatt_{th}, Jahresarbeit ca. 90000 Megawattstunden) ab.

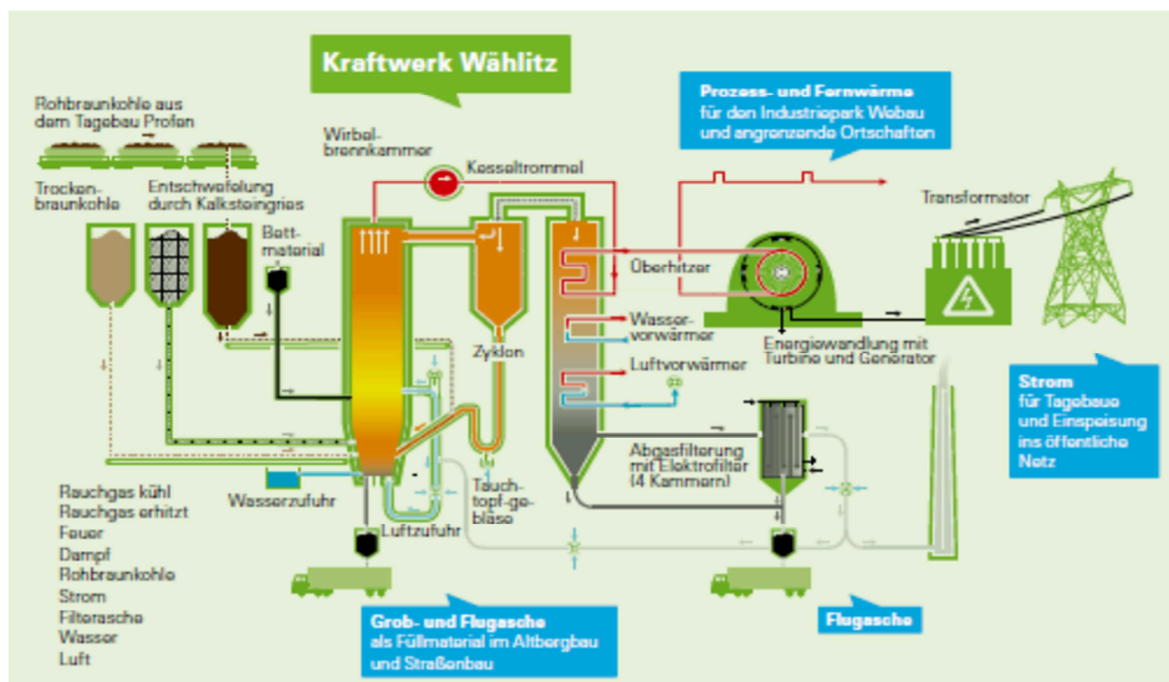


Abbildung 1 Besucherinformation Kraftwerk Wähilitz [3]

Des Weiteren wird Strom aus dem Kraftwerk für die Eigenversorgung der Tagebaue genutzt (durchschnittlich 29 Megawatt). Für das Mitteldeutsche Bitumenwerk wird 13,5 bar Prozessdampf

(ca. 3 t/h) zur Verfügung gestellt. Das Anlagenschema des IKW Wähilitz ist aus Abbildung 1 ersichtlich.

2.1 Grundlagen

Beim zu untersuchenden Objekt handelt es sich um das Braunkohlekraftwerk Wähilitz. Das Kraftwerk wurde neu errichtet und ersetzt ein veraltetes umweltunfreundliches Kraftwerk. Das Kraftwerk Wähilitz ist das modernste Kraftwerk der MIBRAG, mit einem jahresdurchschnittlichen Brennstoffnutzungsgrad von 39 Prozent. Außer der Anlage Wähilitz ist die MIBRAG auch Betreiber des Kraftwerkes Deuben. Ende Juni 2013 musste die MIBRAG aus wirtschaftlichen Gründen das Kraftwerk Mumsdorf stillsetzen. Durch diese Stillsetzung wurde die Elektroenergieerzeugung der MIBRAG um zirka 40 Prozent verringert. Umso wichtiger wird zur Deckung des elektrischen Eigenbedarfs der MIBRAG die Mehrabgabe an Elektroenergie der Kraftwerke bei gleicher Elektroenergieerzeugung. Das Elektroenergienetz der MIBRAG ist über ein eigenes VUW (vereinfachtes Umspannwerk 30/110 kV) mit dem ENVIA – Netz verbunden. Je nach Betriebssituation wird über das VUW Elektroenergie ins ENVIA – Netz geliefert (Normalfall) beziehungsweise bei Kraftwerksstörungen bezogen. Das Kraftwerk Wähilitz zählt zu der Kategorie der Grundlastversorger, ist also bei normaler Fahrweise ununterbrochen am Netz. Ausgenommen sind planmäßige und außerplanmäßige Stillstände zu Revisions- und Reparaturzwecken. Es wird größten Teils bei technischer Vollastgrenze betrieben. Besonderheit des Kraftwerkes bildet der zirkulierende Wirbelschichtkessel (ZWS), welcher zur Bauzeit als Neuheit galt und als Pilotprojekt errichtet wurde. Das Prinzip der ZWS-Feuerung basiert auf der Grundlage von feinen Brennstoffteilchen und hohen Luftströmen, die das Gemisch aus Brennstoff und Bettmaterial permanent zirkulierend im Kesselkonstrukt verwirbeln (siehe Abbildung 1). Der Austrag des Brennstoff – Rauchgas - Gemischs aus der Wirbelbrennkammer wird verursacht durch die großen Luftmassen, die durch zwei in Reihe geschaltete 10kV Lüfter, Frisch- und Primärlüfter, erzeugt werden. Im nachgeschalteten Rückführzyklon erfolgt die Trennung von Rauchgas und Festbrennstoffen, wobei das Rauchgas durch einen Unterdruck von ca. -5 mbar in die Nachschaltheizflächen, sogenannte Überhitzer, geleitet wird und von dort aus in die vier Zonen der elektrischen Abgasreinigung (EGR) gelangt. Der Unterdruck, welcher das Rauchgas aus dem Zyklon durch Überhitzer und Abgasreinigung zieht, wird von dem dritten 10kV Lüfter erzeugt, dem Saugzug. Der Radiallüfter kann eine Gesamtdruckdifferenz von 40,21 mbar erzeugen und wird genau wie Frisch- und Primärlüfter durch vorgeschalteten Drallregler je nach Kesselleistung geregelt. Das Rauchgas erfährt dadurch eine Druckerhöhung und entweicht über den Kamin in die Umwelt. Zudem besteht die Möglichkeit, dem Verbrennungsprozess über ein Rezirkulationsluftgebläse sauerstoffarmes Rauchgas zuzuführen, um damit Vorverbrennung des

Brennstoffes in den Transportstrecken zu verhindern und um die Temperatur der Primär- und Sekundärluft zu beeinflussen.

2.2 Überblick des nichtelektrischen Einsparpotentials

Um den Vorgaben des Energiemanagementsystems gerecht zu werden und dem daraus entstehenden Bestreben des Unternehmens Einsparpotentiale zu ermitteln, werden Anlagenteile einer technischen und wirtschaftlichen Betrachtung unterzogen. Ziel dieser theoretischen Betrachtungen soll sein, Energie einzusparen oder mehr zu produzieren. Um Einsparpotentiale bei dem Eigenbedarf von Elektroenergie definieren zu können, erfolgt im nächsten Kapitel eine ausführliche Auswertung des Eigenverbrauchs.

Ansätze, den wirtschaftlichen Ertrag der Anlage ohne große Investitionen zu erhöhen, liegen in Optimierungen der Anlagenfahrweisen. Dabei gestaltet das Bedienpersonal bisher zyklische Vorgänge individuell und wirkt somit positiv auf die Auslastung der Anlage ein. Ein Beispiel ist ein vom Bediener gestartetes automatisches Rußblasprogramm, bei dem Frischdampf von der Kesselanlage zum Reinigen der Nachschaltheizflächen entnommen wird und damit nicht der Turbine zur Erzeugung von Elektroenergie zur Verfügung steht. Bisher wurde dieses Programm, um starke Verschmutzungen in den Nachschaltheizflächen zu verhindern, auch ohne Notwendigkeit dreimal am Tag eingeschaltet. Mittlerweile wird das Rußblasen nach Anlagenparametern, welche eine Aussage über den Verschmutzungsgrad erlauben, durchgeführt. So konnte im Februar 2014 (Vergleich zu Februar 2013) der Turbine 290 Tonnen Frischdampf mehr zur Elektroenergieerzeugung zur Verfügung gestellt werden, was einer Elektromehrerzeugung von zirka 88 MWh entspricht.

Zudem wird zurzeit eine Untersuchung hinsichtlich anlagenoptimaler Fahrweise und Auslastung der Turbine (Dampfentnahme, Kondensatorbelastung und Elektroerzeugung) durchgeführt. Bestandteil dieser Untersuchung ist die Bearbeitung einer Machbarkeitsstudie, die sich mit der Umstellung eines Speisepumpenantriebs von Elektroenergie auf Dampfbetrieb beschäftigt. Andere Überlegungen sind auf das Gebiet der Wärmerückgewinnung gerichtet. Hier bieten sich vor allem die Anlagenteile der Lufterzeugung und Klimaanlage zur Überprüfung an.

3 Ermittlung des elektrischen Eigenverbrauch

Der elektrische Eigenbedarf des Industriekraftwerkes wird nicht als separater Einzelwert gemessen beziehungsweise gezählt. Um einen Überblick über den elektrischen Eigenverbrauch zu erhalten, muss die Elektroenergiebilanz des Kraftwerkes für einen definierten Zeitraum erstellt werden. In Tabelle 1 (Anhang T1) ist die Elektroenergiebilanz des Kraftwerkes für das Jahr 2013 dargestellt. Die Zählpunkte P0 bis P11 sind reelle Zählwerte, die dem zentralen MIBRAG –

Abrechnungssystem SIGLON viertelstündlich übermittelt werden. Die entsprechenden Zähler sind in den Schaltabgängen eingebaut. SIGLON ist ein System zur Zählerfernauslesung und Verwaltung des Energiedatenmanagements. Die Zuordnung der Zähler zu den Schaltanlagenabgängen ist im Anhang T2 dargestellt. Die virtuellen Zählpunkte VP1 bis VP8 werden aus den Zählpunkten P0 bis P11 im SIGLON – System berechnet.

3.1 Ermittlung des Anteils der Einzelverbraucher am Gesamtverbrauch des IKW

Wie im vorigen Abschnitt genannt, erfolgt keine Zählung des Energiebedarfs der Einzelverbraucher. Alle Schaltanlagenabgänge der Kraftwerksverbraucher > 10 Kilowatt in den Spannungsebenen 10 und 0,7 Kilovolt sind mit einer Strommessung ausgerüstet. Neben den momentanen Anzeigen an entsprechenden Schaltzellen und in den Fließbildern des Prozessleitsystems erfolgt im Bilanzierungssystem eine Registrierung der Stromwerte. Im Bilanzsystem werden Strommittelwerte über verschiedene Zeitabschnitte (Stunden, Tage, Monate, usw.) registriert. Die Strommittelwerte bilden die Grundlage für die Berechnung des elektrischen Eigenbedarfs der einzelnen Abnehmer. Dabei geht man nach Formel 1 zur Berechnung des elektrischen Eigenverbrauchs vor.

$$E = \sqrt{3} * U * \bar{I} * \cos \varphi * t \quad (1)$$

Legende

E	Energie
U	Spannung Sammelschiene
\bar{I}	Strommittelwert Bilanz
t	Betriebsstunden Bilanz
cos φ	Leistungsfaktor entsprechend Typenschild

Die Ungenauigkeiten, die bei der Berechnung entstehen (z.B. keine Messung des lastabhängigen cos φ), sind für die Berechnung des Eigenbedarfs der Hauptverbraucher nicht von Bedeutung. Die Ergebnisse der Berechnung sind in Bilanzkreisen in nachfolgender Tabelle 2 zusammengestellt. Der Bilanzkreis „Luftgebläse“ ist im Anhang T3 als Tabelle 3 „Energieverbrauch der Luftversorgung ZWS – Kessel IKW Wähltitz 2013“ genauer ersichtlich.

	Eigenverbrauch			
	Produkt	Einheit	Menge	Anteil
				%
Kohletransportstrecken	Strom	MWh	1.226	3,7
SpW-Pumpen	Strom	MWh	6.706	20,2
Kondensatpumpen	Strom	MWh	444	1,3
Luftgebläse (FrL, PrL, Rezi, TauTo, SZ)	Strom	MWh	15.099	45,4
KT (Ventilatoren, HKWP)	Strom	MWh	4.449	13,4
REA (Elektrofilter)	Strom	MWh	1.154	3,5
Stromverteilung (KW)	Strom	MWh	4.585	12,5
Eigenverbrauch gesamt	Strom	MWh	33.233,4	100

Tabelle 2 Auszug energetische Bewertung KW Wähligt Gesamtverbrauch 2013

3.2 Bewertung des elektrischen Eigenbedarfs

Die Auswertung ergibt, dass der Hauptverbrauch an Energie, wie in Tabelle 2 deutlich zu erkennen ist, bei den Gebläsen der primären Luftversorgung entsteht. Mit einem Anteil von 45 Prozent am Jahresgesamtverbrauch erscheint das Einsparpotential bei den Luftgebläsen des zirkulierenden Wirbelschichtkessels am größten. Basierend auf dieser Erkenntnis konzentriert sich die weitere Untersuchung auf die Luftgebläse der Anlage. Der zweitgrößte Verbraucher, die Speisewasserpumpen, sind wie im vorherigen Kapitel erwähnt Gegenstand einer externen Untersuchung, wobei der Ersatz des Elektro- durch einen Dampfantrieb zu prüfen ist. Den drittgrößten Verbraucher stellen die Kühlturmventilatoren dar, die etwa 13 Prozent des Eigenverbrauches umsetzen. Bei diesen Ventilatoren handelt es sich um vier polumschaltbare Axialventilatoren, die je nach Temperatur vier Kühlturmzellen belüften. Da man durch die Option der vielfachen Beschaltungsmöglichkeiten variabel auf Temperaturänderungen reagieren und damit auch Einfluss auf die Leistungsabnahme nehmen kann, birgt dieser Verbraucher wenig Potential zur Einsparung von Elektroenergie.

Alle leistungsintensiven Gebläse des IKW Wähligt sind Modelle mit sogenannter Drallregelung. Dabei wird, um die Förderleistung der Gebläse dem Leistungsbedarf des Braunkohlekessels anzupassen, ein saugseitig angeordneter Drallregler verwendet. Die einstellbaren Vorleiträder verändern den Drall der dem Gebläselaufrad zugeführt wird, im oder gegen die Drehrichtung des Laufrades und bewirken damit eine entsprechende Volumenstromänderung. Das bedeutet, dass die elektrischen Antriebe der Ventilatoren mit leicht verringerter Leistung in dem eingestellten Betriebspunkt auf der Ventilator Kennlinie betrieben werden, aber dabei Wirkungsgradverluste entstehen. Um diese Verluste zu minimieren und energetisch sinnvoll zu gestalten, beschäftigt sich diese Untersuchung mit einer wirtschaftlich günstigeren Methode, der Drehzahlregelung. Das Ändern der Motordrehzahl kann durch drei optionale Eingriffe erfolgen. Neben Änderung des Schlupfes, durch Vorwiderstände oder der Polpaarzahlumschaltung scheint die Regelung der

Drehzahl durch verändern der angelegten Frequenz als regelungstechnisch günstigste Variante in dem zu untersuchenden Zusammenhang. Der energetische Vorteil der Drehzahlregelung ist vor allem bei parabelförmigen Anlagenwiderstandslinien, die durch den Bestpunkt der Gebläsekennlinie verlaufen, gegeben. Saugzüge haben eindeutige quadratische Widerstandslinien (siehe Anhang T4) und sind damit durch Drall- oder Drehzahlregelung stabil zu betreiben. Müssen jedoch auch steilere oder gar fallende Widerstandslinien bedient werden, wie zum Beispiel das Wirbelbett, also kleine Volumenströme und große Drücke, so schwindet der energetische Vorteil der Drehzahlregelung zusehends. Die anderen Gebläse wie Frischlüfter, Primärlüfter und Rezirkulationsluftgebläse arbeiten gegen komplizierte Anlagen - Widerstandslinien, die bei kleiner Last aufgrund der Fluidisierung in der Wirbelbettkammer mit steigendem Volumen zunächst fallen, bis die quadratischen Strömungswiderstände die Widerstandslinie wieder anheben. Man kann sich leicht vorstellen, dass das Wirbelbett zunächst wie ein Pfropfen auf dem Düsenboden sitzt und beim Anfahren sowie bei niedrigen Kessellasten mehr oder weniger große Drucksprünge durchführt, die von der Gebläse - Kennlinie eingefangen werden müssen [4, S. 3ff]. Aus diesen, durch die Literatur genannten Gründen steht die Drehzahlregelung lediglich für die Betrachtung des Saugzuges, nicht für weitere primäre Luftversorgungsgebläse des ZWS-Kessels zur Verfügung. Mit dieser Erkenntnis soll im weiteren Verlauf der Arbeit für den Saugzug ein energetisch verlustarmer Antriebsstrang zusammengestellt werden.

Zu den Hauptverbrauchern der Luftversorgung gehört auch das Rezirkulationsluftgebläse, welches Rauchgase zur Regulierung der Frischlufttemperatur aus dem Abgaskanal zurück in den Frischluftkanal fördert. Im Anhang T7 ist die Kennlinie des Rezirkulationsluftgebläses abgebildet. Diese steht für die Charakteristik komplizierter Anlagenkennlinien. Der Kurvenverlauf mit großer Druckerhöhung kann durch Einfluss eines Drallreglers erzeugt werden. Die Rückführung besteht aus einem vorgeschaltetem Drallregler, dem Radialgebläse und einem Bypass von Druck- zur Saugseite. Bei Betrachtung der Systemkomponenten im Jahresdurchschnitt (Anhang T5) fällt auf, dass der saugseitige Drallregler mit etwa 30 Grad nahezu geschlossen ist. Dieser Fakt ist auf die Konstruktion und frühere Auslegung zurückzuführen, als man der Feuerung Zusatzbrennstoffe zugeführt hat. Um diesen Ansatz auf Energieeinsparung zu überprüfen, wird die Dimensionierung des Rezirkulationsluftgebläses untersucht.

4 Grundlagen Ventilatoren

In der VDI-Richtlinie 2044 sind Ventilatoren beschrieben als Strömungsmaschinen zur Förderung von Gasen bei einem Druckverhältnis bis zu $p_2/p_1 = 1,1$. Für Wirbelschichtfeuerungen werden Gebläse mit Druckverhältnissen bis zu 1,3 und etwas darüber verlangt. Der Begriff Ventilator wird hier beibehalten, da die VDI-Richtlinie 2044 für Auslegung und Messtechnik hierbei angewendet werden kann [4, S. 2]. Der Ventilator transportiert gasförmige Stoffe durch ein Anlagensystem,

wobei dem Medium eine Energie in Form von spezifischer Förderarbeit (Formel 2) zugeführt wird. Das hat eine Änderung des Volumenstroms (Formel 5) und der Druckverhältnisse zur Folge. Die spezifische Förderarbeit eines Ventilators ist als auf die Masse bezogene nutzbare Energiedifferenz zwischen Ein- und Austrittsstutzen definiert und kann mit folgender Näherungsgleichung (Formel 2) berechnet werden [5, S. 18].

$$Y = \frac{\Delta p}{\rho_m} \quad (2)$$

Legende

Y spez. Förderarbeit
 Δp Druckdifferenz
 ρ_m mittlere Dichte

$$\Delta p = p_2 - p_1 \quad (3)$$

Legende

p_2 Druck Ventilatoraustritt
 p_1 Druck Ventilatoreintritt

$$\rho_m = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2} \quad (4)$$

Legende

ρ_1 Dichte Ventilatoreintritt
 ρ_2 Dichte Ventilatoraustritt

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad (5)$$

Legende

\dot{V} Volumenstrom
 \dot{m} Massenstrom

$$\Delta p_t = p_{st} + p_d \quad (6)$$

Legende

Δp_t Totaldruckerhöhung
 p_{st} statischer Druck
 p_d dynamischer Druck

Die dabei erzeugte Druckerhöhung wird durch den Widerstandswert des durchfluteten Systems beeinflusst und kann bis zu genanntem Druckverhältnis zwischen Ausgangs- und Eingangsdruck betragen [6, S. 109]. Für die Auswahl von Ventilatoren sind Auslegungsdaten wie Fördermenge, also Volumenstrom, Totaldruckerhöhung (Formel 6) und die Bauform zwecks Kompatibilität mit anlagenabhängiger Beschaffenheit zu beachten.

4.1 Bauformen

Die Einteilung von Ventilatoren erfolgt nach ihrer äußeren geometrischen Gestalt, das heißt den Konturen von Laufrad und Gehäuse, sowie nach der Durchströmung, also der Bewegungsrichtung des Fördermediums in Radial-, Diagonal-, Axial- und Querstromventilatoren [5, S. 27]. Bei der Auswahl der Ventilatorbauart besteht zwanghaft eine Abhängigkeit zwischen Bauform und der räumlichen Beschaffenheit des bestehenden Systems oder Anlagentechnologie. Demnach ist nach oben genannten Auswahlkriterien ein Ventilator für passende Anwendungszwecke mit hohem Wirkungsgrad auszuwählen und so die Energieerhaltungskosten für das Unternehmen gering zu halten.

In Abbildung 2 ist eine der beiden wichtigsten Bauformen, die axiale Konstruktion, abgebildet. Zu erkennen ist, dass das Laufrad aus einer Nabe mit in radialer Richtung angebrachten Flügelblättern besteht. Aufgabe des Entwurfes ist es, diese Flügelblätter so zu gestalten, dass alle Luftteilchen die gleiche Energieerhöhung erhalten und die nicht vermeidbaren Verluste möglichst klein gehalten werden [6, S. 176].

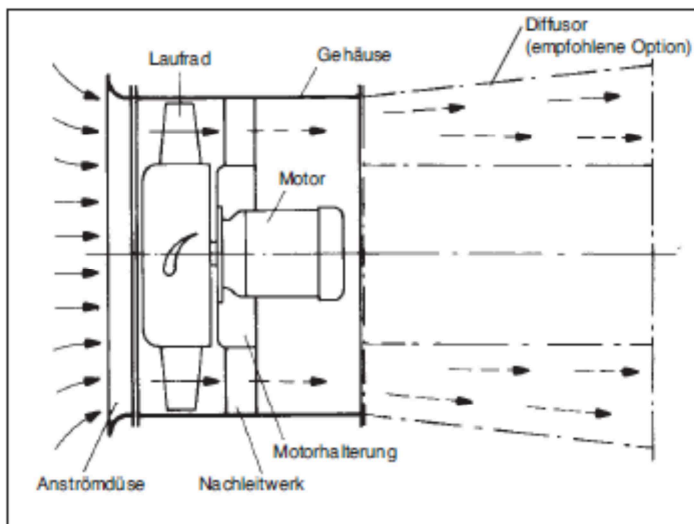


Abbildung 2 axiale Bauform [10, S.12]

Nach der Anströmung des Axialventilators durch die Anströmdüse verläuft die Förderrichtung des Mediums achsparallel zur Laufradrichtung. Im Gegensatz zum Axialventilator erfolgt beim Radialventilator, wie in Abbildung 3 zu erkennen ist, eine Umlenkung des Fördermediums in radiale Richtung.

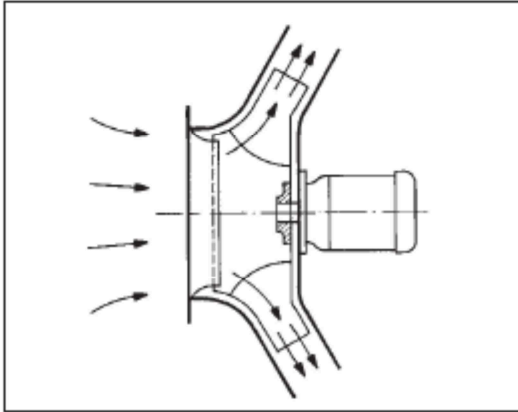


Abbildung 3 radiale Bauform [10, S.4]

Tritt das Gas durch eine Rohrleitung oder Saugkasten axial in das Laufrad ein, wird dies von den Schaufeln erfasst, umgelenkt und in einen energetisch höheren Zustand versetzt. Die zu untersuchenden Ventilatoren im Kraftwerk Wählitz haben eine radiale Bauform, deshalb wird diese im weiteren Verlauf näher vorgestellt.

4.2 Radialventilator

Der Radialventilator besteht aus dem Spiralgehäuse mit Einströmdüse und Austrittstutzen, dem Laufrad und der Zunge (siehe Abbildung 4). Die zu fördernde Luft tritt durch die Einströmdüse in das Laufrad ein und wird dabei in radiale Richtung umgelenkt. Im Laufrad (Schaufelkanal) findet die Energieumsetzung statt, d. h. die dem Laufrad über die Welle vom Antriebsmotor zugeführte mechanische Energie wird in Druck- und Geschwindigkeitsenergie umgesetzt. Die gekrümmten Schaufeln des angetriebenen Rades üben dabei auf das Fördermedium einen Druck aus. Durch Verdrängungs- und Zentrifugalwirkung wird das Fördermedium radial nach außen geschleudert und verlässt das Laufrad am äußeren Umfang mit erhöhter Geschwindigkeit und wegen der Diffusorwirkung der Schaufelkanäle auch bereits mit erhöhtem Druck. Die Massenverdrängung nach außen bewirkt am Laufradeintritt einen Unterdruck, wodurch ständig neues Gas nachgesaugt wird. Der Unterdruck kann sich nur aufbauen, wenn an den Dichtstellen eine wirksame Abdichtung erfolgt [11, S. 195]. Das Spiralgehäuse hat zwei Aufgaben zu erfüllen. Es sammelt die aus dem Laufrad ausströmende Luft, führt sie zu einem gemeinsamen Austritt und wandelt einen Teil der Geschwindigkeitsenergie (dynamischer Druck) in Druckenergie (statischer Druck) durch die stetige Querschnittserweiterung in Strömungsrichtung um (Diffusoreffekt). Die engste Stelle zwischen Spiralgehäusewand und Laufrad wird von der Zunge gebildet. Radialventilatoren erreichen höhere Drücke als Axialventilatoren, da die radialen Schaufelkanäle durch die unterschiedlichen Umfangsgeschwindigkeiten am Ein- und Austritt des Laufrades zur statischen Druckerzeugung beitragen [10, S. 20].

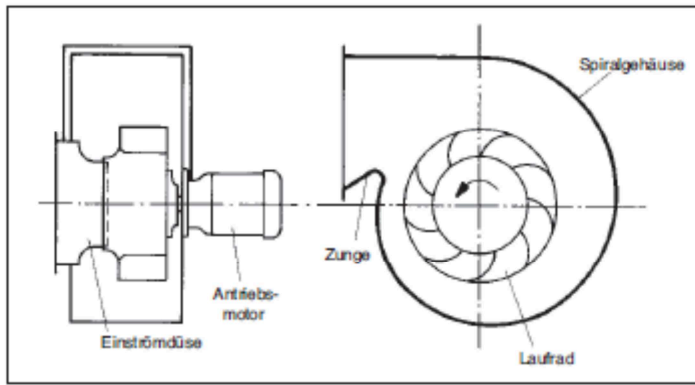


Abbildung 4 Aufbau Radialventilator [10, S. 20]

Radialventilatoren werden nach ihren konstruktiven Merkmalen in verschiedene Typen unterteilt. Es erfolgt eine Einteilung nach Größe, Antriebsart und Schaufelgeometrie, sowie Drehrichtung und Gehäusestellung. Zur eindeutigen Identifizierung folgt eine Erläuterung der Typenbezeichnung in Abbildung 5. Die Bezeichnung für das Rezirkulationsluftgebläse in Wählitz lautet: VRE 0630/5011-Z-297/33

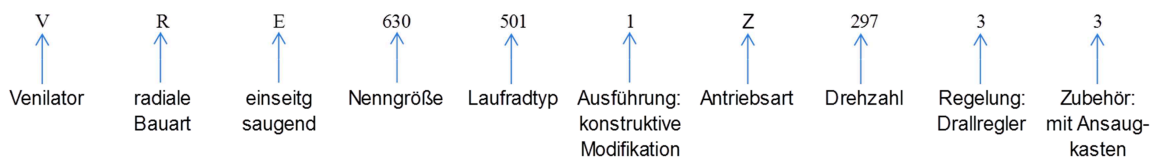


Abbildung 5 Erläuterung Typenbezeichnung

Die folgenden Abschnitte sollen die Bezeichnungen der Antriebsart, Schaufelgeometrie und Regelung der Ventilatoren erklären.

4.2.1 Antriebsarten von Radialventilatoren

In Abbildung 6 werden die verschiedenen Bauformen der Radialventilatoren abgebildet, im darauf folgenden Text schließt sich eine kurze Beschreibung zu jeder Konstruktion an.

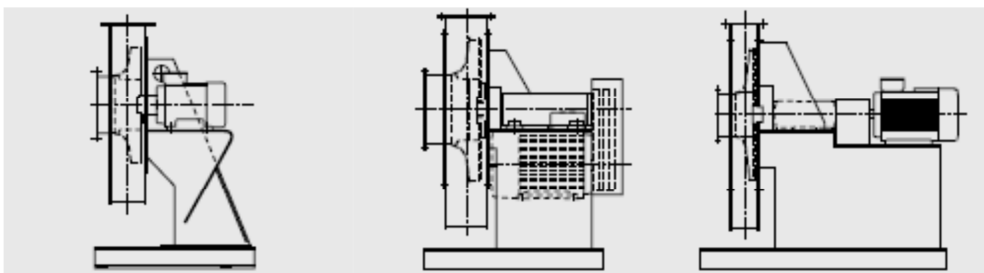


Abbildung 6 Radial-Standardventilatoren; Bauform W, Bauform F, Bauform Z [12, S. 8]

Bei der Bauform W erfolgt der Antrieb des Laufrades direkt über die Motorwelle durch den auf einem Lagerbock befindlichen Elektromotor. Durch die direkte Weiterleitung der Medientemperatur an den Motor ist das Anwendungsgebiet thermisch eingengt. Dieser Typ

benötigt durch die kompakte Bauform wenig Platz und durch einseitige Wellenlagerung einen geringen Wartungsbedarf. Durch die direkte Verbindung von Motorwelle und Ventilatorlaufrad werden Laufradschwingungen direkt an den Motor weitergegeben.

Das Laufrad der Bauform F ist ebenfalls einseitig gelagert, wird allerdings über Keilriemen angetrieben. Die Ventilatorwelle ist zweifach gelagert und befindet sich ebenfalls wie der elektrische Antrieb auf einem Rahmengestell mit stabilen Lager- und Motorbock.

Eine Kupplung stellt in Bauform Z das Verbindungsstück zwischen einseitig gelagertem Ventilatorlaufrad und Elektromotor dar. Durch die Zwischenwelle werden weder Schwingungen des Laufrades noch Temperaturen des Fördermediums an den Motor weitergeleitet. Dies ermöglicht den Einsatz dieser Bauform bei hohen Temperaturanforderungen. Die Konstruktion befindet sich, genau wie Bauform W, in einer axialen Ebene.

4.2.2 Schaufelgeometrie von Radialventilatoren

Es gibt drei verschiedene Laufradtypen die sich in der Form ihrer Schaufel unterscheiden. Die Schaufeln können, wie in Abbildung 7 zu sehen ist, in Drehrichtung vorwärts oder rückwärts gekrümmt oder radialendend zur Gehäusewand am Laufrad angebracht sein.

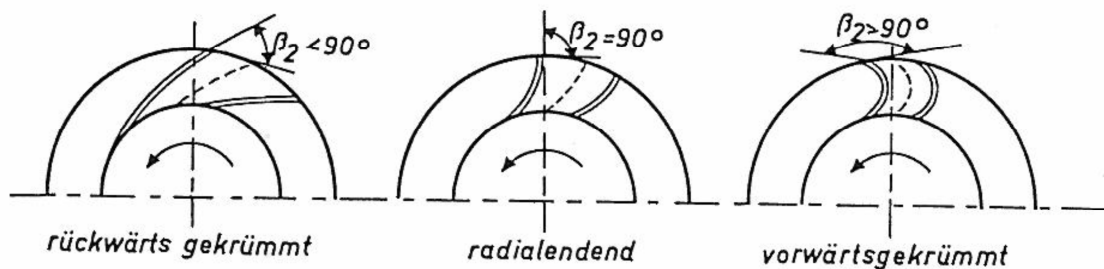


Abbildung 7 Schaufelgeometrie Radialventilatoren [13, S. 9]

Rückwärts gekrümmte Radialventilatoren (Laufradtyp 501) haben besonders lange Schaufeln, die Schaufelzahl Z kann dabei von 6 bis 12 variieren. Diese Räder sind weniger empfindlich gegen Verschmutzungen und Staubablagerungen. Außerdem besitzen sie einen sehr guten hydraulischen Wirkungsgrad (75-85%) und werden daher auch „Hochleistungsventilatoren“ bezeichnet. Diese Laufradbauart wird in Anlagen mit Drosselregelung, Bypassregelung und Systemen mit hohen Druckschwankungen eingesetzt. Hochleistungsventilatoren können Druckschwankungen in der raumluftechnischen Anlage relativ günstig kompensieren, da der Volumenstrom aufgrund der steilen Kennlinie dieser Ventilatoren infolge Druckunterschieden nur leicht abfällt. Damit hat zum Beispiel das Ansteigen des Anlagendruckverlustes wegen zunehmender Filterverschmutzung kaum Auswirkungen auf den vom Hochleistungsventilator geförderten Volumenstrom [14, S. 100]. Sie sind besonders gut geeignet für freilaufende Radialventilatoren. Dabei erübrigt sich meist ein Spiralgehäuse. Je nach Anwendungsfall genügt es, um das Rad einen rechteckigen oder einen

runden Kasten zu platzieren. Dadurch wird einen Teil des dynamischen Druckes umgewandelt und dem Luftstrom eine bestimmte Richtung zugewiesen. Insbesondere beim Einsatz in Rohrventilatoren ist dieser Ventilator auf Grund seiner Dimensionen und Leistung von Vorteil [15, S. 2].

Bei Radialventilatoren mit vorwärts gekrümmten Schaufeln ist der Leistungsbedarf freiblasend am höchsten. Mit zunehmendem Gegendruck geht der Leistungsbedarf zurück. Die Motoren haben eine besondere Drehmoment – Drehzahl - Kennlinie, die eine Drehzahlsteuerung ermöglicht. Einige Radialventilatoren dürfen erst ab einem festgelegten Gegendruck eingesetzt werden. Ventilatoren mit kurzen, vorwärts gekrümmten Schaufeln werden Trommelläufer genannt, sie werden bei niedrigen Druckdifferenzen verwendet. Einsatz findet der Trommelläufer in Anlagen mit Volumenstromschwankungen, durch Drosselregelungen verursacht, und bei konstanten Förderdrücken. Durch ihre hohe Anzahl an Schaufeln (32-50) wird ein hoher Anteil an Geschwindigkeitsenergie erzeugt. Ihr Wirkungsgrad liegt bei 60 bis 75% Prozent je nach Baugröße, ist damit deutlich niedriger als der der „Hochleistungsventilatoren“ [14, S. 100].

Als besondere Bauform des Radialventilators existiert noch der Radialventilator mit radial endenden Schaufeln. Diese Bauart wird hauptsächlich in der Entstaubungstechnik eingesetzt, da die Schaufeln eine hohe Verkrustungssicherheit besitzen. In der Raumluftechnik finden diese Ventilatoren kaum Einsatz. Darum wird auf diese Geräte hier nicht näher eingegangen.

Sowohl das Rezirkulationsluftgebläse als auch der Saugzug des Wirbelschichtkessels im Kraftwerk Währlitz sind Radial - Standardventilatoren der Bauform Z, mit rückwärts - gekrümmt montierten Schaufeln am Laufrad.

4.3 Kennlinien und Betriebspunkte

In der vereinfachten Darstellung in Abbildung 8 ist ein Ventilator Kennlinienfeld zu sehen. Im Allgemeinen versteht man unter Kennlinienfeld die Beziehung von Anlagen- und Ventilator Kennlinie. Beide Kennlinien basieren auf dem Zusammenspiel von Druckerhöhung Δp_t und dem Volumenstrom \dot{V} . Die Druckerhöhung kann dabei auch, temperaturunabhängig, in Verbindung mit der Kompressibilität f und der Stoffdichte ρ in Form der spezifischen Förderarbeit (Formel 2) angegeben werden. Der Schnittpunkt von Anlagen- und Ventilator Kennlinie ergibt den jeweiligen Betriebspunkt, indem Gleichgewicht zwischen Systemdruck und Förderdruck bei bestimmter Fördermenge herrscht. Die Anlagenkennlinie ist die Summe aller Druckverluste der gesamten Anlage, abhängig vom durchgesetzten Volumenstrom. Unter Normkennlinie eines Ventilators versteht man nach DIN 24163 die auf einen Normprüfstand unter exakten Versuchsbedingungen gemessenen Zusammenhänge zwischen Totaldruckerhöhung Δp_t und dem Volumenstrom \dot{V} [5, S. 82ff]. Üblicherweise werden noch Stellung des Vorleitapparates, soweit vorhanden, und Wirkungsgrade in die Kennlinienfelder angegeben. Für die Projektierung und den

störungsfreien Betrieb einer Ventilatoranlage müssen Betriebsverhalten von Fördersystem und Ventilator bekannt und genau auf einander abgestimmt sein. Diese Erkenntnisse gewinnt man aus den jeweiligen Kennlinien, welche rein rechnerisch sehr ungenau zu ermitteln sind. Der Ventilator muss, in Abhängigkeit zum Anlagenwiderstand, auf jedem Punkt seiner Kennlinie arbeiten.

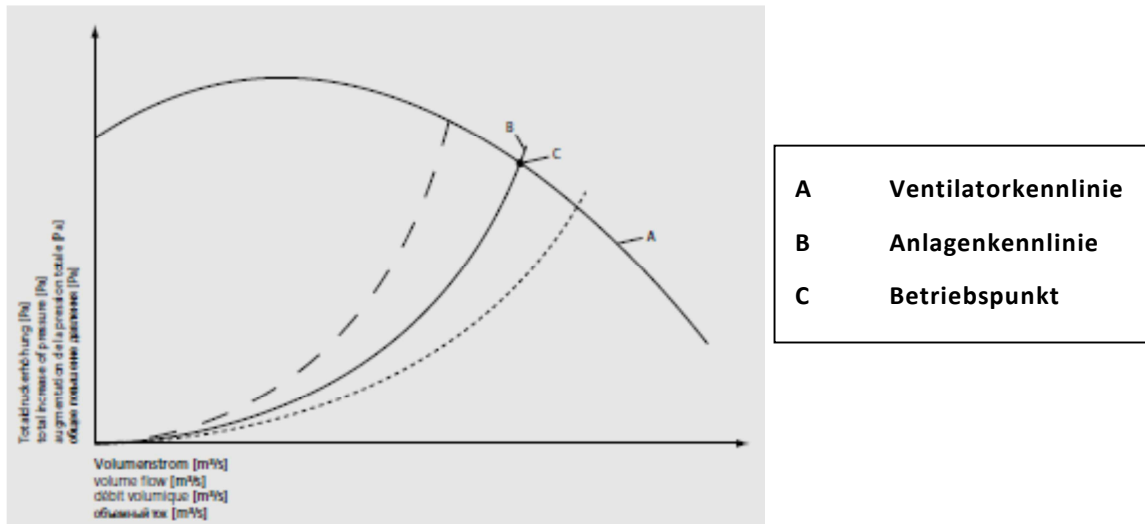


Abbildung 8 Ventilator Kennlinienfeld [12, S. 22]

4.3.1 Anlagen Kennlinie

Die Anlagen Kennlinie, oder auch System Kennlinie, gibt den Widerstandswert des Fördersystems in linearer Darstellung in Form einer Parabel wieder. Der Gesamtwiderstandswert, oder auch Leistungsbedarf, der Anlage resultiert aus der Geometrie des Kanalsystems, den Widerständen einzelner Bauteile oder Übertragungstrecken und entsteht durch Form- und Reibungswiderstände wie zum Beispiel Verzweigungen, Reduzierungen und Rauigkeiten verschiedenster Materialien. Dabei bewirkt eine Änderung der Druckerhöhung Δp_t proportional eine quadratische Änderung des Volumenstroms \dot{V} [6, S. 61]. Diese mathematische Beziehung basiert auf der Tatsache, dass die Verluste bei turbulenter Strömung proportional zu dem Quadrat der Geschwindigkeit beziehungsweise dem Volumenstrom sind [5, S. 58].

4.3.2 Ventilator Kennlinie

Die Ventilator Kennlinie, oder auch Norm Kennlinie, gibt nach DIN 24163 die auf einem Normprüfstand unter exakten Versuchsbedingungen gemessenen Zusammenhänge zwischen Δp_t und dem Volumenstrom \dot{V} wider. Dabei stellt man Druckverluste der Anlage durch verstellbare Regeleinrichtungen nach. Die Kennlinie im Betrieb ist nur dann deckungsgleich mit der Kennlinie des Prüfstandes, wenn Anschlussbedingungen zwischen Prüfstand und Anlage übereinstimmen. Soll der Ventilator mit unterschiedlichen Temperaturen betrieben werden, wird eine dichteunabhängige Darstellung benötigt. Diese erhält man, indem man an der Ordinate die Größe

der spezifischen Förderarbeit (Formel 2) anbringt [5, S. 58]. Die Kennlinie ist abhängig von Bauart und Laufradtyp (Durchmesser Verhältnis, Schaufelaustrittsbreite, Schaufelzahl, usw.) und kann durch Betriebsparameter wie Dichte, Leistung und Wirkungsgrad komplettiert werden [12, S. 23].

4.3.3 Betriebspunkt

Der Betriebspunkt B in Abbildung 9 ergibt sich aus dem Schnittpunkt von Ventilator Kennlinie V und Anlagenkennlinie A. In der Schnittmenge B der beiden Graphen herrscht ein Druckgleichgewicht, der erbrachte Betriebsdruck des Ventilators entspricht also dem Bedarf des Anlagegedruckes. Dem Betriebspunkt wird so bei gewissem Systemdruck ein Fördervolumen zugeordnet. Da sowohl Ventilator- als auch Anlagenkennlinie keine exakt zu bestimmenden Kurven sind, liegen die Betriebspunkte meist in Streubereichen. Verstellbare Drossel- oder Regelorgane haben Einfluss auf Anlagen- und Ventilator Kennlinie, damit auch auf die Betriebspunkte. So wird in Abbildung 10 die Veränderung der Betriebspunkte durch Verstellen des Drallreglers dargestellt. Durch Schließen des Vorleitapparates ändert sich die Ventilator Kennlinie A, wodurch sich ein anderer Schnittpunkt/Betriebspunkt auf der Anlagenkennlinie B ergibt. Die Reduzierung des Fördervolumens \dot{V} hat eine proportionale Änderung der Leistungsaufnahme C zur Folge [10, S. 29].

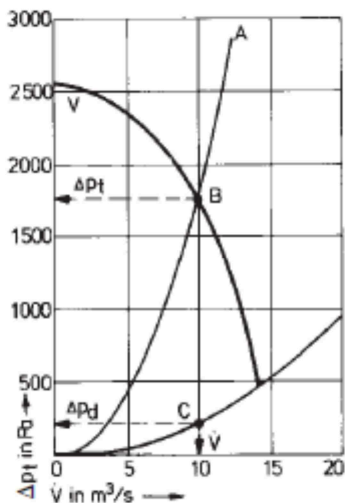


Abbildung 9 Anlagen- und Ventilator - kennlinie mit Betriebspunkten [10, S.30]

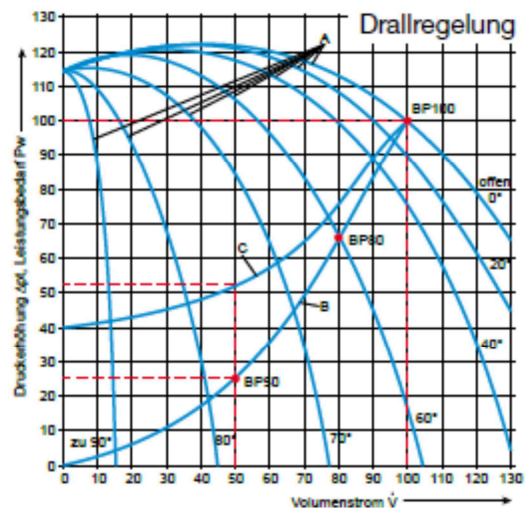


Abbildung 10 Kennlinien mit Drallregler [16, S. 3]

Die Regelung von Betriebsdruck und Volumenstrom durch einen Drallregler ist lediglich eine Option, die Betriebspunkte den Erfordernissen der Anlage anzupassen. Im nächsten Punkt werden die wichtigsten Steuer- und Regelmöglichkeiten von Ventilatoren näher beschrieben und auf die Auswirkungen im Kennlinienfeld hingewiesen.

4.4 Regelung von Ventilatoren

Um unterschiedliche Anlagenbetriebspunkte zu bedienen und die Fördermenge und Druckerhöhungen der Ventilatoren zu ändern, stehen die nachfolgenden Maßnahmen zur Verfügung. Die Auswahl der Regelungssysteme erfolgt nach funktionellen und wirtschaftlichen Aspekten, so ist auf die Betriebsweise der Anlage und das Kennlinienverhalten des Lüfters Rücksicht zu nehmen. Im Anschluss erfolgt die Vorstellung der gängigsten Regelarten in der Praxis.

4.4.1 Drosselregelung

Die Drosselung des Volumenstromes erfolgt durch Verstellen einer Drosselklappe oder eines Schiebers, der sowohl saug- als auch druckseitig installiert sein kann. Ein Beispiel für eine Drosselklappe zeigt Abbildung 11.

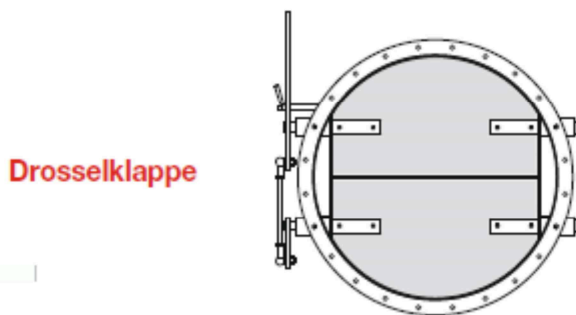


Abbildung 11 Drosselklappe [17, S. 1]

Diese Art von Regelung ist eine kostengünstige aber energieaufwendige Variante, da durch Verstellen des Drosselorgans die Anlagenkennlinie B verändert und der Anlagenwiderstand erhöht wird. Somit ergibt sich nach Abbildung 12 ein neuer Betriebspunkt (BP) auf der Ventilator Kennlinie A. Je weiter die Drosselklappe geschlossen wird umso höher wird der Druckverlust. Die Leistungsbedarfskurve C des Ventilators bleibt nahezu unverändert. Der Energieverlust entsteht im Drosselorgan, wo Druckverlust in Wärmeenergie umwandelt wird. Er ist proportional zur Volumenstromänderung $\Delta \dot{V}$. Daher ist diese Regelung die Unwirtschaftlichste [17, S. 8].

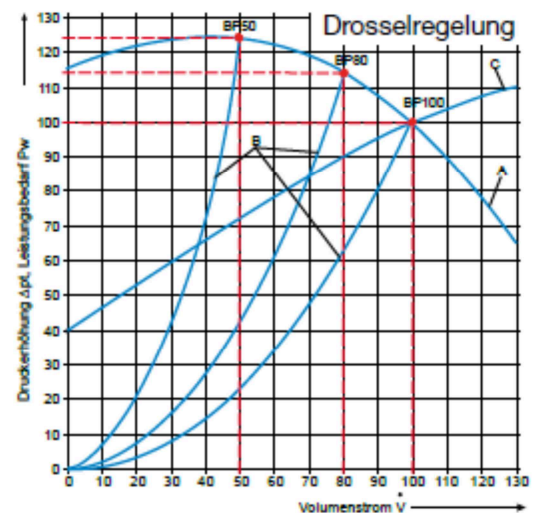


Abbildung 12 Kennlinienfeld Drosselregelung [16, S. 3]

4.4.2 Drehzahlregelung

Die Drehzahlregelung ist die wirtschaftlich effizienteste Variante, um ein großes Spektrum an Betriebspunkten abzudecken. Dabei wird, wie in Abbildung 13 dargestellt, durch Variation der Ventilator Drehzahl die Ventilator Kennlinie A verändert und neue Betriebspunkte (BP) auf der konstanten Anlagenkennlinie B geschaffen. Das Verhältnis von Volumenstrom zu Drehzahl wird in dem Proportionalitätsgesetz nach Formel 7 beschrieben. Die Drücke ändern sich demnach proportional dem Quadrat der Drehzahl.

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 = \left(\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2}\right)^2 \quad (7)$$

$$\dot{V} \sim n$$

Legende

p	Betriebsdruck
n	Ventilator Drehzahl
\dot{V}	Volumenstrom

Der Volumenstrom verhält sich nach oben genannter Beziehung linear und stufenlos mit Veränderung der Drehzahl. Dadurch können Drucksprünge und -schwankungen im System umgangen werden. Auch mechanische Laufruhe durch geringe materielle Beanspruchung im Teillastbereich und die geringe Anbackungsrate von Feststoffteilchen durch Vermeidung von Rückströmungen sind ein wesentlicher Vorteil dieser Regelungsart.

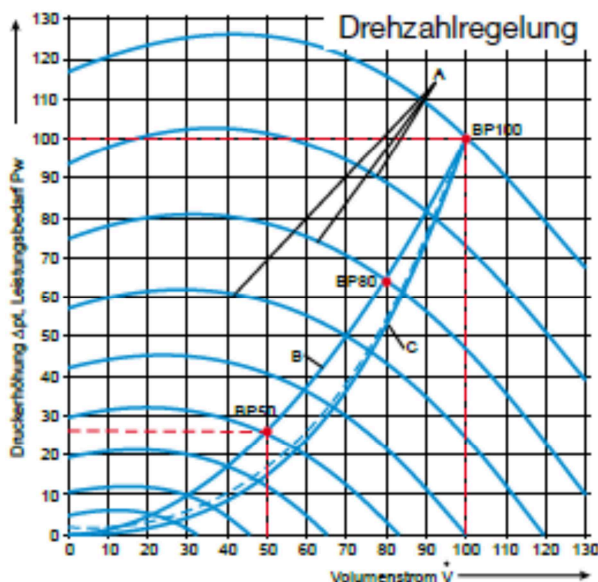


Abbildung 13 Kennlinienfeld Drehzahlregelung [16, S. 3]

Im Kennlinienfeld Abbildung 13 wird das Verhalten eines drehzahlgesteuerten Ventilators dargestellt. Die Anlagenkennlinie B bleibt dabei unverändert, lediglich die Ventilator Kennlinie A verschiebt sich proportional zur Drehzahl des Lüfters. Die Leistungsaufnahme des Ventilators verhält sich bei Vernachlässigung der Wirkungsgradänderung nach Formel 8 [5, S.95].

$$P_L = n^3 \quad (8)$$

Legende

P_L Antriebsleistung
 Laufradeingang

Bei dieser Näherungsgleichung werden besagte Wirkungsgradänderungen nicht berücksichtigt, weder der mechanische noch der Strömungswirkungsgrad in Abhängigkeit zur Drehzahl. Das Verhältnis des Strömungswirkungsgrad kann mit Hilfe der Reynold – Zahl näher bestimmt werden. Diese stellt das Verhalten von Trägheits- zu Zähigkeitskräften dar.

$$R_e = \frac{\rho * v * d}{\eta} \quad (9)$$

Legende

R_e Reynold – Zahl
 ρ Dichte des Fluids
 v Strömungsgeschwindigkeit
 d Länge des Gegenstandes
 η dynamische Viskosität

Die Näherungsgleichung nach Formel 8 gibt jedoch an, dass sich die Leistung in dritter Potenz zur Drehzahl radiziert. Erfolgt eine Drehzahlregelung bei konstant bleibendem Druck, müsste die Drehzahl nur geringfügig zurückgeregelt werden, so dass sich kaum ein wirtschaftlicher Vorteil zur Drosselregelung ergibt [5, S. 97].

4.4.3 Vordrallregelung

Der Drallregler ist grundsätzlich saugseitig angebracht, ein Beispiel für den Einbau ist in Abbildung 14 zu sehen. Durch das Verstellen der Leitschaufeln im oder gegen den Drehsinn des Ventilators wird eine Dralländerung der angesaugten Gase und damit die Volumenstromänderung erreicht. Bei negativem Vordrall wird eine Druckerhöhung bei gleichem Volumenstrom erreicht.

Drallregler

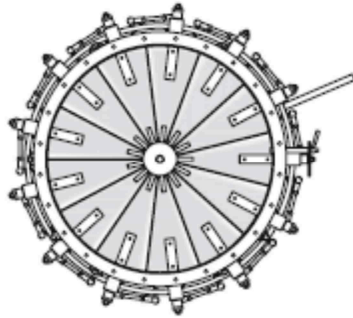


Abbildung 14 Drallregler [17, S.3]

Abbildung 15 enthält das Kennlinienfeld eines drallgesteuerten Radialventilators. Durch die Stellungsänderung des Vorleitapparates wird die Ventilator Kennlinie A beeinflusst. Bei konstant bleibender Anlagenkennlinie B ergeben sich durch Öffnen und Schließen des Drallreglers unterschiedliche Betriebspunkte BP an den Schnittpunkten beider Kennlinien. Mit Reduzierung des Volumenstroms verringert sich der Leistungsbedarf des Ventilators gemäß der Leistungsbedarfskennlinie C aus genannter Abbildung. Die Vordrallregelung wirkt sich etwas günstiger als die Drosselregelung aus, da hier Stoßverluste durch Luftumlenkung am Laufradeintritt gering bleiben. Aber ungünstige Strömungsverhältnisse und Energieverluste des Drallreglers bewirken einen unwirtschaftlicheren Betrieb als die Volumenstromregelung über die Drehzahl des Ventilators.

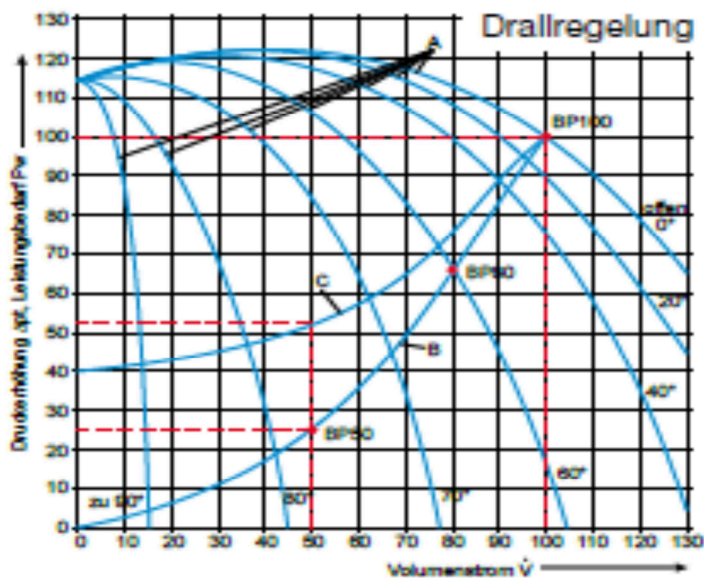


Abbildung 15 Kennlinienfeld Drallregler [16, S. 3]

Bei zu starker Drosselung des Drallreglers erfolgt unter bestimmten Voraussetzungen ein kritischer Strömungsabriss an den Leitschaufeln. Dieses Phänomen tritt nur bei ungünstigen Anströmbedingungen und in einem kleinen Bereich der Winkelstellung bei stark bis fast geschlossener Leitschaufelstellung auf. Solche kritischen Strömungsabrisse können vermieden

werden, indem die aerodynamische Zuströmung optimal gestaltet wird und der spezielle kritische Verstellwinkel nicht eingestellt wird. Dazu ist die Ventilatorgröße optimal auszulegen (Anlagenkennlinie und Ventilator-kennlinie treffen sich im vorausberechneten Betriebspunkt) und einen Regelbereich zu wählen, der im oberen 2/3-Bereich der Drallreglerstellung liegt. Die Drallreglerstellung $> 60^\circ$ sollte unbedingt vermieden werden [17, S. 7].

4.4.4 Bypassregelung

Bei dieser Regelungsart wird eine Teilmenge des geförderten Volumenstroms an der Druckseite des Ventilators entnommen und über einen Bypass zurück zur Saugseite geführt. Durch eine Drosselklappe in der Bypassleitung kann die rückgeführte Fördermenge und damit der Volumenstrom des Ventilators geregelt werden. Durch Öffnen der Drosselklappe reduziert sich der Anlagenvolumenstrom um die Menge des rückgeleiteten Mediums. Es entstehen Verluste bei längeren Teillastbetriebsstunden, da der Ventilator immer an seiner Auslastungsgrenze betrieben und nicht nach Bedarf geregelt wird. Die durch das Öffnen der Drossel entstehende Verschiebung der Anlagenkennlinie schafft neue Betriebspunkte auf der Ventilator-kennlinie. Durch die konstant hohe Förderleistung des Ventilators und die Kompression des Mediums treten auch Verluste in Form von Temperaturanstiegen auf, so dass teilweise Kühler in den Bypass gebaut werden müssen. Im Kraftwerk Wähilitz nutzt man den Bypass nicht als Regelorgan. Dazu ist vor dem Rezirkulationsluftgebläse (Abbildung 30, Fließbild Rauchgasrezirkulation) ein Drallregler installiert. Der Bypass hat hier die Funktion, die Abnahme an Rezirkulationsgas durch eine Rückführung der Gase zur Saugseite zu steigern und dadurch zur Selbstreinigung beizutragen. Durch höhere Fließgeschwindigkeiten im Ventilator werden Ablagerungen an der Beschauelung des Laufrades verhindert.

4.5 IST – Zustand im IKW Wähilitz

Die Luftversorgung ist für den Betrieb eines zirkulierenden Wirbelschichtkessels zwingend notwendig. Zur Luftversorgung im Kraftwerk Wähilitz gehören unter anderem das Frisch- und Primärluftgebläse sowie der Saugzug und das Rezirkulationsluftgebläse. Es handelt sich bei den untersuchten Ventilatoren der Hauptluftversorgung um vordrallgeregelt Radialventilatoren. Die Drallklappen in den Saugleitungen der Ventilatoren werden in Abhängigkeit zur Kesselleistung automatisch geöffnet oder geschlossen. Der Öffnungsgrad der angesprochenen Drallregler liegt im Jahresüberblick zwischen 50 und 70 Prozent. Die Betriebspunkte von Frischlüfter, Primärlüfter und Saugzug befinden sich dabei in der oberen Hälfte ihrer Kennlinienfelder. In Abbildung 16 sind die Leistungsbedarfskurven der drei Regelungsarten zum Volumenstrom \dot{V} dargestellt. Dabei stellt die Ordinate den Leistungsbedarf der Ventilatoren und die Abszisse den geförderten Volumenstrom \dot{V} dar. Man kann erkennen, dass es erhebliche Differenzen bei den Kurven des Leistungsbedarfes

gibt. Wird das Fördervolumen des Nennpunktes auf Betriebspunkt 50 halbiert, sinkt der Leistungsbedarf je nach Regelungsart unterschiedlich stark. Die Bedarfslinie C2 eines vordrallgeregelten Ventilators befindet sich dabei im „energetischen Mittelfeld“, also zwischen der effektiven Drehzahlregelung C3 und der unwirtschaftlichen Drosselregelung C1. Das elektrische Einsparpotential ergibt sich aus der Differenz der Leistungsbedarfskurve der bestehenden Drallregelung und einer möglichen Verbesserung durch die Drehzahlregelung. Aufgabe der Arbeit ist es, diese Tatsache zu untersuchen und auf positive Veränderungen zu prüfen.

Zur Regelung des Rezirkulationsgebläses über den Drallregler ist zusätzlich noch ein Bypass geschaltet. Dieser hat die Funktion dem Ventilator mehr Durchsatz bzw. Fördermenge zu verschaffen. Da der Bedarf an Rezirkulationsgas sehr gering und die Größe des Gebläses für größere Fördermengen ausgelegt ist, wird durch den Bypass zusätzlich Abnahme des Gases geschaffen.

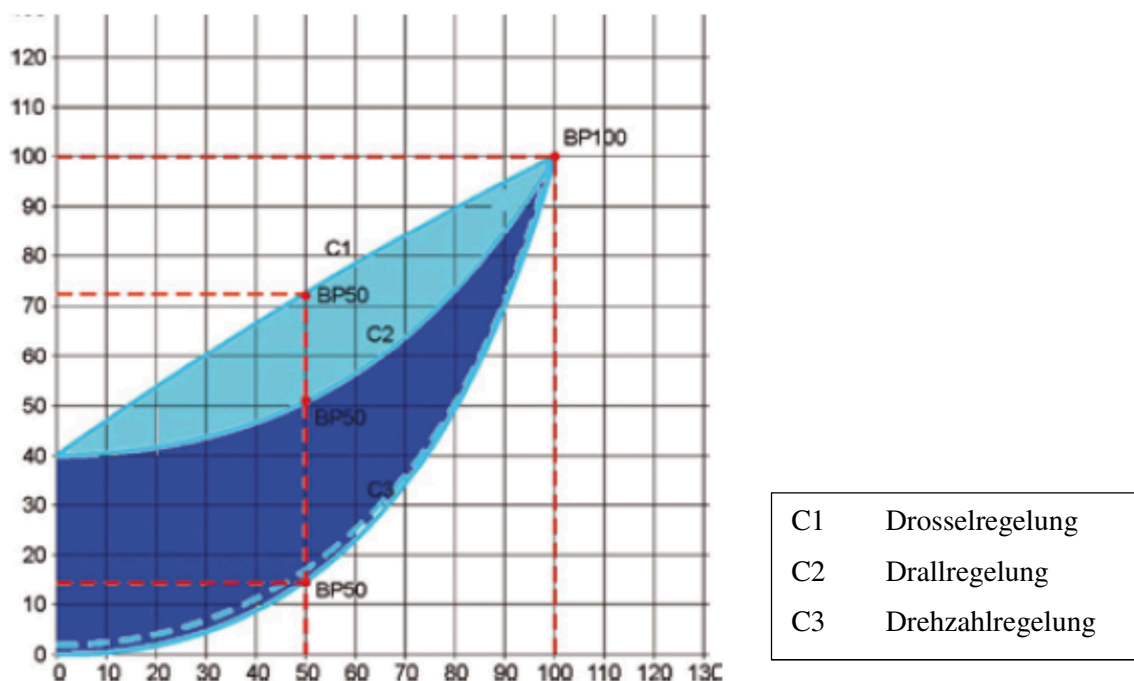


Abbildung 16 Leistungsbedarf von Drossel-/Drall- und Drehzahlregelung [16, S. 3]

Die höhere Fördermenge durch den Ventilator hat die Aufgabe der Selbstreinigung und der Verhinderung von Ablagerungen an der Beschaukelung des Laufrades. Erreicht wird das, indem man einen größeren Volumenstrom durch denselben Querschnitt führt und damit die Fließgeschwindigkeit erhöht. Für die weiteren Untersuchungen ist das Kennlinienverhalten besagter Ventilatoren zu analysieren und die aus diesem Kapitel erlangten Kenntnisse zu nutzen.

5 Grundlagen Frequenzumrichter

Wie bereits erwähnt, kann eine Drehzahländerung des Motors durch drei verschiedene Maßnahmen erzielt werden. Durch Änderung des Schlupfs, Umschalten der Polpaarzahl oder Regeln der Antriebsfrequenz. Bei der Schlupfsteuerung wird über Widerstände im Rotorkreis eine Änderung der Versorgungsspannung bewirkt und damit die Drehzahl und die Drehmomentcharakteristik beeinflusst. Die Steuerung der Drehzahl mittels Polpaarumschaltung findet während des Betriebes statt. Motoren können mit zwei verschiedenen Polpaarzahlen ausgelegt sein, das entspricht zwei verschiedenen Drehzahlen. Zwischen den schaltbaren Polpaaren liegen große Drehzahldifferenzen, daher ist eine Regelung nicht möglich. Die Drehzahländerung durch einen Frequenzumrichter ermöglicht eine stufenlose Regelung der Motordrehzahl. Aus Gründen der Effektivität und Flexibilität ist die Regelung eines Elektromotors durch die Drehzahländerung mit Hilfe eines Frequenzumrichters die beste Lösung, um Verluste gering zu halten.

Als Frequenzumrichter bezeichnet man ein Stromrichtersystem bestehend aus Eingangsstromrichter (ESR), Zwischenkreis (ZK) und Ausgangswechselrichter (WR) mit allen erforderlichen Steuer-, Regel- und Kommunikationseinrichtungen [9, S. 299]. Der Frequenzumrichter soll aus einer sinusförmigen Eingangsspannung mit konstanter Netzfrequenz und -spannung eine sinusförmige Ausgangsspannung mit einstellbarer Frequenz und Amplitude erzeugen. Dazu benötigt der Umrichter im Wesentlichen einen netzseitigen Stromrichter als Gleichrichter, einen Zwischenkreis und einen maschinenseitigen Stromrichter als Wechselrichter. Im Laufe der Entwicklung haben sich drei Arten von Frequenzumrichtern entwickelt: der Stromzwischenkreisumrichter mit Blocktaktung (IWR), der Spannungszwischenkreisumrichter mit Blocktaktung (UWR) und der Spannungszwischenkreisumrichter mit Pulsweitensteuerung (PWR). In anschließenden Abschnitten wird näher auf die einzelnen Bauteile und Vorgänge des Pulsumrichters mit Gleichspannungszwischenkreis (PWR) eingegangen, da dieser für die Regelung der Drehzahl mit Frequenzumrichter angewandt werden soll. Der PWR erzeugt, nach heutigem Stand der technischen Möglichkeiten, bei hoher Schaltfrequenz seiner abschaltbaren Ventile (Transistoren) einen nahezu sinusförmigen Ausgangsstrom.

Im Verlauf der Untersuchung stellten sich Frequenzumrichter der Firma SIEMENS als kompatibel heraus. Um den spezifischen Aufbau der einzusetzenden Antriebstechnik zu verstehen, entsteht dieses Kapitel in Anlehnung an das SINAMICS – Low Voltage Projektierungshandbuch [18].

5.1 Aufbau

Nach Bearbeitung der Leistungsauslegung der Umrichter wählte man Geräte aus der Produktreihe SINAMICS für die Produktion einer flexiblen Wechselspannung aus. Abbildung 17 zeigt das Prinzip - Schaltbild eines Umrichters mit Gleichspannungszwischenkreis und seinen einzelnen

Bestandteilen sowie der Spannungsform in jeweiligen Abschnitten. Der Eingangsstromrichter besteht aus einer Thyristorschaltung, welche vom Energieversorgungsnetz mit konstanter Frequenz f_N und Spannung U_N gespeist wird. Er hat die Aufgabe, die sinusförmige Eingangswchelspannung in eine konstante Zwischenkreisspannung umzuwandeln. Durch gesteuertes Zünden während der positiven und Sperren der negativen Halbwelle der Eingangswchelspannung mittels Thyristortechnologie entsteht eine pulsierende Gleichspannung. Der Zündvorgang erfolgt nach einem bestimmten Verzögerungswinkel α zwischen 0° und 180° . Bei ohmscher Belastung erfolgt bei jedem Nulldurchgang ein Löschen der Betriebsspannung, da der Haltestrom unterschritten wird. Es muss also nach jedem positiven Nulldurchgang erneut gezündet werden. So gelangt lediglich die positive Halbwelle in den Gleichspannungszwischenkreis, es entsteht eine Kurvenform gemäß Abbildung 17 (Mitte).

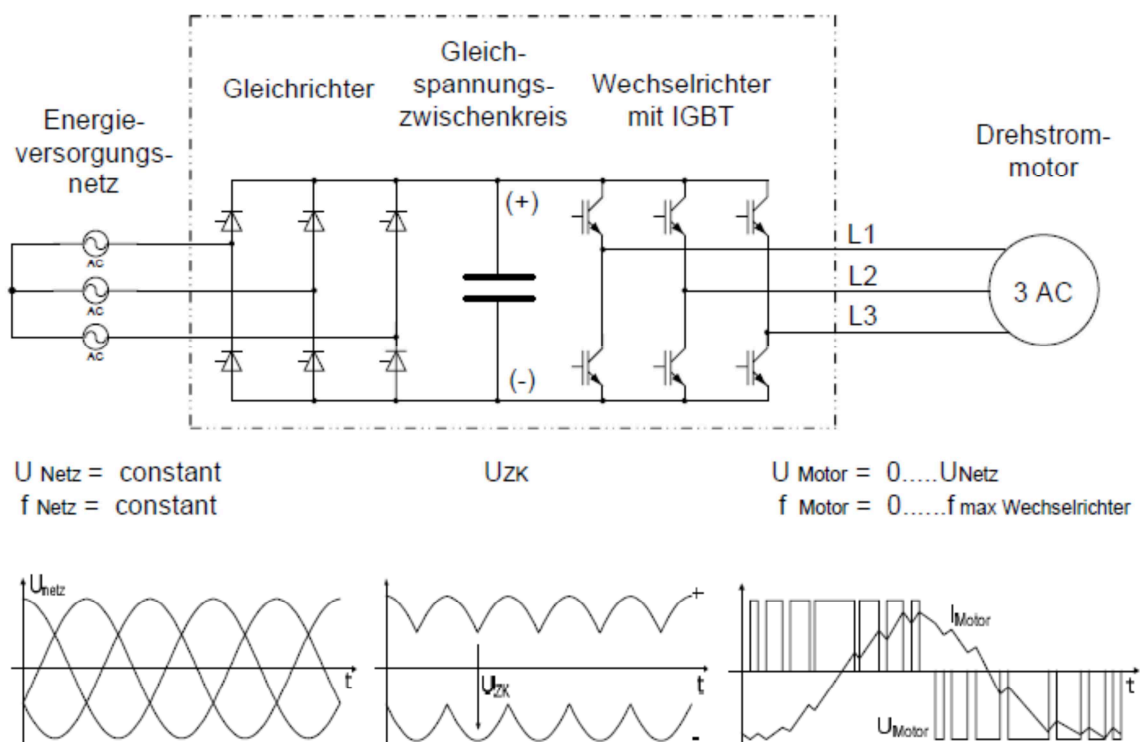


Abbildung 17 Prinzipschaltbild eines Pulsumrichters mit Gleichspannungszwischenkreis [18, S.18]

Im Gleichspannungszwischenkreis wird die pulsierende Gleichspannung geglättet und Energie gespeichert. Zur Glättung und Stabilisation der Zwischenkreisspannung wird ein Kondensator verwendet. Bei gesteuertem Gleichrichter wird die Spannung im Zwischenkreis bei gegebener Frequenz beibehalten, so dass am Wechselrichter eine reine Gleichspannung mit variabler Amplitude verfügbar ist. Die sich anschließenden Wechselrichterventile werden durch die Zwischenkreisspannung gelöscht.

Die Zwischenkreisspannung wird mittels Pulsweitenmodulation durch einen ausgangsseitigen 2 – Punkt – Wechselrichter in IGBT – Technik (Insulated Gate Bipolar Transistor) in ein

Drehstromsystem mit flexibler Frequenz und Spannung gemäß Abbildung 17 (rechts) umgewandelt. Die IGBT - Leistungshalbleiter des Wechselrichters werden von Steuerungselektronik geregelt und schalten den positiven beziehungsweise negativen Pol der Zwischenkreisspannung und erzeugen so die Motorspannung. Dabei wird die Höhe der Motorspannung U_{Motor} durch die Zwischenkreisspannung festgelegt und kann bis zum Wert der Netzspannung U_{Netz} variiert werden, während die Motorfrequenz f_{Motor} durch die maximale Drehzahl des Umrichters f_{max} Wechselrichter begrenzt wird. Um unabhängig von der Drehzahl ein konstantes Drehmoment am Motor zu erhalten, muss das Verhältnis von Spannung und Frequenz konstant gehalten werden. Dies wird durch proportionales Ändern von Spannung und Frequenz erreicht. Eine genauere Erläuterung zu dieser Thematik erfolgt in den Abschnitten 6.1 und 6.2.

5.2 Funktion und Vorgänge

In nachfolgenden Abschnitten soll näher auf Bauteile und detaillierte Vorgänge des Frequenzumrichters, im Hinblick auf verwendete Baugruppen und Abläufe der SIEMENS SINAMICS - Umrichter, eingegangen werden. Dazu gehört die Betrachtung der Strom- und Spannungsverläufe des Umrichters, die unterschiedlich stark von der idealen Sinusform abweichen.

5.2.1 Verarbeitung der Eingangsspannung mittels Gleichrichter

Im Eingangsstromrichter kommt es zur Umformung der sinusförmigen Dreiphasenwechselfspannung zu einer Gleichspannung. Der Energiefluss besteht dabei hauptsächlich von der Wechselstrom- zur Gleichstromseite. Gleichrichter können in gesteuerte und ungesteuerte Umformer unterschieden werden. In ungesteuerten Gleichrichtern kommen ausschließlich Dioden zum Einsatz, so dass die Höhe der erzeugten Gleichspannung nicht beeinflusst werden kann. Der Zündwinkel beträgt $\alpha = 0^\circ$. Bei gesteuerten Gleichrichtern wird die wirksame Gleichspannung von gesteuerten Thyristoren erzeugt. Die Stromdurchsatzrichtung bleibt, wie bei Dioden auch, während der positiven Sinushalbwelle von der Anode zur Kathode, muss aber durch ein Signal am Gateanschluss freigegeben werden. Das Steuersignal auf den Gateanschluss gibt hier den Zündverzögerungswinkel α vor. Durch verändern von Zündverzögerungs- und Stromflusswinkel Θ ist eine stufenlose Gleichspannung- bzw. Leistungssteuerung möglich. Der Zündwinkel α kann zwischen 0° und 180° betragen. Wenn ein Stromdurchsatz durch den Thyristor erfolgt, ist dieser solange leitend, bis der Strom Null wird und kann auch nicht durch ein Signal am Gateanschluss unterbrochen werden [19, S. 145].

Während des Betriebes der Stromrichterschaltung kommt es zu Kommutierungseinbrüchen (Spannungseinbrüche durch kurzzeitiges Kurzschließen von zwei Wechselstromleitern durch parallele Schaltung von Thyristoren), die Folgen sind Spannungsoberschwingungen im Versorgungsnetz des Frequenzumrichters. Zur Reduzierung dieser Netzurückwirkungen dient eine

Eingangsdrossel (Kommutierungsdrossel). Gesteuerte Gleichrichter ermöglichen eine Energieumkehr bei generatorischen Motorbetrieb, indem der Gleichrichter als netzgeführter Wechselrichter fungiert.

5.2.2 Zwischenkreis

Frequenzumrichter werden mit einem Zwischenkreis betrieben, der mit Gleichspannungsparametern die Verbindung zwischen Gleichrichter und Wechselrichter dient. Grundsätzliche Umrichterausführungen unterscheiden zwischen zwei verschiedenen Typen von Zwischenkreisen, den Gleichstromzwischenkreis und dem Gleichspannungs-zwischenkreis. Zwischenkreise mit einer großen Induktivität formen die von dem Eingangsgleichrichter erzeugte pulsierende Gleichspannung in einen variablen Gleichstrom um. Das zentrale Bauteil des Gleichspannungszwischenkreises ist der Zwischenkreiskondensator. Er wird zur Glättung der entstandenen Gleichspannung und als Energiespeicher verwendet. Außerdem beeinflusst die Kapazität die Stabilität der Ausgangsspannung (muss optimal abgestimmt sein) sowie den Oberschwingungsgehalt des Motorstromes und damit dessen Rundlauf [21, S. 31]. Da die SIEMENS SINAMICS – Umrichter mit Gleichspannungszwischenkreis betrieben werden, wird in dem folgenden Text näher auf diesen Typ eingegangen. Die Zwischenkreisspannung U_{ZK} netzgeführter Umrichter im Leerlauf berechnet sich laut SIEMENS – Projektierungsunterlagen [18, S. 21] gemäß Formel 10.

$$U_{ZK} = \sqrt{2} * U_N \quad (10)$$

Legende:

U_{ZK} Zwischenkreisspannung

U_N Netzspannung

Bei voller Belastung ist die Zwischenkreisspannung U_{ZK} nach Formel 11 zu ermitteln.

$$U_{ZK} = 1,32 * U_N \quad (11)$$

Wird der Asynchronmotor im generatorischen Betrieb gesteuert, erfolgt eine Anhebung / Änderung der Zwischenkreisspannung U_{ZK} gemäß Formel 12 [9, S. 306].

$$\Delta U_{ZK} = \sqrt{\frac{2 * \Delta W}{C_d}} \quad (12)$$

Legende:

ΔW zugeführte Energie

C_d Kapazität (Zwischenkreis)

5.2.3 Erzeugung der Ausgangsspannung durch den Wechselrichter

Die konstante Zwischenkreisspannung wird vom maschinenseitigen Wechselrichter in ein Drehstromsystem mit variabler Spannung und Frequenz umgewandelt. Der Wechselrichter in Abbildung 18 besteht aus drei Brückenweigen (U V W), die sich aus jeweils zwei IGBT – Leistungshalbleitern zusammensetzen, welche vom Steuer- und Regelkreis je nach Drehzahlvorgabe Signale für Ein- und Ausschaltzeitpunkte erhalten und damit die Ausgangsparameter Spannung, Strom und Frequenz erzeugen. Um hohe Induktionsspannungen im Umschaltmoment des Transistors zu verhindern und diesen zu schützen, sind Freilaufdioden parallel zu den Leistungshalbleitern geschaltet [20, S. 20].

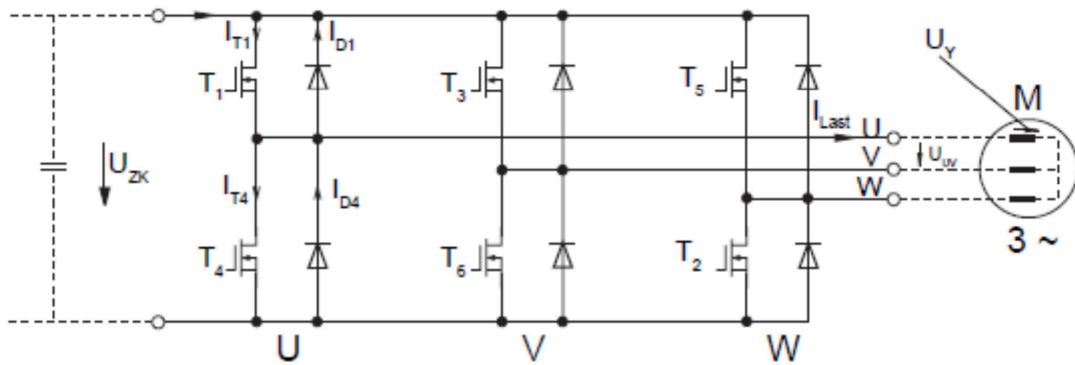


Abbildung 18 Ausgangswechselrichter in IGBT – Technik [21, S. 29]

In den angedachten SIEMENS – Umrichtern werden die Schaltpunkte der IGBTs nach dem Verfahren der Pulsweitenmodulation (PWM) gesteuert. Das Verfahren wird im Laufe des Textes näher vorgestellt, zuvor soll eine kurze Beschreibung der IGBT - Technik erfolgen. Die Leistungshalbleiter agieren als schnelle elektronische Schalter, die positiven beziehungsweise negativen Pol der Zwischenkreisspannung schalten. Genauer beschrieben ist ein IGBT ein feldgesteuertes Bauelement, welches vereinfacht aus einem Bipolar - Transistor und einem MOSFET (Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor) gemäß Abbildung 19 besteht. Das Durchlassverhalten des IGBT wird von dem bipolaren Transistor (pnp) am Kollektoreingang bestimmt, der Stromfluss findet damit über eine pnp – Strecke statt.

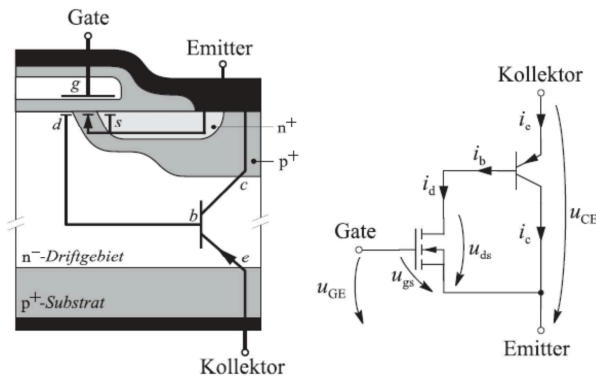


Abbildung 19 stark vereinfachtes Ersatzschaltbild des IGBT [22, S. 24]

Durch Anheben der Gate Spannung U_{GE} über die Threshold – Spannung U_{Th} (Schwellspannung) wird in dem MOSFET ein leitfähiger Elektronenkanal von der Source – Elektrode s zur Driftregion n' ausgebildet. Dadurch kann in diesen Anschlüssen ein Strom fließen, der gleichzeitig Basisstrom des Bipolar - Transistors ist. Der eingeschaltete IGBT hat die Funktion eines Bipolar - Transistors, dessen Basisstrom von einem MOSFET gesteuert wird. Der nun geschaltete Bipolar - Transistor kann hohe Spannungen und Ströme vom Kollektor zum Emitter weiterleiten, der IGBT ist damit durchlässig. Bei der angesprochenen Pulsbreitenmodulation wird über die Dauer der Ansteuersignale und die Höhe der Zwischenkreisspannung, die vom Wechselrichter erzeugte variable Ausgangsspannung und Frequenz definiert. Um die drei Phasen der Ausgangsspannung mit zwei Potentialen darzustellen, sind acht ($2^3 = 8$) verschiedene Schaltkombinationen der Leistungshalbleiter notwendig. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Matrix der Wechselschaltung auf.

Schaltzustände des Wechselrichters	Phase L1	Phase L2	Phase L3
U_1	+	-	-
U_2	+	+	-
U_3	-	+	-
U_4	-	+	+
U_5	-	-	+
U_6	+	-	+
U_7	+	+	+
U_8	-	-	-

Abbildung 20 Tabelle Schaltzustände des WR [18, S. 19]

Die Schaltzustände U_1 bis U_8 werden durch kombiniertes Ein- und Ausschalten der IGBT erzeugt. In Abbildung 18 werden die Phasen L1 L2 L3 durch die Bezeichnung U V W ersetzt. Es ist zu erkennen, dass die Ventile T_1 , T_3 und T_5 das positive Potential der Zwischenkreisspannung schalten, während T_2 , T_4 und T_6 den negativen Pol der Gleichspannung führen. Bei der Erzeugung der Wechselspannung ist lediglich eines der beiden Ventile pro Wechselrichterstrang eingeschaltet und durchgängig, so dass in Kombination am Wechselrichterausgang acht diskrete Spannungszustände erzeugt werden können. Die Phase L1 (Abbildung 17) beziehungsweise U (Abbildung 18) kann durch die vier verschiedenen Schaltzustände U_1 , U_2 , U_6 und U_7 dargestellt werden. Betrachtet man zum Beispiel den Schaltzustand U_1 , kann man aus der Tabelle erkennen, dass der positive Gleichspannungspol durch Ventil T_1 geschaltet wird und T_2 und T_6 negatives Potential führen. Entsprechend der Schaltzustände ergeben sich die resultierenden Motorspannungen, die als Spannungszeiger beschrieben werden. In Abbildung 21 ist die Ständerwicklung des Motors dargestellt, so ergibt sich beim Schaltzustand U_1 die Motorphase L1, welche im Raumzeiger mit I bezeichnet wird. Die Länge des Spannungszeigers wird durch die Zwischenkreisspannung bestimmt und ist in den Schaltzuständen U_1 bis U_6 konstant.

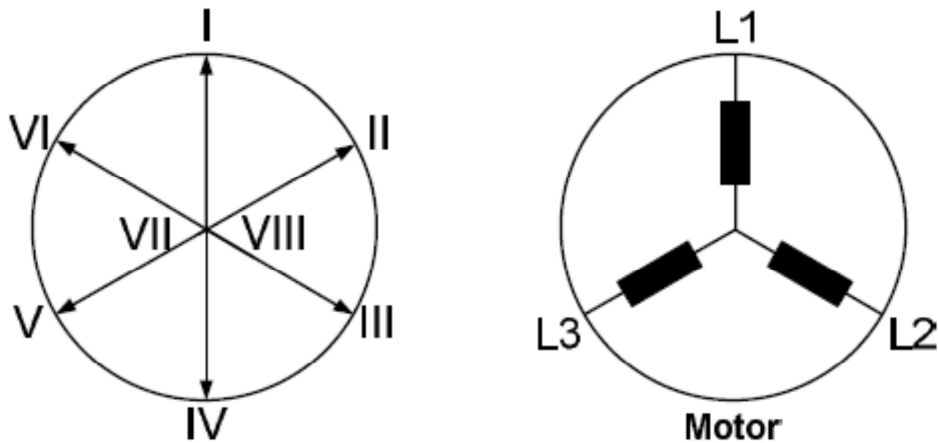


Abbildung 21 Darstellung resultierende Motorspannung im Raumzeiger [18, S. 19]

Durch Schalten von Ventil T_3 wird der Schaltzustand U_1 in Zustand U_2 geschaltet, es ergibt sich am Wechselrichter Ausgang eine Potentialänderung, der Spannungszeiger springt um 60° el. weiter. In gleicher Weise entstehen die Schaltzustände U_3 bis U_6 . Durch den Betrag der Zwischenkreisspannung und die Winkellage des Spannungszeigers lassen sich sechs Schaltkombinationen eindeutig und unmittelbar darstellen. Da bei den Kombinationen U_7 und U_8 an allen Umrichter Ausgangsklemmen das gleiche Potential (entweder Plus- oder Minuspotential) entsteht, ergibt sich ein Spannungszeiger mit der Länge Null. Auf diese Art und Weise kann mittels Pulsweitenmodulation durch Pulsen benachbarter Spannungsraumzeiger und dem Nullpotential eine variable Ausgangsspannung gebildet werden. Die SIEMENS - Frequenzumrichter arbeiten nach dem Prinzip der Raumzeigermodulation (RZM). Dabei wird durch Variation der Einschaltdauer benachbarter Spannungszeiger der Raumwinkel und durch Variieren der Einschaltdauer des Nullspannungszeigers der Betrag der Spannung eingestellt [18, S. 19]. In Abbildung 22 werden der Zeitverlauf einer Ausgangsspannung (U Leiter – Leiter) und der resultierende Strom im Motor dargestellt.

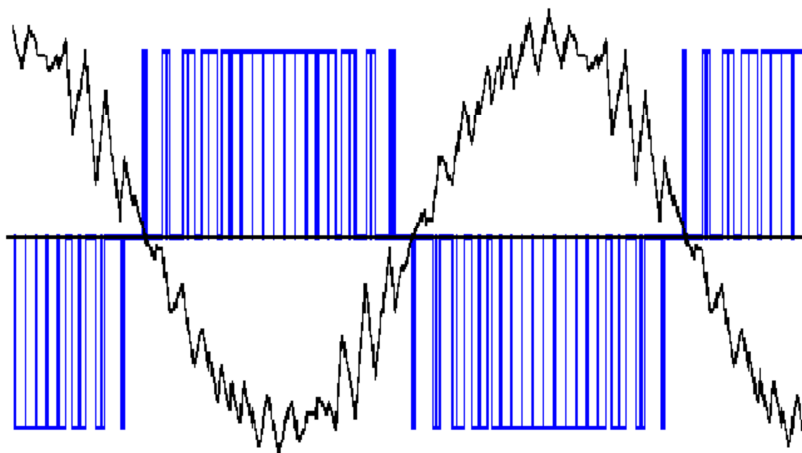


Abbildung 22 Motorspannung (Leiter – Leiter) und Motorstrom bei RZM [18, S. 20]

Es ist zu erkennen, dass trotz rechteckförmigen Spannungspulsmusters, dessen Scheitelwert gleich der Zwischenkreisspannung U_{ZK} ist, ein annähernd sinusförmiger Motorstrom fließt. Man geht in dieser Skizze von einem Standardasynchronmotor mit 50 Hz Bemessungsfrequenz und einer Pulsfrequenz von 1,25 kHz aus. Die Höhe der Pulsfrequenz, die Frequenz mit der die Transistoren während einer Halbwelle schalten und die Motorinduktivität haben dabei eine glättende Wirkung auf den Motorstrom. Die theoretisch mögliche Motorspannung im Volllastbetrieb mit Raumzeigermodulation kann laut Projektierungsunterlagen von SIEMENS [18, S. 21ff] durch die Formel 13 (max. Motorspannung RZM U_{RZmax}) ermittelt werden.

$$U_{RZmax} = 0,935 * U_N \quad (13)$$

Legende:

U_{RZmax} max. Motorspannung RZM

U_N Netzspannung

In der Praxis ist aber auf Grund von Spannungsabfällen im Umrichter von einer Ausgangsspannung gemäß der Näherungsformel 14 auszugehen.

$$U_{RZmax} \approx 0,92 * U_N \quad (14)$$

5.3 Regelungsverfahren für Pulswechselrichter

Die Umrichter der SINAMICS Baureihe verfügen laut SIEMENS – Projektierungshandbuch [18, S. 29] über zwei unterschiedliche Steuerungs- und Regelungsarten. Dabei wird die Drehzahlsteuerung im Allgemeinen durch die Vorgabe von Spannungs- und Frequenzsollwerten realisiert, die durch einfache Kennliniensteuerungen (U/f-Kennlinie) oder einen komplexen Sollwert (Spannungsraumzeiger) dargestellt werden. In der folgenden Abbildung 23 wird die Drehmoment - Drehzahl - Kennlinie eines Asynchronmotors in Abhängigkeit von Spannung und Frequenz dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die schwarz markierte Motorkennlinie im Konstant - Flussbereich bis zu seiner Nennfrequenz (f_n) durch proportionale Veränderung von Spannung und Frequenz über das gleiche Dreh- und Kippmoment (blau/rot gestrichelt) des Motors verfügt. Wird die maximale Ausgangsspannung des Umrichters erreicht und die Frequenz weiter erhöht, befindet sich der Motor im Feldschwächebereich. Der magnetische Fluss im Motor nimmt ab, womit das nutzbare Drehmoment M verringert wird.

Mit dem Verhalten des drehzahlgeregelten Asynchronmotors beschäftigt sich Kapitel 6 ausführlich, dazu werden die Auswirkungen der Frequenzänderung und Vorgänge im Motor erklärt.

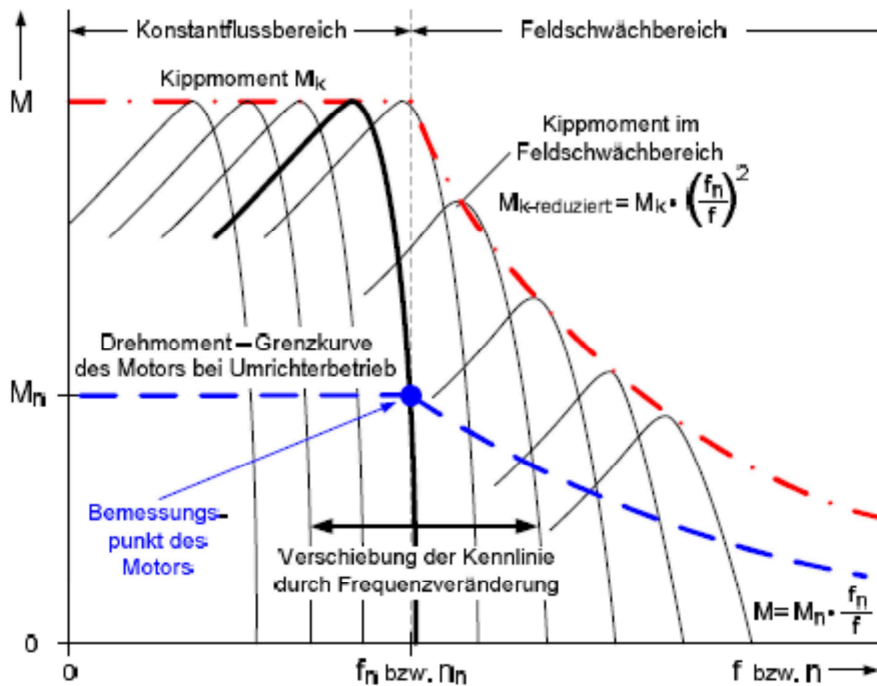


Abbildung 23 Drehmoment – Drehzahl – Kennlinie Asynchronmotor [18, S. 29]

Dieser Abschnitt der Arbeit soll sich mit den Steuerungs- und Regelungsarten der Frequenzumrichter beschäftigen. Dazu werden die Funktionsprinzipien der bereits angesprochenen U/f – Kennlinie und Feldorientierten Regelung vorgestellt.

5.3.1 U/f – Kennlinie

Bei der Spannungs- / Frequenzsteuerung wird die Spannung proportional der Frequenz gemäß einer vorgegebenen U/f – Kennlinie nachgeführt. In Abbildung 24 ist ein prinzipielles Strukturbild einer U/f – Steuerung dargestellt. Man kann an Hand des vereinfachten Schemas erkennen, dass der Sollwert der Frequenz f_{soll} von der Drehzahlvorgabe n_{soll} abgeleitet wird. Zusätzlich zum Sollwert der Frequenz wird dem Steuersatz der zugewiesene Spannungssollwert U_{soll} übermittelt. Nun wird ein Pulsmuster zur Steuerung der IGBTs des Leistungsteils erzeugt. Die Kurven - Charakteristik der U/f – Kennlinie ist in der SIEMENS Firmenware hinterlegt. Ziel der Kennliniensteuerung ist eine konstante Fahrweise des magnetischen Flusses im Motor mit dem Wert des Bemessungsflusses. Um bei niedrigen Frequenzen den Spannungsabfall über dem ohm'schen Ständerwiderstand zu kompensieren und die vorgegebene U/f – Kennlinie einzuhalten, benötigt es einer Spannungsanhebung, dem sogenannten Boost. Bei hohen Frequenzen und Überschreitung der maximalen Ausgangsspannung verringert sich der magnetische Fluss im Motor. Dieser arbeitet damit im Feldschwächebereich. Die Vorteile dieser Steuerung bestehen in der einfachen Komplexität und geringen Empfindlichkeit gegenüber Parameterschwankungen (Widerstandsänderung durch Erwärmung). Außerdem wird der lastabhängige Drehzahlabfall durch interne Frequenzanhebung ausgeglichen, der sogenannten Schlupfkompensation.

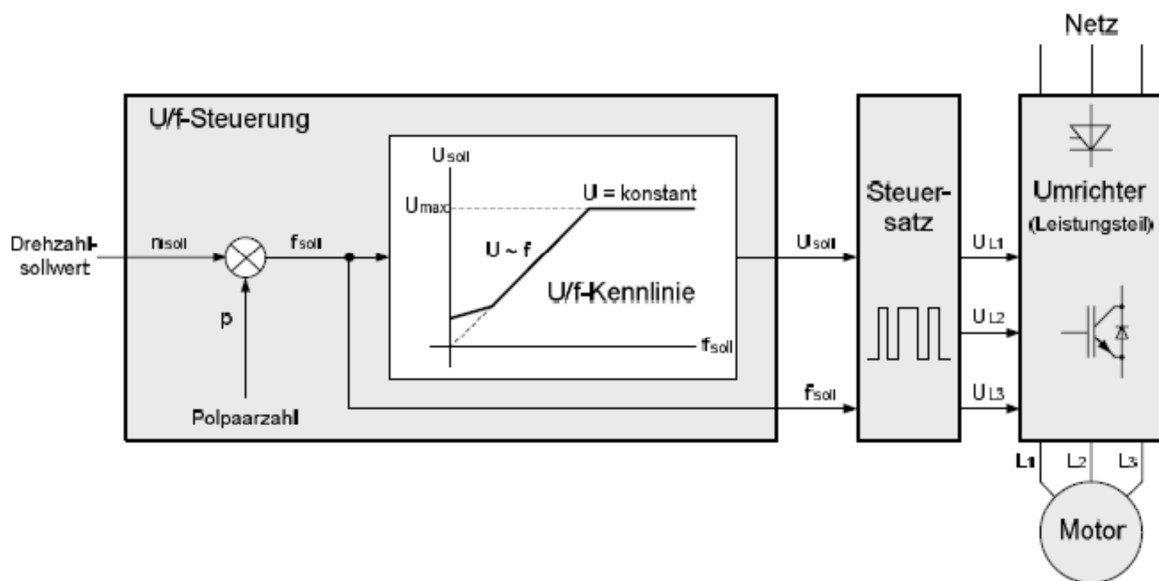


Abbildung 24 Prinzipielles Strukturbild der U/f – Steuerung [18, S. 30]

Nachteile sind geringe Genauigkeit und Dynamik bei niedrigen Drehzahlen und im Feldschwächebereich. Die Dynamik des Drehmomentes, bei sprunghaften Änderungen des Drehzahl-sollwertes, wird von elektromagnetischen Ausgleichsvorgängen in dem Motor verringert. Aus Vor- und Nachteilen wird der Einsatz für Asynchronmotoren mit geringen Anforderungen an Dynamik und Genauigkeit sowie bei eingeschränktem Drehzahlbereich empfohlen [9, S. 302].

5.3.2 Feldorientierte Regelung

Die feldorientierte Regelung ist wesentlich komplexer als die Kennliniensteuerung, dabei werden das Ständermagnetfeld und das Läufermagnetfeld gegeneinander orientiert. Die Steuerung der Maschine erfolgt über das rotierende Magnetfeld des Läufers. Der Ständerstrom lässt sich in zwei Komponenten zerlegen, in die drehmomentbildende Komponente I_q und die feldbildende Komponente I_d . In Abbildung 25 ist der prinzipielle Aufbau einer feldorientierten Regelung abgebildet. Es ist zu erkennen, dass die Motorströme durch das Motormodell mit Koordinatenwandlung (KW) in die zwei Stromkomponenten $I_{d \text{ ist}}$ und $I_{q \text{ ist}}$ umgewandelt werden. Anschließend kommt es zu einem Abgleich der Stromsollwerte ($I_{d \text{ soll}}$ bzw. $I_{q \text{ soll}}$) und der gebildeten Istwerte. Differenzen werden an die jeweiligen Stromregler weitergegeben, in denen eine Umwandlung in die Spannungskomponenten $U_{d \text{ soll}}$ und $U_{q \text{ soll}}$ des rotierenden Koordinatensystems stattfindet. In der anschließenden Koordinatenwandlung werden die Spannungskomponenten des rotierenden Koordinatensystems in komplexe Spannungen U_α und U_β des ortsfesten Koordinatensystems umgeformt. Daraus wird im Steuersatz ein Pulsmuster zur Steuerung der IGBTs des Wechselrichters nach Drehzahlvorgabe n_{soll} erzeugt.

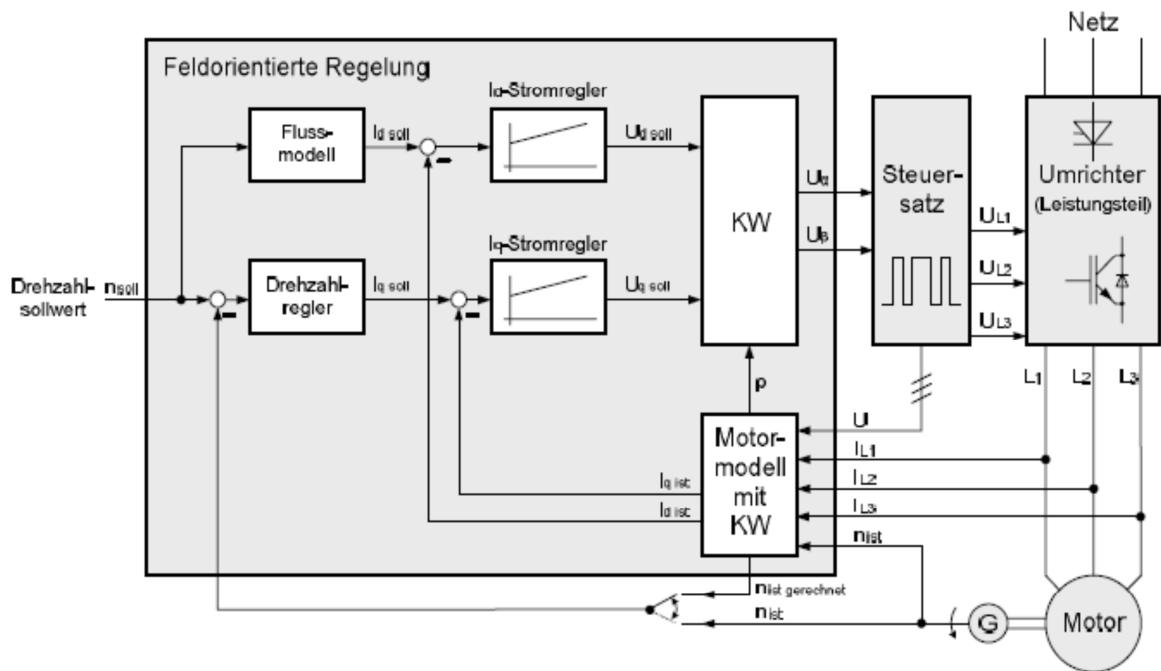


Abbildung 25 Prinzipielles Strukturbild der feldorientierten Regelung [18, S. 31]

Die feldorientierte Regelung kann in Vektorregelung und Servoregelung gegliedert werden. Die Vorteile der Vektorregelung liegen in der hohen Dynamik sowie der Drehmomentgenauigkeit, während die Servoregelung hauptsächlich bei hochdynamischer Bewegungsführung eingesetzt wird. Genereller Vorteil dieser Art von Drehstromregelung sind die schnelle Reaktionsfähigkeit auf Laständerungen, die exakte Geschwindigkeitsregelung sowie ein volles Drehmoment in niedrigen Drehzahlbereichen.

6 Drehzahlregelung mit Frequenzumrichter

In diesem Kapitel soll das Zusammenspiel von Frequenzumrichter und Drehstrom – Asynchronmotor erläutert werden. Da es sich bei der Untersuchung um Asynchronmotoren mit Käfigläufer handelt, wird im weiteren Verlauf auf genannte Antriebe eingegangen. Günstige Anschaffungskosten, begründet durch den geringen Produktionsaufwand, und hohe Zuverlässigkeit sind die Vorteile, die den Drehstrom – Asynchronmotor zum meist eingesetzten elektrischen Antrieb der Industrie machen. Mittlerweile werden bis zu 90 Prozent der gesamten mechanischen Energien durch Drehstrom - Asynchronmotoren erzeugt. Der Nachteil des Asynchronmotors besteht darin, dass die Drehzahl durch die Frequenz der Speisespannung gegeben ist. Um diese für technologische Prozesse regeln oder steuern zu können, muss die Leistung von elektrischen Antrieben dem Bedarf des Systems angepasst werden. Ausgehend von den Erkenntnissen des letzten Kapitels sind die weiteren Betrachtungen mit der Nutzung eines Frequenzumrichters anzustellen.

6.1 Prinzip

Drehstrommotoren können am Netz mit konstanter Spannung und Frequenz bei gleichbleibender Drehzahl, aber auch mit einem variablen Spannungs-/ Frequenzverhalten betrieben werden. Die Drehzahl ist dabei bedingt abhängig von der Frequenz der Speisespannung, wie in Formel 15 dargestellt wird.

$$n_{syn} = \frac{f_{Netz} * 60}{p} \quad (15)$$

Legende:

n_{syn} Synchrondrehzahl

f_{Netz} Netzfrequenz

p Polpaarzahl

Soll der Asynchronmotor in einem variablen Drehzahlbereich mit einer Drehzahlsteuerung durch einen Frequenzumrichter betrieben werden, muss, um das volle Drehmoment zu erhalten, der magnetische Fluss konstant bleiben. Dazu muss die Speisespannung proportional zur Frequenz nachgeführt werden. Das Steuergesetz für Frequenzregelung wird durch Formel 16 beschrieben.

$$\frac{U_1}{U_{1n}} = \frac{f_1}{f_{1n}} \quad (16)$$

Legende:

U_1 Ständerspannung

f_1 Ständerfrequenz

U_{1n} Ständernennspannung

f_{1n} Ständernennfrequenz

Die Proportionalität aus Formel 16 bleibt bis zur Nennspannung aufrecht, wird die Frequenz weiter erhöht ($f_1 > f_{1n}$), bleibt die Spannung konstant, jedoch wird der magnetische Fluss ϕ , aus Formel 17 ersichtlich, kleiner. Damit arbeitet der Motor im Feldschwächebereich.

$$\frac{\phi}{\phi_n} = \frac{1}{\frac{f_1}{f_{1n}}} \quad (17)$$

Legende:

ϕ magn. Fluss

ϕ_n magn. Nennfluss

Um den genauen Zusammenhang der Abhängigkeit des Magnetisierungsstroms I_μ von Speisefrequenz f_1 und Speisespannung U_1 zu beschreiben, werden im Leerlaufersatzschaltbild Abbildung 26 und nachfolgenden Formeln (18 bis 21) die genauen Beziehungen dargestellt.

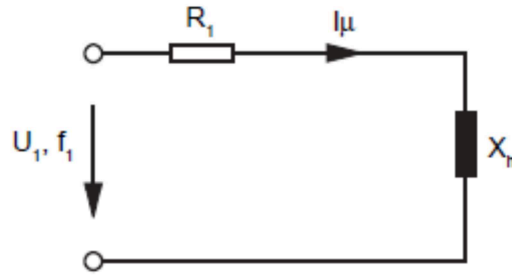


Abbildung 26 Leerlaufersatzschaltbild des Drehstrom – Asynchronmotors [21, S. 38]

Bei den verwendeten Symbolen R_1 und X_h handelt es sich um den Ständerwiderstand und die Hauptreaktanz des elektrischen Antriebs, während Spannung U_1 und Frequenz f_1 die Eingangsparameter der Speisespannung angeben. Der Magnetisierungsstrom I_μ kann mit Hilfe von nun bekannten elektrischen Größen durch Formel 18 berechnet werden.

$$I_\mu = \frac{U_1}{\sqrt{R_1^2 + X_h^2}} = \frac{U_1}{\sqrt{R_1^2 + (2\pi * f * L_h)^2}} \quad (18)$$

Legende:

- U_1 Speisespannung
- L_h Hauptinduktivität
- R_1 Ständerwiderstand

Da der Ständerwiderstand R_1 frequenzunabhängig ist, kann dieser als konstant betrachtet werden. Vernachlässigt man nun die Hauptinduktivität L_h , ergeben sich laut Formel 19 und 20 folgende Beziehungen:

$$I_\mu = \frac{U_1}{2 * \pi * f * L_h} \quad (19)$$

$$\rightarrow I_\mu \sim \frac{U_1}{f} \quad (20)$$

Durch proportionales Ändern von Spannung U_1 und Frequenz f_1 muss der Magnetisierungsstrom I_μ konstant auf dem Nennwert I_{μ_n} gehalten werden, so dass die Asynchronmaschine stets mit Nennfluss ϕ_n betrieben wird und in der Lage ist, über den gesamten Drehzahlbereich Nennmoment abzugeben. Unter Betrachtung des frequenzabhängigen Verhaltens der Hauptreaktanz X_h , welche Proportionalität zur Frequenz aufweist (siehe Formel 18), kommt es bei Änderung der Frequenz zu unterschiedlichen Spannungsabfällen am konstanten Ständerwiderstand R_1 .

Sollte der Magnetisierungsstrom I_μ , durch ausbleibende Veränderung von Spannung und Frequenz kleiner werden, spricht man von Feldschwächung. Bei zu hohem Magnetisierungsstrom spricht man von Übersättigung. In Abbildung 27 wird das Verhalten des Asynchronmotors vom magnetischen Fluss und Magnetisierungsstrom dargestellt.

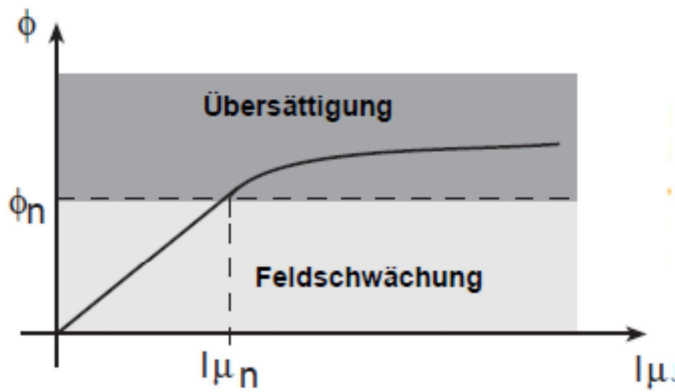


Abbildung 27 Feldschwächung [21, S. 38]

Wie im Text bereits beschrieben, stellt sich bei Eingangsnennparametern der Nennmagnetisierungsstrom $I_{\mu n}$ und der magnetische Nennfluss ein. In Abbildung 27 ist die lineare Proportionalität des Steuergesetzes für Frequenzregelung (Formel 16) bis zu den jeweiligen Nennwerten von Speisespannung und Speisefrequenz dargestellt. Soll nun eine Drehzahlerhöhung über Nennfrequenz erreicht werden, bleibt ab Nennspannungswert die Spannung konstant. Dieser Betriebspunkt wird auch Eckfrequenz $f_{U_{max}}$ genannt. Folge der Frequenzerhöhung über Nennwert ist, laut Formel 17, eine Verringerung des magnetischen Flusses ϕ und damit der Betrieb im Feldschwächebereich. Im Feldschwächebereich verfügt der Motor nicht mehr über das volle Drehmoment und sollte daher vermieden werden. Das Drehmoment M berechnet sich laut Formel 21 aus:

$$M \sim \phi * I_2' \quad (21)$$

Legende:

M	Drehmoment
ϕ	magn. Fluss
I_2'	Läuferstrom

6.2 Motorkennlinie bei Umrichterbetrieb

Die Annahmen im vorigen Abschnitt beziehen sich auf den Leerlauf und damit einen schlupffreien Betrieb. Wird nun der Motor belastet, ändert sich der Schlupf $s > 0$, was einen zusätzlichen Läuferstrom I_2' bewirkt. In Abbildung 28 wird ein vereinfachtes Ersatzschaltbild eines belasteten Drehstrom – Asynchronmotor abgebildet. Durch den Läuferstrom I_2' tritt ein zusätzlicher Spannungsabfall am Ständerwiderstand R_1 auf, welcher durch Nachführen der Speisespannung U_1 (Boost) kompensiert werden muss, um einen konstanten Magnetisierungsstrom zu I_μ erhalten.

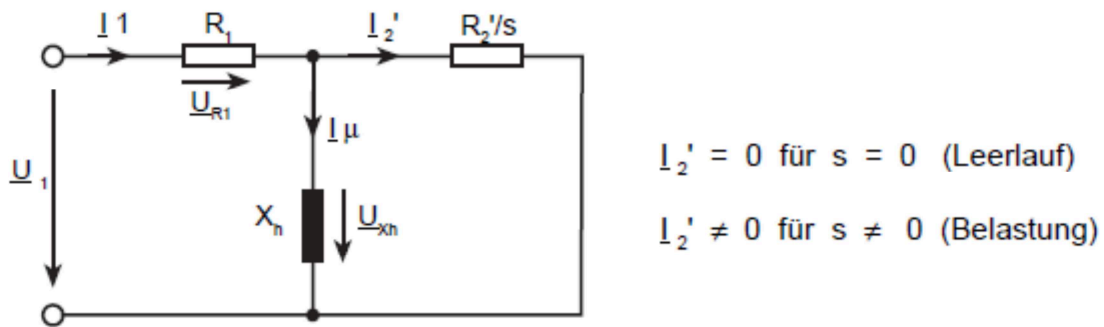


Abbildung 28 vereinfachtes Ersatzschaltbild des belasteten DASM [21, S. 41]

Wird der Magnetisierungsstrom konstant gehalten, stellen sich die in Abbildung 29 dargestellten Drehmoment – Drehzahl – Kennlinien ein. Wie bereits im Abschnitt zuvor beschrieben, hat eine Drehzahländerung bis zur Eckfrequenz f_{Umax} die Parallelverschiebung der Kennlinie und ein nahezu konstantes Kippmoment zur Folge. Mit Erhöhung der Frequenz darüber hinaus wird das Kippmoment umgekehrt proportional zu f^2 vermindert und der Anstieg im Arbeitsbereich flacher.

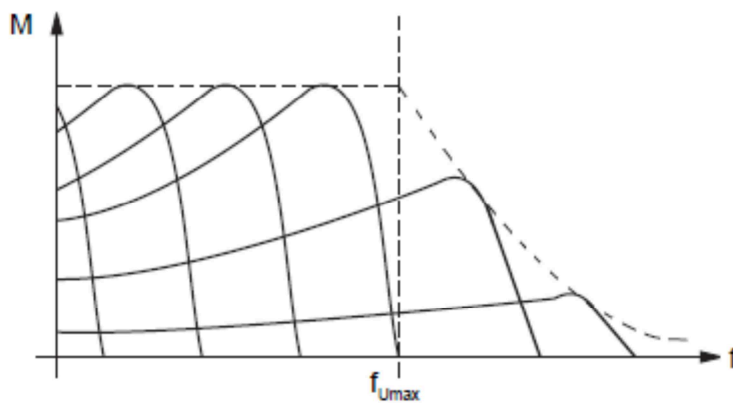


Abbildung 29 Drehmoment – Drehzahl – Kennlinie [21, S. 42]

Erklärung hierfür ist, dass eine Spannungserhöhung der Ausgangsspannung ab der Eckfrequenz nicht möglich ist. In Folge dessen wird nach Formel 18 der Magnetisierungsstrom I_μ verringert, was einen geschwächten magnetischen Fluss ϕ zur Folge hat. Damit arbeitet der Motor im Feldschwächebereich. Gleichzeitig ist eine Zunahme des Schlupfes außerhalb des Arbeitsbereiches zu erkennen. Daher sind Betriebspunkte im Bereich der Nennparameter festzulegen.

6.3 Netzurückwirkungen

Unter Netzurückwirkungen versteht man zusammenfassend die Wirkung nicht - sinusförmiger Ströme auf das speisende Netz. Sie entstehen, wenn nichtlineare Verbraucher an sinusförmige Spannungsquellen angeschlossen werden. Netzurückwirkungen sind Störaussendungen elektrischer Verbraucher mit Stromrichterschaltungen, die eine Verzerrung der Speisespannungskurvenform oberhalb der Netzfrequenz durch Blindleistung, Strom- und Spannungsüberschwingungen

bewirken. Die Oberschwingungsblindleistung, Verzerrungsleistung genannt, besteht aus induktiver Blindleistung durch Phasenverschiebung von Spannung und Strom, zusätzlichen Netzoberschwingungen und der Netzspannung. Der dem Stromrichter zugeführte Strom aus dem Versorgungsnetz ist nicht als rein sinusförmig zu betrachten, sondern setzt sich aus Grund- und Oberschwingungen zusammen. Die Grundschwingung dient der Leistungsübertragung, während die Stromoberschwingung das Netz durch Spannungsabfälle belastet und damit die Verzerrung der Spannungskurvenform bewirkt. Dadurch kann es zu zusätzlichen Verlustleistungen und der Gefahr von Resonanzanregung kommen. Die Hauptursache für Spannungsoberschwingungen stellen Kommutierungseinbrüche dar. Diese Spannungseinbrüche entstehen in Stromrichterschaltungen während des Kurzschließens von zwei Wechselstromleitern, wenn kurzzeitig zwei Thyristorventile parallel geöffnet sind.

Beim Frequenzumrichter sorgt der Eingangsgleichrichter für eine pulsierende Gleichspannung, womit der Zwischenkreiskondensator bei jeder Spannungsspitze aufgeladen wird. Während der Ladevorgänge entstehen an der Eingangsseite des Frequenzumrichters impulsförmige, nicht sinusförmige Ströme mit hoher Amplitude. Durch diese Belastung wird die Sinusform der Speisespannung abhängig von der Netzimpedanz verzerrt. Zusätzliche Verbraucher des Versorgungsnetzes werden durch auftretende Rückwirkungen belastet. Das wird in der erhöhten Stromaufnahme, dem akustischen Brummen und der Verringerung der Lebenszeit des Verbrauchers deutlich. Der Gesamtoberschwingungsgehalt wird als »Total Harmonic Distortion« bezeichnet.

Auch im aufbereiteten Ausgangsstrom des Frequenzumrichters sind Oberschwingungen enthalten. Sie können sich ungünstig auf den Motorrundlauf auswirken, zusätzliche Verluste des Asynchronmotors und damit einen niedrigeren Wirkungsgrad des Motors verursachen. Mit steigender Schaltfrequenz (sinkender Ausgangsfrequenz) nimmt der Oberschwingungsanteil des Motorstromes stark ab. Außerdem können Motordrosseln Oberströme reduzieren, was aber eine Reduzierung der Klemmenspannung und damit des Kippmoments bewirkt [21, S. 75].

Netzurückwirkungen lassen sich durch Amplitudenbegrenzung der Störströme verringern, dies wird durch Einbau von Drosseln in den Zwischenkreis oder den Eingang des Frequenzumrichters erreicht. Zur Begrenzung der Spannungsoberschwingungen können Kommutierungsdrosseln vorgeschaltet werden. In der DIN EN 61800-5-1 VDE 0160-105-1:2008-4 werden Anforderungen an Leistungsantriebssysteme mit einstellbarer Drehzahl oder ihre Bestandteile unter Berücksichtigung von Überlegungen zur elektrischen, thermischen und energiebezogenen Sicherheit festgelegt.

7 **Schwerpunkthematik Rezirkulationsluftgebläse und Saugzug**

In der Eigenverbrauchsermittlung Kapitel 3 wurde Potential für energieeffiziente Veränderungen nachgewiesen. Die Betrachtung der Ventilator Kennlinien bestätigt, im Falle des Saugzuges und des Rezirkulationsluftgebläses, die Untersuchung der Gebläse auf optimale Auslastung am Betriebspunkt. Die Vorarbeit in Form von Fachliteraturrecherche hat ergeben, dass unter bestehenden komplexen Voraussetzungen der Wirbelschichtkesselanlage lediglich die Modulation des Saugzuges, unter Verwendung eines Frequenzumrichters als Leistungssteller, technisch sinnvoll ist. Da die Drehzahlregelung auf der Antriebsseite einen hohen Aufwand erfordert und bei komplizierten Anlagen – Widerstandskennlinien nicht stabil betrieben werden kann, fallen weitere leistungsstarke Aggregate der Luftversorgung vorerst aus dem Fokus [4, S. 7].

Der Saugzug wird bei optimaler Kesselauslastung im Bereich der Betriebspunkte (BP) 1 und 2 (siehe Anhang T4) betrieben. Dabei stellen sich in Kombination mit dem vorgeordneten Drallregler Wirkungsgrade von 43 bis 63 Prozent ein. Im weiteren Verlauf des Kapitels werden Berechnungen der tatsächlich benötigten Fördermengen, dem Drehzahlverhalten bei Frequenzumrichtereinsatz und möglichen Energieeinsparungen folgen.

Kritisch zu bewerten ist der Betrieb des Rezirkulationsluftgebläses an untersten Lastpunkten. Bei dieser Fahrweise stellen sich nach Berechnungen der tatsächlichen Fördermengen laut Anlagenkennlinie Wirkungsgrade zwischen 50 – 61 Prozent ein. Dort sollen Veränderungen im Sinne der Auslastung und energieeffizienter Fahrweise überdacht werden.

Aufgabe dieses Kapitels ist es nun, diese Überlegung an Hand von Berechnungen und Kurvenanalysen zu bekräftigen und plausibel darzustellen. Die hierfür verwendeten Daten und Betriebsparameter stammen aus dem Prozessleitsystemarchiv des Kraftwerks, in dem Daten über einen gewissen Zeitraum aufbewahrt und abgerufen werden können. Auch soll in diesem Kapitel die Machbarkeit der Umsetzung unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten erläutert werden, dazu sind Anschaffungskosten und Amortisierungszeiträume zu berechnen.

7.1 Energetische Untersuchung des Rezirkulationsluftgebläses

Der Bedarf an Rezirkulationsgas wird im Bereich der Kraftwerksnennlast bis zum Vollastbetrieb mit einem max. 40° geöffneten Drallregler erreicht. Das geht aus der Jahresübersicht Anhang T5 hervor. Um den Ventilator in einem effizienten Verhältnis zu betreiben, ist der Regelbereich im oberen 2/3 – Bereich der Drallreglerstellung zu wählen. Laut Herstellerangaben ist zum Schutz der Ventilatoranlage ein Dauerbetrieb von $\leq 30^\circ$ Klappenstellung am Regelorgan nicht zulässig. Die Drallreglerstellung im Bereich von 30° bis 40° ist nur für den kurzzeitigen Betrieb gestattet. Ein Dauerbetrieb unter diesen Verhältnissen sollte vermieden werden, da es außer einer unwirtschaftlichen Fahrweise auch zu Strömungsabrissen an den Leitschaufeln des Drallreglers

kommen kann [17, S. 7]. In der Kurvenauswertung (Anhang T5) ist zu erkennen, dass der Öffnungsgrad des Drallreglers mit der Kraftwerkskennzeichnung G REZIGEBL DRALLRGL (grüne Kurve) durchschnittlich im Bereich von 30 bis 35 Grad geöffnet ist. Bei diesem Betrieb wird wie bereits erwähnt Elektroenergie unwirtschaftlich verbraucht, da durch den niedrigen Öffnungsgrad der Anlagenwiderstand unnötig erhöht wird. Gleichzeitig ist der Kurvenauswertung zu entnehmen, dass sich der Strombedarf I RG – REZIGEBL (rote Kurve) auf Grund der Drallreglerstellung verändert. Nachfolgende Berechnungen werden an Hand des ermittelten tatsächlichen Arbeitsbereiches zeigen, dass die Auslastung des Gebläses in einem unwirtschaftlichen Bereich liegt. Dieser befindet sich im originalen Kennliniendiagramm zwischen Lastpunkt 1 und 2, siehe Anhang T7 (Blatt 1). In diesem Anhang befinden sich auch weitere technische Daten zum Ventilator aus der Originaldokumentation. Grundsätzlich ist zu prüfen, ob die Dimensionierung des Ventilators optimal auf den Bedarf an Rezirkulationsgas abgestimmt ist. Um das beurteilen zu können, werden im nächsten Abschnitt Fördermengen und Betriebsdrücke sowie eventuelle Energieeinsparungen berechnet.

7.1.1 Berechnungen

Zur Berechnung der tatsächlich benötigten Rauchgasrückführmenge sind die in dem leittechnischen System erfassten Massenströme zu verwenden. Die Gasmenge wird durch eine Regelung in Primär- und Sekundärrezirkulationsluftmenge aufgeteilt, wie in Abbildung 30 (rote Kreise, S.40) dargestellt wird. Bei den beiden Flussmengen PRIMREZIMENGE 1HNA16FF001 XQ50 und SEKREZIMENGE 1HNA17FF010 XQ50 handelt es sich um Massenströme, die durch Differenzdruckmessung mittels Venturi – Düse gemessen werden. Das Signal wird vom Leitsystem verarbeitet und als Flussmenge bereitgestellt. Die Betrachtung der Problematik wird zusätzlich durch den Einsatz eines Bypasses erschwert. Die gemessenen Massenströme sind Teilmenge des geförderten Gesamtvolumens des Rezirkulationsluftgebläses. Eine nicht gemessene Menge an Rauchgas wird über einen parallel geschalteten Bypass zurück in die Saugleitung gedrückt und wirkt damit direkt auf die Regelung bzw. Stellung des Drallreglers ein. Um die genaue Fördermenge und Stellung des Vorleitapparates zu ermitteln, ist der Bypass auf 0° zuzufahren. Erst nach dieser kurzzeitigen Maßnahme kann eine direkte Beziehung zwischen Volumenstrom, Druckerhöhung und Drallreglerstellung hergestellt werden. Im Anhang T7 sind die beiden Betriebspunkte mit geöffnetem und geschlossenem Bypass eingezeichnet. Der Kennlinie ist zu entnehmen, dass der Ventilator bei einem Wirkungsgrad von 50 - 60% arbeitet. Die Kurvenauswertung Anhang T6 zeigt eine Archivkurve in der oben genannte Bedingungen zutreffen. Zur Berechnung der unverfälschten Bedarfsmenge an Rezirkulationsgas für den Verbrennungsprozess müssen die angesprochenen Flussmengen 1HNA16FF001 XQ50 (blaue Kurve) und 1HNA17FF010 XQ50 (magentagefärbte Kurve) verwendet werden. Die Summe des

gemessenen Massestroms \dot{m} beträgt dabei 3,56 kg/s bei einer Duckerhöhung Δp von 130 mbar. Laut nachfolgender Formel 5 zur Berechnung des Volumenstroms \dot{V} , mit der bekannten Dichte für das Rauchgas $\rho = 0,74 \text{ kg/m}^3$, erhält man bei geschlossenem Bypass eine Fördermenge von 4,8 m^3/s .

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad (5)$$

$$\dot{V} = \frac{3,56 \text{ kg/s}}{0,74 \text{ kg/m}^3} = 4,8 \text{ m}^3/\text{s}$$

Der Auswertung ist zu entnehmen, dass der Drallregler (grüne Kurve) auf $3,4^\circ$ zuführt.

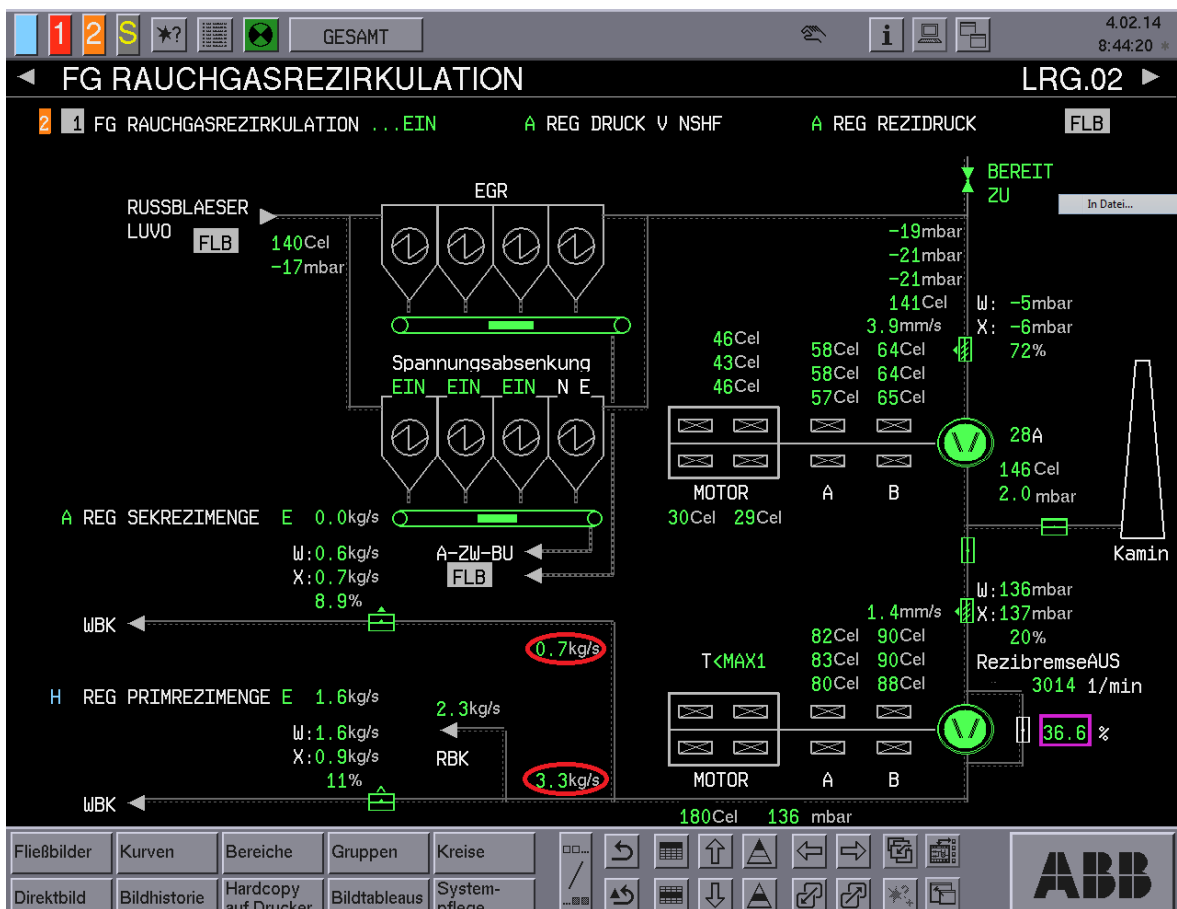


Abbildung 30 Fließbild Rauchgasrezirkulation

Die Berechnung des tatsächlichen Bedarfs und die Folge des gering geöffneten Regelorgans bestätigt die Annahme der Überdimensionierung des Rezirkulationsluftgebläses. Um Strömungsabrisse und Anlagenschäden durch Vibrationen (durch Ablagerungen an Schaufeln) bei dieser geringen Abnahme zu vermeiden, hat man den Bypass parallel zum Gebläse geschaltet. Der Bypass fungiert dabei als Abnehmer, wodurch der Drallregler geöffnet wird und die Strömungsgeschwindigkeit erhalten bleibt. Die Auswertung der letzten Jahreskurven zeigt einen stark verringerten Bedarf im Verhältnis zur Auslegung der Lüfteranlage. Der in den Betriebsdaten

vorgesehene Lastpunkt 1 (LP1, Anhang T7) bei einem Lastfall von 100 Prozent, fördert einen Volumenstrom von 14,834 m³/s. Dazu wird der Vorleitapparat bereits auf 50° gedrosselt. Der tatsächlich ermittelte Volumenstrom bei Kesselnennleistung beträgt durchschnittlich 5 m³/s. In den technischen Daten des Ventilators wird bei der Qualitätssicherung nach der Genauigkeitsklasse 2 DIN 24 166 verlangt (Anhang T7, Blatt 5). In nachfolgender Tabelle 4 werden die nötigen Toleranzen der Genauigkeitsklassen dargestellt.

Genauigkeitsklassen nach DIN 24166	0	1	2	3
Volumenstrom \dot{V}	±1%	±2,5%	±5%	±10%
Totaldruckerhöhung Δp_t	±1%	±2,5%	±5%	±10%
Wellenleistung P_w	±2%	±3%	±8%	±16%
Wirkungsgrad	-1%	-2%	-5%	-
Schallwerte L_w	+3 dB	+3 dB	+4 dB	+6 dB

Tabelle 4 Toleranzen in Abhängigkeit von der Genauigkeitsklasse
(Quelle: vgl. DIN 24 166; Ventilatoren, Technische Lieferbedingungen; 1989)

In Klasse 2 muss eine Toleranz von ±5% bedacht werden. Es errechnet sich ein Arbeitspunkt bei 5,25 m³/s.

$$\dot{V} = \frac{5\text{m}^3}{\text{s}} * 5\% = 5,25 \text{ m}^3/\text{s}$$

Bezogen auf die Auslastung entspricht das ca. 35,4 Prozent des projektierten Lastfalls des aktuellen Rezirkulationsluftgebläses. Um die mechanische Beanspruchung und unwirtschaftliche Fahrweise zu vermeiden, wird hier zu einer konzeptionellen Veränderung geraten. Die neue Anlage soll unter gleichen Parametern (Druck, Temperatur und Stoffdichte) den neu berechneten Betriebspunkt $\dot{V}_2 = 5,25 \text{ m}^3/\text{s}$ als Auslegungspunkt und damit einen besseren Wirkungsgrad haben.

Die hohe Leistungsfähigkeit bestehender Ventilatoranlage basiert auf der Projektierungsgrundlage im IKW Wählitz Zusatzbrennstoffe zu verwerten. Die dafür berechneten Rauchgasmengen liegen aber weit über dem Bedarf des Verbrennungszykluses, sowohl mit als auch ohne Zusatzbrennstoffe. Da die Situation bei der Beschaffung von geeigneten Zusatzbrennstoffen wirtschaftlich nicht sinnvoll ist, wird die Option der Mitverbrennung seit Anfang 2011 nicht mehr genutzt. Um dennoch die Möglichkeit zu wahren, müssen bei einer Neuauslegung auch diese Betrachtungen beachten werden. Die Auswertung der Protokolle hat ergeben, dass bei Mitverbrennung von Zusatzbrennstoffen der maximale Bedarf von 9,5 m³/s Rezirkulationsgas entsteht. Bei dieser Fördermenge muss man von verfälschten Werten ausgehen, da der Bypass 30° bis 50° geöffnet war. Um dennoch diesen Betriebsfall kapazitiv abzudecken, ist unter Beachtung der notwendigen Toleranz die Anlage für optionale Mitverbrennung mit einem maximalen Bedarf von 10 m³/s auszulegen.

Eine Regelung der Fördermenge durch Drehzahlregelung kann auf Grund komplizierter Anlagenkennlinien ausgeschlossen werden. Eine Änderung der Fördermenge hat laut Proportionalitätsgesetz (Formel 7) eine Änderung des Druckes zur Folge.

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} \right)^2 \quad (7)$$

Um zu demonstrieren, dass eine Drehzahlregelung auf Grund des konstant benötigten Betriebsdruckes nicht eingesetzt werden kann, wird der Volumenstrom \dot{V}_1 aus dem Kennlinienfeld des Rezirkulationsgebläses abgelesen. Dieser beträgt bei einem 115 prozentigem Lastfall mit 100° geöffnetem Drallregler 18,694 m³/s und einer Gesamtdruckdifferenz p_1 von 14387 Pascal. Mit dem ermittelten Durchschnittswert des Volumenstroms \dot{V}_2 von 5,25 m³/s ergibt sich für den Nennbetrieb des Wirbelschichtkessels eine Gesamtdruckdifferenz p_2 von 11 mbar.

$$p_2 = \left(\frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1} \right)^2 * p_1$$

$$p_2 = \left(\frac{5,25 \text{ m}^3/\text{s}}{18,694 \text{ m}^3/\text{s}} \right)^2 * 14387 \text{ Pa} = 1134,7 \text{ Pa}$$

$$p_2 \approx 11,35 \text{ mbar}$$

Die Forderung nach konstantem Rezirkulationsgasdruck ist nicht gegeben, damit ist bewiesen, dass die Drehzahlregelung hier keine Option ist. Bei der Kurvenauswertung im Anhang T6 ist die Stromaufnahme 1HNC11CE001 XQ50 (türkisgefärbte Kurve) aufgeführt. Es ist eine Proportionalität zwischen dem Betriebsstrom und der Drallreglerstellung zu verzeichnen. Während der Stromwert mit geöffnetem Bypass noch ca. 200 Ampere beträgt, reduziert sich der Wert bei geschlossenem Bypass auf ca. 150 Ampere. Die elektrische Leistung berechnet sich nach Formel 22:

$$P_{el} = \sqrt{3} * U * I * \cos \varphi \quad (22)$$

Es ergibt sich mit konstanter Versorgungsspannung $U = 690\text{V}$ und dem Leistungsfaktor im Teillastbereich $\cos \varphi = 0,8$ die nachfolgenden elektrischen Leistungen.

$$P_{elCB} = \sqrt{3} * 0,69\text{kV} * 149\text{A} * 0,8 = 143,4\text{kW}$$

$$P_{elOB} = \sqrt{3} * 0,69kV * 200A * 0,8 = 191,2kW$$

Zu den technischen Bedenken, das Gebläse mit gering geöffnetem Drallregler und minimalen Durchsatz zu betreiben, ist diese Stromdifferenz der Betrag an elektrischem Einsparpotential. Dieser Differenzbetrag in der Stromaufnahme ergibt sich durch das Zufahren des Bypasses, ein optimal ausgelegtes Gebläse am berechneten Betriebspunkt beinhaltet weiteres Potential. Ausführlich wird auf diesen Zusammenhang im Abschnitt der Ökonomie 7.1.3 eingegangen.

7.1.2 Neudimensionierung Rezirkulationsluftgebläse

Bei dem eingesetzten Ventilator handelt es sich um einen Radialventilator mit dem maximalen Volumenstrom von $\dot{V} = 18,694 \text{ m}^3/\text{s}$, bei einer Gesamtdruckerhöhung von $\Delta p = 143,87 \text{ mbar}$ und einem Wirkungsgrad von 85 Prozent. Dafür muss eine Wellenleistung P_w von 302,5 kW aufgebracht werden. Um die Antriebsleistung zu gewährleisten, wird der Ventilator über eine Kupplung von einem zweipoligen Drehstromasynchronmotor mit $P_{el} = 400 \text{ kW}$ Nennleistung bei $U_N = 690 \text{ Volt}$ Nennspannung angetrieben. Die Überprüfung der Auslegungsdaten für den Ventilator und ein Abgleich des tatsächlichen Bedarfs an Rezirkulationsluft ergeben eine Überdimensionierung des Gebläses, die durch Rauchgasrückführung über den Bypass ausgeglichen wird, aber einen uneffizienten Betrieb darstellt. Ziel ist es, die bestehende Anlage gegen eine effiziente Variante auszutauschen und durch Erhöhung des Wirkungsgrades die Wirtschaftlichkeit zu steigern. Die ermittelten Volumenströme werden für die Bestimmung einer geeigneten Ventilatorauslegung mit verringerter Förderleistung bei konstantem Betriebsdruck verwendet. Mit der ermittelten Charakteristik der Bedarfskennlinie aus vorigen Berechnungen, kann eine Produkthanfrage zur Machbarkeit und Abschätzung des finanziellen Aufwandes an ein kooperierendes Unternehmen gerichtet werden. Im Kraftwerk Wähilitz übernimmt die Firma Howden Turbowerke GmbH die Betreuung der Luftversorgungsventilatoren. Nach Verständigung des Sachverhaltes und Übermittlung technischer Daten wurde seitens des Lüfterherstellers ein technisches Angebot erarbeitet. Bei der Berechnung des Betriebspunktes wurde ein erforderlicher Volumenstrom von $\dot{V} = 5,25 \text{ m}^3/\text{s}$ berechnet. Um die Option zu erhalten, weiterhin Zusatzbrennstoffe zu verwerten, wurde ein zweiter Betriebspunkt bei $\dot{V} = 10 \text{ m}^3/\text{s}$ konstruiert. Nach Bewertung der Möglichkeiten ist man zu dem Entschluss gekommen, eine technische Lösung mit zwei identischen, parallelgeschalteten Lüftern anzubieten. In Abbildung 31 wird die Ventilator-kennlinie der neuen Gebläse gezeigt. Es sind zwei Betriebspunkte zu erkennen, Betriebspunkt 1 bei voll geöffnetem Drallregler und einem Fördervolumen von $\dot{V} = 5 \text{ m}^3/\text{s}$ und Betriebspunkt 2 bei $\dot{V} = 4 \text{ m}^3/\text{s}$ und der Drallreglerstellung bei 75° . Die Forderung nach einer statischen Druckerhöhung von $\Delta p = 130 \text{ mbar}$ ist laut Kennlinie und technischem Datenblatt für beide Gebläse gegeben. Der Grundgedanke dieser Variante besteht in der Flexibilität der

Förderleistung bei geringer elektrischer Leistungsaufnahme. Die Anlage ist so konzipiert, dass ein Ventilator das ermittelte Fördervolumen von $\dot{V} = 5,25 \text{ m}^3/\text{s}$ bei voll geöffnetem Drallregler erreicht.

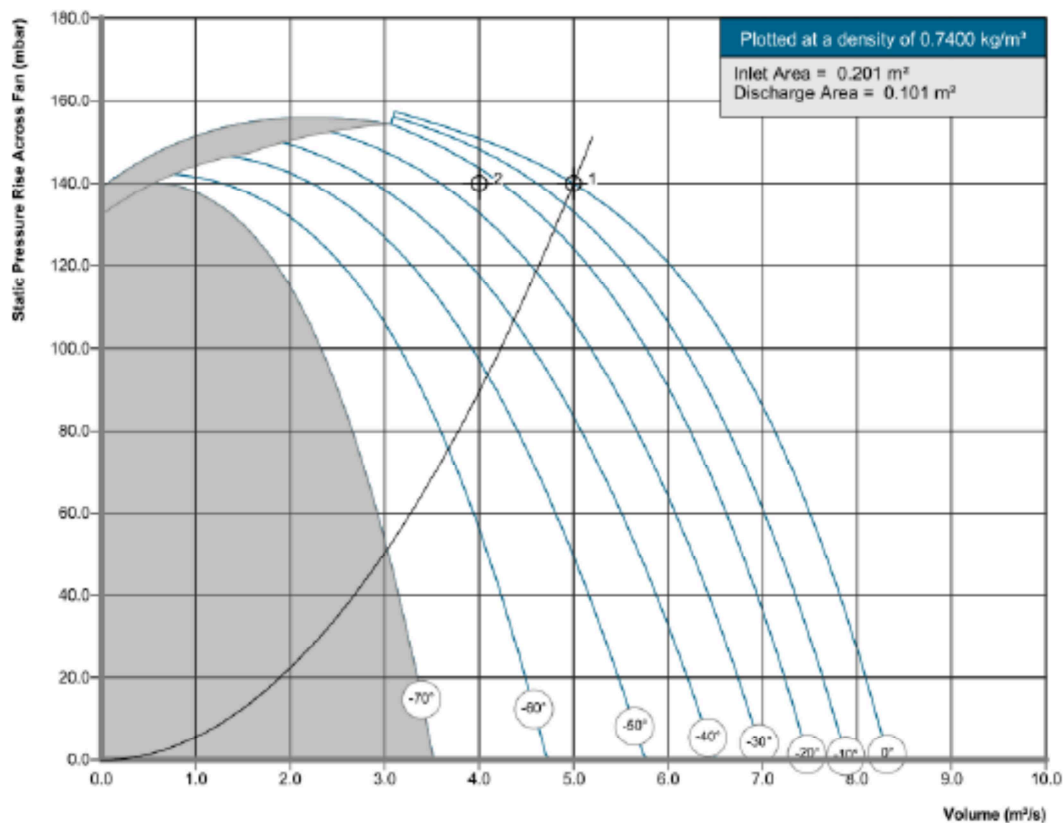


Abbildung 31 Ventilator Kennlinie neue Gebläse (aus technischem Angebot von Howden)

Um die Fördermenge und den Betriebsdruck den technologischen Bedingungen anzupassen, wird einer der beiden Ventilatoren durch einen Drallregler gemäß Betriebspunkt 2 Abbildung 31 geregelt. Dadurch können auch Arbeitspunkte unterhalb der Vollaustlastung im Bereich $2 > \dot{V} > 5,5 \text{ m}^3/\text{s}$ bedient werden. Betriebspunkte innerhalb der grauhinterlegten Kurvenflächen sind für den Dauerbetrieb unzulässig und daher auszuschließen. Ergibt sich aus technologischen Gründen höherer Bedarf als $\dot{V} = 5,5 \text{ m}^3/\text{s}$, ist das einzelne Gebläse laut Kennlinie ausgelastet und kann den geforderten Betriebsdruck nicht bestätigen. Um aber einen optional berechneten Betriebspunkt bei $10 \text{ m}^3/\text{s}$ zu erreichen, hat man die Möglichkeit ein zweites Gebläse identischer Leistung parallel zu schalten. Bei der Parallelschaltung von Gebläsen mit gleicher statischer Druckerhöhung addieren sich die Fördermengen zu einem Gesamtvolumenstrom. Dieses Gebläse hat eine unregelmäßige Förderleistung am Betriebspunkt 1, so dass sich in Kombination alle Volumenströme $7 > \dot{V} > 10 \text{ m}^3/\text{s}$ darstellen lassen. Die technischen Daten der neuen Lüfterauslegung werden im Anhang T8 aufgeführt, einen Vergleich der wichtigsten Daten zeigt Tabelle 5. Hier werden technische Parameter des Originalzustandes der bestehenden Anlage mit der neu konzipierten Förderanlage verglichen. Hauptaugenmerk des Vergleichs liegt auf den Volumenströmen, den erforderlichen Wellenleistungen und der elektrischen Bemessungsleistung. Auf Grund der doppelten

Gebläsauslegung sind die einzelnen elektrischen Bemessungsleistungen im Vergleich zur Originaldimensionierung ziemlich gering. Entstehende Verluste bei drallreglergesteuerter Fahrweise verringern sich durch die optimale Auslegung deutlich.

fixierter Einsatzbereich				
Temperatur	175			°C
Dichte	0,74			kg/m ³
techn. Daten Ventilator	Originalauslegung	Neudimensionierung	Option	
Ventilatorotyp	VRE 0630/5011-Z-297/33	L1 1011.10.97 SBV4T	L1 1011.10.97 SBV4T	
Ventilator Drehzahl	2985	2970	2970	U/min
Volumenstrom am Eintritt	18,694	5	4	m ³ /s
statische Druckerhöhung	143,87	140	140	mbar
Wellenleistung	302,5	85	67	kW
Wirkungsgrad	85	79,2	79,4	%
Schalleleistungspegel	78	88	88	dB(A)
Laufreddurchmesser	1180	1112	1112	mm
Umfangsgeschwindigkeit	184,4	173	173	m/s
Massenträgheitsmoment	35	22	22	kgm ²
elektrischer Antrieb	SIEMENS	SIEMENS	SIEMENS	
Bemessungsspannung	690	690	690	V
Frequenz	50	50	50	Hz
Bemessungsleistung	400	110	110	kW
Wirkungsgrad	97	IE2 (EFF1)	IE2 (EFF1)	%

Tabelle 5 Vergleich technische Daten Ventilatoren

Im Anhang T8 ist eine Kurvenübersicht über die Abhängigkeit der Wellenleistung zum Volumenstrom unter Beachtung der Drallreglerstellung dargestellt. Durch schließen des Vorleitapparates und reduzieren der Fördermenge verringert sich die Wellenleistung und damit der elektrische Leistungsbedarf. Wird laut Kurvenauswertung Anhang T5 im Kesselnennlastbereich durch geöffneten Bypass und verminderter Drallreglerposition ein Energiebedarf von $P_{el} \cong 191$ kW benötigt, so wird für den gleichen Förderstrom mit neuer Anlage lediglich $P_{el} \cong 110$ kW gebraucht. Die entstehende Leistungsdifferenz ist Grundlage für die ökologische Betrachtung im nächsten Abschnitt.

Der Einsatz eines neuen Lüfters in Kombination mit einem neuen Motor erfordert eine Neukonzeption der Aufstellung der Maschinenkombination Lüfter/Motor und eine Anpassung des Kanalsystems im Bereich Rezirkulationsluftgebläse. Weiterhin fordert die Neudimensionierung des Motors durch erhebliche Leistungsreduzierung den Neuaufbau der Energieeinspeisung gemäß Anhang T9. Der Rezirkulationsluftmotor soll an einen vorhandenen freien Abgang der 690 Volt – Siemensschaltanlage Block A vom Typ 8PU0.11 angeschlossen werden. Der Abgang ist mit einem Lasttrennschalter (250 Ampere), Bimetall (100 bis 160 Ampere), Leistungsschutz 3RT10 54 (160 Ampere) und dem entsprechenden Steuerungsteil ausgerüstet. Die Kabelverbindung wird komplett erneuert, es wird ein neues Energiekabel vom Typ NYY-I 4 x 70 eingesetzt. Die Steuerkabel

werden im Schaltanlagenbereich umgeschwenkt und weiterhin verwendet. Für die Realisierung der Variante „Einsatz von zwei Rezirkulationsluftgebläsen“ steht ein weiterer freier Schützabgang am Block A, mit analogem Aufbau zu genanntem Abgang, zur Verfügung. Auch hier muss ein neues Kabel verlegt werden.

7.1.3 Ökonomische Betrachtung Rezirkulationsluftgebläse

In der Ökonomie sollen alle materiellen Aufwendungen und Erträge, die nötig und möglich sind, um aus einem alten Zustand einen neuen Zustand zu errichten, verglichen werden. Die damit verbundenen Anlagenveränderungen, Umschwenken der Energieeinspeisung, Abweichungen im Rohrleitungssystem und weitere Aufwendungen müssen bei der wirtschaftlichen Betrachtung im Hinblick auf anfallende Kosten und Amortisierungszeiten beachtet werden. Da aber nicht zu allen Leistungen Budgetpreise vorhanden sind, können diese teilweise lediglich abgeschätzt werden. Der erarbeitete Lösungsvorschlag betreibt die Rauchgasrezirkulation in Folge der Anpassung der Auslegung an die Bedarfsleistung wirtschaftlicher und effizienter. Der derzeitige Mehraufwand spiegelt sich in der Differenz der benötigten Elektroenergien, die für die Erzeugung des berechneten Volumenstroms von $\dot{V} \cong 5 \text{ m}^3/\text{s}$ anhand des Bestandsaggregats oder mit neu formiertem Rezirkulationsluftgebläse aufgebracht werden muss. Durch die verringerte Antriebsleistung, den Verzicht des Bypasses, der resultierenden Drallreglerstellung und dem damit verbundenen gesteigerten Anlagenwirkungsgrad kann elektrisches Einsparpotential in Höhe von $\Delta P_{el} \approx 80 \text{ kW}$ erzielt werden. Die freigesetzte Energie Q lässt sich nach Formel 23 unter Kenntnis der Betriebsstunden pro Jahr und dem Einsparpotential $\dot{Q} \sim \Delta P_{el}$ ermitteln.

$$Q = \dot{Q} * t \quad (23)$$

Legende

Q	Jahresenergiebedarf
\dot{Q}	Leistung
t	Betriebsstunden pro Jahr
K_{Ec}	einzuspar. Energiekosten

Bei 8000 Betriebsstunden pro Jahr und einer Differenzleistung von $\dot{Q} \cong 0,08 \text{ MW}$ berechnet sich nach gegebener Formel das freigesetzte Energieeinsparpotential von $Q_f \cong 640 \text{ MWh/a}$. Um die Energiekosten K_{Ec} des Einsparpotentials finanziell darstellen zu können, benötigt man den Energiepreis, der sich firmenintern mit 45 €/MWh ergibt, so dass sich nach Formel 24 eine jährliche Einsparung von ca. 28800 € ergibt.

$$K_{Ec} = Q_f * \text{Energiepreis} \quad (24)$$

$$K_E = 640 \text{ MWh/a} * 45 \text{ €/MWh}$$

$$= 28800 \text{ €/a}$$

Der betriebsinterne Energiepreis ist geringer als der allgemeine Strompreis mit 59 €/MWh, da Netzentgelte entfallen.

Um eine mögliche Realisierung von wirtschaftlicher Seite aus betrachten und bewerten zu können, bedient man sich der Amortisationszeit Formel 25. Die Amortisationszeit der technischen Umsetzung ist der Zeitraum, bis die zu erwartenden jährlichen Rückflüsse die Summe der Investition ausgleicht. Die Investitionssumme umfasst alle finanziellen Aufwendungen zur Realisierung des angestrebten Gebläsewechsels. Zu diesem Sachbestand befindet sich im Anhang T10 ein kommerzielles Angebot der Firma Howden. Dieses Budget beinhaltet zwei identische Radialventilatoren des Typs L1 1011.10.97 SBV4T, deren Einzelpreis 60.500 € beträgt. Zusätzliche Kosten für Montage, Inbetriebnahme, Umschluss der Elektroenergieeinspeisung und Einbindung in die Leittechnik sind abzuschätzen und werden mit 10.000 € beziffert. Eine Preisübersicht des finanziellen Aufwandes erfolgt in Tabelle 6. Die Ökonomie der Untersuchung soll sich nur auf die Wirtschaftlichkeit eines Gebläses beziehen, da die Option der Mitverbrennung von Zusatzbrennstoffen in Perspektive nicht geplant ist. Bei dem Einsatz von Zusatzbrennstoffen werden zusätzlich finanzielle Erlöse in Form von Einkünften für die Entsorgung (Klärschlämme, Tiermehl), Brennstoffeinsparung und CO₂ – Zertifikat – Einsparungen erzielt.

Artikelbezeichnung	Position	Anbieter	Typ	Preis in € (netto)
Radialventilator		Howden	L1 1011.10.97 SBV4T	60.500,00
Montage				10.000,00
Summe				70.500,00

Tabelle 6 Preisübersicht Maßnahmen Rezirkulationsluftgebläse

Mit der Gesamtsumme der direkten Investitionen lässt sich in nachstehender Gleichung die Amortisationszeit berechnen. Als direkte Investitionskosten sollen der Einzelpreis eines Radialventilators und die Montageaufwendungen gesehen werden, da die Betrachtung des zweiten Gebläses als optionale Maßnahme auch später nachgerüstet werden kann. Als durchschnittlich jährliche Rückflüsse sind die berechneten Energiekosten K_E zu verstehen.

$$\text{Amortisationszeit} = \frac{\text{Investitionssumme}}{\text{durchschnittl. jährl. Rückfluss}} \quad (25)$$

$$\text{Amortisationszeit} = \frac{70500 \text{ €}}{28800 \text{ €/a}} = 2,4\text{a}$$

Die Realisierung des Gebläsetausches der Rauchgasrezirkulation erweist sich nach etwa zweieinhalb Jahren im Sinne der Energieeinsparungen als wirtschaftlich. Gleichzeitig werden gesetzliche Forderungen im Sinne des installierten Energiemanagementsystems erfüllt und 1,9 Prozent des Standortjahresgesamtverbrauchs an Elektroenergie eingespart. Aus technischem und technologischem Blickwinkel erweist sich eine Veränderung der Dimensionierung positiv, da es bei Einsatz des beschriebenen Lüfters nicht zur Verletzung der Anwendungsrichtlinien für den Ventilatorbetrieb mit Drallregelung kommt.

7.2 Energetische Untersuchung des Saugzuggebläses

Der Saugzug wird im Kapitel 3 als einer der Hauptverbraucher im IKW Wähltitz identifiziert und soll daher auf Optimierungspotential untersucht werden. Mit einer Nennleistung von 750 Kilowatt zählt der Langsamläufer zu den größten Antrieben, dessen Betrieb Bedingung für die Funktion und Aufrechterhaltung des Kesselbetriebes ist. Der Volumenstrom des Saugzuges wird durch einen Drallregler als Drosselorgan geregelt. Die Auswertung der Betriebsprotokolle der letzten beiden Jahre ergibt einen Regelbereich der Klappenstellung zwischen 50 – 70 Grad. Die Auslastung des Ventilators lässt sich erneut über Berechnungen von Volumenströmen und Betriebsdrücken ermitteln und ergibt einen Arbeitsbereich des Ventilators in der oberen Hälfte des Kennlinienfeldes (Anhang T4). Der damit verbundene Wirkungsgradbereich der Ventilatoranlage bewegt sich dabei zwischen 60 – 75 Prozent. Im Sinne der Energieeffizienzbewertung wird versucht, mögliche Optionen für einen wirtschaftlich optimalen Betrieb herauszufinden und zu prüfen, ob durch modernisierte Technik der Wirkungsgrad positiv zu beeinflussen ist. Die Auswertung der Fachliteratur des Unternehmens TLT – Turbo GmbH liefert den Ansatz zur möglichen Optimierung. Diese erklärt in einem Fachartikel über die „Auslegung und Konstruktion von Ventilatoren mit größerer Druckerhöhung“, dass Saugzüge auf Grund ihrer quadratischen Widerstandskennlinien sowohl mit Drall- als auch mit Drehzahlregelung stabil zu betreiben sind [4, S. 7]. Die Erkenntnis dieser Aussage macht eine nähere Betrachtung der Ventilator- und Betriebsdatenauslegung sinnvoll. Im anschließenden Abschnitt „Feststellung von energetischem Einsparpotential“ erfolgt die Auswertung des Arbeitsbereiches und der entstehenden Energieeinsparungen, die bei der Erzeugung mit Drall- oder alternativ mit Drehzahlregelung entstehen. Abschnitt 7.2.2 beschäftigt sich mit der Bewertung berechneter Ergebnisse und der Suche nach geeigneten Alternativen der Drehzahlregelung. Das Saugzuggebläse wird von einem 750 kW - Mittelspannungsmotor mit einer Bemessungsspannung von 10 Kilovolt angetrieben. Um den finanziellen Aufwand eines drehzahlgeregelten Antriebsstranges gering zu halten, sollte der elektrische Antrieb beibehalten werden. Für Frequenzumrichter in diesen Größenordnungen existiert lediglich eine kleine Auswahl an Herstellern. Im Verlauf der Untersuchung stellt sich die Firma SIEMENS als kooperierender Partner für diese Betrachtung heraus. Vorab bietet SIEMENS

zur Auslegung von elektrischen Antrieben kombiniert mit kompatiblen Frequenzumrichtern das Energiesparprogramm SinaSave [27] an. SinaSave berechnet auf Grundlage von Anlagenparametern, wie hoch das Einsparpotential durch Veränderungen der Antriebstechnik werden kann. Nach ersten Erkenntnissen dieser Kalkulation und Projektion macht ein Wechsel der bisherigen Betriebsspannung in eine vorhandene niedrigere Spannungsebene Sinn. Sowohl der geringere wirtschaftliche Aufwand als auch der räumliche Bedarf sind Vorteile und sprechen für eine nähere Betrachtung dieser Option. Hinsichtlich dieser Tatsache erfolgt im Abschnitt 7.2.3 die technische Vorstellung für diese Spannungsebene. In letzten Abschnitten dieses Kapitels schließen sich die ökonomische Betrachtung einer Realisierung und die Grundanforderungen zur Einbindung in die Leittechnik an.

7.2.1 Feststellung von energetischem Einsparpotential

Die Fördermenge des Saugzuges wird durch eine Messung der Rauchgasmenge im Emissionsrechner erfasst. Dort wird der Volumenstrom in Normkubikmetern (Nm³) angegeben. Normvolumen ist das Volumen eines Gases im Normzustand. Es dient dazu, volumenmäßige Mengenangaben von Gasen und Dämpfen miteinander vergleichbar zu machen. Ein Gas befindet sich nach DIN 1343 im Normzustand, wenn es die Temperatur 0°C und den Druck 1,013bar hat [6, S. 13]. Zur Berechnung von Betriebspunkten im Kennliniendiagramm (Anhang T4) wird jedoch der Volumenstrom der Anlage benötigt, was eine Umrechnung des Normvolumens Formel 26 bedeutet.

$$V_{Nmax} = \frac{T_N * p * V}{(T_N + \vartheta) * p_N} \quad (26)$$

Legende

V _{Nmax}	max. Normvolumen
T _N	Normtemperatur
p _N	Normdruck
p	Betriebsdruck
V	Betriebsvolumen
ϑ	Betriebstemperatur
p _{Liefer}	Gesamtdruckdifferenz

$$V = \frac{(T_N + \vartheta) * p_N * V_{Nmax}}{T_N * p}$$

Der nach Formel 27 gebildete Betriebsdruck, besteht aus der Summe des höhenkorrigierten Normdruckes und der Gesamtdruckdifferenz (hier p_{Liefer}).

$$P = p_N(\text{orthöhenkorrigiert}) + p_{Liefer} \quad (27)$$

$$p = 97423,6 \text{ Pa} + 2798 \text{ Pa}$$

$$p = 100221,6 \text{ Pa} \cong 1,002 \text{ bar}$$

Folgende Norm- und Betriebsparameter zur Berechnung des Betriebsvolumens sind bekannt:

$$p_N = 1,013 \text{ bar} \quad T_N = 273 \text{ K} \quad \vartheta = 140^\circ \text{C} \quad p_N = 97423,6 \text{ Pa} \quad p_{\text{Liefer}} = 2798 \text{ Pa}$$

Durch Einsetzen des Betriebsdruckes und der bekannten Parameter errechnet sich nach umgestellter Formel 26 die maximale Fördermenge des Saugzuges, die der Wirbelschichtkessel mit seiner Feuerungsleistung von 119 Megawatt erzeugen kann. Die Fördermenge des Saugzuges ist lastabhängig und wird durch die Rauchgasproduktion des Wirbelschichtkessels begrenzt. Der diskontinuierliche Volumenstrom erfordert die Regelung der Förderleistung, die mit einem Vorleitapparat realisiert wird. Es stellt sich bei maximaler Dampfproduktion von 41,8 kg/s ein Rauchgas - Normvolumen $\dot{V}_{\text{Norm.max}} \cong 45,7 \text{ Nm}^3/\text{s}$ ein. Daraus ergibt sich ein maximaler Volumenstrom von ca. $70 \text{ m}^3/\text{s}$.

$$V_{\text{max}} = \frac{(413 \text{ K}) * 1,013 \text{ bar} * 45,7 \text{ Nm}^3/\text{s}}{273 \text{ K} * 1,002 \text{ bar}}$$

$$V_{\text{max}} = 69,89 \text{ m}^3/\text{s}$$

Da sich auf Grund der elektrischen Versorgung betriebseigener Verbraucher (Tagebau Profen) eine konstante Abnahme von Elektroenergie ergibt, wird die Maschinenkombination Turbine/Generator bei maximal möglicher Auslastung/Erzeugung betrieben. Je nach vorliegenden Bedingungen ist eine Elektroenergieerzeugung von 30 bis 34 Megawatt gegeben. Um diese elektrische Leistung erzeugen zu können, bedarf es einer bestimmten Dampfmenge des ZWS – Kessels. Für die Erzeugung dieser Dampfmenge muss eine Feuerungsleistung mit entsprechender Rauchgasfördermenge aufgebracht werden. Nach Auswertung von Betriebsanalysekurven ist für die Erzeugung der genannten Leistung von 30 bis 34 Megawatt ein Normvolumenstrom von $\dot{V}_{\text{Norm.nenn}} \cong 41 \text{ Nm}^3/\text{s}$ notwendig. Daraus wird der Betriebspunkt BP1 des Ventilators bei dem Nennvolumenstrom $V_{\text{Nenn}} = 63 \text{ m}^3/\text{s}$ gebildet.

$$V_{\text{Nenn}} = \frac{40,9 \text{ Nm}^3/\text{s} * 1,013 \text{ bar} * 413 \text{ K}}{273 \text{ K} * 1,002 \text{ bar}}$$

$$V_{\text{Nenn}} = 62,57 \text{ m}^3/\text{s}$$

Der Saugzug bewegt sich im berechneten Arbeitsbereich (Obergrenze V_{max} /Untergrenze V_{Nenn}) laut Kennliniendiagramm bei einer Auslastung im Bereich von 60 – 75 Prozent. Um einen benötigten

Drehzahlbereich des Frequenzumrichters zu berechnen, wird in Formel 7 erneut das Proportionalitätsgesetz angewandt. Dafür wird für den Volumenstrom \dot{V}_1 die maximale Fördermenge aus dem Datenblatt des Ventilators, Anhang T4 (Blatt 2), entnommen. Dieser Volumenstrom stellt die Fördermenge ohne Beeinträchtigung durch den Drallregler bei Nenndrehzahl n_1 dar. Die zuvor berechneten Volumenströme V_{\max} und V_{Nenn} werden nacheinander als Bezugsgrößen in nachfolgende Formel als Volumenstrom \dot{V}_2 eingesetzt.

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} \quad (7)$$

Legende:

\dot{V}_1	Volumenstrom 1
\dot{V}_2	Max-/Nennvolumenstrom
n_1	Nenndrehzahl 993 U/min
n_2	Drehzahl 2

Durch das Datenblatt des Ventilators sind gegeben:

$$n_1 = 993 \text{ 1/min} = 16,55 \text{ 1/s}$$

$$\dot{V}_1 = 100,76 \text{ m}^3/\text{s}$$

Für den maximalen Volumenstrom V_{\max} ergibt sich eine Drehzahl $n_{2\max} \cong 11,5 \text{ 1/s}$,

$$n_{2\max} = \frac{993 \frac{1}{\text{min}} * 69,89 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{100,76 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}$$

$$n_{2\max} = 688,77 \frac{1}{\text{min}} \cong 11,48 \frac{1}{\text{s}}$$

während bei elektrischem Nennbetrieb des Kraftwerkes eine Drehzahl von $n_{2\text{Nenn}} \cong 10,3 \text{ 1/s}$ benötigt wird.

$$n_{2\text{Nenn}} = \frac{993 \frac{1}{\text{min}} * 62,57 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{100,76 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}$$

$$n_{2\text{Nenn}} = 616,6 \frac{1}{\text{min}} \cong 10,3 \frac{1}{\text{s}}$$

Die berechneten Fördermengen werden bei Drehzahlregelung durch einen Frequenzumrichter mit der bisherig verwendeten Saugzugkonstruktion und geöffnetem Ansaugkanal, in einem Drehzahlbereich von 615 1/min bis 690 1/min erzeugt. An Hand der Näherungsgleichung des Proportionalitätsgesetzes Formel 28 ist zu erkennen, dass sich die Leistung an der Ventilatorwelle proportional der dritten Potenz der Drehzahl ändert. Die Wellenleistung P_{W1} ist den technischen Datenblättern Anhang T4 (Blatt 2) am ungedrosselten Auslegungspunkt zu entnehmen. Wird nun

das bestehende Verhältnis nach Wellenleistung P_{W2} umgestellt und alle bekannten Größen eingesetzt, ergeben sich folgende benötigte Leistungen.

$$\frac{P_{W1}}{P_{W2}} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \quad (28)$$

$$P_{W2\max} = \frac{497,2 \text{ kW} * \left(688,7 \frac{1}{\text{min}}\right)^3}{\left(993 \frac{1}{\text{min}}\right)^3}$$

$$= 165,9 \text{ kW}$$

$$P_{W2\text{Nenn}} = \frac{497,2 \text{ kW} * \left(616,6 \frac{1}{\text{min}}\right)^3}{\left(993 \frac{1}{\text{min}}\right)^3}$$

$$= 119,1 \text{ kW}$$

Legende:

P_w Leistung an der Welle

Die Näherungsgleichung aus Formel 28 [6, S. 123] lässt sich überprüfen, indem man entsprechend der Drehzahl die Drehmomente dem tatsächlichen Momentenverlauf aus Anhang T4 (Blatt 4) entnimmt und in nachfolgende Formel 29 zur Berechnung der Antriebsleistung P_{W2} einsetzt. Das verwendete Drehmoment ist ungedrosselt zu wählen, da der Drallregler als Regelorgan durch die Drehzahlregelung ersetzt werden soll. Für die Leistung an der Welle ergibt sich:

$$P_{W2} = 2\pi * M_2 * n_2 \quad (29)$$

$$P_{W2\max} = 2\pi * 2365,23\text{Nm} * 11,48 \frac{1}{\text{s}}$$

$$= 170606,95 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} \cong 170,6 \text{ kW}$$

$$P_{W2\text{Nenn}} = 2\pi * 1815\text{Nm} * 10,3 \frac{1}{\text{s}}$$

$$= 117461 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} \cong 117,5 \text{ kW}$$

Laut Überprüfung der mechanischen Antriebsleistungen sind die Ergebnisse des Ähnlichkeitsgesetzes Formel 28 bis auf geringe Abweichungen (3%), die durch Ungenauigkeiten beim Ablesen und den nichtlinearen Anstieg des Momentenverlaufes entstehen, bestätigt. Da sich die Berechnung der Wellenleistung des Saugzuges bei durchschnittlich (Jahresdurchschnitt) 60° geöffneten Drallregler schwierig gestaltet, werden die erfassten Größen Strom I und Spannung U

gemäß Formel 22 zur Bestimmung der elektrischen Leistungsaufnahme verwendet. Für das Betriebsjahr 2013 wurde in der Tabelle Energieverbrauch der Luftversorgung ZWS - Kessel Anhang T3 ein durchschnittlicher Stromverbrauch von $I \cong 27$ Ampere und ein Durchschnittswert der Versorgungsspannung von $U \cong 10,3$ Kilovolt ermittelt. Der Leistungsfaktor φ ist lastabhängig und kann in diesem Fall laut Motor – Datenblatt Anhang T4 (Blatt 5) mit $\varphi \cong 0.85$ bestimmt werden.

$$P_{el} = \sqrt{3} * U * I * \cos \varphi \quad (22)$$

$$P_{el} = \sqrt{3} * 10,3 \text{ kV} * 27 \text{ A} * 0,85$$

$$P_{el} = 409,4 \text{ kW}$$

Es ergibt sich ein Durchschnittsverbrauch von $P_{el} \cong 400$ Kilowatt. Um an Hand des Ergebnisses eine Aussage über das Einsparpotential durch Drehzahlregelung äußern zu können, muss eine Umwandlung der ermittelten Wellenleistungen aus Formel 28 in elektrische Leistung erfolgen. Dazu wird laut Formel 31 der Gesamtwirkungsgrad der Antriebskomponente benötigt. Die vorhandenen Teilkomponentenwirkungsgrade werden in Formel 30 zu einem Gesamtwirkungsgrad berechnet.

$$\eta_{ges} = \eta_{FU} * \eta_M * \eta_V \quad (30)$$

$$\eta_{ges} = 0,98 * 0,961 * 0,805 = 0,758 \cong 76\%$$

Legende:

η_{ges}	Wirkungsgrad gesamt
η_{FU}	Wirkungsgrad FU
η_M	Wirkungsgrad Motor
η_V	Wirkungsgrad Ventilator

Durch die ermittelten Gesamtwirkungsgrade kann unter Anwendung nachfolgender Formel, nach erfolgter Umstellung und Einsatz der mechanischen Wellenleistungen die elektrische Leistung für einen drehzahlgeregelten Saugzug berechnet werden.

$$\eta = \frac{P_w}{P_{el}} \quad (31)$$

Legende:

P_{el}	elektrische Leistung
----------	----------------------

In Anlehnung an die ausgewerteten Betriebsprotokolle und die Auslastung des ZWS – Kessels sind zwei lastabhängige mechanische Leistungen P_w entstanden. Um den elektrischen Leistungsbereich beider Varianten zu bestimmen, sind die Wellenleistungen mit dem jeweiligen Wirkungsgrad zu verrechnen. Sind die elektrischen Leistungen bestimmt, kann aus der Differenz zum Durchschnittsverbrauch mit Drallregelung eine Aussage zum Einsparpotential definiert werden.

$$P_{el,max} = \frac{170,6 \text{ kW}}{0,76} = 225 \text{ kW}$$

$$P_{el,nenn} = \frac{120 \text{ kW}}{0,76} = 159 \text{ kW}$$

Bei einer Auslegung des Antriebsstranges im Niederspannungsbereich ergibt sich der Leistungsbereich von $P_{el} \cong 160 \text{ kW}$ bis 225 kW . Dabei stellt der geringere Wert den Leistungsbedarf des Saugzuges für die Erzeugung der elektrischen Nennleistung (33MW) und der höhere Wert die maximale Auslastung des ZWS – Kessels dar.

Um nun die Energieeinsparung darstellen zu können, wird der elektrische Durchschnittsverbrauch mit dem berechneten Energieverbrauch verglichen. Es ergibt sich eine Differenz in der elektrischen Antriebsleistung von:

$$\begin{aligned} \Delta P_{el} &= P_{el} - P_{el,nenn} \\ &= 250,4 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P_{el} &= P_{el} - P_{el,max} \\ &= 184,4 \text{ kW} \end{aligned}$$

Legende:

$P_{el,nenn}$ el. Leistung Nennbetrieb

$P_{el,max}$ el. Leistung max. Betrieb

Nach Fertigstellung der Berechnung kann die Aussage getroffen werden, dass die Differenz $\Delta P_{el} \cong 180$ bis 250 Kilowatt der elektrischen Antriebsleistung das Ergebnis durch Veränderung des Antriebs- beziehungsweise Regelsystems darstellt. Bei Einsatz eines drehzahlregulierten Lüfters werden für die Dampfproduktion, bei elektrischer Nennleistung des Kraftwerkes, durch Austausch des Drallreglers gegen einen Frequenzumrichter 250 Kilowatt eingespart. Sollte der ZWS – Kessel konstant mit seiner maximalen Auslastung betrieben werden, steht ein Potential von 180 Kilowatt zur Verfügung. Auf Grundlage dieser Berechnungen soll im Abschnitt 7.2.4 eine ökonomische Betrachtung dieses Schwerpunktthemas erfolgen.

7.2.2 Betrachtung technischer und technologischer Voraussetzungen

Nach der rechnerischen Identifikation von Einsparpotentialen und der technologischen Zustimmung durch Literaturlauswertung soll die Einbindung eines Frequenzumrichters in das Antriebssystem des Saugzuges weiter untersucht werden. Die Bewertung des Betriebsverhaltens des Saugzuges hat ergeben, dass sich in der Förderleistung Potential zur Energieeinsparung verbirgt. Da der Volumennennstrom des Ventilators nicht dem Bedarf entspricht, muss dieser geregelt werden. Die Regelung der Fördermenge mit Vorleitapparat ist energetisch aufwendig und mit großen Verlusten behaftet. Die Verluste entstehen durch lastabhängige Veränderungen des

Drallregleröffnungsgrades, der damit verbundenen Wirkungsgradverschlechterung des Ventilators und der konstant gefahrenen Motordrehzahl (993 1/min). Um dieses Potential nutzen zu können, sind Veränderungen des lufttechnischen Systems notwendig. Durch firmeninterne Erfahrung (Kraftwerk Deuben) mit dem Umbau der Drallregelung von Saugzügen zur Regelung mit Drehzahl und der Bestätigung durch Auswertung von Fachliteratur über die technische Machbarkeit wird die Option der Drehzahlregelung favorisiert. Die effiziente Fahrweise der Umrichter – Ventilator – Kombination wird durch den Betrieb am Arbeitspunkt erzielt, das heißt, die Drehzahl des Motors wird nach der erforderlichen Fördermenge geregelt. Es wird genau der Energieaufwand genutzt, der für den momentanen Betriebspunkt des Ventilators gebraucht wird. Damit wird die Wirkungsgradverschlechterung des Ventilators, die aus dem verminderten Öffnungsgrad des Drallreglers resultiert, umgangen und der Energiebedarf des Motors optimal abgestimmt. Zudem ist eine stufenlose Fahrweise ohne Druckstöße im System möglich.

Der elektrische Antrieb des Saugzuges ist an die 10 Kilovolt Mittelspannungssammelschiene 1BBA, Abgang 01, der Hauptschaltanlage angeschlossen. Aufbau und Struktur der Spannungsebenen sind im Übersichtsplan der Schaltanlage im Anhang T11 dargestellt. Mit dem Spannungsniveau $U_B \cong 10$ Kilovolt bewegt man sich auf dem Gebiet der Mittelspannung, wobei der Saugzugantrieb nur einen geringen Leistungsbereich von $P_{el} \cong 0,5$ bis 0,8 Megawatt benötigt. Bei der Recherche nach geeigneten Anbietern von Frequenzumrichtern, im Hinblick auf die Leistungsangaben des bestehenden Saugzugaggregats, hat sich die Firma SIEMENS als kooperativer Partner empfohlen. Nach ersten Erkenntnissen aus Literatur und Onlinerecherchen erweist sich eine Lösung in der Mittelspannungsebene auf Grund des hohen Platzbedarfs für STEP – UP – Trafo und Frequenzumrichter sowie daraus resultierender Investitionskosten als wirtschaftlich nicht geeignete Variante. Mit Hilfe des SIEMENS Online – Tools SinaSave hat eine Abschätzung der räumlichen Anforderungen und des finanziellen Aufwandes stattgefunden. Da das Resultat der in Anhang T12 dargestellten Projektierung zu aufwändig beziehungsweise nur bedingt befriedigend ist, hat man über mögliche Optionen nachgedacht und diese in einem Wechsel des Spannungsniveaus gefunden. Wie im Übersichtsplan der Schaltanlage zu sehen ist, stehen im Kraftwerk Währlitz zwei Niederspannungsebenen (0,4/0,7 kV) zur Verfügung. Auf Grund vorhandener Leistungs- und Anschlussreserven am Block A der 690 Volt - Spannungsebene, besteht die Möglichkeit der Einbindung des Antriebssystems (Frequenzumrichter und neuer Motor) an die Niederspannungsebene. Im weiteren Verlauf des Kapitels soll diese technische Möglichkeit der Realisierung vorgestellt und erläutert werden. Danach soll an Hand der ökonomischen Betrachtung eine Aussage über die Sinnhaftigkeit eines Umbaus getroffen werden.

7.2.3 Umstellung des Saugzugantriebsstrangs auf Niederspannungsebene

Wie im vorhergehenden Abschnitt bereits erwähnt, stellt eine Realisierung der Drehzahlregelung des Saugzuges in der Mittelspannungsebene auf Grund der hohen Investitionskosten von über 230.000 € und dem erheblichen Platzbedarf (für Transformator und Frequenzumrichter, bauliche Anforderungen an Aufstellort) keine Alternative dar. Nach Erweiterung dieser Erkenntnis konnte die Neuauslegung des elektrischen Antriebssystems in der Niederspannungsebene verstärkt behandelt werden. Hauptaugenmerk soll dabei ein geringerer Investitionsaufwand sein. Die Neuauslegung beinhaltet bei gleichbleibender Ventilator konstruktion einen Wechsel des Spannungsniveaus auf 690 Volt und die Integration eines entsprechenden Frequenzumrichters mit Motor. Die Leistungsvorgaben der Antriebssysteme basieren auf den technologischen Anforderungen des Kraftwerkes an den Saugzug, welche durch technische Veränderungen nicht beeinträchtigt werden dürfen. Da sich bei Betrachtung des Arbeitsbereiches Einsparpotential ergeben hat und dieses effektiv genutzt werden soll, müssen die konstruktiven Veränderungen an die bestehenden Bedingungen angepasst werden. Dabei sind technische und räumliche Voraussetzungen so zu beachten, dass ein geringer finanzieller Aufwand entsteht. Als primäre Auswahlkriterien für den Frequenzumrichter dienen unter anderem Strom (Dauerstrom), Versorgungsspannung und maximales Drehmoment. Dazu sind Platzbedarf, Kühlung und Entfernungen zum Antrieb zu beachten. Auch sind Spannungsverluste durch Kabellängen bei der Auswahl des Frequenzumrichters zu berücksichtigen. Die Berechnung des absoluten Spannungsabfalls ΔU kann für Drehstromanlagen grundsätzlich durch Formel 32 berechnet werden.

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} * I * L}{\kappa * S} * \cos \varphi \quad (32)$$

Legende

ΔU	Spannungsabfall
I	Strom
L	Leitungslänge
κ	spezifische Leitfähigkeit
S	Leiterquerschnitt
ε	proz. Spannungsabfall
$\cos \varphi$	Leistungsfaktor

Diese Verluste können ein herabgesetztes Drehmoment zur Folge haben, so dass diese durch angemessene Dimensionierung (Kabelquerschnitt) auszugleichen sind. Der maximal zulässige prozentuale Spannungsabfall ε bei einem Leistungsbedarf über 400 kVA ist laut DIN VDE 100 mit $\varepsilon \leq 1,5\%$ vorgeschrieben.

$$\varepsilon = \frac{\Delta U}{U} * 100\% \quad (33)$$

Für die Leistungsverdrahtung zwischen Frequenzumrichter und Motoranschluss soll das geschirmte Kabel 2YSLCYK-J UL/CSA mit dem Querschnitt $2 \times 185\text{mm}^2$ verwendet werden. Bei einer Kabellänge von 150 Metern beträgt der prozentuale Spannungsabfall $\varepsilon \leq 1\%$. Damit ist belegt, dass der Mindestquerschnitt des Kabels eingehalten wurde.

Der Frequenzumrichter muss in der Lage sein, die gesamte Leistungsbandbreite des Motors abzurufen, um auf technologische Anforderungen reagieren zu können. Der Betrieb des Saugzuges ist in der Technologie des Kraftwerksprozesses Bedingung für die Luftversorgung, das heißt, ein Ausfall des Saugzuges durch technische Mängel oder äußere Einflüsse wie Unterspannung, hätte das direkte Abfahren des Wirbelschichtkessels und der Turbinenanlage und damit Produktionsausfall zur Folge. Aus Erfahrung ist bekannt, dass Spannungseinsenkungen durch Blitzeinschlag im übergeordneten Leitungsnetz für Bruchteile von Sekunden das Mittelspannungsnetz zusammenbrechen lassen und sowohl die Eingangs- als auch Steuerspannung unterbrochen ist. Für den Erhalt des Betriebes der Anlage muss eine Möglichkeit gefunden werden, den Antrieb gegenüber kurzzeitiger Störungen abzusichern und damit den Kraftwerksbetrieb aufrecht zu erhalten.

Durch die hohe Auslastung der möglichen Aufstellungsfläche sind räumliche Vorgaben für die Auswahl des Frequenzumrichterschaltchranks gegeben. Der Umrichter darf die Aufstellungsmaße nicht überschreiten. Wie bereits erwähnt, ist die Auswahl der elektrischen Bauteile durch die Leistungsangaben der zu betreibenden Ventilator Komponente begrenzt. So sind Drehzahlbereich und Drehmomentenverlauf des Ventilators notwendig, um die Leistung von (gegebenenfalls) Motor und Frequenzumrichter bestimmen zu können. Im Abschnitt 7.2.1 erfolgte bereits ausführlich die Ermittlung des Drehzahlbereiches. Die Drehmomentenkennlinie des Ventilators ist in den technischen Unterlagen im Anhang T4 (Blatt 4) vorgegeben. Anlaufmoment und Dauerstrom werden individuell in den nachfolgenden Abschnitten bei Vorstellung der Variante berechnet. Nach erfolgter Berechnung kann mit den bekannten Angaben zur Größenauslegung von Frequenzumrichter und Motor die Suche präzisiert werden. Dieser Schritt erfolgt zunächst mit Hilfe des SIEMENS – Tools SinaSave. Die kostenlose Energieeffizienz – Software kann, auf Grundlage der bestehenden Betriebsdaten durch den Einsatz energieeffizienter Antriebe und die Anwendung von Frequenzumrichtern, energetisches Einsparpotential nachweisen. Gleichzeitig werden verschiedene Alternativen zur optimalen Energienutzung vorgeschlagen und Amortisierungszeiträume und Kostenersparnisse festgelegt. Im Anhang T13 ist der Ablauf einer Konfiguration im Niederspannungsbereich dargestellt. Nach Auswahl von Spannungsebene und Antriebssystem erfolgt die „Eingabe“ der technologischen Leistungsparameter des Saugzuges über eine firmeneigene Maske. Im Abschnitt „Erweiterte Eingaben“ werden finanzielle Daten für die ausstehende Berechnung aufgenommen. Die „Ergebnisse“ der Berechnung von SinaSave werden im letzten Abschnitt, Blatt 5 – 7, veranschaulicht. Gleichzeitig wird eine oberflächliche Kosten – Nutzen – Rechnung erstellt und ein Amortisierungszeitraum festgelegt, worauf in der

ökonomischen Betrachtung näher eingegangen werden soll. Im Hinblick auf die Untersuchung hat die Eingabe der Saugzugparameter elektrisches Einsparpotential durch Nutzung einer drehzahlgeregelten Förderleistung bestätigt. Da die Projektierung von SinaSave für die Mittelspannungsebene gezeigt hat, dass sowohl der Platzbedarf als auch die finanziellen Anforderungen deutlich über den Vorstellungen liegen, versucht man, sich neu zu orientieren und nach Ausweichmöglichkeiten zu suchen. Durch Recherche in digitalen Medien und Fachliteratur wird die Umstellung des Saugzugantriebsstrangs auf 690 Volt und der inbegriffenen Einbindung des Frequenzumrichters zur Drehzahlregelung empfohlen. Nachdem die Berechnungen für den Drehzahlbereich von Motor und Frequenzumrichter in Abschnitt 7.2.1 erfolgt ist, zeigte die Eingabe der Auswahlkriterien zur technischen Umsetzung in die Energieeffizienz – Software SinaSave (Anhang T13) einen ersten wirtschaftlich effizienten Trend. Zugleich kann im SIEMENS – Konfigurator eine erste Vorauswahl der Niederspannungs-Systemkomponenten (Umrichter + Motor) getroffen werden. Die Version beinhaltet einen neuen 6 - poligen Niederspannungsmotor SIEMENS 1LA8, ausgelegt auf die bestehenden Ventilatoranforderungen und den kompakten Umrichter SINAMICS G150 von SIEMENS sowie die Anbindung an das bestehende 690 Volt – Netz. Informationen zu den empfohlenen Geräten siehe Anhang T15 (Blatt 4). Aus den Eigenschaften des neuen Motors und einer kürzeren Anlaufzeit ergeben sich ein neues Anlaufmoment M_A und eine neue Momentenkennlinie. Die Berechnung des Anlaufmoments erfolgt in Formel 34, benötigte Betriebsdaten werden dazu dem technischen Datenblatt entnommen.

$$M_A = J * \alpha \quad (34)$$

$$\alpha = \frac{\omega}{t_a}$$

$$\omega = \frac{n * \pi}{30}$$

Legende:

M_A	Anlaufmoment
J	Massenträgheitsmoment
α	Winkelbeschleunigung
ω	Winkelgeschwindigkeit
t_a	Anlaufzeit

Folgende Parameter können dem Datenblatt des Ventilators und des Motors zur Bestimmung der Auslegung entnommen werden:

$$J = 825 \text{ kgm}^2 \quad t_a = 19,65 \text{ s}$$

Der elektrische Antriebsstrang muss ein Anlaufmoment von $M_A \cong 4400$ Newtonmeter für die Fortbewegung des Ventilators aus dem Ruhezustand aufbringen.

$$\omega = \frac{993 \frac{1}{\text{min}} * \pi}{30} = 103,98 \frac{1}{\text{s}}$$

$$\alpha = \frac{103,98 \frac{1}{\text{s}}}{19,65 \text{ s}} = 5,29 \frac{1}{\text{s}^2}$$

$$M_A = 825 \text{ kgm}^2 * 5,29 \frac{1}{\text{s}^2} = 4364,25 \text{ Nm}$$

Durch die Umstellung der Spannungsebene bei gleichbleibender Ausgangsleistung ergibt sich ein höherer Strombedarf für Umrichter und Motor. Demnach berechnet sich bei verändertem Momentenverlauf und höherem Nennstrom nach Formel 35 ein Dauerstrom im Bereich von $i_m \cong 200$ bis 270 Ampere. Einzusetzende Drehmomente sind aus der Momentenkennlinie abzuschätzen.

$$i_m = \frac{M_{Last}}{M_N} * i_N \quad (35)$$

$$i_{m,max} = \frac{2400 \text{ Nm}}{5241 \text{ Nm}} * 575 \text{ A} = 263,3 \text{ A}$$

$$i_{m,nenn} = \frac{1800 \text{ Nm}}{5241 \text{ Nm}} * 575 \text{ A} = 197,5 \text{ A}$$

Legende:

$I_{m,max}$	Dauerstrom Max.leistung
$I_{m,nenn}$	Dauerstrom Nennleistung
i_N	Nennstrom
M_{Last}	Lastmoment
M_N	Nennmoment

Die Anbindung des Antriebssystems erfolgt am Block B der 690 Volt – Hauptschaltanlage. Hier steht ein freier Lasttrennschalterabgang 1000 Ampere zur Verfügung. Die Hauptschaltanlage ist aus drei Blöcken aufgebaut, die je über einen Transformator 10/0,7/0,4 kV (4000/3200/800kVA) eingespeist werden (Schutzmaßnahme Schutzleitungssystem – IT-Netz). Zwischen den Blöcken ist eine Längskupplung möglich. Auf Grund der Kurzschlussfestigkeit wird aber ein Block nur mit einem Transformator betrieben. Im Übersichtsplan „Schaltanlagen“ (Anhang T11) ist das Schaltanlagenkonzept des IKW Wählitz dargestellt. Für den Umrichter SINAMICS G150 wird optional ein Lasttrennschalter als Hauptschalter angeboten (Option L26). Bei der Auswahl des Lasttrennschalters sind Bemessungsstrom und das Kurzschlusschaltvermögen zu beachten. Durch die Anwendung einer Vorladeschaltung (wird später erklärt) können Lasttrennschalter gemäß der Eingangs – Bemessungsströme der Umrichter gewählt werden. Der Lasttrennschalter ist in Ausführung mit den NH – Sicherungseinsatz 3NA3354-6 auszuwählen. Eine Übersicht über den Umrichter – Schaltschrankaufbau ist in Abbildung 34 dargestellt. Durch den Lasttrennschalter können geräteseitige Kurzschlüsse erkannt und abgeschaltet werden. Im „SINAMICS – Low

Voltage Projektierungshandbuch“ [18, S. 55/127] wird zur Trennung von der Einspeisung für Umrichter mit Bemessungsströmen ≤ 800 Ampere ein Schütz als Hauptschaltorgan (bei NOT – AUS notwendig) empfohlen (Option L13). Der SINAMICS G150 hat eine Nennleistung von 560 Kilowatt und einen Bemessungsstrom von 575 Ampere, so dass das Schütz SIEMENS SIRIUS 3RT14 zu verwenden ist. Schütze sind elektromagnetische Schalter und haben keine Schutzfunktion. Die Auswahl des Schützes wird durch den Bemessungsstrom und das Schaltvermögen beeinflusst.

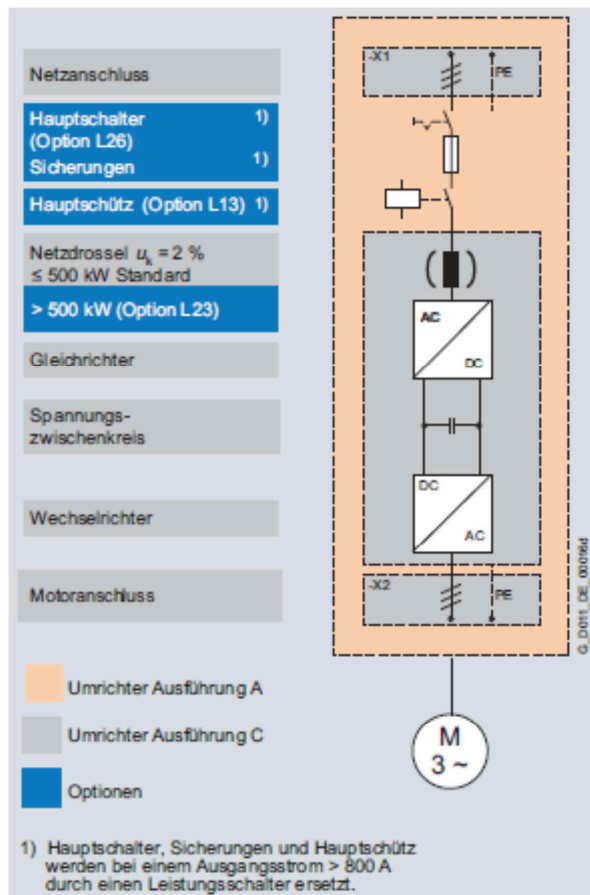


Abbildung 32 Grundsätzlicher Aufbau eines Umrichter-Schrankgerätes[24, S. 98]

Der ausgangsseitige Kurzschluss in Umrichterausgangsklemmen, der Motorzuleitung oder Klemmkasten des Motors wird von einer internen Auswerteeinheit erkannt und gemäß Sicherheitscharakteristik mit „Störung“ abgeschaltet. Um Folgeschäden durch zu hohe Stromkräfte oder Erwärmung zu verhindern, darf ein maximal möglicher Kurzschlussstrom im Hauptstromkreis nicht größer sein als die zulässige Kurzschlussstromfestigkeit des Frequenzumrichters. Die auftretende Kurzschlussstromfestigkeit I_K an der Niederspannungssammelschiene entspricht annähernd der Kurzschlussstromfestigkeit am Frequenzumrichter und kann durch die Daten des Transformators ermittelt werden. Die Kurzschlussstromfestigkeit berechnet sich näherungsweise

aus dem in Anhang T14 gegebenen Bemessungsstrom I_N und der Kurzschlussspannung u_K nach Formel 36.

$$I_K = \frac{I_N}{u_K} \quad (36)$$

Legende:

I_K Kurzschlussfestigkeit

I_N Bemessungsstrom

u_K Kurzschlussspannung

$$I_K = \frac{2566 \text{ A}}{6,9 \%} = 37188,4 \text{ A}$$

Der maximale Kurzschlussstrom I_K auf der Niederspannungssammelschiene beträgt ca. 37,2 kA und liegt unterhalb der zulässigen Kurzschlussstromfestigkeit des Frequenzumrichters (42 kA). Nachhaltige mechanische Defekte durch Erwärmung sind deshalb auszuschließen.

Um Netzurückwirkungen auf Leistungsbaulemente im Gleichrichter sowie Zwischenkreis zu reduzieren, ist eine Netzdrossel (Option L23) mit der Kurzschlussspannung $u_K = 2\%$ zu verwenden [24, S. 127]. Eine Netzdrossel glättet den vom Umrichter aufgenommenen Strom und reduziert die Oberschwingungsanteile im Netzstrom. Um zusätzliche Strombelastungen des Motors durch hohe Spannungsanstiege beim schnellen Schalten der IGBTs zu verhindern, ist eine Motordrossel du/dt - Filter compact plus Voltage Peak Limiter (Option L07) einzusetzen. Der du/dt - Filter begrenzt die Spannungsteilheit am Ausgang des Frequenzumrichters ($du/dt < 1600V/\mu s$) und verhindert dadurch hohe Spannungsspitzen an der Motorwicklung [18, S. 303].

Der Umrichter SINAMICS G150 bietet eine Überlastreserve (Abbildung 33), um hohe Anlaufmomente und kurzzeitige Beschleunigungs- und Losbrechmomente zu überwinden, ohne an seine thermische Auslastgrenze zu kommen. Dabei liegt eine Lastspieldauer von 300 Sekunden vor. Voraussetzung für die Überbrückungsdauer ist der Betrieb mit Grundlaststrom vor und nach der Überlast. Um genügend Überlastreserve zu erhalten, wird der Grundlaststrom gegenüber dem Bemessungsstrom I_N abgesenkt. So erhält man für geringe Überlasten einen abgesenkten Grundlaststrom $I_L = I_N - 3...6\% * I_N$ und für hohe Überlasten den abgesenkten Grundlaststrom $I_H = I_N - 10...25\% * I_N$. In Abbildung 35 ist das Verhalten bei hoher Überlast zu sehen. Dabei kann das Gerät einen 150 prozentigen Wert des Grundlaststromes I_H 60 Sekunden lang und ein 160 prozentigen Wert 10 Sekunden lang ohne Betriebsabschaltung halten [24, S. 116]. Die Bestimmung des zulässigen Kurzzeitstromes I_{Kurz} erfolgt dazu nach Formel 37. Der Grundlaststrom I_H ist aus den technischen Daten bekannt und beträgt 514 Ampere, der Strom – Derating – Faktor, Formel 38, wird von der Belastung des Umrichters bestimmt. Der Derating – Faktor k_D beinhaltet alle Faktoren, die zu einer Reduktion des Kurzzeitstromes des Wechselrichters führen [18, S. 158].

$$I_{Kurz} = 1,5 * k_D * I_H \quad (37)$$

Legende:

I_{Kurz} zulässiger Kurzzeitstrom

k_D Strom-Derating-Faktor

I_H Grundlaststrom

$$k_D = k_{Temp} * k_{Puls} * k_{Parall} * k_{IGBT} \quad (38)$$

Legende:

k_{Temp} 1 (Temperatur, Schutz)

k_{Puls} 1 (Pulsfrequenz)

k_{Parall} 1 (keine Parallelschaltung)

k_{IGBT} 1 (kein period. Lastspiel)

$$k_D = 1 * 1 * 1 * 1 = 1$$

$$I_{Kurz} = 1,5 * 1 * 514 \text{ A} \cong 771 \text{ A}$$

Aus dem 1,5-fachen Grundlaststrom I_H und dem Strom – Derating – Faktor ergibt sich der zulässige Kurzschlussstrom I_{Kurz} von 771 Ampere.

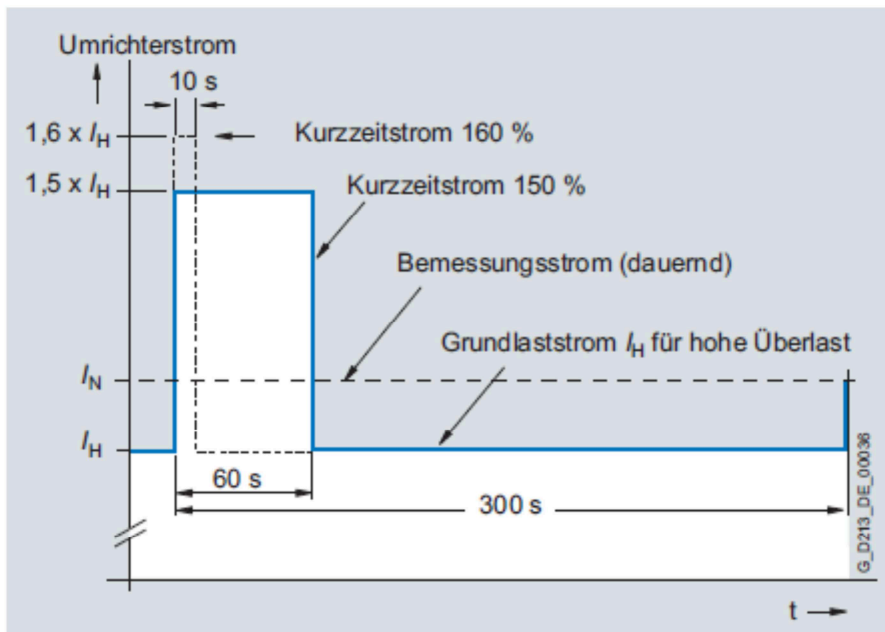


Abbildung 33 hohe Überlast [24, S. 116]

Außerdem ist der SIEMENS G150 mit einem parallelgeschalteten Vorladegleichrichter ausgestattet, der bei anliegender Netzspannung den Zwischenkreis mit 17 Ampere (Anfangs – Effektivwert) auflädt. Der in Abbildung 34 abgebildete Hauptgleichrichter wird erst nach

Aufladung des Vorladegleichrichters angesteuert und soll so früh wie möglich zünden. Durch dieses diodenähnliche Verhalten wird erreicht, dass der betriebsmäßige Strom über den Hauptgleichrichter fließt und keine hohen Einschaltströme aufkommen. Auf Grund der Vorladung des Zwischenkreises bleibt der Einschaltstrom unter dem Ansprechwert des unverzögerten Kurzschlussauslösers, daher hat die Auslegung des Leistungsschalters nach dem Eingangsbemessungsstrom zu erfolgen.

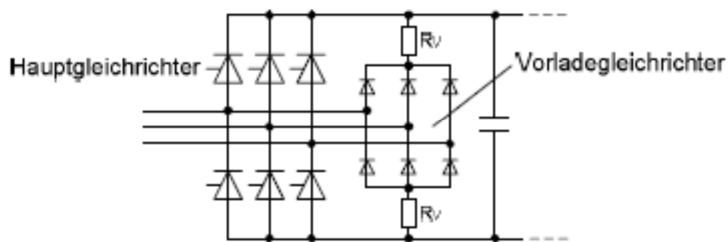


Abbildung 34 Vorladeschaltung SIEMENS G150 [18, S.295]

Bei Überströmen am Ausgang oder Übertemperaturen bewirkt eine interne Ablaufsteuerung zunächst eine Impulssperre für die Leistungsbaulemente, bevor das netzseitige Schütz den Befehl zum Öffnen erhält. Auf Grund dessen erfolgt beim störungsbedingten oder regulären Abschalten des Umrichters eine stromlose Abschaltung des Leistungsschalters.

Der Frequenzumrichter SINAMICS G150 erzeugt durch einen internen Transformator die Hilfsspannungen AC 230 Volt und DC 24 Volt für Hilfsbetriebe und Elektronik selbst. Ein dauerhafter Betrieb bei Netzschwankungen ist im Bereich von $0,9 \cdot U_N \leq U_{\text{Netz}} \leq 1,1 \cdot U_N$ zulässig. Dabei arbeiten alle über die geräteintern erzeugte 220 Volt Hilfsspannung gespeisten Hilfsantriebe in ihrem Arbeitsbereich. Der Zwischenkreis hat einen weiten Sicherheitsabstand zur Ober- beziehungsweise Unterspannungsabschaltchwelle. Kurzfristige Netzschwankungen im Bereich $0,85 \cdot U_N \leq U_{\text{Netz}} \leq 0,9 \cdot U_N$ sind auf den Zeitraum < 1 min begrenzt, da der Kühlluftstrom durch die Gerätelüfter nicht gegeben ist. Bei Netzeinbrüchen kann ohne Überschreitung der Unterspannungsabschaltchwelle des Zwischenkreises durch externe Versorgung der 230 Volt- und 24 Volt - Hilfsbetriebe (z.B. USV) der Betrieb ohne Störabschaltung des Antriebes realisiert werden [18, S. 55]. Mögliche Maßnahmen zur Verringerung der Folgen und Betrieb ohne Störabschaltung bei Netzeinbrüchen sind die kinetische Pufferung und Wiedereinschaltautomatik in Kombination mit Fangen. Im Fall der kinetischen Pufferung wird der rotierenden Antriebswelle bei hinreichend großer Schwungmasse Energie zur Stützung des Zwischenkreises entnommen und damit die Betriebszeit bei Netzspannungseinbruch verlängert. Die Wiedereinschaltautomatik mit der Funktion Fangen beschleunigt nach längeren Netzeinbrüchen den noch rotierenden Motor aus aktueller Drehzahl und Drehrichtung auf ursprünglichen Betriebszustand.

Der Umfang zur Realisierung der Drehzahlregelung auf Niederspannungsebene umfasst die Anbindung an das bestehende Niederspannungsnetz durch einen geeigneten Leistungsschalter, die

Einbindung des Umrichters SINAMICS G150 und die Installation des SIEMENS – Motors 1LA8. Durch die Auswahl der Niederspannungsebene kann aus Gründen der überschaubaren Geräteanschaffungskosten und damit verbundenen Amortisierungszeiträumen eine wirtschaftlich positive Tendenz erzielt werden. Auf die Bewertung der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird im nächsten Abschnitt näher eingegangen.

7.2.4 Ökonomische Betrachtung Saugzug

Die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit einer Energiesparmaßnahme setzt die Berechnung beziehungsweise Abschätzung der durch diese Maßnahme verursachten zukünftigen Kosteneinsparungen voraus. Die Berechnung und Abschätzung der verschiedenen Kosten ist von erheblicher Bedeutung, da die Kosteneinsparung die entscheidende Größe für die Rückflüsse einer energieeinsparenden Investition ist [26, S. 260]. Nach VDI 2067 Blatt 1 wird in vier Kostenarten unterschieden:

- verbrauchsgebundene Kosten
- betriebsgebundene Kosten
- kapitalgebundene Kosten
- sonstige Kosten

Grundsätzlich soll die ökonomische Bewertung zur Abschätzung des finanziellen Rahmens und der Machbarkeit einer Realisierung dienen. Dazu werden verbrauchsgebundene Kosten und kapitalgebundene Kosten in Form von Investitionsausgaben definiert. Verbrauchsgebundene Kosten sind Energiekosten K_E , deren Höhe vom Energiepreis und der verbrauchten Energiemenge abhängt. Die Jahresenergiekosten K_E berechnen sich nach Formel 39 aus dem Quotienten des Produktes Jahresenergiebedarf Q und Energiepreis und dem Gesamtwirkungsgrad η_{ges} des Saugzugantriebsstrangs.

$$K_E = \frac{Q * \text{Energiepreis}}{\eta_{ges}} \quad (39)$$

Aus Formel 23 ist bekannt, dass sich der Jahresenergiebedarf aus dem Energiebedarf und den Betriebsstunden pro Jahr ergibt.

$$Q = \dot{Q} * t \quad (23)$$

Da im Abschnitt 7.2.1 bereits die Ermittlung möglicher Einsparmengen durchgeführt wurde, sollen diese Berechnungsgrundlage für eine ökonomische Darstellung sein. Es wurde ein Potentialbereich von 0,18 bis 0,25 Megawatt ermittelt, der durch Austausch der Drallregelung gegen eine effiziente Drehzahlregelung entsteht. Die nachfolgende Berechnung soll den Bereich der einzusparenden Energiekosten K_{Ee} der Maßnahme unter Verwendung des freigesetzten Potentials Q_f verdeutlichen.

$$K_{Ee} = Q_f * \text{Energiepreis} \quad (24)$$

Aus berechnetem Potentialbereich ergibt sich unter Anwendung von Formel 23 eine freigesetzte Energiemenge von 1440 bis 2000 Megawattstunden pro Jahr.

$$Q_f = 0,18\text{MW} * 8000\text{h/a}$$
$$Q_f = 1440 \text{ MWh/a}$$

$$Q_f = 0,25\text{MW} * 8000\text{h/a}$$
$$Q_f = 2000 \text{ MWh/a}$$

Unter Verwendung des betriebsinternen Energiepreises von 45 €/MWh sind einzusparende Energiekosten K_{Ee} im Bereich von 64.800 bis 90.000 € pro Jahr zu erwarten. Um weitere Berechnungen wie den Amortisierungszeitraum zu erstellen, wird ein Einblick in die kapitalgebundenen Kosten benötigt. Den größten Teil der kapitalgebundenen Kosten verursachen die Investitionsausgaben einer Anlage. Je nach Investitionsverfahren werden diese als einmalige Ausgabe in der Anschaffungsperiode erfasst oder mit Abschreibung über die Nutzungsdauer verteilt in Rechnung gestellt [26, S. 263]. Weiterhin gehören Instandhaltungskosten und Verzinsung des eingesetzten Kapitals zum Bereich der kapitalgebundenen Kosten. Da es in der Unternehmensstruktur Abteilungen zur Überprüfung technologischer Veränderungen und Beurteilung der Wirtschaftlichkeit solcher Maßnahmen gibt, werden lediglich direkte Investitionsausgaben betrachtet, um einen Überblick über das Investitionsvolumen zu erhalten. Nach dem Erfassen und der Aus- und Bewertung des energetischen Einsparpotentials hat es in weiteren Schritten eine Anfrage an die Firma SIEMENS zur Abschätzung des finanziellen Aufwandes gegeben. In Anhang T16 ist eine unverbindliche Preisindikation mit der Angebots-Nr. 444415-AA zu dieser Anfrage aufgeführt.

Auf Grund der räumlichen Beanspruchung und der hohen Investitionskosten einer Drehzahlregelung in der Mittelspannungsebene wurde alternativ eine Möglichkeit zur technischen Umsetzung in Betracht gezogen. Dabei müssen Investitionen für einen SINAMICS G150 Frequenzumrichter und Motor 1LA8 vom Hersteller SIEMENS in Niederspannungsausführung sowie geschirmtes Kabel von der Hauptschaltanlage bis zum Motor und Montagekosten getätigt werden. In Tabelle 7 ist eine Preisübersicht der direkten Investitionsausgaben aufgeführt. Die Beträge der Positionen 4004 des Frequenzumrichters und 4005 des Motors wurden der Preisindikation der Firma SIEMENS Anhang T16 entnommen. Der unter Position 4003 aufgeführte Stromrichtertransformator findet in der Erfassung der Investitionssumme keine Beachtung, da die elektrische Versorgung durch Anbindung an das bestehende Niederspannungsnetz gewährleistet ist. Der Preis für das geschirmte Kabel ist durch Internetrecherche bei der Firma HELUKABEL ermittelt wurden. Montagekosten sind abgeschätzt. Der finanzielle Aufwand für konstruktive

Veränderungen und Montage basieren auf Erfahrungswerten vergleichbarer Objekte. Dazu gehören der Aufbau des Frequenzumrichterschaltsschranks und Trassenänderungen für die geschirmten Kabel. Der Posten des geschirmten Kabels stellt in dieser Maßnahme einen erheblichen Anteil des Investitionsvolumens dar, da etwa 150 Meter Kabel benötigt werden. Unter den Posten Montage sind konstruktive Änderungen in der Schaltanlage, Umschluss der Energieeinspeisung und die Montage von Umrichter - Schaltschrank sowie Änderungen und Anpassungen am Motorsockel zu verstehen.

Artikelbezeichnung	Position	Anbieter	Typ	Preis in € (netto)
Frequenzumrichter	4004	SIEMENS	6SL3710-1GH35-8AA3-Z	52.450,85
Motor	4005	SIEMENS	1LA8407-6PM80-Z	32.688,24
geschirmtes Kabel		HELUKABEL	2YSLCYK-J UL/CSA	20.000,00
Montage				10.000,00
Summe				115.139,09

Tabelle 7 Preisübersicht Maßnahmen Niederspannungsebene

Die direkte Investitionssumme von 115.139 € ist geringer als die Ausgaben für eine Mittelspannungsvariante. Für die im vorhergehenden Abschnitt erläuterte Amortisationszeit Formel 25 stellen sich unter Annahme der einzusparenden Energiekosten K_{Ec} als jährlich durchschnittliche Rückflüsse Amortisationszeiträume von eineinhalb bis zwei Jahren ein.

$$\text{Amortisationszeit} = \frac{115.139,09 \text{ €}}{64800 \text{ €/a}} = 1,8a$$

$$\text{Amortisationszeit} = \frac{115.139,09 \text{ €}}{90000 \text{ €/a}} = 1,3a$$

7.2.5 Einbindung der Drehzahlregelung in das Leittechniksystem

Das Kraftwerk Wählitz ist ein moderner Energielieferant mit hohem Automatisierungsgrad. Die Betriebs- und Prozessabläufe werden durch das Kraftwerksleitsystem Procontrol P14 von der Firma ABB geregelt und optimiert. Durch die installierte Hard- und Software wird die Erfassung und Verarbeitung von Messwerten und Signalen realisiert. Das digitale Prozessleitsystem erfasst bereitgestellte Istwerte und Betriebszustände, registriert und verarbeitet unter Beachtung von Ablaufzeiten interne und externe Sollwerte, Verknüpfungen sowie Anweisungen und gibt diese an zuständige Aktoren aus. Zur Bedienung und Beobachtung aller Anlagenteile werden dem Operator alle Informationen durch Prozessbedienstationen zur Verfügung gestellt. Das fehlersichere Kraftwerksleitsystem übernimmt Schutzfunktion der Anlage mit all seinen Teilen.

Die Lastregelung des ZWS – Kessels berechnet in momentaner Fahrweise nach Vorgabe der gewünschten Frischdampfmenge automatisch den Bedarf an Brennstoff- und Luftmengenführung. Durch die Regelung des Druckes vor der Nachschaltheizfläche wird der Feuerraumdruck im Kessel geregelt. Da der Saugzug mit konstanter Drehzahl betrieben wird, ist

ein Saugzugdrallregler als Regelorgan eingesetzt. In Anhang T17 ist das Übersichtsschema zur „Regelung des Druckes vor der Nachschaltheizfläche“ dargestellt. Die Position des Drallreglers wird über die Stellung des elektrischen Antriebs ermittelt und in Form eines 4 – 20 Milliampere (mA) – Signals weiter verarbeitet. Der PI – Regler vergleicht im Automatikbetrieb den von der Lastregelung vorgegebenen Sollwert für Druck vor der Nachschaltheizfläche mit dem erfassten Istwert und regelt die Differenz aus. Der Reglerausgang wird an die ASI – Ebene (Antriebs-Steuerung-Inkremental) weitergeleitet, in der das Signal für den elektrischen Antrieb des Drallreglers gebildet wird. Im Handbetrieb wird die Position des Drallreglers durch ein Signal der Bedienstation (Tasten-Auswahl mit Zielgrößenvorgabe) vorgegeben.

Bei Umbau auf Drehzahlregelung mittels Frequenzumrichter bleibt der Regelkreis nach dem Übersichtsschema „Regelung des Druckes vor Nachschaltheizflächen“ prinzipiell bestehen. Durch die Reglerausgangssignale (im Automatik- oder vom Bediener im Handbetrieb) wird anstelle der Antriebssteuerung des Drallreglers die Antriebssteuerung der Drehzahlregelung des Saugzuges vorgegeben. Die PI – Reglerausgangswerte und die Handbefehle der Bedienstation sind dem Frequenzumrichter in Form von Drehzahlsollwertvorgaben vorgegeben. Im Anhang T18 ist am Beispiel des SINAMICS G150 die werksmäßig vorbereitete Vorbelegung der Kundenschnittstelle dargestellt. Hier ist die Einbindung zutreffender Schnittstellen wie Rückmeldungen, Sollwertvorgaben und Analogausgänge für den Drehzahl- und Motorstromwert nötig. Auf Grund der Veränderungen ist dieser Regelkreis in Betrieb zu nehmen und zu optimieren (Dynamik).

8 Zusammenfassung und Ausblick

Nach Aufgabenstellung der Firma MIBRAG mbH und Abstimmung mit der verantwortlichen Bereichsleitung sollte eine theoretische Untersuchung über mögliche Einsparpotentiale am Standort Kraftwerk Wähilitz erstellt werden. Die Aufgabenstellung basiert auf der Forderung zum Aufbau eines Energiemanagements (EnMS) im Unternehmen. Der Schwerpunkt der Betrachtung sollte dabei auf den elektrischen Hauptverbrauchern der Anlage liegen, welche durch Eigenverbrauchsanalyse im Kapitel 3 identifiziert werden sollten. Nach erfolgter Auswertung und Bewertung technischer Möglichkeiten nach dem Stand der Technik ist die Untersuchung auf zwei Hauptverbraucher begrenzt. In diesen Fällen sind konstruktive Veränderungen ohne technologische Auswirkungen auf den Verbrennungszyklus des ZWS - Kessels möglich. Die Antriebe gehören zu der primären Luftversorgung des ZWS – Kessels und sind Voraussetzung für den ordnungsgemäßen Betrieb der Anlage. Das Rezirkulationsluftgebläse und der Saugzug sind im Hinblick auf Einsatz und Auslastung als mögliche Potentialträger identifiziert und stellen den Schwerpunkt der Untersuchung dar. Ziel der Untersuchung ist, Energiekosten durch konstruktive Maßnahmen und effiziente Regelung zu verringern. Dazu sollen im Zusammenhang Alternativen erarbeitet und vorgestellt werden. Eine Möglichkeit der effektiven Regelung stellt die Drehzahlregelung mit einem Frequenzumrichter dar. Um die nötigen Kenntnisse für die Thematik des drehzahlgeregelten Ventilatorbetriebes zu vermitteln, erfolgt in den Kapiteln 4 bis 6 die Einführung der allgemeinen Grundlagen. Im Kapitel 7 wird die individuelle Betrachtung der Schwerpunktthematik Rezirkulationsluftgebläse und Saugzug vermittelt.

Den ersten Schwerpunkt stellt die vermeintliche Überdimensionierung des Rezirkulationsluftgebläses dar. Die Auswertung der Betriebsdaten hat eine Überdimensionierung der Ventilatorauslegung ergeben. Die Überdimensionierung wird durch den dauerhaften Betrieb des 30° geöffneten Vordrallreglers deutlich, was einer uneffektiven und laut Herstellerangaben nicht zulässigen Fahrweise entspricht. Die Auslegung ist auf die geplante Mitverbrennung von Trockenbraunkohle und Zusatzbrennstoffen zurückzuführen. Dieser Betriebszustand ist über einen längeren Zeitraum nicht mehr eingetreten und auch in Zukunft nicht geplant. Aus diesem Grund erfolgen im Abschnitt 7.1 Berechnungen der tatsächlichen Fördermengen, welche als Größenordnung für eine neudimensionierte Ersatzanlage verwendet werden. Mit den berechneten Vorgaben konnte durch die Firma Howden ein Vorschlag zur technischen Umsetzung erstellt werden. Um einen ökonomischen Überblick zu erlangen, werden Investitionssummen und einzusparende Energiekosten in der ökonomischen Betrachtung aufgeführt. Als Ergebnis für die Realisierung dieser Maßnahme berechnet sich eine Amortisationszeit von zirka zweieinhalb Jahren. Der zweite Schwerpunkt betrachtet die Regelung der Saugzugfördermenge. Diese wird zurzeit durch einen Vorleitapparat realisiert. Nach Ermittlung der Betriebspunkte in seinem Kennlinienfeld und Berechnung des entsprechenden Drehzahlpektrums konnte im Abschnitt 7.2 durch einen

Wechsel des Regelorganes elektrisches Einsparpotential nachgewiesen werden. In der Maßnahme soll der Drallregler durch eine Drehzahlregelung in Form eines Frequenzumrichters ersetzt werden. Nach anfänglichen Gedanken, hohe Investitionskosten durch den Erhalt des vorhandenen Mittelspannungsmotors zu umgehen, stellt diese Überlegung nach Erweiterung des Kenntnisstands (SinaSave, Fachliteratur) keine Option dar. Um dennoch eine Drehzahlregelung für den Saugzug realisieren zu können, wurde alternativ eine Variante in der Niederspannungsebene erstellt. Nach Vorgabe technischer Daten des Ventilators und berechneter Parameter (Drehzahlbereich, Anzugsmoment, Dauerstrom) wurde in Verbindung mit der Firma SIEMENS ein technisches Angebot zur Umsetzung projektiert. Der Umfang des Angebots umfasst einen 690 Volt – Frequenzumrichter (560kW) und einen Motor (545kW) in gleicher Spannungsebene. In der ökonomischen Betrachtung werden positive Auswirkungen durch den Wechsel der Betriebsspannung deutlich. Es ergibt sich ein Amortisationszeitraum von zirka eineinhalb bis zwei Jahren.

Durch die Untersuchung konnten zwei elektrische Hauptverbraucher identifiziert werden. Um positive Veränderungen in deren Energieverbrauch herbeiführen zu können, sind Maßnahmen gemäß technischer Vorschläge empfehlenswert. Die ökonomischen Betrachtungen dienen als Überblick über die direkten Investitionskosten. Die dabei berechneten Amortisationszeiträume beider technischer Optimierungen sind abhängig von den Erlösen der eingesparten Energiekosten und daher als flexibel zu verstehen.

Literaturverzeichnis

- [1] Stromsteuergesetz; Änderung 5. Dezember 2012 (BGBl. I S. 2436, 2725)
- [2] DIN EN ISO 50001; Energiemanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung; Deutsche Fassung 2011
- [3] <http://www.mibrag.de/media/1355133007.pdf>; Besucherinformation Kraftwerk Wählitz
- [4] <http://www.tlтурbo.com/dateien/49.pdf>; TLT-Turbo GmbH; Auslegung und Konstruktion von Ventilatoren mit großer Druckerhöhung
- [5] Willi Bohl; Ventilatoren [ISBN 3-8023-0680-5]; Technik Maschinenbau; Vogel-Fachbuch; 1. Auflage 1983
- [6] Walter Wagner; Lufttechnische Anlagen Ventilatoren und Ventilatorenanlagen [978-3-8343-3095-6]; Vogel-Fachbuch; 2. Auflage 2007
- [7] Bruno Eck; Ventilatoren [ISBN unbekannt]; Springer-Verlag; 2. Auflage 1957
- [8] Seefried; Müller; Frequenzgesteuerte Drehstrom-Asynchronantriebe [ISBN 3-341-00995-7]; Verlag Technik GmbH Berlin · München; 2. bearbeitete Auflage 1992
- [9] Joachim Specovius; Grundkurs Leistungselektronik [ISBN 978-3-8348-1307-7]; Vieweg + Teubner Verlag; 4. erweiterte Auflage 2010
- [10] <http://www.tlt-turbo.com/dateien/32.pdf>; TLT-Turbo GmbH; Grundlagen Ventilatorentechnik
- [11] http://www.hochschule-technik.de/pdf/85821_probe.pdf; 4. Strömungsmaschinen
- [12] <http://www.howden.com/NR/rdonlyres/79AC52E2-C487-4E1C-819C-56967124A986/0/HowdenTurbowerkecentrifugalfansreducedsize.pdf>; Radial – Standartventilatoren; Howden Turbowerke GmbH
- [13] <http://www.wittfan.de/download/lueftungstechnik.pdf>; Hans Witt; Lüftungstechnik
- [14] <http://www.vde-verlag.de/buecher/leseprobe/lese3361.pdf>; Ventilatoren
- [15] <http://www.ebmpapst.com/de/info-center/downloads/downloads.html>; AC Radialventilatoren rückwärts gekrümmt

-
- [16] <http://www.reitz-retrofit.de/public/pdf/Energieeffizienz.pdf>; Reitz Ventilatoren; Drehzahlregelung
- [17] http://www.reitz-ventilatoren.de/public/pdf/de/liste2010_kapitel3_do.pdf; Reitz Ventilatoren; Drosselorgane
- [18] <https://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&lang=11735760&subtype=133300>; SINAMICS – Projektierungshandbuch; April 2013
- [19] Klaus Fuest, Peter Döring; Elektrische Maschinen und Antriebe [ISBN-978-3-8348-0098-5]; Vieweg & Sohn Verlag; 7. Auflage; 2007
- [20] http://www.sew-eurodrive.de/support/documentation_result.php?gruppen_id=A43; Grundlagen der Antriebstechnik; 2004
- [21] eddy.dawa.de/Werkstatt/wabeco_umbau/020_Brems-Motor.pdf; Drehstromantriebe Grundlagen, KEB Antriebstechnik; Oktober 1996
- [22] <https://portal.dnb.de/opac.htm?query=999751891&method=simpleSearch;999751891.pdf>; Ansteuerung von Hochvolt – IGBTs über optimierte Gatestromprofile; Günther Schmitt; Juli 2007
- [23] http://www.mb.fh-stralsund.de/fss/pages/pg_lehre/STM%202013/Grundlagen%20STM0%20VerWS2013.pdf; Grundlagen Strömungsmaschinen; J.A. Szymczyk; 2013
- [24] <http://www.automation.siemens.com/mcms/infocenter/dokumentencenter/ld/Documentsu20Catalogs/lv-umrichter/d11-2011-de.pdf>; SINAMICS G150, Katalog D11; 2011
- [25] Leonhard Bommers, Jürgen Fricke und Klaus Klaes; Ventilatoren [ISBN-10:3-8027-3200-6]; Vulkan Verlag; 2. Auflage; 2002
- [26] Winje/Witt, Energiewirtschaft [ISBN-3-88585-302-7]; Verlag TÜV Rheinland GmbH, Köln; 1991
- [27] <http://www.industry.siemens.com/drives/global/de/projektierung-inbetriebnahme-software/sinasave/seiten/default.aspx>, Amortisationsrechner für energieeffiziente Antriebstechnik, SIEMENS

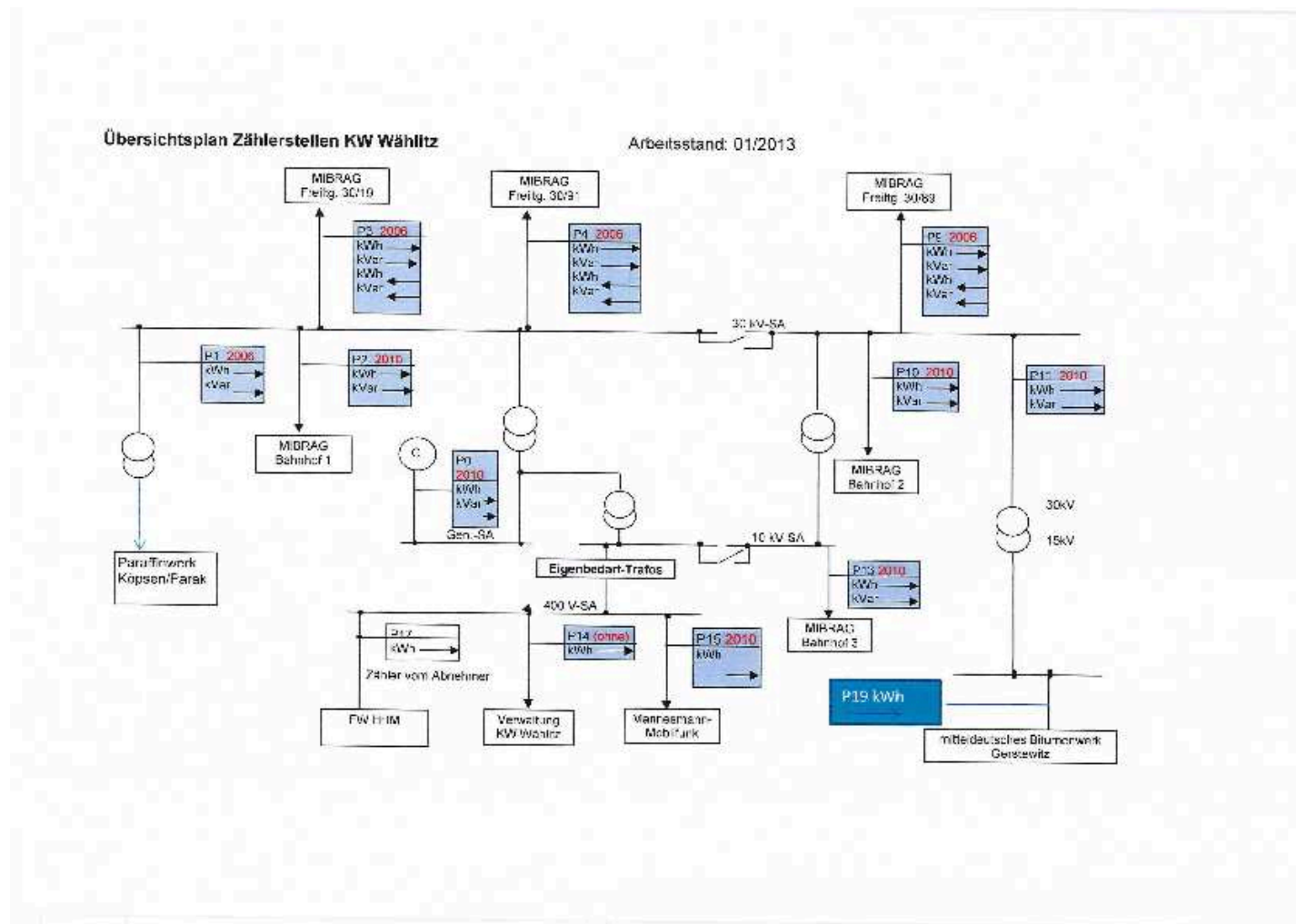
Anhangverzeichnis

Anhang T1	Tabelle 1 Energieabrechnung IKW Wähilitz 2013
Anhang T2	Übersichtsplan Zählererfassung IKW Wähilitz
Anhang T3	Tabelle 3 Energieverbrauch der Luftversorgung ZWS – Kessel IKW Wähilitz 2013
Anhang T4	Kennlinien und technische Daten Saugzug IKW Wähilitz (Originaldokumentation)
Anhang T5	Kurvenauswertung Rezirkulationsluftgebläse (Jahresauswertung)
Anhang T6	Rauchgasrezirkulation bei geschlossenem Bypass
Anhang T7	Kennlinien und technische Daten Rezirkulationsgebläse (Originaldokumentation)
Anhang T8	Technisches Angebot Firma Howden
Anhang T9	elektrischer Übersichtsplan Rezirkulationsluftgebläse
Anhang T10	Budgetpreis Howden
Anhang T11	Übersichtsplan elektrische Schaltanlage
Anhang T12	SinaSave Variante Mittelspannungsebene
Anhang T13	SinaSave Variante Niederspannungsebene
Anhang T14	Eigenbedarfstransformator Leistungsdaten
Anhang T15	Angebot SIEMENS technische Umsetzung 690 Volt Antriebsstrang
Anhang T16	SIEMENS Preisindikation (Auszug)
Anhang T17	Regelschema Druck vor Nachschaltheizfläche [Betriebsdokumentation]
Anhang T18	Vorbelegung der Kundenschnittstelle SINAMICS G150 [19]

Anhang T1 Tabelle 1 Energieabrechnung IKW Wühlitz 2013

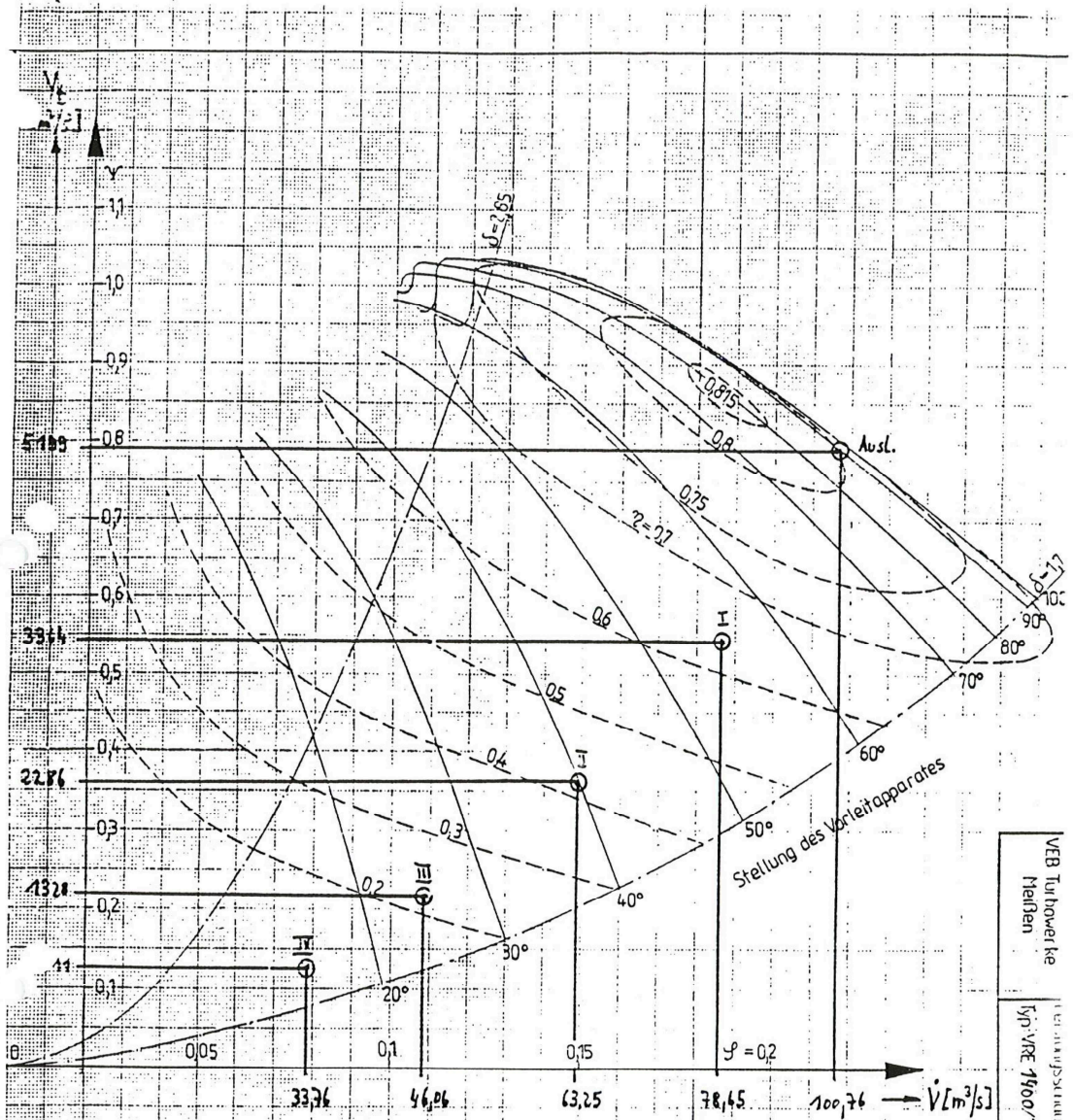
gültige Abrechnung über Siglon	Jan 13	Feb 13	Mrz 13	Apr 13	Mai 13	Jun 13	Jul 13	Aug 13	Sep 13	Okt 13	Nov 13	Dez 13	Summe
	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
P0 Generatorzähler	24056,616	22136,694	24484,110	23686,39	13736,09	0	17404,632	23189,256	23471,73	24759,252	24265,566	24400,56	245590,896
P1 Zähler Parak/Köpsen	26,169	24,671	25,517	18,157	15,878	14,755	15,607	15,981	16,225	17,215	19,59	20,461	230,226
P2 Zähler Bahnhof 1	108,846	83,574	100,971	73,863	50,967	29,178	62,478	57,564	61,245	72,414	83,133	71,523	855,756
P3-1 Zähler Freileitung 30/19 - Lieferung	7490,657	6800,5295	7485,793	7122,006	4305,38	547,452	5408,003	6974,237	7061,422	7519,151	7361,809	7498,879	75575,3185
P3-2 Zähler Freileitung 30/19 - Bezug	0,421	0	0,000	0	39,784	0,475	17,028	0	0	0	0	0,724	58,432
P4-1 Zähler Freileitung 30/91 - Lieferung	7001,197	6270,671	7050,888	6722,73	4013,377	346,165	4990,342	6513,012	6590,261	7023,985	6905,621	7018,564	70446,813
P4-2 Zähler Freileitung 30/91 - Bezug	1,289	0,058	0,000	0	35,662	1,850	32,073	0	0	0	0	1,577	72,509
P9-1 Zähler Freileitung 30/89 - Lieferung	5851,995	5581,000	6026,633	6151,399	3455,302	0	4198,266	5907,463	6046,243	6237,047	6094,768	6191,496	61741,612
P9-2 Zähler Freileitung 30/89 - Bezug	20,992	0	0,000	0	692,647	1802,243	434,585	0	0	0	0	22,129	2972,596
P10 Zähler Bahnhof 2	65,997	41,554	56,457	36,801	37,764	43,803	37,746	22,041	23,166	31,275	40,59	33,251	470,445
P13 Zähler Bahnhof 3	27,439	27,6	29,347	11,201	11,213	3,058	3,12	3,624	4,402	6,711	12,25	23,398	163,363
P14 Zähler Verwaltung	3,248	3,068	2,911	3,036	3,333	3,146	3,149	3,258	3,226	3,501	3,65	3,58	39,106
P15 Zähler Mobilfunk	1,459	1,37	1,500	1,578	1,672	1,695	1,950	1,902	1,81	1,991	1,896	1,505	20,328
P19 Zähler Gerstewitz (Abnehmer)	267,703	344,342	420,500	437,822	507,118	534,989	659,742	601,299	607,779	618,24	551,032	303,223	5853,789
P11 Zähler Trafo 30/15kV	270,855	347,715	424,779	442,451	512,547	540,656	667,718	608,359	614,471	624,884	556,662	306,446	5917,543
													0
													0
VP1 Lieferung Tagebau über Freileitung	20343,848	18652,197	20563,304	19996,14	11774,06	893,617	14596,611	19394,712	19697,926	20780,183	20362,198	20708,939	207763,729
VP2 Bezug Tagebau über Freileitung	22,701	0,058	0,000	0	768,093	1804,568	483,686	0	0	0	0	24,43	3103,536
VP3 Lieferung zum Bahnhof	202,282	152,727	186,775	121,865	99,944	76,039	103,344	83,229	88,813	110,4	135,973	128,172	1489,563
VP4 Gesamtbilanz Tagebau	20523,429	18804,867	20750,079	20118,000	11105,910	-834,912	14216,269	19477,941	19786,739	20890,583	20498,171	20812,681	206149,757
													0
VP5 Gesamtabgabe Köpsen/Gerstewitz	293,872	369,022	446,016	455,979	522,996	549,744	675,349	617,28	624,004	635,455	570,622	323,684	6084,023
VP6 Verluste Strecke Gerstewitz	3,143	3,382	4,279	4,629	5,429	5,667	7,976	7,06	6,692	6,644	5,63	3,223	63,754
VP7 Nettoleistung	20825,151	19181,709	21204,786	20583,222	11639,340	-274,660	14904,693	20107,441	20422,471	21538,174	21079,969	21145,245	212357,541
VP8 Eigenbedarf	3231,465	2954,985	3279,324	3103,170	2096,748	274,660	2499,939	3081,815	3049,259	3221,078	3185,597	3255,315	33233,355
													0
													0
davon bewertet Kesselhaus	2423,599	2216,239	2459,493	2327,378	1572,561	205,995	1874,954	2311,361	2286,944	2415,809	2389,198	2441,486	24925,0165
davon unbewertet	646,293	590,997	655,865	620,634	419,350	54,932	499,988	616,363	609,852	644,216	637,119	651,063	6646,6718
WAB	161,573	147,749	163,966	155,158	104,837	13,733	124,997	154,091	152,463	161,054	159,280	162,766	1661,6677
													0
Nebenverbrauch	3,248	3,068	2,911	3,036	3,333	3,146	3,149	3,258	3,226	3,501	3,650	3,580	39,106
Nebenverbrauch +Verluste	6,391	6,450	7,190	7,665	8,762	8,813	11,125	10,318	9,918	10,145	9,280	6,803	102,86

Anhang T2 Übersichtsplan Zählerstellen IKW Wühlitz



Anhang T3 Tabelle 3 Energieverbrauch der Luftversorgung ZWS – Kessel IKW Wähilitz 2013

Antrieb	Spannungsebene in Kilovolt (kV)	durchschnittlicher Stromverbrauch in Ampere (A)	cos φ	Mittelwert Spannung in Volt (V)	Betriebszeiten in Stunden (h)	bezogene Leistung in MWh	Anteil am elektrischen Eigenbedarf in %	Gesamteigen- verbrauch 2011 in MWh
Primärlüfter	10	21	0,84	10300	7600	2389	7,2	
Frischlüfter	10	60	0,86	10300	7600	6988	21,0	
Saugzug	10	27	0,85	10300	7600	3108	9,4	
Rezirkulationsgebläse	0,69	202	0,84	690	7600	1540	4,6	
sonstige						1074	3,2	
Summe						15099	45,4	33233



Kennzahlen nach TGL 24818

Nenngröße = $0,663 \cdot d_2$

$$U_2 = \frac{\pi}{60} \cdot d_2 \cdot n$$

$$\varphi = \frac{V}{\frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \cdot U_2}$$

$$\psi = \frac{\Delta p_{gr}}{\frac{\rho}{2} \cdot U_2^2}$$

$$\lambda = \frac{P}{\frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_2^3} = \frac{\varphi \cdot \psi}{\eta}$$

$$\eta_1 = \frac{V \cdot \Delta p_{gr}}{P_{el}}$$

Laufrad 7010

$z = 17$

$\beta_1 = 22^\circ$

$\beta_2 = 37,5^\circ$

$b_2 = 0,2195 \cdot d_2$

Deckenradius $r = 0,16 \cdot d_2$

$$Re = \frac{d_2 \cdot U_2}{\nu} = 1,56 \cdot 10^6$$

$$d = \left[\frac{\Delta p_{gr}}{\frac{\rho}{2} \left(\frac{V}{\frac{\pi}{4} \cdot d^2} \right)^2} \right]^{\frac{1}{4}} = \frac{\psi^{\frac{1}{4}}}{\varphi^{\frac{1}{2}}}$$

Ventilator

Ansaugfläche $A_1 = 0,4 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2$

Austrittsfläche $A_2 = 0,855 \cdot 0,855 \cdot d_2^2$

Vorleitapparat: axial $z = 13$

Eintlaufkrümmer: Z-Nr. 695 Vs 1500/80(1)

08.01.92 *[Signature]*

VEB Turbomechanik
Niedlen

Typ: VRE 1900/70102 - 099317

Kst-Nr. 852 Rev 5/1.8



Technisches Datenblatt

Objekt : IKW Wählitz ZWS - Dampferzeuger 119 MW
 EVT - Anfrage-Nr. : E 6091/91
 Auftrags-Nr. : 1.47580
 Bestell-Nr. : 2/60080
 TWM - Angebots-Nr. : 608/2812/A/2
 Auftrags-Nr. : 103/1096/0/0

Rauchgas-Saugzugventilator VRE 1400/6021-Z-099/33

Technische Daten: (Berechnungspunkte zum Kennfeld)

Berechnungsnummer	Auslegung	BP I	BP II	
Lastfall	110 %	100 %	77,22 %	
Luftdruck	99650			Pa
Aufstellungshöhe ü.NN	146			m
Staubgehalt max. i.N.	50			mg/m ³
Ansaugquerschnitt	3,125			m ²
Ausblasquerschnitt	2,24			m ²
Drehzahl-Ventilator	990			U/min
Laufreddurchmesser	2150			mm
Umfangsgeschwindigkeit	111,448			m/s
Temperatur - Eintritt	150	130	128	grd C
Dichte - Eintritt	0,7642	0,8243	0,8348	kg/m ³
Volumenstrom-Eintritt	100,756	78,65	63,245	m ³ /s
stat. Druckdifferenz	3663,7	2560,0	1762,6	Pa
stat. Druck saugs.abs.	96482,8	97423,6	98104,0	Pa
dyn. Druck saugseitig	397	261	171	Pa
dyn. Druck druckseitig	754	499	329	Pa
Gesamtdruckdifferenz	4021	2798	1921	Pa
Wirkungsgrad	80,5	63	43	%
Kompressibilität	0,988	0,991	0,994	-
Wellenleistung	497,2	346	281	kW
Ansauggeschwindigkeit	32,24	25,17	20,24	m/s
Ausblasgeschwindigkeit	43,87	34,51	27,90	m/s
Massenträgheitsmoment	1000			kgm ²
Ventilator Masse ca.	13300			kg
Isolierfläche ca.	55			m ²

Für alle genannten technischen Daten gilt Liefergrenze = Meßebeine !
 Die Verluste für Zusatzbauteile wie Drallregler, Ansaugkästen u.a.
 wurden in der Angabe des Wirkungsgrades berücksichtigt.

Telefon 00 37 53 - 890
 Telefax 00 37 53 - 26 56
 Telex 27 72 00 turb d

Bankverbindungen
 Dresdner Bank Kreditbank AG, Meißen
 Konto-Nr. 03003309 BLZ 85080100

Deutsche Bank Kreditbank AG, Meißen
 Konto-Nr. 6900609 BLZ 87070000
 Commerzbank AG, Dresden
 Konto-Nr. 4000444 BLZ 85040000

Delbrück & Co, Privatbankiers, Berlin
 Konto-Nr. 583500 BLZ 10020363

Vorsitzender des Aufsichtsrates
 Dr. Friedrich Baur

Hauptgeschäftsführer
 Dipl.-Ing.-oec. Wolfgang Bellon

Geschäftsführer
 Dipl.-Wirtsch. Horst Dimier

Handelsregister Nr. 1452
 Kreisgericht Dresden

67



Technisches Datenblatt

Objekt : IKW Wählitz ZWS - Dampferzeuger 119 MW
 EVT - Anfrage-Nr. : E 6091/91
 Auftrags-Nr. : 1.47580
 Bestell-Nr. : 2/60080
 TWM - Angebots-Nr. : 608/2812/A/2
 Auftrags-Nr. : 103/1096/0/0

Rauchgas-Saugzuqventilator VRE 1400/6021-Z-099/33

Technische Daten: (Berechnungspunkte zum Kennfeld)

Berechnungsnummer	BP III	BP IV	
Lastfall	50 %	30 %	
Luftdruck	99650		Pa
Aufstellungshöhe ü.NN	146		m
Staubgehalt max. i.N.	50		mg/m ³
Ansaugquerschnitt	3,125		m ²
Ausblasquerschnitt	2,24		m ²
Drehzahl-Ventilator	990		U/min
Laufreddurchmesser	2150		mm
Umfangsgeschwindigkeit	111,448		m/s
Temperatur - Eintritt	124	122	grd C
Dichte - Eintritt	0,8499	0,8591	kg/m ³
Volumenstrom-Eintritt	46,055	33,755	m ³ /s
stat. Druckdifferenz	1047,4	650,8	Pa
stat. Druck saugs.abs.	98715,8	99057,3	Pa
dyn. Druck saugseitig	92	50	Pa
druckseitig	178	97	Pa
Gesamtdruckdifferenz	1133	698	Pa
Wirkungsgrad	22		%
Kompressibilität	0,996	0,998	-
Wellenleistung	236		kW
Ansauggeschwindigkeit	14,74	10,80	m/s
Ausblasgeschwindigkeit	20,40	15,0	s
Massenträgheitsmoment	1000		kgm ²
Ventilatormasse ca.	13300		kg
Isolierfläche ca.	55		m ²

Für alle genannten technischen Daten gilt Liefergrenze = Meßebeine !
 Die Verluste für Zusatzbauteile wie Drallregler, Ansaugkästen u.a.
 wurden in der Angabe des Wirkungsgrades berücksichtigt.

Fördermedium : Rauchgas

Einsatzgrenzen: Temperatur des Fördermediums max: + 200 grd C
 konstruktive Ausführung bis max: + 200 grd C

Aufstellung : im Gebäude, auf Betonsockel

Betriebsart : Dauerbetrieb (24 Stunden/Tag)

Telefon 00 37 53 - 890
 Telefax 00 37 53 - 26 56
 Telex 27 72 00 turb d

Bankverbindungen
 Dresdner Bank Kreditbank AG, Meissen
 Konto-Nr. 03003309 BLZ 85080100

Deutsche Bank Kreditbank AG, Meissen
 Konto-Nr. 6900609 BLZ 87070000
 Commerzbank AG, Dresden
 Konto-Nr. 4000444 BLZ 85040000

Delbrück & Co. Privatbankiers, Berlin
 Konto-Nr. 583500 BLZ 10020383

Vorsitzender des Aufsichtsrates
 Dr. Friedrich Bur

Hauptgeschäftsführer
 Dipl.-Ing. oec. Wolfgang Ballon

Geschäftsführer
 Dipl.-Wirtsch. Horst Dimler

Handelsregister Nr. 1452
 Kreisgericht Dresden



Drehmomentenkennlinie - Saugzug VRE 1400/6021-Z-099/33

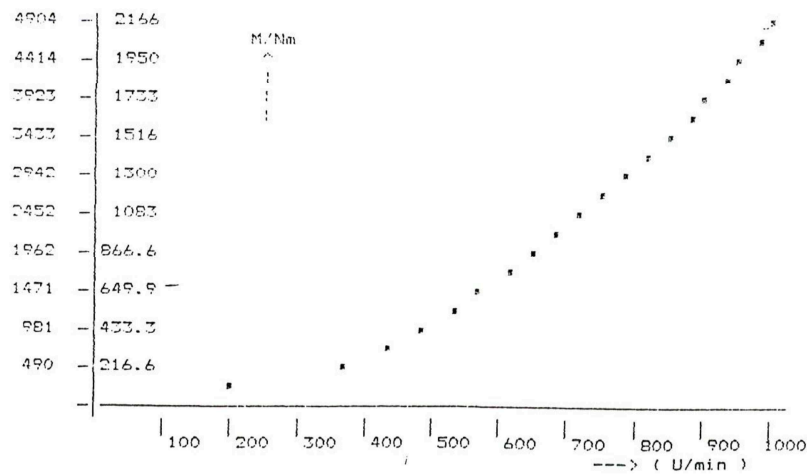
Objekt: IKW Wähilitz ZWS - Dampferzeuger 119 MW
 EVT-Anfrage-Nr.: E 6091/91
 EVT-Auftrags-Nr.: 1.47580
 EVT-Bestell-Nr.: 2/60080
 TWM-Angebots-Nr.: 608/2812/A/2
 TWM-Auftrags-Nr.: 103/1096/0/0
 Ventilatordrehzahl - U/min : 990
 Kraftbedarf Ventilator - kW : 498
 Kraftbedarf gedrosselt - kW : 220
 vorgesehener Motortyp - : Beistellung durch Vertragspartner
 Massenträgheitsmoment I - kgm² : 1000

Drehmomente :

Vent. Drehzahl	Mom. ungedr.	Mom. gedr. Ventilatorauslegungsdaten
1000 U/min	4904 Nm	2166 Nm V (m ³ /s): 100,756
900 U/min	3972 Nm	1755 Nm pt. (Pa): 4021 (6540)
800 U/min	3139 Nm	1387 Nm t (°C): 150 (0)
700 U/min	2403 Nm	1062 Nm S ₁ (kg/m ³): 0,7642 (1,243)
600 U/min	1765 Nm	779.9 Nm
500 U/min	1226 Nm	541.6 Nm P _w (kW): 497,2 (809)
400 U/min	784.6 Nm	346.6 Nm
300 U/min	441.4 Nm	195.0 Nm M (Nm): 4800 (7806)
200 U/min	196.2 Nm	86.66 Nm
100 U/min	49.04 Nm	21.66 Nm
0 U/min	0.000 Nm	0.000 Nm

- Klammerwerte gelten für das Anfahren mit kalten Fördermedium.
- P_w ohne zusätzliche Reserve.
- M bezogen auf P_w ohne Zuschläge
- Moment gedrosselt bei Drehreglerstellung alpha = 30 Grad

Skizzenhafter Momentenverlauf :



69

DREHSTROM-ASYNCHRONMOTOR MIT KAEFIGLAEUFER
THREE-PHASE-INDUCTIONMOTOR WITH SQUIRREL CAGE ROTOR

BEMESSUNGSDATEN :
RATED DATA :

BEMESSUNGSLEISTUNG RATED POWER	750 KW	BEMESSUNGSSPANNUNG RATED VOLTAGE	10 KV	+10% -10%
LEISTUNGSFAKTOR POWER FACTOR	0.87	BEMESSUNGSSTROM RATED CURRENT	52 A	
BEMESSUNGSDREHZAHL RATED SPEED	993 1/MIN	BEMESSUNGSFREQUENZ RATED FREQUENCY	50 HZ	+ 5 % - 5 %
BEMESSUNGSMOMENT RATED TORQUE	7212 NM	MOMENTENKLASSE TORQUE CLASS	KL5	
WAERMEKLASSE THERMAL CLASS	F			

ZLM

BERECHNETE ANLAUFDATEN : | BEI U = UN | BEI U = 0.85 UN
CALCULATED START UP DATA: | AT RATED VOLTAGE | AT 0.85 RATED VOLTAGE

MA / MN LOCKED ROTOR TORQUE RATIO	0.75	0.47
MS / MN PULL-UP TORQUE RATIO	0.62	0.39
MK / MN BREAK DOWN TORQUE RATIO	2.20	1.38
IA / IN LOCKED ROTOR CURRENT RATIO	5.00	3.98

BERECHNETE LEISTUNGSFAKTOREN UND WIRKUNGSGRAD BEI UN:
CALCULATED POWER FACTORS AND EFFICIENCIES AT RATED VOLTAGE:

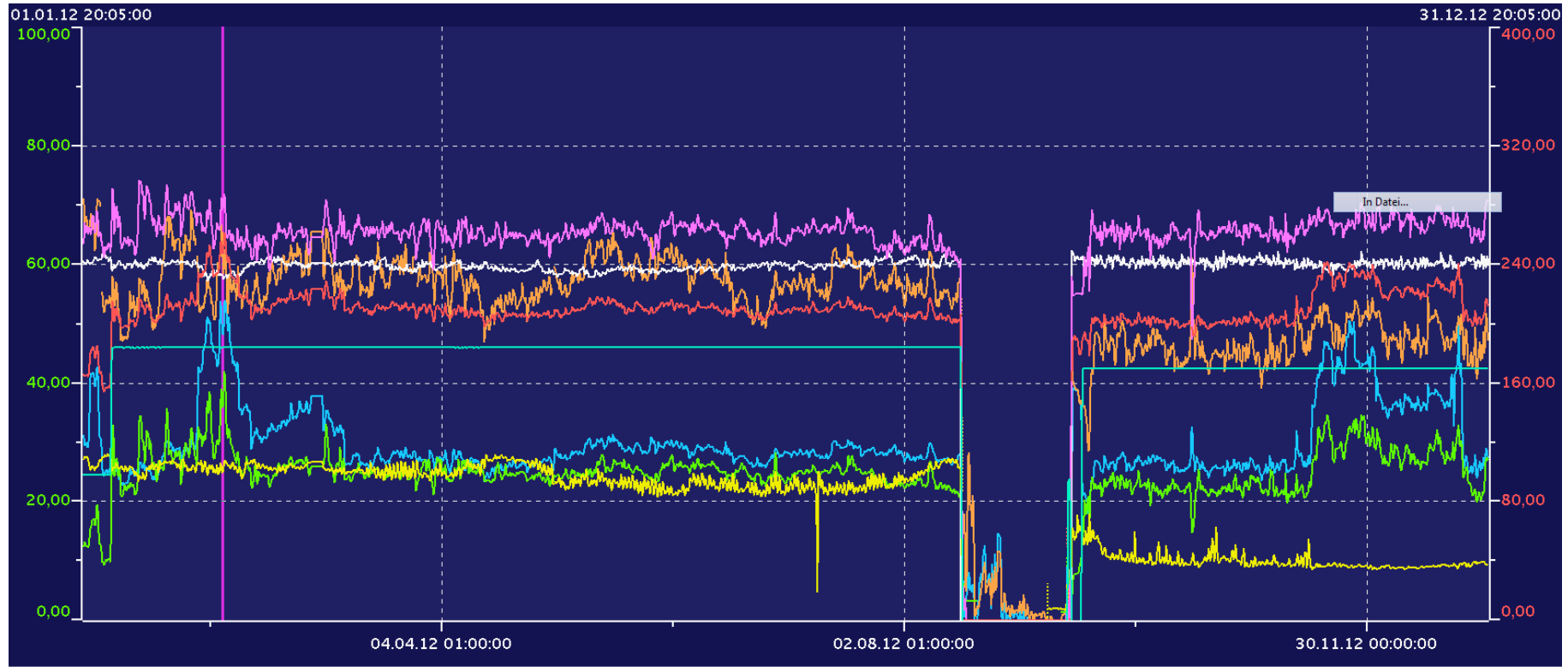
LAST LOAD	LEISTUNGSFAKTOR POWER FACTOR	WIRKUNGSGRAD EFFICIENCY
5/4	0.87	96.0 %
4/4	0.87	96.3 %
3/4	0.85	96.3 %
2/4	0.80	95.5 %

TOLERANZEN NACH/TOLERANCES ACC. TO VDE 0530

BB42409

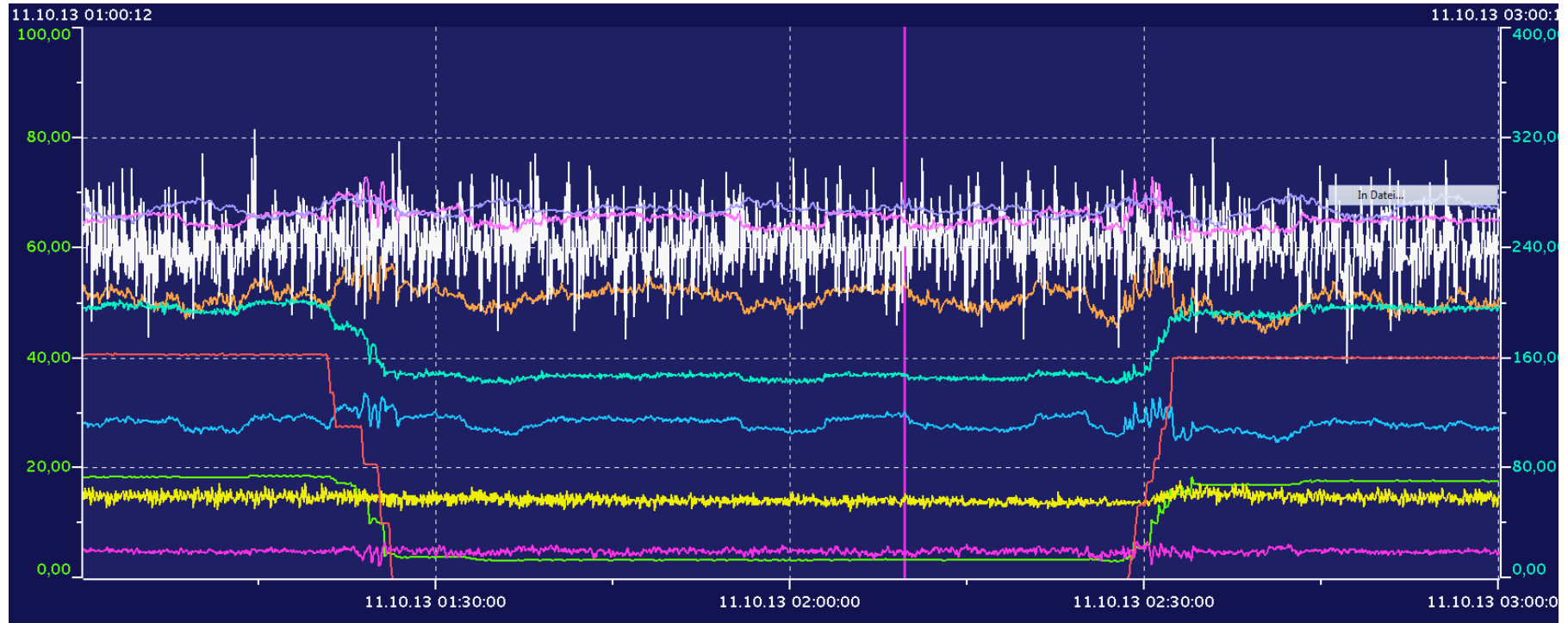
DATE	920731	W-NR/W-NO	: 37 355/3/92
INA.	JO	ELEKTRISCHES DATENBLATT	
ÄNDERUNG "A"	<i>Jo</i>	ELECTRICAL DATA SHEET	
ZUMITTEILUNG DATUM	INA. SIEMENS AG	TYP/TYP	: 1LA1 560-6KE80-Z
		F-NR/S-NO	: 123 939
		PAGE	: 1

Anhang T5 Kurvenauswertung Rezirkulationsluftgebläse (Jahresauswertung)



	Partner	Kennzeichen	Bezeichnung	ABA	ABE	Einheit	Zeit Lineal 1	Zeit Lineal 2	Lineal Wert	Versatz	Vers. Zeit Lin. 1	Vers. Zeit Lin. 2
1	X-Achse	1HNA16FF001 XQ50	F RGREZI Z PRIMLFT	0,000	10,000	KG/S	07.02.12 02:19:13		4,851	0:0:0		
2	X-Achse	1HNA30FF001 XQ50	F RGREZI Z ROHKO FOE 1/2	0,000	5,000	KG/S	07.02.12 02:19:13		3,109	0:0:0		
3	X-Achse	1HNC11CG001 XQ50	G REZIGEBL DRALLRGL	0,000	100,00	%	07.02.12 02:19:13		35,791	0:0:0		
4	X-Achse	1HNC11CS001 XQ50	S REZIGEBL	2900,0	3100,0	1/MIN	07.02.12 02:19:13		3016,6	0:0:0		
5	X-Achse	1HNC11CY001 XQ50	Y LAGER B REZIGEBL	0,000	20,000	MM/S	07.02.12 02:19:13		4,957	0:0:0		
6	X-Achse	1HNA11CP002 XQ50	P RG H REZIGEBL	0,000	200,00	MBAR	07.02.12 02:19:13		138,13	0:0:0		
7	X-Achse	1HNC11CE001 XQ50	I RG-REZI GEBL	0,000	400,00	A	07.02.12 02:19:13		247,18	0:0:0		
8	X-Achse	1HNC11CG003 XQ50	G REZI BYPASSKL	0,000	100,00	%	07.02.12 02:19:13		46,037	0:0:0		

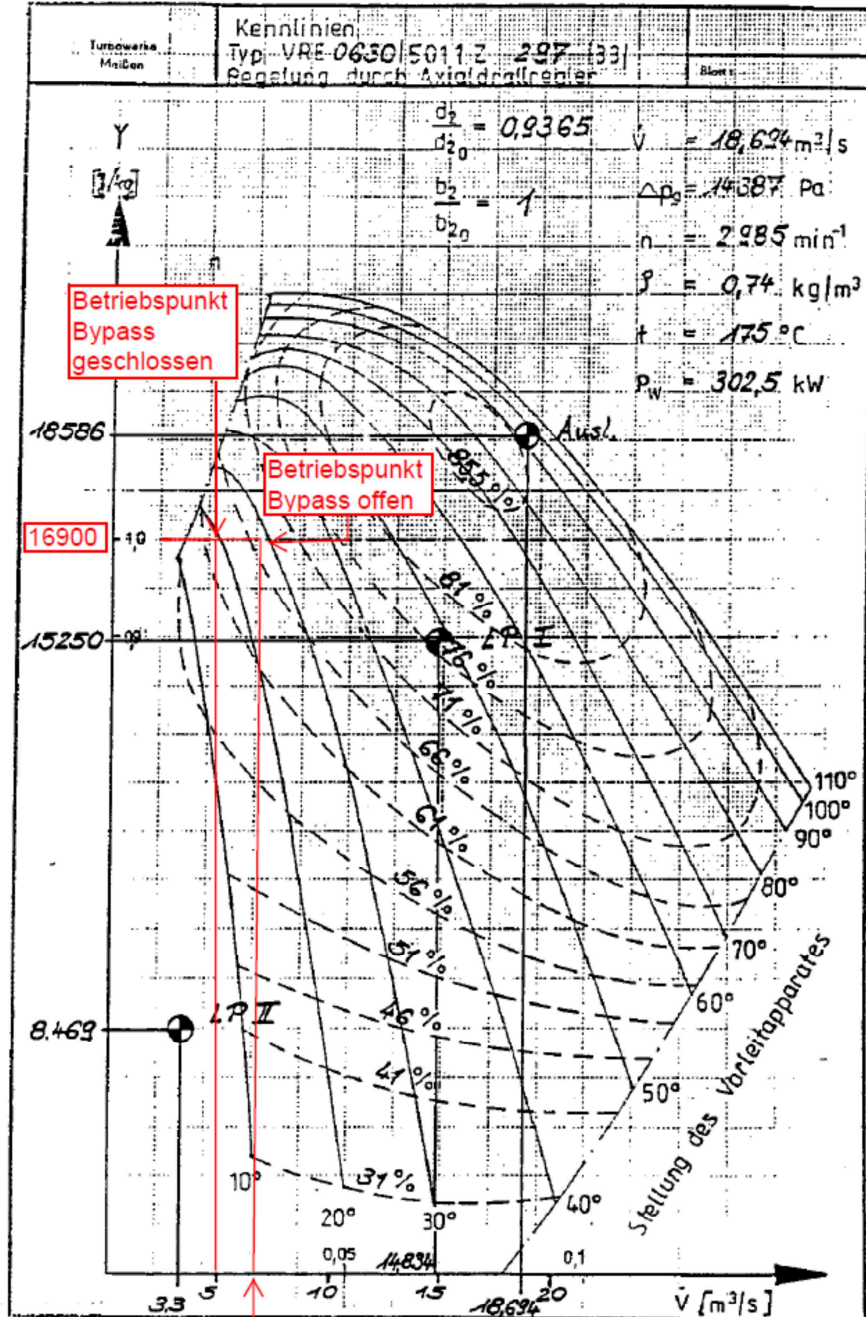
Anhang T6 Rauchgasrezirkulation bei geschlossenem Bypass



	Partner	Kennzeichen	Bezeichnung	ABA	ABE	Einheit	Zeit Lineal 1	Zeit Lineal 2	Lineal Wert	Versatz	Vers. Zeit Lin. 1	Vers. Zeit Lin. 2
1	<input checked="" type="checkbox"/>	X-Achse	1HNA16FF001 XQ50	F RGREZI Z PRIMLFT	0,000	10,000	KG/S	11.10.13 02:09:46	3,041	<input type="checkbox"/>	0:0:0	
2	<input checked="" type="checkbox"/>	X-Achse	1HNA30FF001 XQ50	F RGREZI Z ROHKO FOE 1/2	0,000	5,000	KG/S	11.10.13 02:09:46	2,690	<input type="checkbox"/>	0:0:0	
3	<input checked="" type="checkbox"/>	X-Achse	1HNC11CG001 XQ50	G REZIGEBL DRALLRGL	0,000	100,0	%	11.10.13 02:09:46	3,516	<input type="checkbox"/>	0:0:0	
4	<input checked="" type="checkbox"/>	X-Achse	1HNC11CS001 XQ50	S REZIGEBL	2900,0	3100,0	1/MIN	11.10.13 02:09:46	3033,7	<input type="checkbox"/>	0:0:0	
5	<input checked="" type="checkbox"/>	X-Achse	1HNC11CY001 XQ50	Y LAGER B REZIGEBL	0,000	20,000	MM/S	11.10.13 02:09:46	2,759	<input type="checkbox"/>	0:0:0	
6	<input checked="" type="checkbox"/>	X-Achse	1HNA11CP002 XQ50	P RG H REZIGEBL	0,000	200,0	MBAR	11.10.13 02:09:46	129,49	<input type="checkbox"/>	0:0:0	
7	<input checked="" type="checkbox"/>	X-Achse	1HNC11CG003 XQ50	G REZI BYPASSKL	0,000	100,0	%	11.10.13 02:09:46	-0,684	<input type="checkbox"/>	0:0:0	
8	<input checked="" type="checkbox"/>	X-Achse	1HNC11CE001 XQ50	I RG-REZI GEBL	0,000	400,0	A	11.10.13 02:09:46	149,61	<input type="checkbox"/>	0:0:0	
9	<input checked="" type="checkbox"/>	X-Achse	1HNA17FF010 XQ50	F SEKUNDAERREZI	0,000	12,500	KG/S	11.10.13 02:09:46	0,522	<input type="checkbox"/>	0:0:0	
10	<input checked="" type="checkbox"/>	X-Achse	1MKA01CE003 XQ50	WIRKLEIST GENERATOR	0,000	50,000	MW	11.10.13 02:09:46	33,726	<input type="checkbox"/>	0:0:0	

Anhang T7 Kennlinien und technische Daten Rezirkulationsluftgebläse
(Originaldokumentation)

TURBOWERKE MEIßEN Ventilatoren GmbH



Rezirkulationsgebläse

7m³/s

08.01.92 J.



Technisches Datenblatt

Objekt : IKW Wählitz ZWS - Dampferzeuger 119 MW
 EVT - Anfrage-Nr. : E 4091/91
 Auftrags-Nr. : 1.47580
 Bestell-Nr. : 2/60080
 TWM - Angebots-Nr. : 608/2812/A/2
 Auftrags-Nr. : 105/0122/0/0

Rauchgas-Rezirkulationsventilator VRE 0630/5011-Z-297/33

Technische Daten: (Berechnungspunkte zum Kennfeld)

Berechnungsnummer	Auslegung	BP I	BP II	
Lastfall	115 %	100 %		
Luftdruck	99670			Pa
Aufstellungshöhe ü. NN	146			m
Staubgehalt max. i.N.	50			mg/m ³
Ansaugquerschnitt	0,50			m ²
Ausblasquerschnitt	0,32			m ²
Drehzahl-Ventilator	2985			U/min
Laufreddurchmesser	1180			mm
Umfangsgeschwindigkeit	184,427			m/s
Temperatur - Eintritt	175	137	137	grd C
Dichte - Eintritt	0,74	0,811	0,811	kg/m ³
Volumenstrom-Eintritt	18,694	14,834	3,30	m ³ /s
stat. Druckdifferenz	13745,6	12434,1	7000	Pa
stat. Druck saugs.abs.	98792,1	99082,0	99339	Pa
dyn. Druck saugseitig	517	357	18	Pa
druckseitig	1158	806	41	Pa
Gesamtdruckdifferenz	14387	12683	7023	Pa
Wirkungsgrad	85	78	38	%
Kompressibilität	0,956	0,96	0,978	-
Wellenleistung	302,5	235	60	kW
Ansaugeschwindigkeit	37,39	29,67	6,6	m/s
Ausblasgeschwindigkeit	53,57	42,863	9,85	m/s
Massenträgheitsmoment	35			kgm ²
Ventilator Masse ca.	3500			kg
Isolierfläche ca.	11			m ²

Für alle genannten technischen Daten gilt Liefergrenze = Meßebene !
 Die Verluste für Zusatzbauteile wie Drallregler, Ansaugkästen u.a.
 wurden in der Angabe des Wirkungsgrades berücksichtigt.

Fördermedium : Rauchgas

Einsatzgrenzen: Temperatur des Fördermediums max: + 200 grd C
 konstruktive Ausführung bis max: + 200 grd C

Aufstellung : im Gebäude, auf Betonsockel

Betriebsart : Dauerbetrieb (24 Stunden/Tag)

Telefon 00 37 53-890
 Telefax 00 37 53-26 56
 Telex 27 72 00 turb d

Bankverbindungen
 Dresdner Bank Kreditbank AG, Meissen
 Konto-Nr. 03003309 BLZ 85080100

Deutsche Bank Kreditbank AG, Meissen
 Konto-Nr. 6900609 BLZ 87070000
 Commerzbank AG, Dresden
 Konto-Nr. 4000444 BLZ 85040000

Delbrück & Co, Privatbankiers, Berlin
 Konto-Nr. 583500 BLZ 10020383

Vorsitzender des Aufsichtsrates
 Dr. Friedrich Baur

Hauptgeschäftsführer
 Dipl.-Ing. oec. Wolfgang Ballon

Geschäftsführer
 Dipl.-Wirtsch. Horst Dimler

Handelsregister Nr. 1452
 Kreisgericht Dresden

65



Drehmomentenkennlinie - Rezirkulationsventilator
VRE 0630/5011-Z-297

20.02.1992

Seite 5

Objekt: IKW Wahlitz ZWS - Dampferzeuger 119 MW
EVT-Anfrage-Nr.: E 6091/91
EVT-Auftrags-Nr.: 1.47580
EVT-Bestell-Nr.: 2/60080
TWM-Angebots-Nr.: 608/2812/A/2
TWM-Auftrags-Nr.: 105/0122/0/0

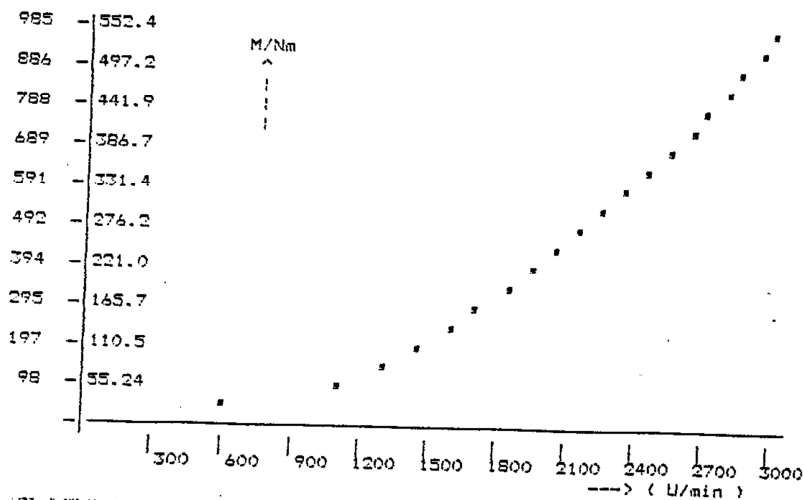
Ventilator Drehzahl - U/min : 2980
Kraftbedarf Ventilator - kW : 303
Kraftbedarf gedrosselt - kW : 170
vorgesehener Motortyp - : Beistellung durch Vertragspartner
Massenträgheitsmoment I - kgm² : 35

Drehmomente :

Vent. Drehzahl	Mom. ungedr.	Mom. gedr. Ventilatorauslegungsdaten
3000 U/min	984.6 Nm	552.4 Nm V (m ³ /s): 18,594
2700 U/min	797.5 Nm	447.5 Nm pt (Pa): 14387 (24205)
2400 U/min	630.2 Nm	353.6 Nm t (°C): 175 (0°)
2100 U/min	482.5 Nm	270.7 Nm ρ (kg/m ³): 1,245 (0,74)
1800 U/min	354.5 Nm	198.9 Nm P _v (kN): 302,5 (510)
1500 U/min	246.2 Nm	138.1 Nm M (Nm): 970 (1635)
1200 U/min	157.5 Nm	88.39 Nm
900 U/min	88.62 Nm	49.72 Nm
600 U/min	39.38 Nm	22.10 Nm
300 U/min	9.946 Nm	5.524 Nm
0 U/min	0.000 Nm	0.000 Nm

- Klammerwerte gelten für das Anfahren mit kaltem Fördermedium.
- P_v ohne zusätzliche Reserve
- M bezogen auf P_v ohne Zuschläge
- Moment gedrosselt bei Drallreglerstellung alpha = 30 Grad.

Skizzenhafter Momentenverlauf :





I.2: Vertraglich fixierter Einsatzbereich und bestimmungsgemäße Verwendung

Dichte des Fördermediums	:	0,74 kg/m ³
vereinbarte Betriebstemperatur des Fördermediums	:	175 °C
max./min. mögliche Temperatur des Fördermediums	:	200 °C / -20 °C bei besonderer Beachtung der Leistungsaufnahme des E-Motors
chemische Zusammensetzung	:	Rauchgas
mechanische Zusammensetzung	:	Staubgehalt 50 mg/m ³ i.N.
max. Umgebungstemperatur bzw. Definition der klimatischen Aufstellungsbedingungen	:	min. -20 °C max. +45 °C Aufstellung wahlweise im Freien oder im geschlossenen Raum
Betriebsart	:	Dauerbetrieb

weitere spezifische Angaben zur bestimmungsgemäßen Verwendung

- Die unter Pkt. I.3. dieser BA genannten Leistungsdaten des Ventilators gelten nur bei ungestörter Zu- und Abströmung des Mediums innerhalb der Liefergrenzen. Als Liefergrenzen sind die saug- bzw. druckseitigen Anschlußflansche definiert.
- Die Einsatzgrenzen des Motors sind gesondert zu beachten (siehe hierzu BA-Pkt. XII. Anhang - Kaufteildokumentation)
- **Achtung!** Die mechanische Fremderregung des Ventilators ist auszuschließen! Der Anschluß von Rohrleitungen und Kanälen ist deshalb nur über elastische Zwischenstücke (Kompensatoren) zulässig. Sind diese nicht im Lieferumfang enthalten, so sind sie vom Betreiber vorzusehen.



I.3. Technische Daten Ventilator

Bauart	:	radial
Bauform	:	Z-Antrieb mittels E-Motor über Kupplung
Stufenzahl	n	: einstufig
Mobilität	:	ortsfest
Ansaugung	:	einseitig
Drehrichtung	:	links- (auf Antriebsseite gesehen)
Gehäusestellung	:	320 Grad
Laufgrad-Ø	:	1200 mm
Umfangsgeschwindigkeit	:	186m/s
Schaufelart	:	unprofiliert, rückwärts gekrümmt
Massenträgheitsmoment des Läufers	:	ca. 38 kg m ²
Schaufelzahl	:	15
Art der Lagerung	:	Wälzlagerung
Art der Schmierung	:	Ölumpfschmierung
Anschlußmaße, saugseitig	:	1000 × 500 mm li, Fl.W. (siehe hierzu Hauptzeichnung
Anschlußmaße, druckseitig	:	800 × 400 mm li, Fl.W. Pkt. X.)

Leistungsdaten des Ventilators

Volumenstrom	:	18,694 m ³ /s
Gesamtdruckerhöhung	:	14387 Pa
Leistungsbedarf	:	302,5 kW
Schalleistungspegel, max.	:	78 dB(A)
Wirkungsgrad	:	85 %

Qualitätssicherung

DIN 24 163	Leistungsprüfung
DIN 24 166	Techn. Lieferbedingungen - Leistungsdaten (Toleranzen: Genauigkeitsklasse 2)
DIN 45 635	Geräuschmessungen
VDI 2056	Laufruhe „Gut“
VDI 2060	Wuchtgüte 6,3

Ausführung des Ventilators

- geteiltes Gehäuse	- Einlaufkrümmer
- tiefliegender Schwingrahmen mit Feder-elemente	- saug- u. druckseitigen Kompensator
- Axialdrallregler	- Last- Drehzahl- u. Schwingungsüberwach.



I.4. Technische Daten Antrieb

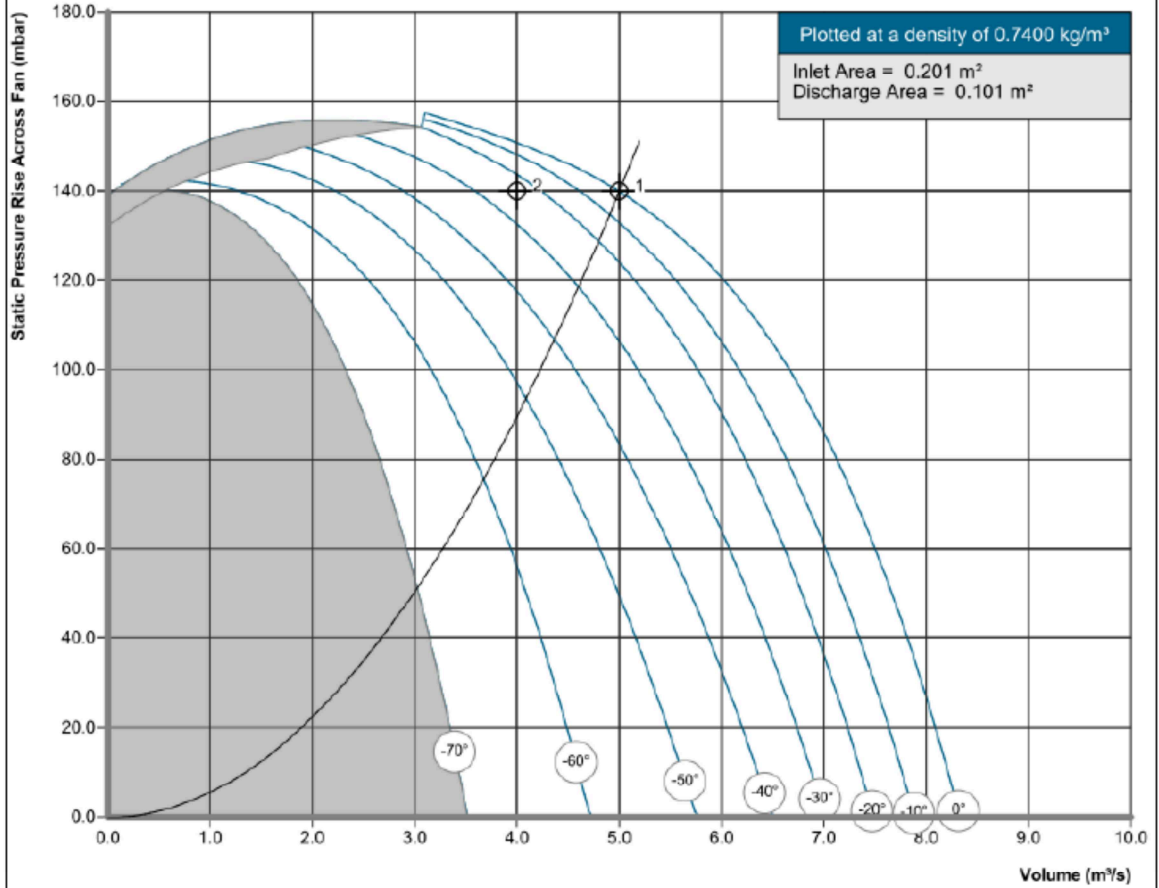
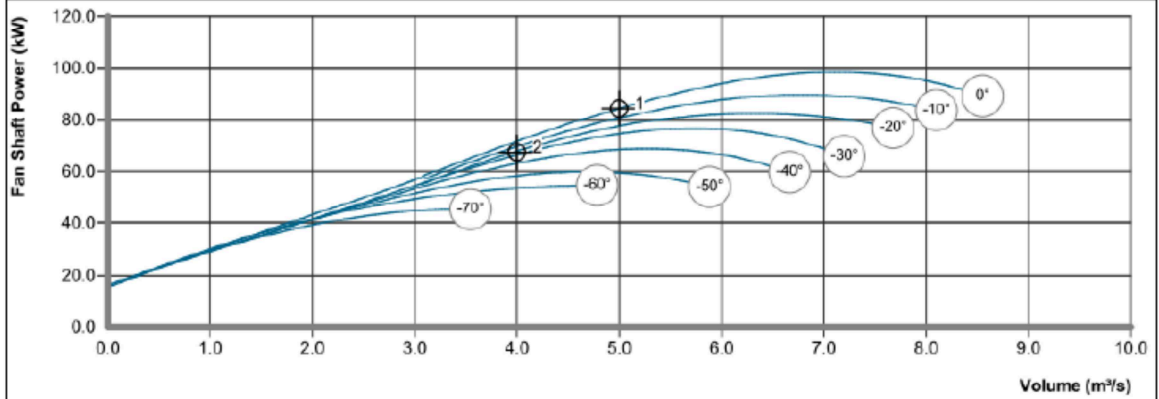
- Antriebsart: Einzelantrieb
mittels E-Motor
über Kupplung
- Energiebedarf, gesamt: 400 kW
- Antriebselemente (siehe hierzu auch Herstellerangaben im Pkt. XII.)
 - Kupplung: Art: Elastische Bolzenkupplung
Typ: C630-500-95H7P1-45v dy
Nennmoment: 6300Nm
Hersteller: Kupplungswerk Dresden
 - E-Motor: Typ: 1LA6 407-2AC60-Z
Motor-Nennleistung: 400KW -Nennstrom: 393A
Motor-Drehzahl: 2985 1/min
Motor-Spannung: 690 V
Frequenz: 50 Hz
Schutzart: IP 54
Isolierklasse: F
Bauform: IMB3
Fabrikat/Hersteller: SIEMENS

Anhang T8 Technisches Angebot Firma Howden

Technisches Angebot				 Howden Howden Turbowerke GmbH Naundorfer Strasse 4 01640 Coswig	
Kontakt:					
Michael Beulig		michael.beulig@howdenturbowerke.de			
Tel. / Fax: ++49 (0) 3523 94 - 293 / 230					
Angebot-Nr.	101424	Revision	0	Anzahl	2
Kunde	Mibrag		Projekt	IKW Wählitz	
Anwendung	Rezi-Gebläse				
1. Ventilator - Auslegungsdaten					
Volumenstrom am Eintritt	[m³/h]	Design	Point 1	Umgebungstemperatur	[°C] -20 ... +40
Volumenstrom am Eintritt	[m³/s]	5	4	Umgebungsdruck	[Pa] 99582
saugseitiger Druck	[mbar]			Höhe über n. N.	[m] 146
totale Druckerhöhung	[mbar]			Genauigkeitsklasse nach DIN 24166	3
statische Druckerhöhung	[mbar]	140	140	Mechanische Auslegungstemp.	[°C] 200
Änderung des dyn. Druckes	[mbar]			Aufstellungskategorie nach RL 94/9/EG (ATEX 95)	
saugseitige Verluste	[mbar]			im Ventilator	außerhalb des Vent.
druckseitige Verluste	[mbar]			Ex-Zone	ohne
Temperatur am Eintritt	[°C]	175	175	Kategorie	ohne
Dichte am Eintritt	[kg/m³]	0,74	0,74	Temperaturklasse	
Ventilator Drehzahl	[U/min]	2970	2970	Gerätegruppe	
Wellenleistung	[kW]	85	67	Zündtemp. der brennbaren Stoffe	[°C]
Wirkungsgrad	[%]	79,2	79,4	*) vom Einlaß Ventilator zum Auslaß Ventilator	
Fördermedium	Luft				
Feststoffkonzentration	[g/m³]	0,002	nicht schleißend nicht anbackend		
2. Technische Ventilatorbeschreibung					
Vent.-Typ	L1 1011.10.97 SBV4T			Gehäusestellung (Eurovent 1/1)	??
Meßflächen-Schalldruckpegel in 1 m Abstand	[dB(A)]	88		Ansaugkastenstellung (Eurovent 1/1)	??
Schallleistungspegel im Kanal	[dB]	130		Masse Vent. (ohne Motor)	[kg] 2500
Antriebsform	Bauform Z - fliegend gelagert mit Kupplung			Masse Rotor (Laufrad + Welle)	[kg] 250
Bauart	einseitig saugend			Laufreddurchmesser	[mm] 1112
geschweißtes Laufrad	S690QL1			Umfangsgeschwindigkeit	[m/s] 173
Welle	S355J2+N			Massenträgheitsmoment	[kgm²] 22
Wuchtgüte (ISO 1940-1)	Q=2,5			S235JR	
Welle	geteiltes Spiralgehäuse aus			Drehzahlregel.	nein
Inspektionsöffnung	in Gehäusespirale und Ansaugkasten			Drosselregelung	mit Drallregler
Kondensatablaufstutzen	in Gehäusespirale und Ansaugkasten			Kühlung	1 Kühleisbe
Wellendichtung	Kohleringdichtung				
Lagerung	Stehlager (ölgeschmiert)				
Lagerüberwachung	1 Maschinenthermometer 1 Widerstandsthermometer 1 Schwingungssensor				
Anschlußmaße saugseitig	Anschlußmaße druckseitig				
Aufstellung	im Gebäude, auf ebenem Betonfundament				
Betriebsart	konstanter Dauerbetrieb (ca. 8300 h/a)				
3. Antrieb					
Fabrikat	Siemens, ATB oder gleichw.			Vibrationsklasse	A (standard), nach DIN EN 60034-14
Bemessungsspannung	[V]	400 D / 690 Y		Wirkungsgradkl.	IE2 (EFF1)
Frequenz	[Hz]	50		Lagerung	mit Nachschmiereinrichtung
Bemessungsleistung	[kW]	110		Einschaltart	direkt
Bemessungsdrehzahl	[U/min]	2970		geeignet für FU-Betrieb	nein
Bauform	IM B3			Ex-Klassifizierung	nein
Baugröße	315			Gewicht	[kg] ca. 750
Schutzart	IP 55			Schalldruckpegel in 1 m	[dB(a)]
Betriebsart	S1				
Isolation	F, nach B				
Stillstandsheizung	ja				
Thermischer Wicklungsschutz	3 Kaltleiter zum auslösen				
Lager-Temperaturüberwachung	nein				
geeigneter Frequenzumformer	ist kein Bestandteil des Angebotes				
Polumschaltung	nein	[U/min]			

4. Zubehör					
Schwingungsdämpfer	<input type="checkbox"/>	Fundamentanker	<input type="checkbox"/>		
1 Kompensator saugs.	<input type="checkbox"/>	Abmessung	DN400	Länge	160 [mm]
1 Kompensator drucks.	<input type="checkbox"/>	Abmessung	658 x 153	Länge	160 [mm]
		Abmessung Kanal		Abmessung Vent.	
Übergangsstück saugs.	<input type="checkbox"/>			Länge	[mm]
Übergangsstück drucks.	<input type="checkbox"/>			Länge	[mm]
1 Drallregler	<input type="checkbox"/>	DN400	mit elektrischem Stellantrieb		
Regelklappe(n)	<input type="checkbox"/>		mit		
		Abmessungen	mit		
1 Gegenflansch saugs.	<input type="checkbox"/>	Abmessung	630 x 315		
1 Gegenflansch drucks.	<input type="checkbox"/>	Abmessung	658 x 153		
Grundrahmen	<input type="checkbox"/>		Gegen-Grundrahmen	<input type="checkbox"/>	
Feststellbremse	<input type="checkbox"/>		Wassereindüsung	<input type="checkbox"/>	
Ansaugturm	<input type="checkbox"/>		Ölstation	<input type="checkbox"/>	
saugseitiger Filter	<input type="checkbox"/>		Verrohrung Vent. - Ölstation	<input type="checkbox"/>	
5. Ersatzteile / Verschleißteile					
Ersatz- und Verschleißteile sind separat im kommerziellen Teil angeboten.					
6. Schallschutzmaßnahmen					
geforderter Schalldruckpegel	??	dB(A)	in		m
geforderter Schalleistungspegel	??	dB(A)		Wärmeisol. erforderlich	<input type="checkbox"/>
Spiralgehäuseisolierung		als Option		Isolationsdicke	150 [mm]
Schalldruckpegel in 1 m mit Isolierung		[dB(a)]			
Schallkabine Ventilator	<input type="checkbox"/>		Schallkabine Motor	<input type="checkbox"/>	
Schalldämpfer saugs.	<input type="checkbox"/>	Abmess.		[mm]	Gewicht [kg]
Schalldämpfer drucks.	<input type="checkbox"/>	Abmess.		[mm]	Gewicht [kg]
7. Korrosionsschutz					
medienberührt		Hochtemperaturanstrich 1K / 60µm		RAL	
nicht medienberührt		3-Schichtenanstrich 2K / 240µm		RAL	
8. Liefergrenzen					
saugseitig	Ventilatorflansch		mit Gegenflansch		
druckseitig	Kompensatorflansch		mit Gegenflansch		
fundamentseitig	Schwingungsdämpfer		mit Befestigungsmaterial		
antriebsseitig	Klemmleiste im Motorklemmkasten				
9. Kennzeichnung					
Typenschild	Messing oder Edelstahl		Sprache	Deutsch	
Weiter Kennzeichnung: Drehrichtungspfeil, Warnhinweisschilder, Transportösen (Kettensymbol)					
10. Technische Dokumentation					
Sprache	Deutsch	CD	1x	Papier	1x
11. Probelauf / Messungen im Werk					
Mechanischer Probelauf		ist Bestandteil des Angebotes			
Aerodyn. u. akust. Messungen		ist kein Bestandteil des Angebotes			
12. Verpackung / Versand					
Verpackung	auf Kufen		komplett montiert		
13. Montage, Probelauf, Inbetriebnahme und / oder Messungen auf der Baustelle					
Montage und / oder Probelauf auf der Baustelle		ist kein Bestandteil des Angebotes			
Inbetriebnahme auf der Baustelle		ist kein Bestandteil des Angebotes			
Aerodyn. u. akust. Messungen auf der Baustelle		ist kein Bestandteil des Angebotes			

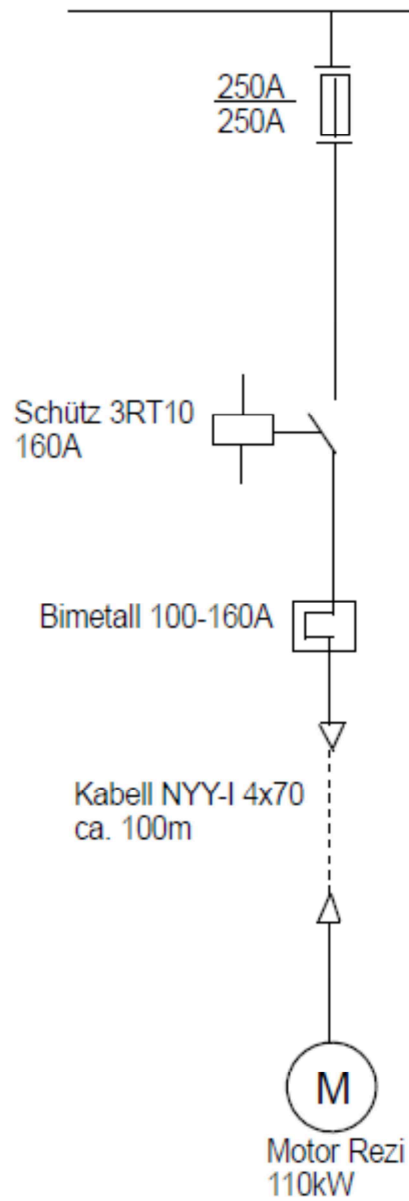
L1 1011.10.97 SBV4T, Constant Speed at 2970 rpm



1 Design Duty @ 0.7400 kg/m³ 2 Duty 1 @ 0.7400 kg/m³

Anhang T9 elektrischer Übersichtsplan Rezirkulationsluftgebläse

690V-Schaltanlage Block A Zelle 0BFA 12



Übersichtsplan
Anschluss Rezimotor

Anhang T10 Budgetpreis Howden



Howden Turbowerke GmbH

Naundorfer Straße 4
01640 Coswig
Germany

Tel: +49 (0) 3523 94 0
Fax: +49 (0) 3523 94 265
Web: www.howden.com

Howden Turbowerke GmbH, Naundorfer Straße 4, D- 01640 Coswig

IKW Wähilitz
Fabrikstraße 26
06679 Wähilitz

ANGEBOT 101424

Seite: 1
Datum: 09.12.2013
Gültig bis: 09.01.2014
Kundennummer: 2132202
Projekt: MIBRAG IKW Wähilitz-Service
Ihr Zeichen: Rezigebläse IKW Wähilitz

Ansprechpartner: Beulig, Michael
Telefon: +49 3523 94 293
Fax: +49 3523 94 230
Email: michael.beulig@howdenturbowerke.de

Versandart: LKW
Lieferbedingungen: EXW, gem.Incoterns 2010

Sehr geehrter Herr Quaas,

wir danken Ihnen für Ihre Anfrage und bieten Ihnen unter o.g. Angebotsnummer an:

Pos.	Artikel	Menge	Einheit	Einzelpreis	Positionspreis
1	1 Radialventilator L1 1011.10.97 SBV4T Option Spiralgehäuseisolierung: 1950,-- EURO / Stück	2,00	Stück	60.500,00 EUR	121.000,00 EUR

Netto		121.000,00 EUR
MwSt.	19%	22.990,00 EUR
Gesamtbetrag		143.990,00 EUR

Zahlungsbedingungen

Vorkasse

Gewährleistung / Haftungsbeschränkung

1. 18 Monate ab Inbetriebnahme, 24 Monate ab Liefertermin

1.1. Der Hersteller (AN) haftet nur für direkte Schäden am Liefergegenstand sowie am

Handelsregister
Amtsgericht Dresden HRB 1452

Geschäftsführer
Ulrich Frickmann

Bankverbindung
HypoVereinsbank AG in Frankfurt am Main
Konto-Nr. 605 853 560 · BLZ 503 201 91
Foreign Bank Transfer
SWIFT-BIC: HYVE DE MM 430
IBAN: DE 58503201910605853560

Gerichtsstand
Dresden

Steuerinformation
USt.-IdNr. DE 140598715
Steuernummer 209/110/03342



Angebots-Nr. 101424 Seite: 2
Kunden-Nr. 2132202.009 Datum: 09.12.2013

vereinbarten Lieferort der Erzeugnisse bzw. beim Hersteller.

1.2. Die Gewährleistung erstreckt sich nicht auf Baugruppen, die in Folge ihrer stofflichen Beschaffenheit oder ihrer Verwendungsart einem erhöhten natürlichen Verschleiß unterliegen, Unwuchten und Vibrationen durch anbackende und/oder schleißende Fördermedien sowie Schäden die durch, zur Spezifikation abweichende Fördertemperaturen und/oder Umgebungsbedingungen, hervorgerufen wurden.

1.3. Von der Gewährleistung ausgeschlossen sind:
* Verschleißteile (Kompensatoren, Motorlager, Keilriemen..., u.ä.),
* Schäden, die durch Nichtbeachtung der Wartungs- und Bedienungsanleitung,
* fehlerhafte Montage,
* Eingriffe am Erzeugnis,
* sowie Korrosionsschutzschäden, die auf aggressive Fördermedien und/oder Reinigungsmittel zurückzuführen sind, hervorgerufen wurden.

Der Garanzzeitraum für Kompensatoren/Dehnstücke ist, unter Beachtung der Einbauvorschrift gemäß Dokumentation, auf 6 Monate ab Inbetriebnahme begrenzt.


1.4. Die Gewährleistung erstreckt sich nicht auf Schäden, welche
* auf fehlende Kompatibilität zwischen E-Motor und Frequenzumrichter (sofern dieser nicht zum Lieferumfang des AN gehört),
* zeitweises oder ständiges Arbeiten im instabile Kennlinienbereich (Pumpgebiet),
* thermische Überlastung,
* sowie unsachgemäßen Parallelbetrieb zurückzuführen sind.

1.5. Gewährleistungsverpflichtungen regeln sich nach Paragraph 6 unserer "Allgemeine Liefer- und Leistungsbedingungen" sowie den ergänzenden Haftungsbeschränkungen (Howden Grundsatz). Weitergehende Ansprüche für Demontage- und Montageleistungen, Transport, Produktionsausfall, Stillstandskosten, entgangener Gewinn, Aufwendungen für Folgeschäden u.ä. sind von der Gewährleistung ausgeschlossen.

Es gelten unsere "Allgemeinen Verkaufsbedingungen" - Stand 15.07.2013.

Wir hoffen, mit dem Angebot Ihren Vorstellungen zu entsprechen und verbleiben mit freundlichen Grüßen

Howden Turbowerke GmbH


Director Aftermarket / Service
Frank Miethe


Sales Engineer
Michael Beulig

Handelsregister
Amtsgericht Dresden HRB 1452

Geschäftsführer
Ulrich Frickmann

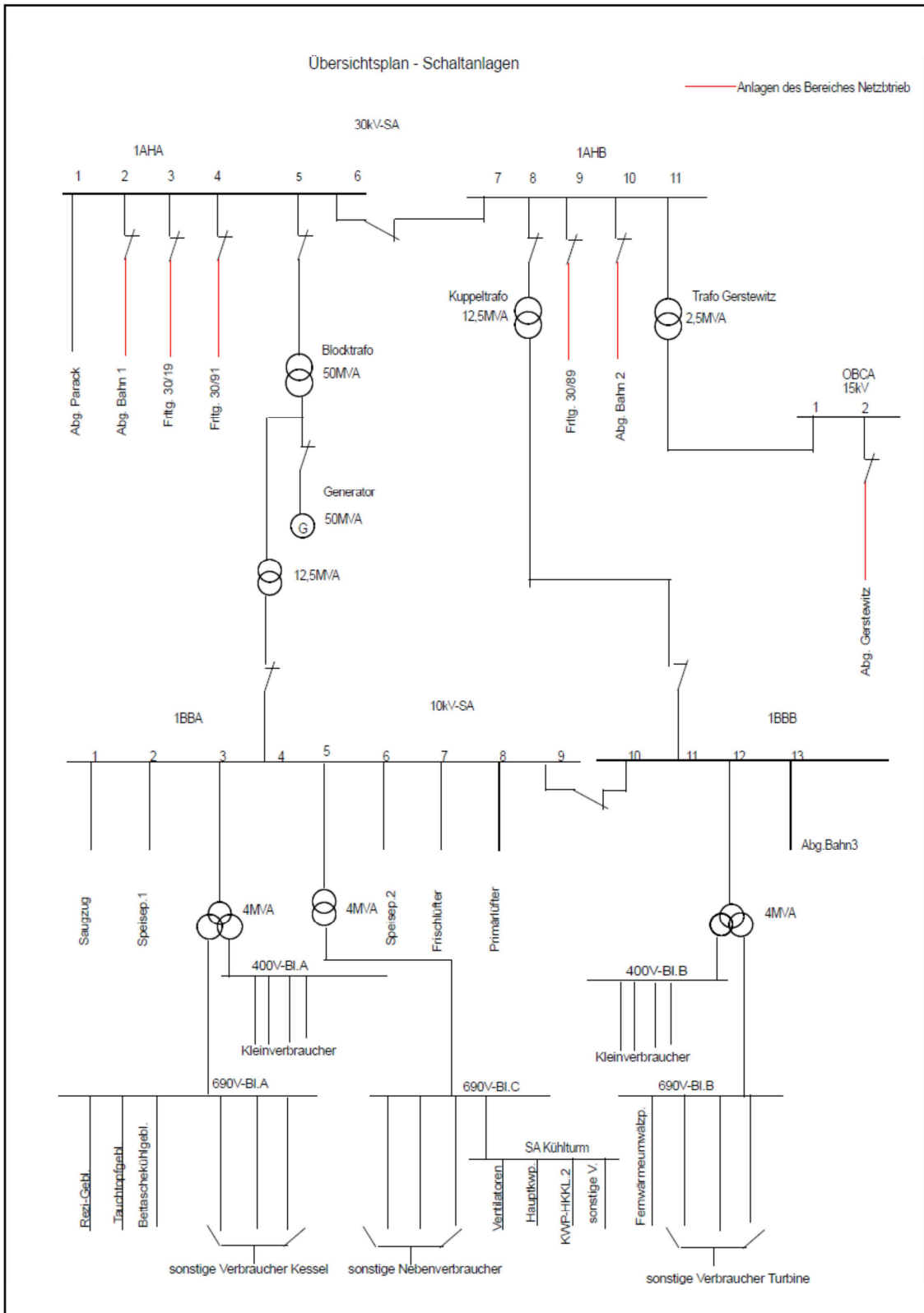
Bankverbindung
HypoVereinsbank AG in Frankfurt am Main
Konto-Nr: 605 853 560 - BLZ 503 201 91
Foreign Bank Transfer
SWIFT-BIC: HYYE DE 330
IBAN: DE 58503201910605853560

Gerichtsstand
Dresden

Steuerinformation
USt.-IdNr. DE 140598715
Steuernummer 209/110/03342







Anhang T11 Übersichtsplan elektrische Schaltanlage



Anhang T12 SinaSave Variante Mittelspannungsebene

SIEMENS

> Datei > Sprache > Projekteinstellungen > Anwendungseinstellungen > ?

<p>Fixed Speed Drives</p> 	<p>Variable Speed Drives Low Voltage</p> 	<p>High Torque Direct Drive</p> 	<p>Variable Speed Drives Medium Voltage</p> 
<p>▶ Fixed Speed Drives</p>	<p>▶ VSD Low Voltage</p>	<p>▶ High-Torque-Direktantriebe</p>	<p>▶ VSD Medium Voltage</p>

SinaSave

[▼ Variable Speed Drives \(Medium Voltage\)](#)

- [▶ Lüfter](#)
- [▶ Pumpen](#)
- [▶ Turbo-Kompressoren](#)

Mittelspannungs-Umrichter

Siemens ist in dem Bereich der Mittelspannungsumrichter (Netzversorgung > 1000 V) weltweit die unumstrittene Nr.1 und setzt hier Maßstäbe.

Neben den Produkten der Antriebsfamilie SINAMICS haben wir den ROBICON Perfect Harmony im Angebot. ROBICON Perfect Harmony ist Transformator, Leistungsteil und Regelung in einem Gerät und weist durch ein innovatives Konzept höchste Verfügbarkeitswerte auf.

SinaSave

Eingaben
Erweiterte Eingaben
Ergebnisse

Lüfereinstellungen

Totaldruckdifferenz	Δp_{tot}	<input type="text" value="40,21"/>	mbar	i
Volumenstrom	Q	<input type="text" value="362.721,60"/>	m ³ /h	i
Drehzahl	n	<input type="text" value="990,00"/>	1/min	i
Dichte des Mediums	ρ	<input type="text" value="0,76"/>	kg/m ³	i
Spezifische Drehzahl	n_q	<input type="text" value="89,14"/>	1/min	i
Lüfterleistung	$P_{Lüfter}$	<input type="text" value="445,21"/>	kW	i
Lüfterwirkungsgrad	$\eta_{Lüfter,opt}$	<input type="text" value="91,00"/>	%	i

Lastprofil des Lüfters

Förderrate in % Tage/Jahr i

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

Stunden pro Tag

<input type="text" value="0,0"/>	<input type="text" value="1,2"/>	<input type="text" value="2,4"/>	<input type="text" value="3,6"/>	<input type="text" value="4,8"/>	<input type="text" value="4,8"/>	<input type="text" value="3,6"/>	<input type="text" value="2,4"/>	<input type="text" value="1,2"/>	<input type="text" value="0,0"/>	<input type="text" value="24,0"/>	<input type="button" value="Standard"/>	i
----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------------	----------------

Wirkungsgrad in %

<input type="text" value="20,0"/>	<input type="text" value="33,7"/>	<input type="text" value="45,5"/>	<input type="text" value="56,4"/>	<input type="text" value="66,4"/>	<input type="text" value="75,5"/>	<input type="text" value="81,9"/>	<input type="text" value="86,4"/>	<input type="text" value="89,2"/>	<input type="text" value="91,0"/>	<input type="button" value="Standard"/>	i
-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------------	----------------

Motordaten

Leistung	P_{el}	<input type="text" value="462,31"/>	kW	i
Elektrischer Wirkungsgrad	η_{el}	<input type="text" value="96,30"/>	%	i

Mechanische Regelung des Vergleichsprozesses

Drosselregelung i
 Bypass i
 Vordrallregelung i

Wirtschaftliche Daten

Energiepreis pro kWh i

UmrichterAuswahl

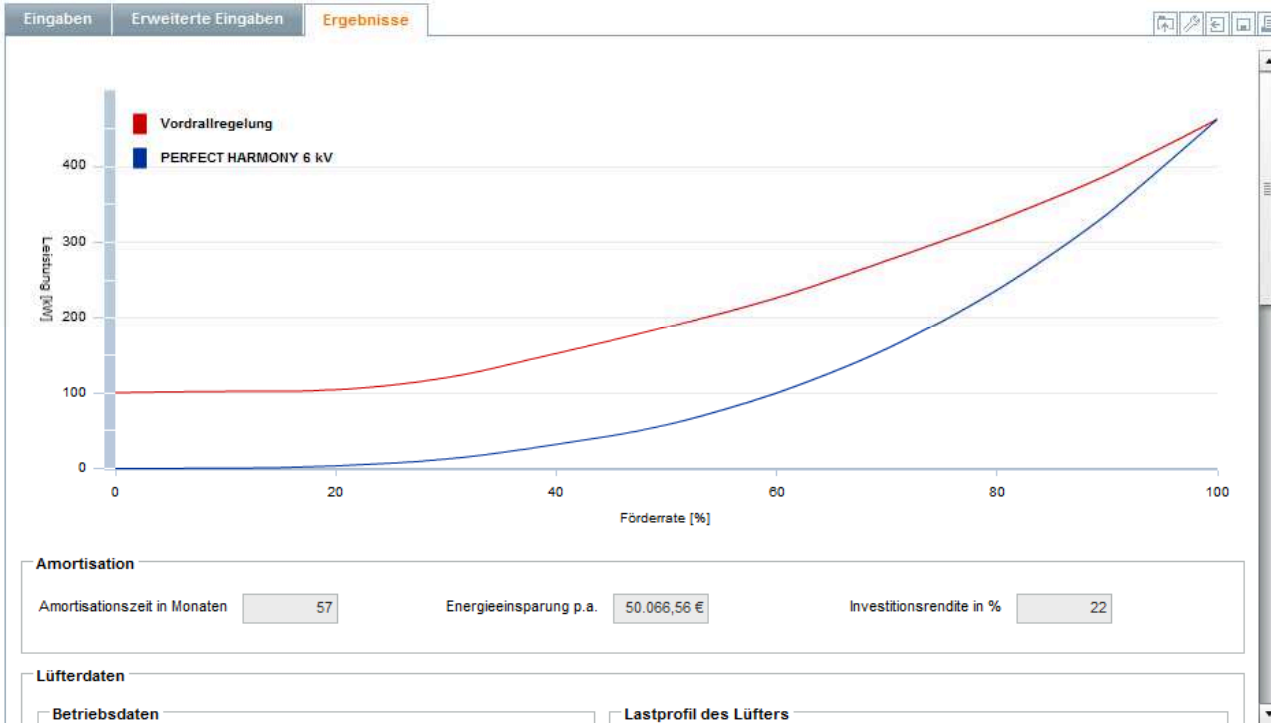
Schrankgeräte

PERFECT HARMONY 3.3 kV
 PERFECT HARMONY 4 / 4.16 kV
 PERFECT HARMONY 6 kV
 PERFECT HARMONY 6.6 kV

Motorleistung am Umrichter kW i



Infrastrukturkosten	
Kosten für zusätzliche Infrastrukturmaßnahmen	4.329,00 € ⓘ
Rabatt für den Umrichter	
Listenpreis	233.343,10 € ⓘ
Rabatt	0,0 % ⓘ
Kundenpreis	233.343,10 € ⓘ
Fördermittel	
Förderung	0,00 € ⓘ
Zusätzliche Kostenersparnis in % der Energiekosten	
Einsparung der Energiekosten in % im Vergleich zur festen Drehzahl	
Verringerte Instandhaltungskosten	2 % ⓘ
Verringerte Installations- und Investitionskosten	2 % ⓘ
Zusätzliche Reduzierung der Energiekosten	3 % ⓘ



Eingaben
Erweiterte Eingaben
Ergebnisse

Amortisation

Amortisationszeit in Monaten Energieeinsparung p.a. Investitionsrendite in %

Lüfterdaten

Betriebsdaten

Totaldruckdifferenz mbar

Volumenstrom m³/h

Drehzahl 1/min

Wirkungsgrad %

Dichte des Mediums kg/m³

Spezifische Drehzahl 1/min

Leistung kW

Lastprofil des Lüfters

Förderrate in % 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

Stunden / Tag

Stunden	0,00	1,20	2,40	3,60	4,80	4,80	3,60	2,40	1,20	0,00
Wirkungsgrad	20,0	33,7	45,5	56,4	66,4	75,5	81,9	86,4	89,2	91,0

Nutzungszeit

Motordaten

Leistung kW

Elektrischer Motorwirkungsgrad %

Anlagendaten

Mechanische Regelung

Geodätische / statische Höhe von H in % %

UmrichterAuswahl

Motorleistung am Umrichter kW

Kosten

Eingaben	Erweiterte Eingaben	Ergebnisse
Kosten		
Investitionskosten		
Listenpreis	233.343,10 €	
Rabatt	0,0 %	
Kundenpreis	233.343,10 €	
<hr/>		
Kosten für zusätzliche Infrastrukturmaßnahmen	4.329,00 €	
Energiekosten		
Energiepreis pro kWh	0,050 €	
<hr/>		
bei mechanischer Regelung p.a.	94.767,03 €	
des Umrichters p.a.	44.700,47 €	
<hr/>		
Energiekosteneinsparung p.a.	50.066,56 €	
Energiekosteneinsparung p.a.	53 %	
Energieverbrauch		
bei mechanischer Regelung p.a.	1.895.340,6 kWh	
des Umrichters p.a.	894.009,5 kWh	
Energieeinsparung p.a.	1.001.331,1 kWh	
CO2 Einsparung		
CO2 Einsparung p.a.	622,83 t	
Zusätzliche Kosteneinsparung		
Verringerte Instandhaltungskosten	1.895,34 €	
Verringerte Installations- und Investitionskosten	1.895,34 €	
Zusätzliche Reduzierung der Energiekosten	2.843,01 €	
Förderung	0,00 €	

Anhang T13 SinaSave Variante Niederspannungsebene

SIEMENS

 > Datei > Sprache > Projekteinstellungen > Anwendungseinstellungen > ?

▶ Fixed Speed Drives > ▼ VSD Low Voltage > ▶ High-Torque-Direktantriebe > ▶ VSD Medium Voltage

> Start > VSD Low Voltage > Turbo-Kompressoren

Eingaben
Erweiterte Eingaben
Ergebnisse

 ✎ 🗑️ 📄 🖨️

Turbokompressor-Einstellungen

Totaldruckdifferenz	Δp_{tot}	<input type="text" value="40,21"/>	mbar	i
Förderstrom	Q	<input type="text" value="362.721,60"/>	m ³ /h	i
Drehzahl	n	<input type="text" value="990,00"/>	1/min	i
Dichte des Mediums	ρ	<input type="text" value="0,76"/>	kg/m ³	i
Spezifische Drehzahl	n_q	<input type="text" value="88,77"/>	1/min	i
Turbokompressor-Leistung	P_{kompr}	<input type="text" value="445,21"/>	kW	i
Turbokompressor-Wirkungsgrad	$\eta_{kompr,opt}$	<input type="text" value="91,00"/>	%	i

Lastprofil des Turbo-Kompressors

Förderrate in % Tage/Jahr

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

Stunden pro Tag

<input type="text" value="0,0"/>	<input type="text" value="1,2"/>	<input type="text" value="2,4"/>	<input type="text" value="3,6"/>	<input type="text" value="4,8"/>	<input type="text" value="4,8"/>	<input type="text" value="3,6"/>	<input type="text" value="2,4"/>	<input type="text" value="1,2"/>	<input type="text" value="0,0"/>	<input type="text" value="24,0"/>	Standard
----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	----------

Wirkungsgrad in %

<input type="text" value="20,0"/>	<input type="text" value="33,7"/>	<input type="text" value="45,5"/>	<input type="text" value="56,4"/>	<input type="text" value="66,4"/>	<input type="text" value="75,5"/>	<input type="text" value="81,9"/>	<input type="text" value="86,4"/>	<input type="text" value="89,2"/>	<input type="text" value="91,0"/>	Standard
-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	----------

Auswahl der Musteranlage

mit statischem Anteil in % von H %

nur dynamischer Anteil

Wirtschaftliche Daten

Energiepreis pro kWh €

Umrigherauswahl

<input type="radio"/> Sinamics G150 400V	<input type="radio"/> Sinamics G110 230V	<input type="radio"/> Sinamics G130 400V
<input type="radio"/> Sinamics G150 500V	<input type="radio"/> Sinamics G120 400V	<input type="radio"/> Sinamics G130 500V
<input checked="" type="radio"/> Sinamics G150 690V	<input type="radio"/> Micromaster 430/440	<input type="radio"/> Sinamics G130 690V

Motorleistung am Umrigher kW

Dieses Antriebssystem konfigurieren System

Motordaten

Leistung	P_{el}	<input type="text" value="463,76"/>	kW	i
Elektrischer Wirkungsgrad	η_{el}	<input type="text" value="96,00"/>	%	i

Mechanische Regelung des Vergleichsprozesses

Drosselregelung i

Polumschaltbarer Motor i

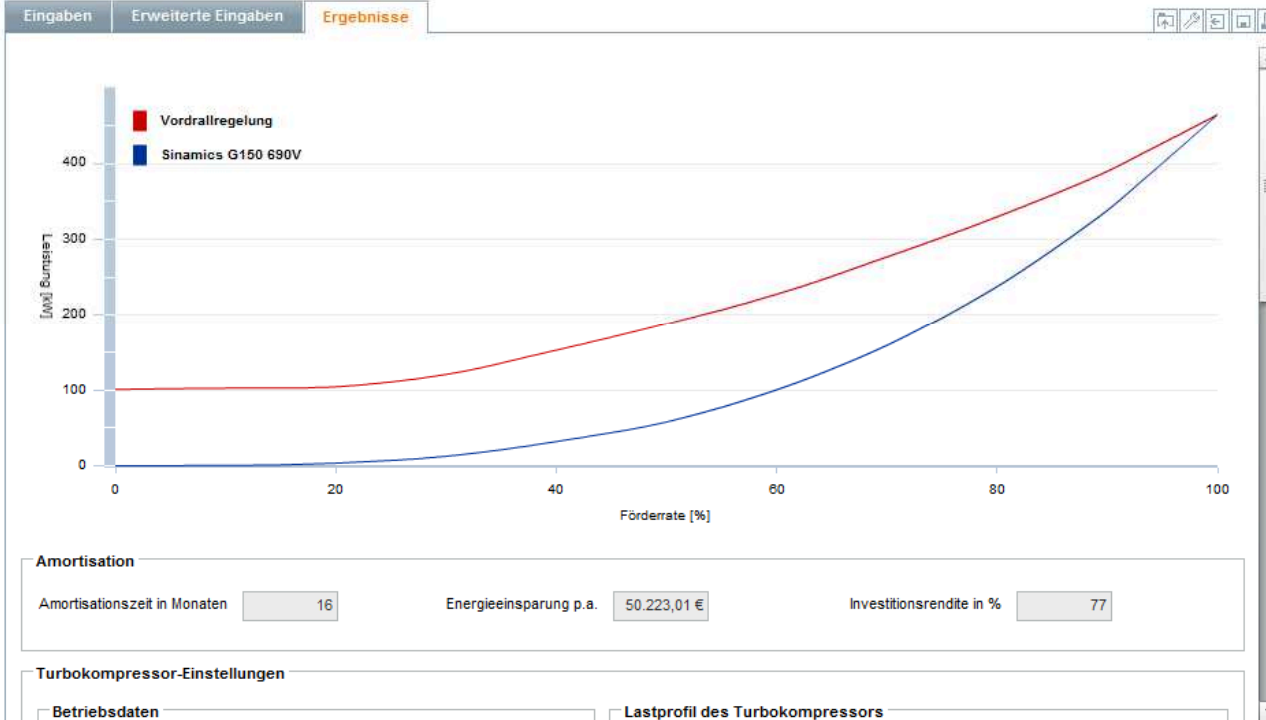
Bypass i

Vordrallregelung i

SinaSave



Infrastrukturkosten	
Kosten für zusätzliche Infrastrukturmaßnahmen	19.179,50 € ⓘ
Rabatt für den Umrichter	
Listenpreis	46.700,00 € ⓘ
Rabatt	0,0 % ⓘ
Kundenpreis	46.700,00 € ⓘ
Fördermittel	
Förderung	0,00 € ⓘ
Zusätzliche Kostenersparnis in % der Energiekosten	
Einsparung der Energiekosten in % im Vergleich zur festen Drehzahl	
Verringerte Instandhaltungskosten	2 % ⓘ
Verringerte Installations- und Investitionskosten	2 % ⓘ
Zusätzliche Reduzierung der Energiekosten	3 % ⓘ



Eingaben Erweiterte Eingaben **Ergebnisse** ↶ ↷ ↸ ↹ ↺

Amortisation

Amortisationszeit in Monaten Energieeinsparung p. a. Investitionsrendite in %

Turbokompressor-Einstellungen

Betriebsdaten

Totaldruckdifferenz mbar

Förderstrom m³/h

Drehzahl 1/min

Dichte des Mediums kg/m³

Spezifische Drehzahl 1/min

Leistung kW

Wirkungsgrad %

Lastprofil des Turbokompressors

Förderrate in % 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

Stunden / Tag

Stunden	0,00	1,20	2,40	3,60	4,80	4,80	3,60	2,40	1,20	0,00
Wirkungsgrad	20,0	33,7	45,5	56,4	66,4	75,5	81,9	86,4	89,2	91,0

Nutzungszeit

Motordaten

Leistung kW

Elektrischer Motorwirkungsgrad %

Anlagendaten

Mechanische Regelung

Geodätische / statische Höhe von H in % %

UmrichterAuswahl

Motorleistung am Umrichter kW

Kosten

Eingaben	Erweiterte Eingaben	Ergebnisse
Kosten		
Investitionskosten		
Listenpreis	46.700,00 €	
Rabatt	0,0 %	
Kundenpreis	46.700,00 €	

Kosten für zusätzliche Infrastrukturmaßnahmen	19.179,50 €	
Energiekosten		
Energiepreis pro kWh	0,050 €	

bei mechanischer Regelung p.a.	95.063,18 €	
des Umrichters p.a.	44.840,16 €	

Energiekosteneinsparung p.a.	50.223,01 €	
Energiekosteneinsparung p.a.	53 %	
Energieverbrauch		
bei mechanischer Regelung p.a.	1.901.263,6 kWh	
des Umrichters p.a.	896.803,3 kWh	
Energieeinsparung p.a.	1.004.460,3 kWh	
Zusätzliche Kosteneinsparung		
Verringerte Instandhaltungskosten	1.901,26 €	
Verringerte Installations- und Investitionskosten	1.901,26 €	
Zusätzliche Reduzierung der Energiekosten	2.851,90 €	
Förderung	0,00 €	
CO2 Einsparung		
CO2 Einsparung p.a.	624,77 t	

Anhang T14 Eigenbedarfstransformator Leistungsdaten

ABB TRAF0 - BB		Erstaufst.: 1622 0003 ②	Sheet 1
Schaltbild		XAL 100 101 - 766	Cont. -
Assembly drawing	Design checked	Drawing checked	Department TV Year 93 Week 35

45 05 23 05

ABB TRAF0 - BB

3 - Phasen - Transformator

Typ	TOHKX	Nr.	1622 0003 / 2	Baujahr	1993	VDE 0532
Bem. - Leistung	kVA	4000 // 3200 / 800	Bem. - Frequenz	Hz	50	
Bem. - Spannung	V	s.Tab. // 720 / 400	Schaltgruppe		Dyn5yn5	
Bem. - Strom	A	220 // 2566 / 1155	Kühlungsart		ONAN	
Kurzschluß Spg.	%	s. Tabelle	Dauerkurzschl. - Str.	kA		
Um	kV	12 / 1,1 / 1,1	Isol. - Pegel		LI 75 AC 28/AC 3/AC 3	
Kurzschluß - Dauer max.	s	2	Isolierfüßigkeit		Öl	
Gesamtgewicht	kg	8030	Ölgewicht	kg	2005	

Umsteller nur im spannungslosen Zustand betätigen

Leistung kVA	uk %	Anschluß an	kurzgesch. Klemmen	Oberspannung		Unterspannung				
				Volt	Umsteller Pos. verbindet	Anschluß	Volt	Amp.	Schaltgruppe	
3200	6,9	1U; 1V; 1W	2U; 2V; 2W	11026	1 5 - 6	1U	2U; 2V; 2W	720	2566	Dyn5
800	3,5	1U; 1V; 1W	3U; 3V; 3W	10763	2 6 - 4					
800	1,2	2U; 2V; 2W	3U; 3V; 3W	10500	3 4 - 7	1V	3U; 3V; 3W	400	1155	Dyn5
				10237	4 7 - 3					
				9974	5 3 - 2					

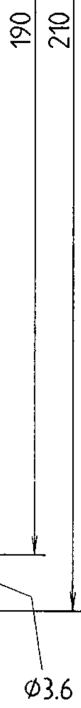
XAL 100 101 - 766

Dieses Dokument darf ohne unsere schriftliche Genehmigung nicht vervielfältigt und kein Inhalt weder in Form Drucken ablesen noch zu sonstigen Vervielfältigungen, Kopien, Entwerfen, Übertragungen oder ABB TRAF0-BB

This document may not be copied without our written permission, and the content may not be reproduced in any form, printed or otherwise, for any unauthorized purposes.

Ausführung: Aluminium eloxiert; 1,5mm dick; Schrift silberfarbig; Grund schwarz; AL 1124 0016 - 2

#BA	G:\SCHBILD\DEUTSCH\	2	Pos. d. Durchf. geänd. Leistung in Uk-Tab. vert.	Bi	VK	93 / 44
#L	45052305	1	Leistung in Uk Tabelle korrigiert	Bo	TV	93 / 36
		No	Revision	oopr.	Dept.	Year Week





29.10.2013

Kunde:
 Kunden-Nr.:
 Anlage:
 Zuletzt gespeichert:
 Projekt: Mibrag_IKW Währlitz
 Bearbeiter:

1. Steuerung / Regelung / 24V

2. Netz Netz

2.1. Technische Daten

Netzdaten

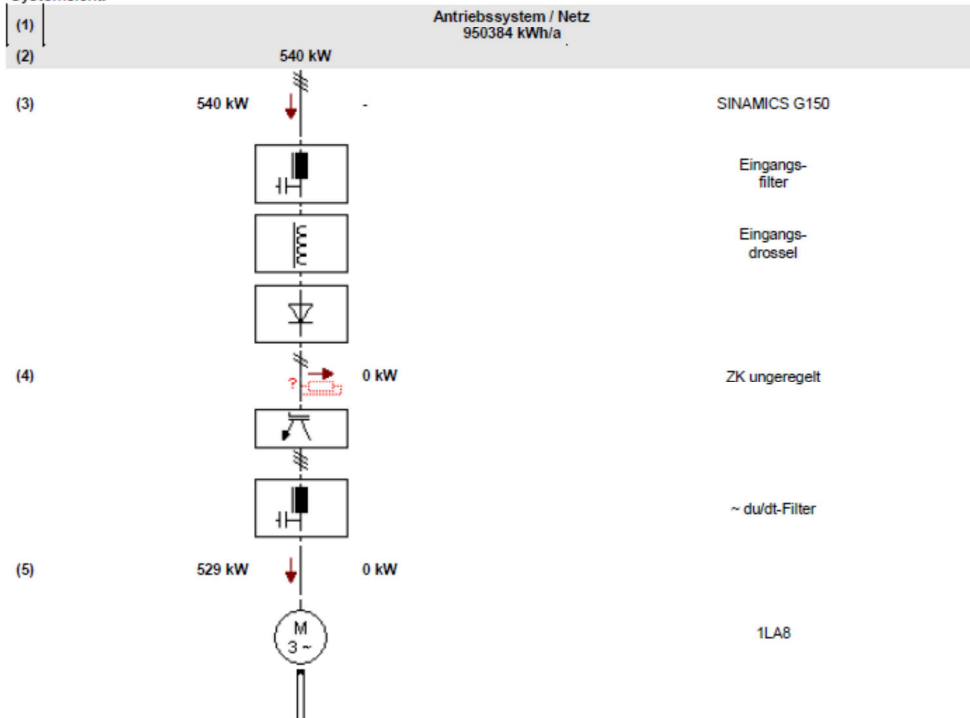
Spannung	690 V
Frequenz	50 Hz
Phasenanzahl	3
abweichende Versorgungsspannung berücksichtigen	Nein
Kurzfristige Netzschwankungen berücksichtigen	Ja
Maximale kurzfristige Unterspannung zur Nennspannung	15 %
Unterspannung	587 V

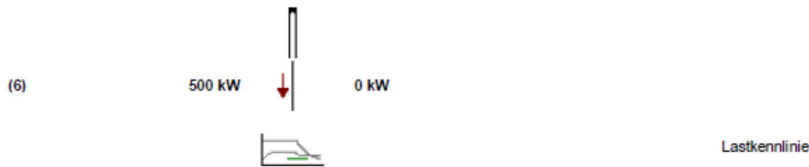
2.2. Antriebssystem "Antriebssystem"

2.2.1. Energiebedarf Leistungselektronik

Es ist nur der Energiebedarf der Leistungselektronikkomponenten betrachtet. Weitere elektronische Komponenten werden nicht berücksichtigt (z.B. Sensor Module, Regelungselektroniken, Steuerungen, 24V-Versorgung).

Systemansicht:





Betriebsstunden/a: 1760,0

Erläuterung der Werte

		Gesamtenergiebedarf
(1)	Gesamtenergiebedarf	Die resultierende Antriebsleistung auf die vorgegebene Anzahl Betriebsstunden pro Jahr aus den Projekteinstellungen hochgerechnet.
		Leistungen am Antriebsstrang
(2)	Resultierende Antriebsleistung	Entspricht der Antriebsleistung motorisch - generatorisch.
(3)	Antriebsleistung	Dieser Wert wird aus den motorischen / generatorischen Anteilen der Lastvorgabe berechnet und ist immer positiv. Bei rückspeisefähigen Systemen ist dies die rückspeisbare Energie an der Einspeisung.
(4)	Bremsleistung	Dies ist bei Auslegung mit mechanischen Systemen die Leistung, die im Zwischenkreis am Bremswiderstand abfällt.
(5)	Motorleistung	Dies ist die benötigte elektrische Leistung des Motors. Drehzahlabhängigkeiten des Wirkungsgrades der Anbau- und Zusatzgetriebe sind dabei nicht berücksichtigt.
(6)	Lastleistung	Dies ist die durch die Vorgabe benötigte / entstehende Leistung an der Last (Motorwellenleistung).

Nähere Erläuterungen siehe Online Hilfe.

Eine Haftung für die Richtigkeit der Energiebedarfsdaten ist ausgeschlossen. Der Energieverbrauch eines Antriebssystems ist abhängig von den Betriebs- und Umgebungsbedingungen und enthält physikalisch nicht vollständig bestimmbare Verluste.

2.2.2. Schrankverlustleistung

Lastabhängige Verlustleistung der Schrankkomponenten ohne passive Leistungselemente

Antriebssystem / Netz (lastbezogen)	
~ Leistungsteil	10,13 kW
~ du/dt-Filter	0,52 kW
Eingangskomponenten	
~ Netzdrossel	0,47 kW
System-Komponenten	
Sonstige System-Komponenten	
Summe der Verlustleistung	11,12 kW

Eine Haftung für die Richtigkeit der Energiebedarfsdaten ist ausgeschlossen. Der Energieverbrauch eines Antriebssystems ist abhängig von den Betriebs- und Umgebungsbedingungen und enthält physikalisch nicht vollständig bestimmbare Verluste.

2.2.3. Technische Daten

SINAMICS G150

Eingangsoptionen

EMV-Funkentstörfilter Klasse A1	L00
Hauptschütz (für Ströme < 800A)	L13
Netzdrossel uk=2%	L23
Hauptschalter inkl. Sicherungen bzw. Leistungsschalter	L26

Leistungsteil

Bestellbezeichnung	6SL3710-1GH35-8AA3
Drive-based Safety-Integrated	Keine Safety Integrated Funktionalität
Leistungsteil / Umgebungsbedingungen	
Aufstellhöhe	1000 m
Umgebungstemperatur	40 °C
Leistungsteil / Katalogdaten	
Typeistung	560,00 kW
Bemessungsstrom	575,00 A
Abmessungen (Breite x Höhe x Tiefe)	1206 x 2005 x 605 mm
Leistungsteil / Daten - lastspezifisch	
Verfügbare Strom bei Grundlast	575,00 A

Zubehör

Not-Aus-Taster in Schranktür	L45
------------------------------	-----

NOT-AUS-Kategorie 0, AC230V bzw. DC24V (L57)	L57
PT100-Auswertegerät	L86
Kabelrangierraum 200mm hoch	M07
Krantransporthilfe für Schränke montiert	M90
Kundendokumentation im DXF-Format	D02
Kundendokumentation im Papierformat	D04
Vorab-Erstellung der Kundendokumentation	D14
Geräteabnahme bei Kundenanwesenheit: Sichtabnahme	F03
Ausgangsoptionen	
du/dt-Filter compact plus Voltage Peak Limiter	L07

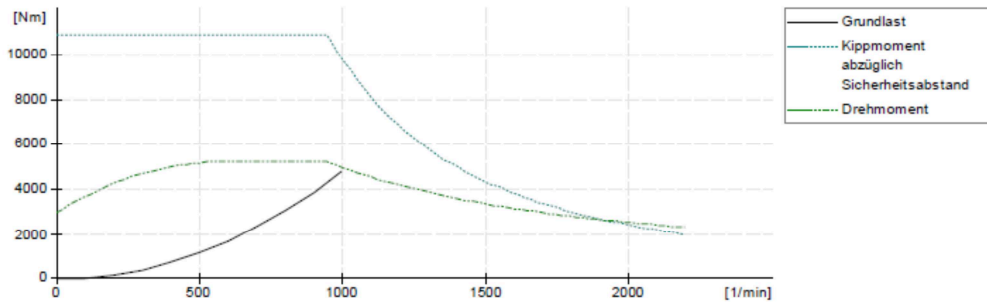
2.2.4. Motor

2.2.4.1. Technische Daten

Motor	
Bestellbezeichnung	1LA8407-6PM80
6 Kaltleiter für Warnung und Abschaltung	A12
Motor / Weitere Optionen	
Meßnippel für SPM-Stoßimpulsmessung	G50
Werksprüfzeugnis 3.1 nach EN10204	B02
Sonderanstrich RAL7030 steingrau	K26
Motor / Umgebungsbedingungen	
ATEX-Zone	keine EX-Zone (1LA/1LG/1PQ/1LE1)
Aufstellhöhe	1000 m
Umgebungstemperatur	40 °C
Wärmeklasse	F/105K
Motor / Katalogdaten bezogen auf Netzbetrieb	
Bemessungsleistung	545,00 kW
Bemessungsmoment	5241,00 Nm
Bemessungsstrom	550,00 A
Bemessungsdrehzahl	993,00 1/min
Bemessungsspannung	690 V
Baugröße	400
Bauform	IM B3
Polzahl	6
Wicklungssysteme	1
Gehäusematerial	Grauguss
Ausführung	Grundauführung
Wirkungsgrad nach Norm	IEC 60034-2-1 (2007)
Wirkungsgrad	0,961
Leistungsfaktor cos phi bei 50 Hz	0,86
Stern / Dreieck	Stern
Klemmenkasten	seitlich, rechts
Seewasserfest	Nein
Motordaten / bezogen auf vorgegebene Antriebsbedingungen	
Anschaltung	Stern
Motorfrequenz	50 Hz
Bemessungsleistung	521,30 kW
Bemessungsmoment	5241,00 Nm
Bemessungsstrom	550,00 A
Bemessungsdrehzahl	949,83 1/min
Bemessungsspannung	660 V
Motordaten / berechnete Daten	
Laststrom	527,01 A
Lastdaten an der Motorwelle	
Lastfall	quadratisches Moment
Lastleistung	500,00 kW

max. Lastdrehzahl	1000,00 1/min
Hochlaufzeit	
Hochlaufdrehzahl	1000,00 1/min
Lastträgheitsmoment	1000,000000 kg m ²
Hochlaufzeit	19,65398 s

2.2.4.2. Kennlinie



2.2.4.3. Applikationsdaten

Hauptlast	
Leistung	500,00 kW
Max. Lastdrehzahl	1000,00 1/min

3. Anwenderkommentare - Mechanische Systeme

3.1. Mechanik

3.2. Mechanik (1)

4. Anwenderkommentare - Zusätzliche Komponenten

5. Stückliste

Pos.	Anzahl	Bestellbezeichnung	Produkt
• Antriebssystem / Netz			
10	1	6SL3710-1GH35-8AA3-Z L00 + L13 + L23 + L26 + L07 + L45 + L57 + L86 + M07 + M90 + D02 + D04 + D14 + F03	SINAMICS G150; 575,00 A
20	1	1LA8407-6PM80-Z A12 + G50 + B02 + K26	Asynchronmotor (1LA/1LG/1PQ/1MJ/1LE1); 545,00 kW; 690 V; Stern; 400; IM B3

Legende

► Bitte beachten Sie:

Die Überlastfähigkeit bei der Auslegung nach Lastkennlinie (z.B. Lastspiel mit konstanter Einschaltdauer) bezieht sich auf eine kurzzeitig erforderliche Überlast am Motor. Bei längeren oder zyklischen Überlasten ist eine Projektierung über Applikation notwendig.

Bei "einfacher Motorauswahl ohne Lastprojektierung" werden abhängig vom gewählten Antrieb und Ausprägung (Zwischenkreis, Regelungsart und Aussteuergrad) die auf 400/460 V bezogenen Bemessungsdaten nicht erreicht. Bitte beachten Sie dies bei der Auswahl / Einsatz des Motors.

Die Komponenten der Antriebsfamilie SINAMICS sind noch nicht in voller Breite in den Markt eingeführt und zur Lieferung freigegeben.

Bitte nehmen Sie vor einer Bestellung von Komponenten mit der Bestellnr. 6SL3.. Kontakt mit Ihrem zuständigen Siemens-Bearbeiter auf.

► **SINAMICS S150 / G150**

L00:	EMV-Funkentstörfilter Klasse A1
L23:	Netzdrossel $u_k=2\%$
L13:	Hauptschütz (für Ströme < 800A)
L26:	Hauptschalter inkl. Sicherungen bzw. Leistungsschalter
L07:	du/dt-Filter compact plus Voltage Peak Limiter
L45:	Not-Aus-Taster in Schranktür
L57:	NOT-AUS-Kategorie 0, AC230V bzw. DC24V (L57)
L86:	PT100-Auswertegerät
M07:	Kabelrangierraum 200mm hoch
M90:	Krantransporthilfe für Schränke montiert
D02:	Kundendokumentation im DXF-Format
D04:	Kundendokumentation im Papierformat
D14:	Vorab-Erstellung der Kundendokumentation
F03:	Geräteabnahme bei Kundenanwesenheit: Sichtabnahme

► **Asynchronmotor ohne 1LE1**

A12:	6 Kaltleiter für Warnung und Abschaltung
B02:	Werksprüfzeugnis 3.1 nach EN10204
G50:	Meßnippel für SPM-Stoßimpulsmessung
K26:	Sonderanstrich RAL7030 steingrau

6. Allgemeine Hinweise

Die Überlastfähigkeit bei der Auslegung nach Lastkennlinie (z.B. Lastspiel mit konstanter Einschaltdauer) bezieht sich auf eine kurzzeitig erforderliche Überlast am Motor. Bei längeren oder zyklischen Überlasten ist eine Projektierung über Applikation notwendig.

Bei "einfacher Motorauswahl ohne Lastprojektierung" werden abhängig vom gewählten Antrieb und Ausprägung (Zwischenkreis, Regelungsart und Aussteuergrad) die auf 400/460 V bezogenen Bemessungsdaten nicht erreicht. Bitte beachten Sie dies bei der Auswahl / Einsatz des Motors.

SIEMENS

Industry

Siemens AG, GER I S OST LD-SUP, Schützenstr. 4-10, 04103 Leipzig

MIBRAG mbH

Herr Michael Quaas

Name	Gaspar, Mirko
Abteilung	GER I S OST LD-SUP
Telefon	+49 (341) 210-2033
Telefax	+49 (341) 210-4302
E-Mail	Mirko.gaspar@siemens.com
Unser Zeichen	444415-AA
Datum	29.10.2013

Preisindikation zu Ihrer Anfrage
unsere Angebots-Nr. 444415-AA
Projektstichwort: IKW Wähllitz Saugzug

Sehr geehrter Herr Quaas,

wir danken für Ihre Anfrage vom 26.09.2013 und unterbreiten Ihnen unsere nachstehende, freibleibende und unverbindliche Preisindikation. Ein bindendes Angebot inklusive endgültigen Daten, Preisen und Konditionen ist zwingend spätestens vor Bestellung einzuholen.

1. Neues Niederspannungssystem (Trafo 10,3kV/690V – Frequenzumrichter – Niederspannungsmotor)

Position: 04003
Menge: 1 Stück Transformator
Typ: STROMRICHTERTRAFO
Techn. Daten: Weitere Angaben entnehmen Sie bitte dem Kommentar
Optionen: ECCN:
AL:
Statistische Warennummer:
Lieferzeit ca.: Arbeitstag(e) nach Eingang der technisch und kaufmännisch vollständig geklärten Bestellung
Kommentar: Stromrichtertrafo – Budgetpreis
Oberspannung 10,3 kV
Unterspannung 690 V
Nennleistung 630 kVA

Preis pro Motor: 23.750,00 EUR netto

Preis pro Position : 23.750,00 EUR netto

Siemens AG
Siemens Deutschland; Leitung: Rudolf Martin Siegers
Industry Sector; Leitung: Rudolf Martin Siegers

Schützenstr. 4-10
04103 Leipzig
Deutschland

Tel.: +49 (341) 210 0
Fax: +49 (341) 210 2000
www.siemens.de

Siemens Aktiengesellschaft; Vorsitzender des Aufsichtsrats: Gerhard Cromme; Vorstand: Joe Kaeser, Vorsitzender:
Roland Busch, Klaus Helmrich, Barbara Kux, Hermann Requardt, Siegfried Russwurm, Peter Y. Solmsen, Michael Suß, Ralf P. Thomas
Sitz der Gesellschaft: Berlin und München, Deutschland; Registergericht: Berlin Charlottenburg, HRB 12300, München, HRB 6684
WEEE-Reg.-Nr. DE 23691322

SIEMENS

29.10.2013

Unser Zeichen: 444415

Position: 04004

Menge: 1 Stück Niederspannungs-Systemkomponenten
Typ: 6SL3710-1GH35-8AA3-Z
Techn. Daten: Weitere Angaben entnehmen Sie bitte dem technischen Datenblatt und Maßbild.
Optionen: -D02: Kundendokumentation (Stromlaufplan, Klemmenplan, Anordnungsplan) in Dxf-format
-D04: Kundendokumentation in Papierform
-D14: Vorablieferung des Gerätehandbuches (Pdf-format)
-L00: Einsatz in der ersten Umgebung nach EN61800-3, Kategorie C2 (TN-/TT-Netze mit geerdeten Standpunkt)
-L07: du/dt-Filter compact plus Voltage Peak Limiter
-L13: Hauptschuetz fuer Line Connection Module < 800a
-L23: Netzkommütierungs-drossel Relative Kurzschlusspp. Uk=2%
-L26: Hauptschalter inkl. Sicherungen bzw. Leistungsschalter
-L45: Taster f. Not Aus Funktion in Schranktüer
-L57: Not-Aus-Kategorie 0, ungesteuertes Stillsetzen
-L86: Pt 100-Auswertegeraet 6 Kanalg
-M07: Kabelrangierraum 200 mm hoch, RAL 7035
-M90: Transportvorrichtung fuer Krane

ECCN: N
AL: N

Lieferzeit ca.: 70 Arbeitstag(e) nach Eingang der technisch und kaufmännisch vollständig geklärten Bestellung

Preis pro Motor: 52.450,85 EUR netto**Preis pro Position : 52.450,85 EUR netto****Position: 04005**

Antrieb für
Menge: 1 Stück Niederspannungsmotor
Typ: 1LA8407-6PM80-Z
Techn. Daten: 545 kW; 690 V; 50 Hz; 6-polig; ; ; IC 411; IM B3; 3.200 kg
Weitere Angaben entnehmen Sie bitte dem technischen Datenblatt und Maßbild.
Optionen: -A12: 6 Kaltleiter für Warnung und Abschaltung, ohne Überspannungsableiter
-B02: Abnahmeprüfzeugnis 3.1 nach EN 10204
-G50: Stoßimpulsmessung (SPM), Meßnippel auf AS und BS
-K26: Sonderanstrich in Standardfarbe RAL 7030, dekontaminierbar

ECCN: N
AL: N
Statistische Warennummer:
Lieferzeit ca.: 70 Arbeitstag(e) nach Eingang der technisch und kaufmännisch vollständig geklärten Bestellung.

SIEMENS

29.10.2013

Unser Zeichen: 444415

Preis pro Motor: 32.688,24 EUR netto**Preis pro Position : 32.688,24 EUR netto****Gesamtpreis: 108.889,09 EUR netto****Metallzuschläge**

Für die Verrechnung der Zuschläge ist die jeweilige Notierung (z.B. Quelle: Handelsblatt in Rubriken "deutsche Edelmetalle" und "Metallverarbeiter") für verarbeitetes Silber, Blei in Kabeln, Aluminium in Kabeln bzw. die Elektrolytkupfer (DEL-Notiz) vom Tage des Bestelleinganges bzw. des Abrufs maßgebend.

Kupferzuschläge werden bei einer DEL-Notiz für Motoren ab EUR 225,00 / 100 kg und für Drosseln / Trafos ab EUR 150,00 / 100 kg entsprechend der Notierung am Tage des Bestelleingangs verrechnet. Die Zuschläge werden für die Mengen der in den jeweiligen Produkten enthaltenen Materialien berechnet.

Bedingungen:

Alle Preise verstehen sich rein netto DAP gemäß Incoterms in Ihrer gültigen Fassung, ausschließlich seemäßiger Verpackung für LKW-Transport, ausschließlich Zoll, Abnahmen und sonstiger Nebenkosten sowie ohne Montage und Inbetriebnahmen. Der Ort des Gefahrenüberganges ist Währlitz.

Die Preise gelten nur bei gleichzeitiger Bestellung und Abnahme der genannten Stückzahlen.

Neben den Preisen wird die jeweils gültige Umsatzsteuer zusätzlich in Rechnung gestellt. Die Zahlungsbedingungen werden wir im Auftragsfall gesondert mit Ihnen vereinbaren.

Unserer Angebotskalkulation liegt folgender Zahlungsplan zugrunde:

30% des Bestellwertes sofort nach Erhalt unserer Auftragsbestätigung,

30% des Bestellwertes nach Ablauf des ersten Drittels der vorgesehenen Lieferfrist,

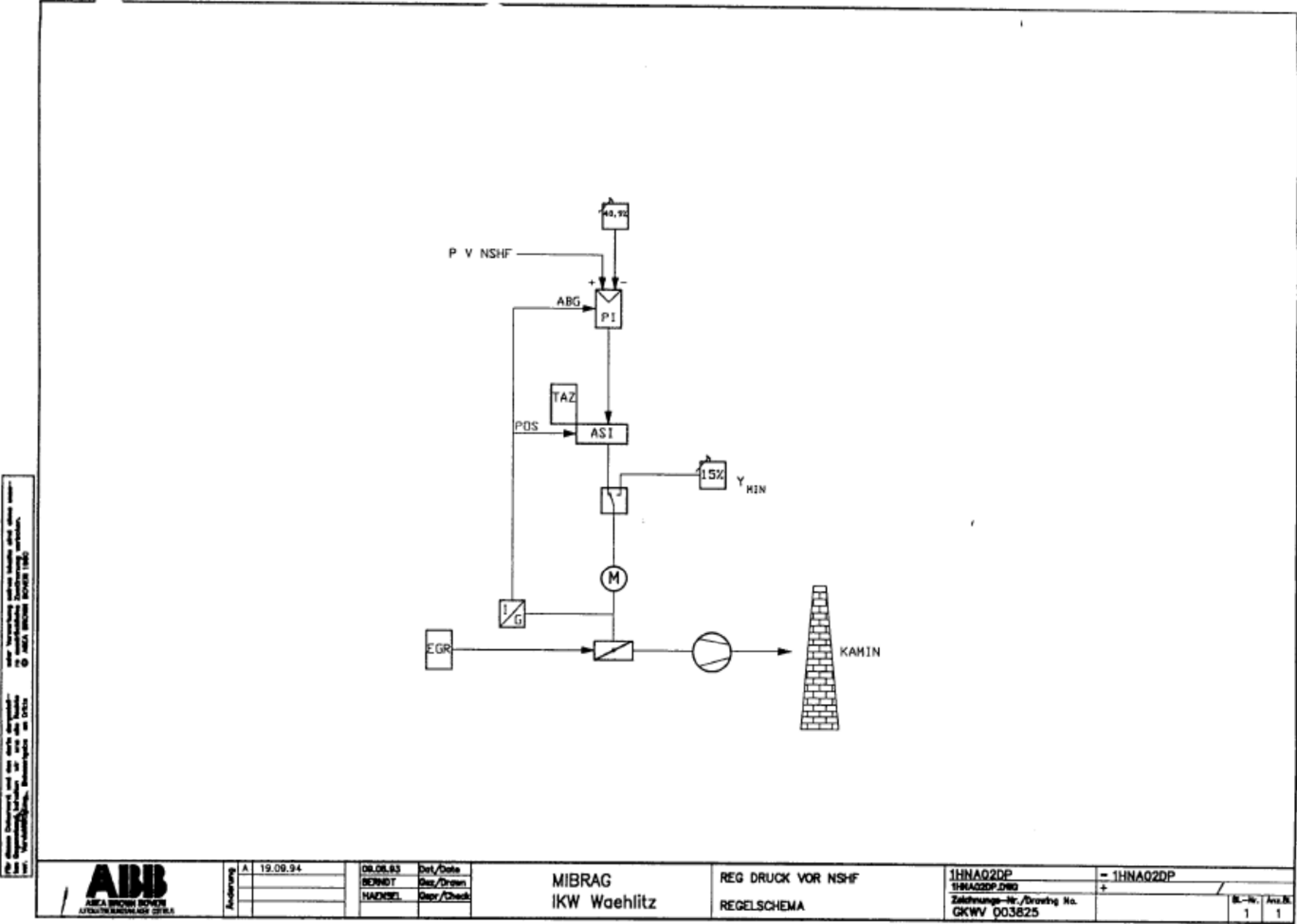
30% des Bestellwertes nach Ablauf des zweiten Drittels der vorgesehenen Lieferfrist,

10% des Bestellwertes bei Lieferung/Versandbereitschaftsmeldung bzw. Fertigstellung und Rechnungserhalt zuzüglich der jeweils gültigen Umsatzsteuer.

Ihre Anzahlungen erbitten wir jeweils innerhalb von 10 Tage nach Rechnungslegung ohne Abzüge.

Die Zahlung der Schlussrechnung erbitten wir innerhalb von 30 Tage nach Rechnungslegung ohne Abzüge.

Anhang T17 Regelschema Druck vor Nachschaltheizfläche [Betriebsdokumentation]



Die Abbildung zeigt die Druckverhältnisse vor der Nachschaltheizfläche. Die Druckverhältnisse sind durch die Druckmessung (P1) und die Druckregelung (AS1) geregelt. Die Druckverhältnisse sind durch die Druckmessung (P1) und die Druckregelung (AS1) geregelt.



Änderung	A	19.08.94

DR. OR. 93	Dr./Date
GERNET	Dr./Drum
HACHSEL	Dr./Check

MIBRAG
IKW Wählitz

REG DRUCK VOR NSHF
REGELSHEMA

1HNAG2DP
1HNAG2DP.DWG
Zeichnungs-Nr./Drawing No.
GKWW 003825

= 1HNAG2DP
+

B.-N.	Arz.N.
1	1

Anhang T18 Vorbelegung der Kundenschnittstelle SINAMICS G150 [19]

Klemmenleiste auf dem Terminal Module TM31		
	Werksmäßige Vorbelegung	Bemerkung
X520	Optokopplereingänge gewurzelt	
DI0	EIN/AUS 1	
DI1	Sollwert höher / FSW 0	Ob Betrieb über digitales Motorpoti oder Festsollwertvorgabe, kann in der Firmware parametrieren werden
DI2	Sollwert tiefer / FSW 1	
DI3	Störung quittieren	
X530	Optokopplereingänge gewurzelt	
DI4	Wechselrichterfreigabe ¹⁾	Umrichter steht in Stand-by und wartet auf die Freigabe
DI5	AUS 3 ¹⁾	Rücklauf an der Schnellhaltrampe, nur in Verbindung mit dem Braking Module relevant
DI6	Externe Störung ¹⁾	
DI7		
X541	Bidirektionale Ein- / Ausgänge	
DI/DO8	Meldung Einschaltbereit	
DI/DO9	frei	als Eingang vorbelegt
DI/DO10	frei	als Eingang vorbelegt
DI/DO11	frei	als Eingang vorbelegt
X542	Relaisausgänge (Wechsler)	
DO 0	Wechselrichter Freigabe (Betrieb)	
DO 1	Rückmeldung Umrichter keine Störung	
X521	Analogeingänge differenzial	
AI0+	Analogeingang zur Drehzahlsollwertvorgabe	Die Eingänge sind werksmäßig auf 0 - 20 mA eingestellt
AI0-		
AI1+	Analogeingang reserviert	Die Eingänge sind werksmäßig auf 0 - 20 mA eingestellt
AI1-		
X522	Analogausgänge	
AO 0V+		Die Ausgänge sind werksmäßig auf 0 - 20 mA eingestellt
AO 0-	Analogausgang Drehzahlwert	
AO 0C+		
AO 1V+		Die Ausgänge sind werksmäßig auf 0 - 20 mA eingestellt
AO 1-	Analogausgang Motorstromwert	
AO 1C+		
X522	Thermistorschutz	
+Temp		Eingang für einen Temperaturfühler KTY84 bzw. PTC-Kaltleiter
-Temp		