

Fa. MK-Regler GmbH
in Kooperation mit dem IAL Berlin

**Entwicklung eines
adaptiven Reglers für asynchrone Elektromotoren**

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,
gefördert unter dem Az: 27349 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Bernd Nitz, Jürgen Lampe & Martin Staudacher

Berlin, November 2010

06/02		Projektkennblatt			
der		Deutschen Bundesstiftung Umwelt			
Az.	27349	Referat	21/0	Fördersumme	200.000,00 €
Antragstitel		Entwicklung eines adaptiven Reglers für asynchrone Elektromotoren			
Stichworte		Verfahren Energie			
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
18 Monate	03/2009	09/2010	10		
Bewilligungsempfänger		MK - Regler GmbH, Gesellschaft zur Forschung, Entwicklung, industriellen Fertigung und Vertrieb von elektronischen und elektromechanischen Baugruppen Blohmstr. 37 - 61 12307 Berlin		Tel 030/26079814 Fax 030/26079816 Projektleitung Bernd Nitz, Jürgen Lampe Bearbeiter Dr. Lefevre	
Kooperationspartner		IAL - Ingenieurbüro für Antriebstechnik und Leistungselektronik Friedrichshagener Str. 46 15566 Schöneiche			
Zielsetzung und Anlass des Vorhabens					
<p>Asynchronmotoren sind in Baureihen, die verschiedenen Leistungsstufen entsprechen, eingeteilt und werden üblicherweise auf das durch die Maschinenkonstruktion vorgegebene Spitzenlastmoment ausgelegt. Mit Ausnahme von speziellen Betriebsarten, in denen kurze Überlastungen der Maschinen durch lange Pausen oder Ausschaltungen kompensiert werden, entsteht aus diesen willkürlich gewählten Baureihen eine konstruktionsbedingte Auslegungsreserve. Asynchronmaschinen haben neben ihren überwiegend positiven</p>					

natürlich auch negative Eigenschaften. Eine dieser negativen Eigenschaften ist, dass der Strom der fließt um die Maschine im Teillastbereich zu drehen, quadratisch größer ist, als für den Teillastbereich eigentlich nötig wäre. Es entsteht im Bezug auf die Nennleistung und den für den Nennbetrieb notwendigen Strom, eine Diskrepanz zwischen Strom und Leistung, die durch eine geeignete Beeinflussung des technischen Systems, zurückgeführt werden soll.

Effiziente Energieverwendung ist ein wichtiges Instrument zum Klimaschutz.

Denn für die Erzeugung einer Kilowattstunde elektrischen Stroms werden etwa drei Kilowattstunden Primärenergie (Kohle, Erdöl) verbraucht.

Und 960 kWh entsprechen 1 Tonne CO₂!

Ziel unseres innovativen Ansatzes war es, durch eine effizientere Technik die gleiche Energiedienstleistung bei geringerem Energieaufwand zu erreichen.

Die wesentliche Zielsetzung im Vorgänger-Projekt Nr. 26662-21 war, ein Energiespargerät für Drehstrom-Asynchronmotoren zu entwickeln, welches in der Lage ist, im Teillastbetrieb des Motors wirtschaftlich Energie (Schein-, Blind- und Wirkleistung) einzusparen. Im Rahmen dieses Projektes konnte die Problematik der Schwingungsneigung des Motors softwaremäßig gelöst werden und die Oberwelleproblematik als vernachlässigbar eingestuft werden.

Aus den gewonnen Erkenntnissen des Vorgänger-Projekts Nr. 26662-21 ergaben sich folgende Maßnahmen, die im Projekt Nr. 27349 erfolgreich umgesetzt wurden: Netzmessfähigkeit im Bypass-Betrieb, um abhängig von der Lastbeaufschlagung und dem sich ergebenden Einsparpotential automatisch zwischen Netzbetrieb und Motorkontroller-Betrieb umzuschalten, sowie der Einsatz eines Displays mit Tastatureingabe zur Kundenseitigen Eingabe von Motordaten und die Schaffung einer Kommunikationsmöglichkeit via PROFIBUS. Weiterhin sollte der mögliche Einsatz von Scheibenthristoren verifiziert werden. In Feldtests sollten die Einsatzmöglichkeiten bei verschiedenen Anwendungen getestet werden.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Bei dem durchzuführenden Projekt Nr. 27349 handelt es sich um die Weiterführung des Projektes Nr. 26662-21.

Die Netzmessfähigkeit wurde durch Hardware- und Softwareadaptionen erreicht. Das

Modul wurde um Display und Taster erweitert und die Software um die Parametrierungsfähigkeit erweitert. Ebenso wurde die Kommunikationsmöglichkeit via PROFIBUS hardware- und softwaremäßig erfolgreich umgesetzt. Der Einsatz von Scheibenthristoren erwies sich als nicht zielführend. Feldtests wurden bei verschiedenen Anwendungen erfolgreich durchgeführt und führten zu verschiedenen softwareseitigen Anpassungen.

In Zusammen mit unserem Kooperationspartner IAL wurden gemeinsame Entwicklungsarbeiten in den Kernbereichen Hardware, Software Engineering sowie der Optimierung des Regelverfahrens durchgeführt. Die Arbeiten waren in insgesamt 10 Arbeitspakete, mit entsprechenden methodischen Verfahren, Projektleistungen und Meilensteinen, strukturiert.

Ergebnisse und Diskussion

Im Rahmen der Fördermaßnahme der DBU wurde ein elektrisches Regelgerät für Drehstrom-Asynchronmotoren, zur Lastabhängigen Energieoptimierung, entwickelt und bis zur Marktreife geführt.

Das Gerät besteht aus einem Drehstromsteller mit Thyristoren, der Elektronik mit Reglereinheit, Bauteilen und Schaltungen zur erforderlichen Messwertaufnahme und der Spannungsversorgung.

Zur Integration in einen bestehenden Industrieprozess und dem damit verbundenen Signalverkehr (Start, Stopp, Störung etc.) ist eine entsprechende Anzahl von Ein- und Ausgängen berücksichtigt und programmiert worden. Display und Taster ermöglichen dem Kunden die optimale Parametrierung. Optional kann der Motorkontroller via PROFIBUS in eine übergeordnete Steuerung eingebunden werden.

Das Gerät ist leistungsfähiger als Sanftstarter, da es neben der ebenfalls enthaltenen Sanftstart-Funktion auch die Leistungsaufnahme im laufenden Betrieb optimiert.

Das Gerät kann aufgrund seiner technischen Eigenschaften bei Asynchronmotoren eingesetzt werden, für die Frequenzumrichter technisch bedingt nicht einsetzbar sind.

Als kurzes Beispiel zur Darstellung des Potentials einer Energieoptimierung:

Ein 15kW Motor einer Spritzgussmaschine „verbraucht“ in 4160 Betriebsstunden bei einer durchschnittlichen effektiven Wirkleistung von 60% der Nennleistung 37.440 kWh pro anno. Eine 10-prozentige Einsparung würde in diesem Falle einen „Minderverbrauch“ von 3744 kWh an Endenergie bedeuten, oder etwa 11.200 kWh an Primärenergie.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Ergebnisse und Produktprofil wurden durch Artikel in Fachzeitschriften und auf Webportalen sowie in der Unternehmenskommunikation durch Printmaterial und Website verbreitet.

Fazit

Durch die im DBU-Projekt Nr. 27349 umgesetzten Arbeitspakete konnte das Produkt marktgerecht weiterentwickelt werden. Durch die Schaffung der Netzmessfähigkeit ist gewährleistet, dass der Energieverbrauch mit Motorkontroller nie größer ist als ohne. Durch die Eingabemöglichkeit via Display und Taster können die für die optimale Regelung erforderlichen Werte direkt vom Endanwender eingegeben werden. Die optionale PROFIBUS-Anbindung ermöglicht die Integration in übergeordnete Steuerungen. Energieeinsparungen sowie daraus resultierende Umweltentlastungen lassen sich mit dem Gerät wirtschaftlich realisieren.

Inhaltsverzeichnis

Projektkennblatt.....	1
Inhaltsverzeichnis	5
Abbildungsverzeichnis	7
Abkürzungsverzeichnis	8
1. Zusammenfassung	10
2. Einleitung	11
3. Entwicklungsergebnisse und Vorhabensdurchführung	17
3.1 AP Nr.1: Leistungsmanagement.....	17
3.1.1 Display / Zähler	17
3.1.2 Tastatur / Eingabe.....	19
3.1.3 Bypass-Aktivierung.....	20
3.1.4 MK-Aktivierung	21
3.1.5 Hardware Netzbetrieb.....	21
3.2 AP Nr.2: Software Analog / Digital	22
3.3 AP Nr.3: Motorprüfstand.....	24
3.3.1 Prüfsoftware / Protokoll	24
3.3.2 Hardware Mehrfachprüfung	26
3.4 AP Nr.4: Fernabfrage Leistungsdaten	27
3.5 AP Nr.5: Netzteilerweiterung	28
3.6 AP Nr.6: Scheibenthristoren.....	29
3.7 AP Nr.7: Feldmessungen.....	29
3.7.1 Kompressoren.....	30
3.7.2 Spritzgussantriebe.....	31
3.7.3 Pumpenantriebe	31
3.7.4 Schweranläufer	32
3.8 AP Nr.8: Störschutzmaßnahmen	33

3.8.1 – 3.8.3 EMV, Funkenstörung, Störstrahlung passiv	33
3.9 AP Nr.9: Dokumentation.....	33
3.10 AP Nr.10: Projektleitung / Teamworkshops.....	33
4. Bewertung der Vorhabensergebnisse	34
5. Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse	37
4. Zusammenfassung der Ergebnisse und zukünftig notwendige Arbeiten.....	40
Anhang	I
Auswertung der Ergebnisse in Filakovo.....	I
EMV-Prüfbericht	V
EMV - Prüfbericht ohne Entstörung.....	XV
Auszug aus Norm 60947-4-2.....	XXIII
Quellenverzeichnis	XXIV

Vertraulich - nur für den internen Gebrauch

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Wirkungsgrad Effizienzklassen.....	14
Abb. 2: Netzbetrieb vs. adaptiver Regler	15
Abb. 3: Display und Tastatur.....	18
Abb. 4: Die Abbildung zeigt den Lastverlauf einer Holzsäge (75 kW) unter Netzbetrieb	23
Abb. 5: Die Abbildung zeigt den gleichen Antrieb unter MK-Betrieb. Deutlich ist die Reduzierung der Lastschwankungen zu erkennen.....	23
Abb. 6: Schema Kommunikation Motorkontroller-PROFIBUS	27
Abb. 7: Typischer Lastverlauf eines Kompressors (30kW) mit dem Sprung von „Leerlaufphase“ auf Belastungsphase (>100 %).....	30
Abb. 8: Hohe, zeitlich asymmetrische Lastsprünge erfordern die Regelung mit fester Kennlinie	31
Abb. 9: Anlauf beider Lüfter zeitgleich (30kW) unter Stern-Dreieck-Schaltung	32
Abb. 10: Anlauf beider Lüfter zeitversetzt unter MK-Betrieb: Deutliche Absenkung der Leistungsspitze gegenüber Stern-Dreieck.....	32

Vertraulich - nur für den internen Gebrauch

Abkürzungsverzeichnis

A	Ampere
Abb.	Abbildung
AD	Analog-Digital
ca.	circa
DP	Dezentrale Peripherie
EFF	Efficiency-Class
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
EN	Europäische Norm
etc.	et cetera
Fa.	Firma
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
h	hours
Hz	Hertz
IAL	Ingenieurbüro für Antriebstechnik und Leistungselektronik
IC	Integrated Circuit
I_N	Motorbemessungsstrom
K1, K2, K3	Parameter mit Einflussnahme auf die Lastsprungdetektion
kHz	Kilohertz
kVA	Kilovoltampere
kVAR	Kilovar
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
L1, L2, L3	Stromflusslänge
LED	Light Emitting Diode
MHz	Megahertz

MK	MotorKontroller
Ms	Millisekunde
N	Nullleiter
P	Wirkleistung
P_{Bypass}	Bypass-Schwelle
P_{el}	Elektrischen Bemessungsleistung
PLL	Phase-Locked-Loop
PROFIBUS	Process Field Bus
Q	Blindleistung
S	Scheinleistung
T_{an}	Anlaufzeit des Motors
T_{aus}	Sanftstopfunktion für den Motor
T_{verz}	Verzögerung Motorstart
U_{diff}	Spannungsdifferenz von Netz- zur Motorseite
U_{min}	Motormindestspannung
U_{start}	Startspannung Motor
V	Volt
vgl.	vergleiche
V_{Line}	Netzspannung
V_{Mot}	Motorspannung
W	Arbeit
z.B.	zum Beispiel

1. Zusammenfassung

Im Rahmen des zweiten DBU Projektes Nr. 27349 wurden die im ersten Projekt erreichten Ziele erfolgreich weiterentwickelt. Die entscheidenden Ziele, die Netzmessfähigkeit im Bypassbetrieb zu gewährleisten und die Rückschaltung vom Bypassbetrieb auf Regelbetrieb bei Erkennung eines möglichen Einsparpotentials, wurden erreicht. Durch die durchgeführte Integration von Display und Tastern sind Endanwender in der Lage, die für die optimale Regelung notwendigen Motordaten selbst zu parametrieren.

Entwickelt wurde ebenfalls eine kommunikationsfähige Schnittstelle über Profi-Bus.

Durch zahlreiche Feldversuche konnten, je nach Spezifikation (Kompressoren, Spritzgussantriebe etc.), erforderliche Softwareadaptionen erkannt, programmiert und erfolgreich getestet werden.

Der Einsatz von Scheibenthristoren wurde als nicht empfehlenswert diagnostiziert (Anforderungen an Isolation, mechanischer Aufwand zur Kühlung etc.).

Im Rahmen der Prüfungen für die elektromechanische Verträglichkeit (EMV) konnte eigens eine Schaltung entwickelt werden, mit der die gesetzlich geforderten Werte sicher eingehalten werden.

Die im Projekt gesteckten Ziele wurden erfolgreich umgesetzt und vollständig erreicht.

Das Entwicklungsprojekt wurde von der MK-Regler GmbH in Kooperation mit dem IAL Berlin durchgeführt und von der Deutsche Bundesstiftung Umwelt gefördert (Az: 27349).

2. Einleitung

Die Wachstumsaussichten der deutschen Wirtschaft werden nach Einschätzung der Bundesregierung erheblich durch die Verknappung und Verteuerung von Rohstoffen und insbesondere der Primärenergieträger Kohle, Öl und Gas geschmälert. Hinzu kommen die Umweltbelastungen, die sich aus der Nutzung fossiler Energieträger ergeben. Das Global Carbon Project (GCP), eine internationale Wissenschaftlervereinigung, legte am 26.9.08 die Studie „Carbon budget and trends 2007“ [Glo08] vor. Schlüssel-Ergebnisse der Studie sind:

- Der weltweite CO₂-Ausstoss ist gegenüber 2006 um 2,8% auf nun 36,5 Gt gestiegen;
- Die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre stieg 2007 um 2,2 ppm auf 383 ppm und liegt damit um 37% über dem vorindustriellen Niveau (280 ppm im Bezugsjahr 1750) und ist die höchste seit mindestens 650.000 Jahren;
- Durch die Klimaerwärmung und ihre Folgen sinkt die Fähigkeit von CO₂-Senkern (Wälder, Meere, Boden, Biomasse) CO₂ aus der Atmosphäre zu binden, was den Treibhauseffekt noch verstärkt;
- 80% des CO₂-Ausstosses entstehen durch das Verbrennen fossiler Energieträger.

Neben dem intensiven Bemühen klassische Energieträger durch regenerative Energiequellen zu ersetzen, müssen besonders auch effiziente Verfahren und Gerätschaften entwickelt werden, die den Einsatz von Primärenergie reduzieren. Nach Einschätzung des Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (ZVEI) beträgt alleine in Deutschland das Einsparpotential im Bereich der elektrischen Antriebe 27,5 Mrd. kWh jährlich [ZVE06], wobei das gesamte Einsparpotential von der ZVEI mit 57 Mrd. kWh/a angegeben ist. Es sind hierbei aber für uns z.Zt. nicht relevante Technologien/Anwendungen mit enthalten (z.B. Beleuchtung usw.).

Die 27,5 Mrd. kWh/a. nehmen Bezug auf Standardanwendungen in den betrieblichen Nebenfunktionen wie Pumpen, Ventilieren, Verdichten, Fordern, Bewegen, Klimatisieren und Kühlen. Dies stellt eine technologiespezifische Aufteilung dar und ist dem Markt der Motoren/Antriebe zuzuordnen.

Wir haben für unseren Zielmarkt 15 Mio. installierte Motoren, in den Größenklassen 11kW - 500kW, angesetzt. Als Ausgangspunkt unserer Berechnungen diente der angenommene jährliche Verbrauch aller elektrischen Antriebe in Höhe von 180Mrd. kWh. Unser

Zielmarkt wurde mit 40% des installierten Motorenbestands angesetzt. Weiterhin gingen wir davon aus, dass 90% der installierten Motoren über keine Energieoptimierung verfügen. Eine 5-prozentige dargestellte Einsparung unserer Zielmarktgröße ergibt somit den Wert von ca. 3,25 Mrd. kWh/a [180 Mrd. kWh x 40% x 90% x 5%].

Unser Projekt zur Entwicklung eines adaptiven Reglers für asynchrone Elektromotoren verfolgt das Ziel, die Effizienz und damit den Energieverbrauch asynchroner Elektromotoren zu verbessern und damit den Einsatz von Primärenergie und den CO₂-Ausstoß zu reduzieren.

Asynchrone Elektromotoren sind die in der industriellen Fertigung am weitesten verbreiteten Motoren zum Antrieb von Anlagen und Maschinen. Dabei sind sie üblicherweise auf das Spitzenlastmoment der anzutreibenden Anlage ausgelegt. Da die Anlagen jedoch i.d.R. nicht permanent diese volle Leistung benötigen, laufen die meisten asynchronen Elektromotoren im Teillastbereich. Dabei weisen sie einen schlechten Wirkungsgrad auf und verbrauchen unnötig viel Strom, da sie erst bei Annäherung an den Volllastbereich den optimalen Wirkungsgrad erreichen.

Die gegenwärtig im Markt angebotenen Lösungen zur Optimierung der Energieeffizienz von asynchronen Elektromotoren sind Sanftstarter und Frequenzumrichter. Diese stellen jedoch nur Teillösungen dar bzw. sind nur bedingt einsetzbar:

- Sanftstarter optimieren die Leistungsaufnahme nur in der Startphase, jedoch nicht im laufenden Betrieb;
- Frequenzumrichter sind bei vielen Motoren nicht einsetzbar, da ihr Betrieb mit einer Absenkung von Drehzahl und Drehmoment und starken Frequenz- und Spannungsänderungen verbunden ist und zudem häufig einer aufwendigen Funkenstörung bedarf.

Die Zielsetzung unseres Entwicklungsprojekts ist die Entwicklung und Markteinführung eines adaptiven Reglers für asynchrone Elektromotoren, welcher eine leistungsfähigere Energiesparlösung als die gegenwärtig im Markt angebotenen Lösungen zur Optimierung der Energieeffizienz dieser Motoren ist. Wesentliche Eigenschaften, die dieser Regler erfüllen soll, sind:

- Optimierung des gesamten Betriebszyklus, also sowohl des Anlaufverhaltens in der Startphase (Sanftstart-Funktion) als auch des laufenden Betriebs;
- Optimierung der Energieeffizienz im laufenden Betrieb, indem der Wirkungsgrad im Teillastbereich durch Spannungsabsenkung mittels Thyristorsteller gegenüber dem Netzbetrieb (400 V) wesentlich früher verbessert wird;
- Automatische Lasterkennung, um den Motor stets im, oder bei Berücksichtigung stoßartiger Belastungen nahe am Verlustminimum zu betreiben.

Der Regler ist eine umfassendere und damit leistungsfähigere Energiesparlösung als Sanftstarter und er unterliegt nicht den Beschränkungen von Frequenzumrichtern hinsichtlich der Einsetzbarkeit. Je nach verwendetem Motor und Belastung können Energieeinsparungen im Bereich von 2% (Volllast) bis 50% (Leerlauf) erzielt werden.

Die Verluste eines Motors unterteilen sich in die lastunanabhängigen Leerlaufverluste und die lastabhängigen Lastverluste. Durch das entwickelte Regelverfahren werden die Leerlaufverluste zu Lasten der Lastverluste soweit reduziert bis sich ein Gesamtverlustminimum einstellt. Dabei hat sich herausgestellt, dass das absolute Einsparpotenzial direkt durch die Leerlaufverluste maßgebend bestimmt wird. So ist nicht nur die relative sondern auch die absolute Energieeinsparung im Leerlauf am größten und nimmt mit steigender Leistung stetig ab.

Bei Leerlauf konnte bei allen untersuchten Motoren die Wirkleistung um 30-55% reduziert werden.

	EFF Klasse	cos ϕ	Leerlaufverluste	
			Ohne MK	Mit MK
4 kW Labormotor, Siemens AG	2	0,86	400 W	240W
5.5 kW Normmotor, Menzel Motorenwerke	2	0,84	580W	270W
5.5 kW Normmotor, Menzel Motorenwerke	2	0,88	526W	355W
30 kW Normmotor	3	0,76	2480 W	1250W

Daraus resultieren 2 Grunderkenntnisse:

- Das absolute Energieeinsparpotenzial bei gleicher Motorleistung ist umso grösser, je schlechter die Energieeffizienzklasse / $\cos \phi$ ist. Die relative Energieeinsparung bei Leerlauf liegt bei allen Motoren in einer ähnlichen Größenordnung.
- Bei gleicher Energieeffizienzklasse ist die relative Energieeinsparung um so schlechter, je größer die Motorleistung ist, da Elektromotoren großer Leistung in der Regel einen besseren Wirkungsgrad besitzen als Motoren kleiner Leistung.

Den typischen Zusammenhang zwischen Wirkungsgrad Effizienzklasse und Leistung zeigt die folgende Abbildung.

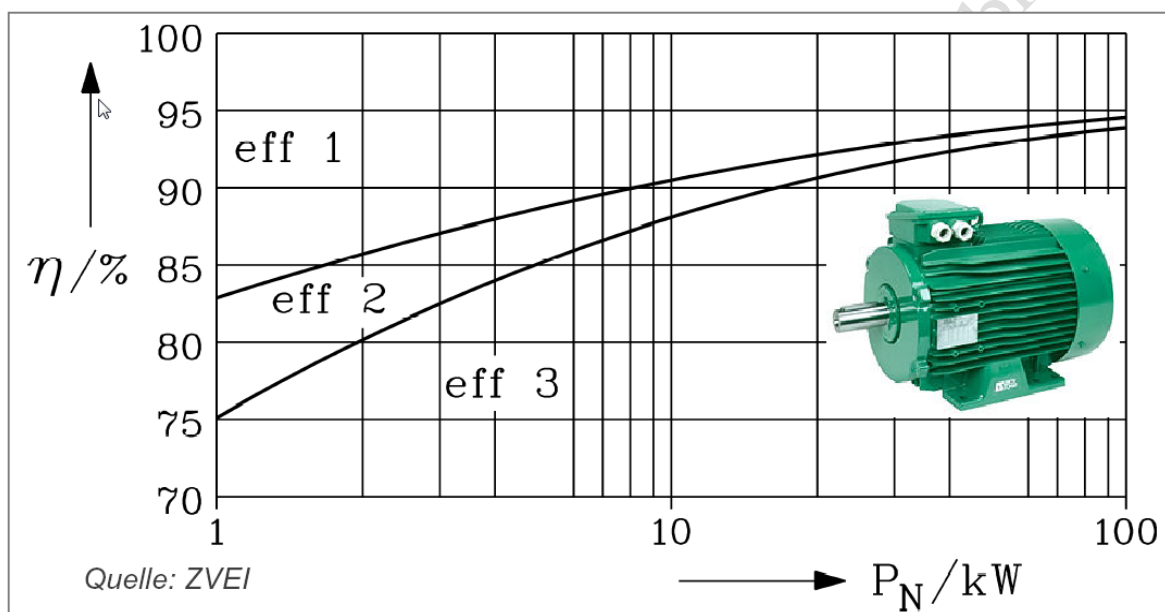


Abb. 1: Wirkungsgrad Effizienzklassen

Vergleich Netzbetrieb vs. adaptiver Regler

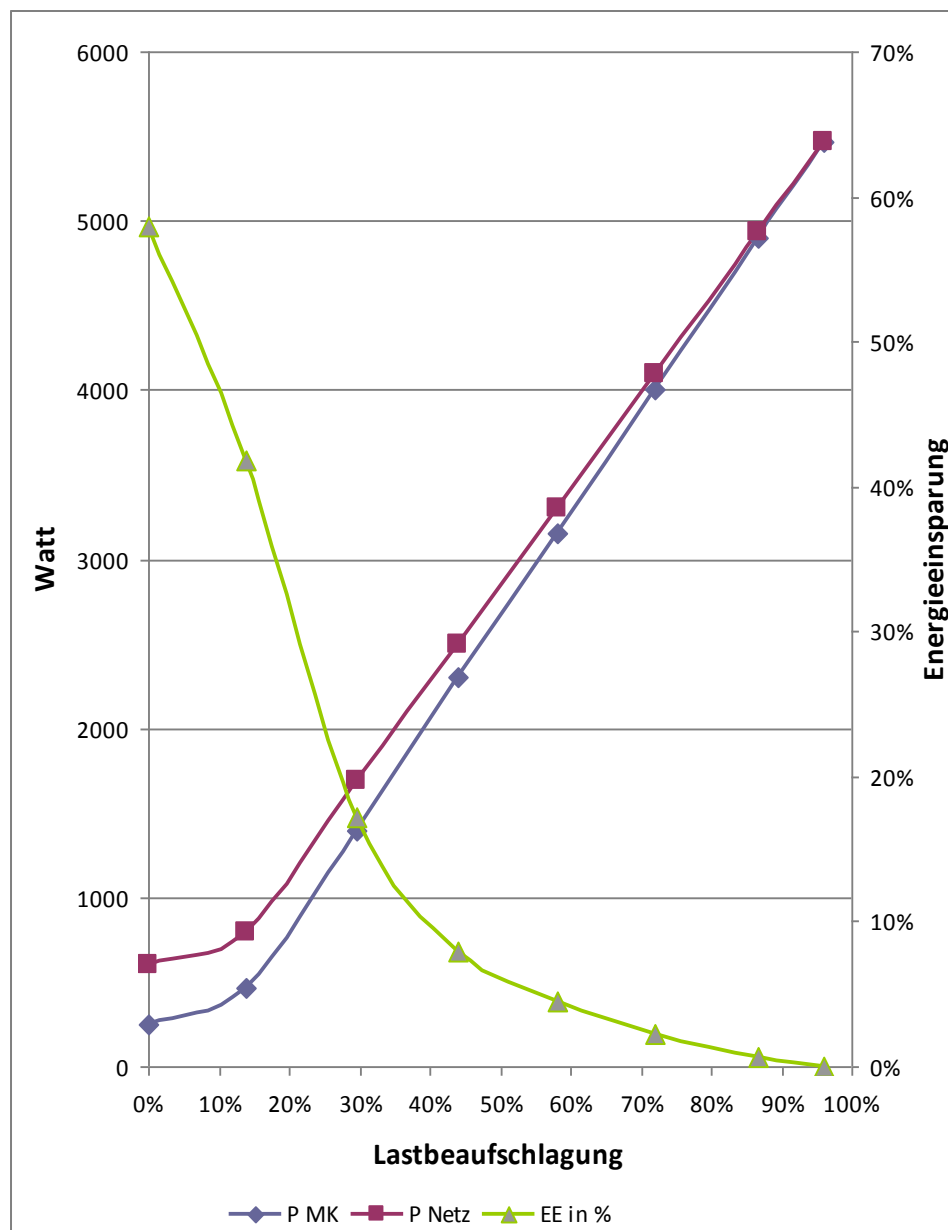


Abb. 2: Netzbetrieb vs. adaptiver Regler

Angaben beziehen sich auf einen Motor mit 5,5 kW mech. Nennleistung sowie einem Nenn $\cos \varphi$ von 0,87. Die Kurve der möglichen Energieeinsparungen verläuft von 58% (0% Last) über 4,55% (58% Last) bis hin zu 0% (96,1% Last).

Geräte für die Leistungsbereiche 22 – 75 kW sind bis zur Marktreife entwickelt worden. Geräte für die Leistungsbereiche runter bis zu 11 kW und rauf bis zu 500 kW sind in Planung und Entwicklung.

Die Aufgabenstellung zur Realisierung der festgelegten Ziele umfasste:

- Prüfung, Bewertung und Weiterentwicklung entsprechend den Marktanforderungen;
- Erweiterung der Hard- und Software hinsichtlich Netzmessfähigkeit im Bypass-Betrieb, Parametrierungsmöglichkeit mittels Display und Taster und Kommunikation mittels PROFIBUS;
- Prüfung der Einsatzmöglichkeiten von Scheibenthristoren;
- Durchführung weiterer Feldtests zur Feinanpassung der Software.

Die dem Fördermittelantrag der DBU zu Grunde liegende Phase der notwendigen Weiterführung unseres Entwicklungsvorhabens begann im März 2009 und wurde im September 2010 abgeschlossen.

Die Aufgabenstellung für die federführende MK-Regler GmbH, zusammen mit dem Kooperationspartner IAL, erstreckte sich von der Erarbeitung des Pflichtenheftes, über die Entwicklungsarbeiten im Hardware- sowie Softwarebereich, bis hin zu einer erfolgreichen Teamkommunikation, -kontrolle und -zusammenarbeit. Die hierzu geplanten, erforderlichen Arbeitsleistungen waren zu Beginn in insgesamt zehn Arbeitspaketen detailliert.

3. Entwicklungsergebnisse und Vorhabensdurchführung

3.1 AP Nr.1: Leistungsmanagement

Zielsetzung:

Die Leistungen des Arbeitspakets AP Nr. 1 sollen ein selbständiges Leistungsmanagement des Motorkontrollers ermöglichen. Zum einen soll die Integration von Display und Tastern die Endanwender in der Lage versetzen, die für die optimale Regelung notwendigen Motordaten selbst einzugeben. Zum anderen soll der Motorkontroller in die Lage versetzt werden, selbständig von Kontroller-Betrieb in Netz-Betrieb umzuschalten um Eigenverluste zu vermeiden.

3.1.1 Display / Zähler

Vorarbeiten:

Verschiedene Displays wurden hinsichtlich Technik und Kosten verglichen. Gewählt wurde das LCD: EA DOG M, Hersteller: EA.

Für das Display wurde ein Platinen-Prototyp entwickelt und getestet. Der dafür erstellte Stromlaufplan wurde in das Gesamtlayout eingepflegt. Dieses LCD beinhaltet die für die Auswertung der Energiesparregelung notwendigen Anzeigen. Weiterhin ist das Ablesen interner Daten möglich. LCD und Taster werden durch eine bedruckte Frontfolie abgedeckt.

Zur Inbetriebnahme des Displays und der Taster wurden folgende Schritte durchgeführt:

- Test der Kommunikations-Parameter für SPI-Bus (Baudrate, Clock-Polarity, Clock-Phase),
- Entwicklung und Test der Initialisierungs-Routine für SPI-Bus,
- Entwicklung und Test der Initialisierungs-Routine für das Display (Cursor, Clear, Home, Kontrast),
- Prüfen von String-Routinen zur Verwendung mit dem Prozessor,
- Erstellung einer Routine zum Schreiben eines Text-Strings in einer Display-Zeile,
- Modifizierung der Linker-Parameter zur Erhöhung des Speicherplatzbereiches für Programme,
- Erstellung einer Routine zur Umwandlung eines Integer in einen String,
- Erstellung einer Routine zur Umwandlung einer Fließkommazahl in einen String,

- Auswahl eines E2PROM für die Speicherung von Parametern und Totalisatoren,
- Erstellung einer Routine zur Berechnung des Langzeit-Energieverbrauchs aus den Momentanwerten der Wirkleistung.

Status Quo:

Die Hardware ist im Gehäusedeckel integriert und die Software zur Anzeige prozessrelevanter Informationen ist erstellt und funktioniert.



Abb. 3: Display und Tastatur

Nach Rücksprache mit dem Markt (Feldversuche, Kommunikation mit Kunden) wurde das Auslesen folgender Daten ermöglicht:

- Arbeit W: Akkumulierender Zähler in kWh
- Betriebsstunden h: Akkumulierender Zähler in h (hours)
- Wirkleistung P: Momentananzeige der benötigten Wirkleistung in kW
- Blindleistung Q: Momentananzeige der benötigten Blindleistung in kVar
- Spannung V_Line: Momentananzeige der anliegenden Netzspannung in V
- Spannung V_Mot : Momentananzeige der anliegenden Motorspannung in V
- Zustand Bypass: Momentananzeige Zustand Bypass ja / nein
- Fehler: Momentananzeige anliegender Fehler

Das Modul überwacht folgende Fehler:

- Drehfeld: Überprüfung der Zufuhrspannung auf Rechtsdrehfeld
- Spannung: Überprüfung der Zufuhrspannungshöhe, Toleranz $\pm 10\%$
- Strom: Überprüfung des Stromes auf Überschreitung des Nennstromes in Abhängigkeit der Zeit

- PLL (Phase-Locked-Loop): Überprüfung der Netzfrequenz, Toleranz 47Hz - 53 Hz
- Temperatur: Überprüfung des Moduls auf Temperatur, Voralarm bei Erreichen von 60° Celsius, Abschaltung (Bypassbetrieb) bei 65° Celsius

Das Auftreten eines Fehlers oder der Ausfall der Netzteilspannungsversorgung führen in keinem Fall zum Stillstand der Anlage / Produktion. Der Motorkontroller wird automatisch in den Bypass(Netz-)betrieb geführt, da der Bypasskontakt stromlos geschlossen konzipiert wurde.

3.1.2 Tastatur / Eingabe

Vorarbeiten:

Verschiedene Taster wurden hinsichtlich ihrer baulichen Eignung geprüft. Gewählt wurden drei Taster B3S-10012 der Firma Omron.

Zur Inbetriebnahme der Taster wurden die gleichen Arbeitsschritte wie beim Display durchgeführt.

Status Quo:

Zum Eingeben prozessrelevanter Daten sind drei Taster „P“, „E“ und „D“ im Gehäusedeckel integriert. Mittels dieser können für die Regelung erforderliche Parameter in vorkonfigurierten Matrizen abgelegt werden.

Die softwaremäßige Verknüpfung der Eingabeeinheiten erlaubt sowohl das Rücksetzen der im Display aufrufbaren Zähler, als auch die Eingabe von Parametern. Bei der Einstellung der Parameter wird unterschieden zwischen grundsätzlichen Eingaben, die stets zur einwandfreien Funktion des Motorkontrollers notwendig sind, und den im Individualfall anzupassenden Parametern, wenn die voreingestellten Defaultwerte die optimale Energieeinsparung auf Antrieb nicht gewährleisten.

Unterscheidungsebenen: Zählerrücksetzung, „Muss-Parameter“ und „Kann-Parameter“.

Zählerrücksetzung: Hier können alle akkumulierenden Zähler auf 0 zurückgesetzt werden.

„Muss-Parameter“: Die Eingabe der elektrischen Bemessungsleistung P_{el} und des Motorbemessungsstromes I_N ist zur optimalen Regelung und Stromüberwachung zwingend erforderlich. Aus diesem Grund sind diese beiden Werte in der Parameterliste an Position 1 und 2 abgelegt!

„Kann-Parameter“: Parameter, deren Änderungen der bestehenden Werkseinstellungen erforderlich für die Prozessbegebenheiten sein können.

„Kann Parameter“:

- T_{an} : Anlaufzeit des Motors, abhängig von der gewählten Startspannung
- T_{aus} : Sanftstoppfunktion für den Motor, bei Wert 0 kein Sanftstopp
- T_{verz} : Verzögerung Motorstart
- U_{start} : Startspannung Motor
- U_{min} : Motormindestspannung, abhängig von der anstehenden Last im Startmoment
- Feste Kennlinie: Einstellen bei häufig fluktuierenden Lasten mit kleinen Änderungen
- K1, K2, K3: Parameter mit Einflussnahme auf die Lastsprungdetektion
- Bypass ja / nein: Deaktivierung Bypass in der Regelung (nicht im Fehlerfall!)
- P_{Bypass} : Manuelle Festlegung der Bypass-Schwelle im Regelbetrieb

3.1.3 Bypass-Aktivierung

Vorarbeiten:

Programmiert wurde ein „intelligenter“ Bypassbetrieb (Netzbetrieb). Die Software wurde dahingehend angepasst, dass der Bypassmodus nicht mehr nur im Fehlerfall oder bei einem vorher festgelegten Wert der Lastbeaufschlagung hergestellt wird. Die neue Software ermöglicht dem Motorkontroller, selbstlernend die energetisch sinnvolle Aktivierung des Bypassmodus anhand der ermittelten Messdaten.

Status Quo:

Beim erstmaligen Starten (Start Up) des Antriebs berechnet der Motorkontroller seinen Umschaltzeitpunkt auf Bypassbetrieb nach den eingestellten Parametern P_{el} und I_N mit einer Schwelle von 60% der Bemessungslast. Nach der Umschaltung werden die Leistungsdaten mit denen kurz vor dem Umschaltzeitpunkt verglichen. Bei Feststellung einer negativen Bilanz gegenüber dem vorherigen Zustand wird der Punkt nach oben (>60%) verschoben, bei Feststellung einer positiven Bilanz gegenüber dem vorherigen Zustand nach unten (<60%). Dieser Vorgang wird bei jeder Umschaltung angepasst, bis die Software den optimalen Umschaltzeitpunkt berechnet hat. Die Praxis hat gezeigt, dass die zu berechnende Aktivierung der Bypass-Schwelle großen Schwankungen unterliegt. Je nach Motor- oder

Prozessparametern kann sie zwischen 43% und 72% variieren. Der Vorteil dieser adaptiven Berechnung liegt darin, dass ein Wechsel des Antriebs, mit anderen Motorparametern, oder eine Änderung des Prozessablaufs zu einer neuen Berechnung und somit zum energetisch optimalen Umschaltzeitpunkt führt. Softwaremäßig wurden der Bypassaktivierung Sicherheiten hinzugefügt: Die Anforderung auf Umschaltung unterliegt einer Hysterese (800ms), um ständiges „switchen“ zu vermeiden und die unterschiedlichen Schaltzeiten von Schützen wurden berücksichtigt: Ein Zündungsstop der Thyristoren erfolgt erst nach gesicherter Aktivierung.

3.1.4 MK-Aktivierung

Vorarbeiten:

Es wurden die gleichen Arbeitsschritte wie bei 3.1.3 Bypass-Aktivierung durchgeführt.

Status Quo:

Die Rückschaltung auf den Regelbetrieb unterliegt den gleichen Kriterien wie unter Punkt 3.1.3 aufgeführt. Die Thyristoren werden während der Rückschalthysterese gezündet, um am bestehenden Leistungsschutz keine unterschiedlichen Potentiale zu erzeugen. Das Schütz wird somit leistungslos geschaltet, was die Lebensdauer entscheidend erhöht. Diese „Vorzündung“ ist ebenfalls bei Anwahl einer festen Bypass-Schwelle aktiv.

3.1.5 Hardware Netzbetrieb

Vorarbeiten:

Um die softwaremäßigen Anforderungen nach 3.1.3 und 3.1.4 umzusetzen, wurde die Hardware adaptiert.

Status Quo:

Zur Vermessung der Leistungsdaten unter Netzbetrieb verfügt das Modul über zusätzliche Stromschienen und die erforderliche Klemmenanzahl (9 statt 6). Die Erfassung des Stromes erfolgt über Präzisionssensoren, die in der Netzzuleitung angeordnet sind. Zur Erfassung der Motorspannung, neben der Netzspannung, wurden zusätzliche Widerstandsketten in die Platine integriert. Weiterhin wurden die entsprechenden Eingänge im AD-Wandler des Prozessors programmiert.

Die Umschaltung zwischen Netz- und Motorkontroller-Betrieb wurde erfolgreich getestet.

3.2 AP Nr.2: Software Analog / Digital

Zielsetzung:

Der Motorkontroller soll selbständig erkennen können, ob ein dynamisches Lastverhalten (PID-Regelverhalten) oder eine Punktregelung vorliegt. Je nach vorliegendem Lastverhalten soll er seine Regelparameter anpassen können.

Vorarbeiten:

Die ursprüngliche Planung sah eine automatische Kennung von Zwei-, Drei- oder Mehrpunktregelungen vor. In diesem Fall sollte der Motorkontroller selbstständig von der stetigen analogen Regelung auf Festpunktregelung umschalten. Dies erwies sich in der Praxis als nicht realisierbar: In den anzufahrenden Hauptregelpunkten, die zum Teil auch zeitlich stationär für eine Einregelung geeignet waren, schwankte die Lastbeaufschlagung oftmals noch derart, dass die Software „neue“ Regelpunkte erkannte. Da auch bei anderen Lastverläufen immer wieder festgestellt wurde, dass ein „quasi stationärer Zustand“ noch Lastschwankungen aufweisen kann, die zu einer unerwünschten, energetisch negativen Reaktion führen können, wurde eine andere Lösung erarbeitet.

Status Quo:

Die beschriebene Problematik wurde mit der softwaremäßigen Integration einer, wahlweise einstellbaren, festen Kennlinie gelöst.

Durch Anwahl der festen Kennlinie und der Anpassung der dazugehörigen Steilheit, kann der Kunde die am Motor anliegende Spannung in den verschiedenen Lastpunkten vorgeben. Dies führt zusätzlich dazu, dass auch Motoren mit kleinen, schnellen Laständerungen, die von einer analogen, adaptiven Regelung nicht beherrscht werden können, energetisch sinnvoll und stabil betrieben werden können. Durch die integrierte, automatische Spannungsstabilisierung, die auch kleinste Schwankungen berücksichtigt, konnte unter dem Betrieb „Feste Kennlinie“ sogar größere Stabilität als am Netz erreicht werden (vgl. Abb.4 und Abb.5). Von der festen Kennlinie unabhängig ist stets die programmierte Lastsprungkennung. Auch in diesem Modus wird dem Motor bei schlagartiger Lasterhöhung sofort die volle Netzspannung zugeführt, um das Kippmoment des Motors zu vermeiden.

Die Lösung wurde erfolgreich getestet.

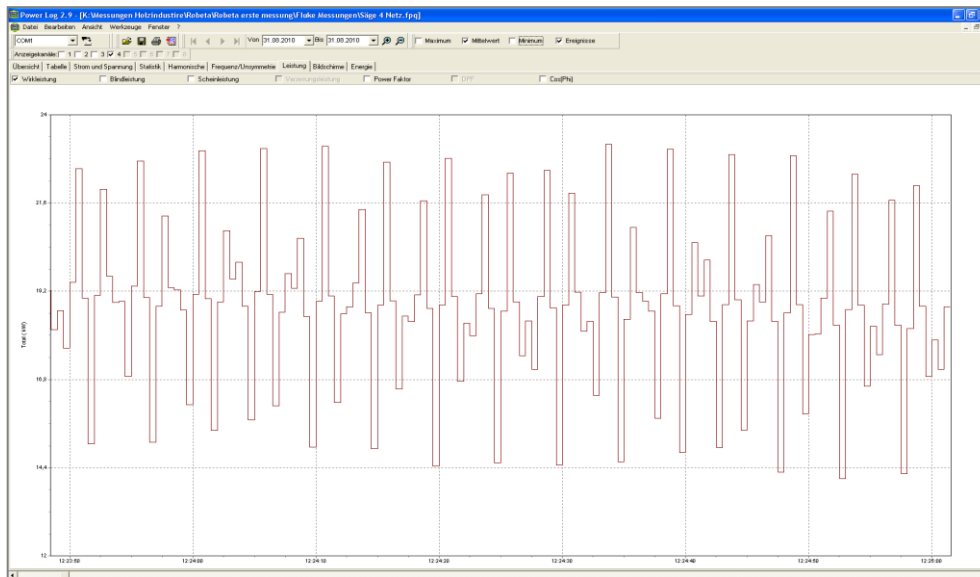


Abb. 4: Die Abbildung zeigt den Lastverlauf einer Holzsäge (75 kW) unter Netzbetrieb

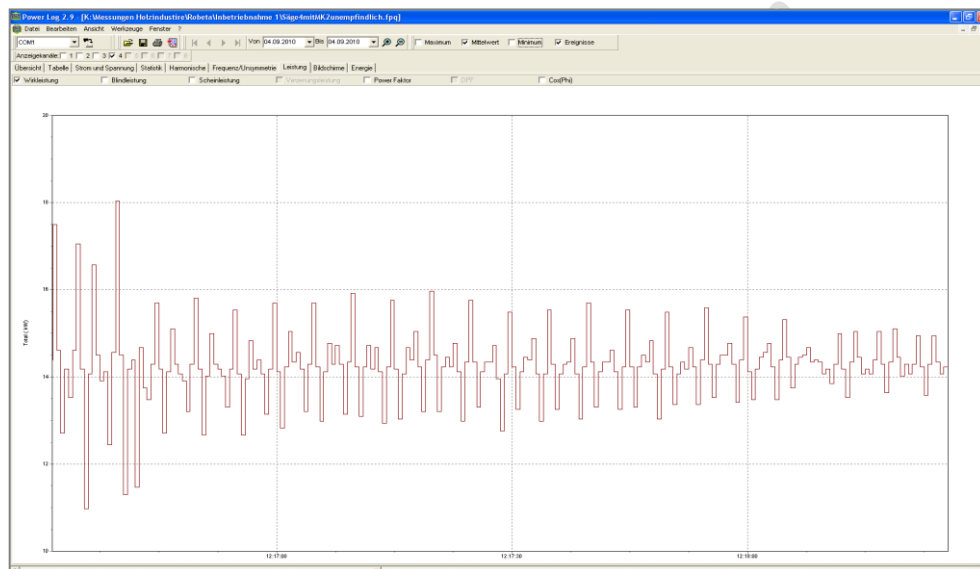


Abb. 5: Die Abbildung zeigt den gleichen Antrieb unter MK-Betrieb. Deutlich ist die Reduzierung der Lastschwankungen zu erkennen

3.3 AP Nr.3: Motorprüfstand

Zielsetzung:

Hardwaremäßige Entwicklung und Programmierung der relevanten Software zur Konstruktion eines geeigneten Motorprüfstandes für Software-Test und -Entwicklung sowie für die Ausgangskontrolle fertiger Motorkontroller.

3.3.1 Prüfsoftware / Protokoll

Vorarbeiten und Status Quo:

Die Schwierigkeit der Erstellung der Prüfsoftware lag in der Reproduktion von realen Prozessbedingungen. Folgende Fälle mussten abgedeckt werden:

1. Stetiges, schwachdynamisches Lastverhalten
2. Plötzliches, hochdynamisches Lastverhalten
3. Volllastsprünge (<10% auf >100%)
4. Synchronisation Bypassaktivierung
5. Synchronisation Rückschaltung von Bypass auf Regelbetrieb
6. Fehlersimulation und erforderliche Reaktion
7. Routinen Prüfung Ein- und Ausgänge
8. Protokoll

Zu 1: Um die adaptive Einregelung des energetisch optimalen Punktes zu verifizieren, wird am Motorprüfstand das Lastband in 2%-Schritten mit veränderbaren Zeiteinheiten getestet. Um das "Greifen" der Regelung zu kontrollieren, wurde das Testprogramm als Sinusfunktion abgelegt. Somit wird auch eine Regelumkehrung (Lasterhöhung auf Lastverminderung oder umgekehrt) abgedeckt.

Zu 2: Zum Testen der festen Kennlinie werden den quasi stationären Zuständen wie unter Punkt 1 kleine Lastsprünge hinzugefügt.

Zu 3: Zur Kombination aus 1 und 2 werden kurze Volllastsprünge auf 110% in verschiedenen Punkten der Lastbeaufschlagung realisiert. Damit werden die Lastsprungkennung und die maximale plötzliche Spannungszugabe getestet.

Zu 4 und 5: Die anfänglich vorgegebene Bypass-Schwelle von 60% wird kontrolliert. Der am Prüfstand eingesetzte Motor schaltet energetisch sinnvoll bei 53% in den Bypass. Durch ständiges Erhöhen und Vermindern der Lastbeaufschlagung von

40% bis 70% (41%-69%, 42%-68% etc.) wird kontrolliert, ob die Software den optimalen Umschaltpunkt erkennt.

Der Umschaltpunkt unterliegt einer Hysterese, um ein zu häufiges „switchen“ von Antrieben, die gerade unter dieser Lastbeaufschlagung arbeiten, zu vermeiden. Dies bedeutet, der Motorkontroller erkennt seinen optimalen Umschaltpunkt für Bypassbetrieb bei 53%, schaltet aber erst bei 55% in den Bypass. Die dadurch entstehenden Verluste sind marginal. Im Umkehrschluss übernimmt der MK erst bei 51% wieder die Regelung. Unabhängig von der Lasthysterese ist eine übergeordnete Zeithysterese. Hier wird den üblichen, unterschiedlichen Ansprech- und Abfallzeiten von Leistungsschützen mit einer Verzögerungszeit Rechnung getragen.

Zu 6: Die Fehlersimulation wird überwiegend hardwaremäßig durchgeführt.

Temperatur: Mit einem Heißlüfter wird der Kühlkörper erwärmt. Bei Erwärmung auf 60° wird der Alarmkontakt „Temperaturwarnung“ aktiviert. Im AD-Wandler wird der Wert verifiziert. Bei 65° muss das Modul den Bypassbetrieb herstellen. Auch dieser Wert wird mittels J-TAG Adapter ausgelesen. Zur Überwachung wird bei jedem Modul ein Fühler mit geeichtem Thermometer neben dem serienmäßigen Fühler angebracht.

Spannungsfehler: Durch Abschaltung eines Leitungsschutzschalters wird der Fehler simuliert und muss beim Motorkontroller zu Bypassaktivierung führen. Dies ist bewusst derart realisiert, weil ein Phasenausfall in der Praxis zur gleichen Konsequenz führt: Durch den damit herrschenden 2-Phasenlauf muss die Überstromeinrichtung (Motorschutzschalter, Bi-Metall) ansprechen. Damit ist ebenfalls ein Gerätefehler ausgeschlossen: Bei Fehlmessung des Motorkontrollers wird Bypassbetrieb hergestellt, die Überstromschutzeinrichtung spricht nicht an.

Stromfehler: Wie bei Spannungsfehler. Weitere Maßnahmen: Bewusste Eingabe eines zu niedrigen Motorbemessungsstromes oder Abziehen des Steckers der Platine mit den Stromsensoren. Der Prüfmodus sieht vor, dass eine der drei gegebenen Möglichkeiten durchlaufend bei jedem Modul getestet wird. Jeder der drei Fälle führt zur Aktivierung des Bypasses.

Drehfeldfehler: Beim ersten Anschluss des Moduls werden bewusst zwei Phasen vertauscht. Der Motorkontroller muss den Fehler anzeigen und den Motorstart sperren.

PLL Fehler: Die Netzsynchronisation (Abgleichung des Mikroprozessortaktes auf eventuell abweichende Netzfrequenz von 50 Hz) wurde erfolgreich beim IAL Berlin getestet. Im Prüffeld der MK-Regler GmbH liegt eine derartige Prüfmöglichkeit nicht vor.

Zu 7: Die Prüfung der Ein- und Ausgangsroutinen unterteilt sich in Soft- und Hardwareprüfung. Mittels Programm werden in einer bestimmten Reihenfolge die Ausgänge mit den dazugehörigen LEDs getaktet. Gleichzeitig werden die Ausgänge mit Koppelrelais belastet, die ebenfalls eine optische Anzeige betreiben. Gleichzeitig werden die Lastkreise der Relais potentialfrei auf die Eingänge gelegt. Via J-TAG können die Stati ausgelesen werden.

Damit sind sämtliche Ein- und Ausgangskomponenten hardwaremäßig geprüft. Die Belastungsfähigkeit des Netzteils ist mit dieser Prüfung (gleichzeitige Aktivierung und Belastung der zur Verfügung stehenden Ausgänge bei voller Zündung) verifiziert.

Zu 8: Die unter Punkt 1-7 durchgeführten Prüfungen werden automatisch protokolliert. Ausnahme sind die Hardwareeingriffe, die auf erstellten Formblättern abgezeichnet werden.

Jedes Modul unterliegt zwei Testläufen. Bei Kongruenz beider Läufe ist eine optimale Regelung gewährleistet. Darüber hinaus werden beide Kurven mit einer vorher ermittelten Standardkurve verglichen, um zu vermeiden, dass trotz Kongruenz die energetisch optimalen Punkte nicht eingeregelt wurden.

3.3.2 Hardware Mehrfachprüfung

Vorarbeiten und Status Quo:

Durch Optimierung der Prüfsoftware und Anpassung der Hardware konnte die Zeitintensität der Einzelprüfung entscheidend reduziert werden. Ein Versuchsaufbau mit drei Modulen, die „gleichzeitig“ geprüft werden, wurde umgesetzt. Mittels eines gesteuerten Leistungsschalter wurden die Motorkontroller nacheinander geschaltet. Unabhängig vom teilweise nicht überschaubaren Verdrahtungsaufwand brachte diese Anbindung keine Zeitersparnis. Da jedes Modul den betriebenen Antrieb individuell einregelt, muss der Prüfvorgang nacheinander stattfinden. Der zeitliche Mehraufwand gegenüber einer Einzelverdrahtung stand in keinem sinnvollen Verhältnis. Hier war die

Gestellung von Hilfsmitteln und Erstellung von Arbeitsanweisungen / Vorschriften effektiver.

3.4 AP Nr.4: Fernabfrage Leistungsdaten

Zielsetzung:

Entwicklung einer Möglichkeit zur Fernabfrage

Vorarbeiten und Status Quo:

Da die Fernabfrage aus Kostengründen nur optional zur Verfügung stehen soll und auf der anderen Seite diverse Bus-Systeme zum Einsatz kommen, fiel die Entscheidung auf eine optionale Zusatzbaugruppe, die den Datenaustausch auf das konkrete Bus-System realisiert.

Die Realisierung erfolgte zunächst mit Hilfe eines marktüblichen Kommunikations-IC für den PROFIBUS. Die Kommunikation mit dem Kommunikations-IC erfolgt über die RS232-Schnittstelle des Motorkontrollers. Hierfür wurde das notwendige MODBUS-Protokoll mit Prüfsummenvergleich in der Software des Motorkontrollers integriert. Der Datenaustausch erfolgt innerhalb einer festen Zykluszeit.

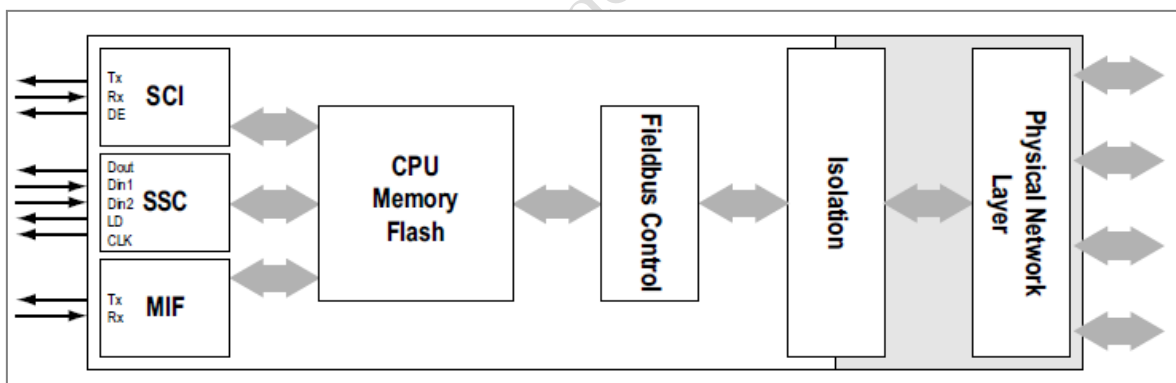


Abb. 6: Schema Kommunikation Motorkontroller-PROFIBUS

Das Kommunikations- IC übernimmt nach einem entsprechenden Memory-Mapping die Umsetzung auf den PROFIBUS DP. Der Hersteller des IC bietet weitere Kommunikations-IC an, so dass eine spätere Umsetzung z.B. auf Ethernet mit geringem Aufwand möglich ist.

Die Entwicklung der Software erfolgt zunächst auf Basis eines Evaluation Boards. Nach erfolgreicher Implementierung der Software wurde eine Baugruppe entwickelt, die nur die für diese Anwendung benötigten Komponenten beinhaltet. Diese Baugruppe wird über den 9-poligen Sub-Min-D-Stecker angeschlossen.

Die Verifikation erfolgte mittels einer S7 Steuerung unter Benutzung der weit verbreiteten Software WinCC.

Die Kommunikation mit dem Feldbus-System kann sich wahlweise auf eine reine Diagnose beschränken oder aber auch die komplette Steuerung übernehmen.

3.5 AP Nr.5: Netzteilerweiterung

Zielsetzung:

Die derzeit am Markt verfügbaren Stromwandler welche die für den Motorkontroller notwendige Genauigkeit aufweisen benötigen unterschiedliche Referenzspannungen und besitzen unterschiedliche Messausgänge (Spannung/Strom). Dies erfordert die Adaption des Netzteils an unterschiedliche Referenzspannungen der Stromsensoren.

Vorarbeiten und Status Quo:

Dieser Punkt gliedert sich in drei Teile: Die Netzteilerweiterung, die bauliche Konstruktion, um die Netzmessfähigkeit bei deaktivierter Zündung zu gewährleisten und die optionale Ansteuerung von Lüftereinheiten.

1. Netzteilerweiterung

Den Anforderungen des Marktes entsprechend musste das bestehende Netzteil (5V) durch ein „Double-Netzteil“ ersetzt werden, welches die in der Praxis überwiegend erforderlichen 24V generiert. Auch die umgesetzte Fernabfrage der Leistungsdaten (siehe Punkt 3.4) setzte dies voraus. Da auch die Anzahl der bisher zur Verfügung gestellten Ausgänge marktgerecht angepasst werden musste, war das Netzteil mit entsprechender Leistung zu konzipieren. Unter Berücksichtigung der erforderlichen Schutzklasse und der damit verbundenen, kostenpflichtigen Zertifizierung wurde ein konfektioniertes Netzteil (Schutzklasse A) gewählt. Die Pufferung zur Spannungsstabilisierung wurde hardwaremäßig auf dem Main-Board angepasst. Durch Laborprüfungen beim IAL wurde ein Netzteil gefunden, welches selbst im höchsten Belastungsmoment (Dauerzündung bei Aktivierung sämtlicher Ausgänge) keinen den Prozess negativ beeinflussenden Effekt hat (kurzzeitiger Spannungseinbruch). Das Netzteil der Fa. Dehner erfüllte darüber hinaus die räumlich bedingten Anforderungen (Lochrastergehäuse, Einbaulage variabel, damit optimale Wärmeabfuhr).

2. Konstruktionsänderung

Um die Netzmessfähigkeit bei inaktiver Zündung (Bypassbetrieb) zu gewährleisten, wurden die Präzisionsstromwandler in die Zuleitung integriert. Das Modul wurde mit der entsprechenden Anzahl an Kupferschienen und Klemmen ausgerüstet (9 statt 6).

3. Ansteuerung von Lüftereinheiten

Das vorher zur potentialfreien Bypassaktivierung genutzte Relais wird bei der Lüfterversion zur Steuerung der Lüftereinheiten genutzt. Eine entsprechende Umverdrahtung ist umgesetzt. Die Bypassklemmen 9 und 10 sind verblieben, aber in diesem Fall nicht mehr potentialfrei (24V / N), so dass im Bedarfsfall ein externes Koppelrelais eingesetzt werden muss.

3.6 AP Nr.6: Scheibenthristoren

Zielsetzung:

Bei höheren Strömen erscheint der Einsatz von Scheibenthristoren sinnvoll. Da diese am Gehäuse spannungsführend sind, bedarf es entsprechender Konstruktionsänderung des Moduls.

Vorarbeiten:

Der Einsatz von Scheibenthristoren offenbarte große Schwierigkeiten. Anode und Kathode sind spannungsführend offen als Metallflächen ausgeführt. Um die elektrische Isolation bei gleichzeitiger Wärmeabführung zu gewährleisten, muss ein zu hoher und zu kostenintensiver mechanischer Aufwand betrieben werden. Recherchen ergaben, dass die Entwicklung der bisher eingesetzten antiparallelen Thyristormodule vorangetrieben wurde. Mittlerweile werden auch Leistungsklassen bis 500kW von diesen Kompaktversionen abgedeckt.

Status Quo:

Der Einsatz von Scheibenthristoren wurde somit aus den genannten Gründen verworfen.

3.7 AP Nr.7: Feldmessungen

Zielsetzung:

Prüfung, Verifikation und Optimierung des Geräts unter Feldeinsatzbedingungen.

3.7.1 Kompressoren

Die bei Kompressoren (Scheiben-, Schrauben- und Kolbenkompressoren) schlagartig auftretenden Lastbeaufschlagungen (Beispiel Scheibenkompressor Fa. Atlanta, (vgl. Abb.7), teilweise auf >100%, führten anfangs oftmals zum Stillstand (Kippen) des Antriebs. Die notwendigen Softwareadaptionen beinhalteten die Integration von speziellen, um den Faktor 10 schnelleren Filterschaltungen. Diese werden nur als „Feuerwehr“ zur Kennung von Volllastsprüngen ausgewertet. Zu Testzwecken wurde hierzu ein Kolbenkompressor der Fa. Sender mit Ventilen ausgerüstet, um diese Volllastsprünge zu reproduzieren. Nach erfolgreichem Abschluss der Testphase wurde die Funktionalität bei Fa. Atlanta verifiziert: Der Motorkontroller kann die Lastsprünge problemlos ausregeln.

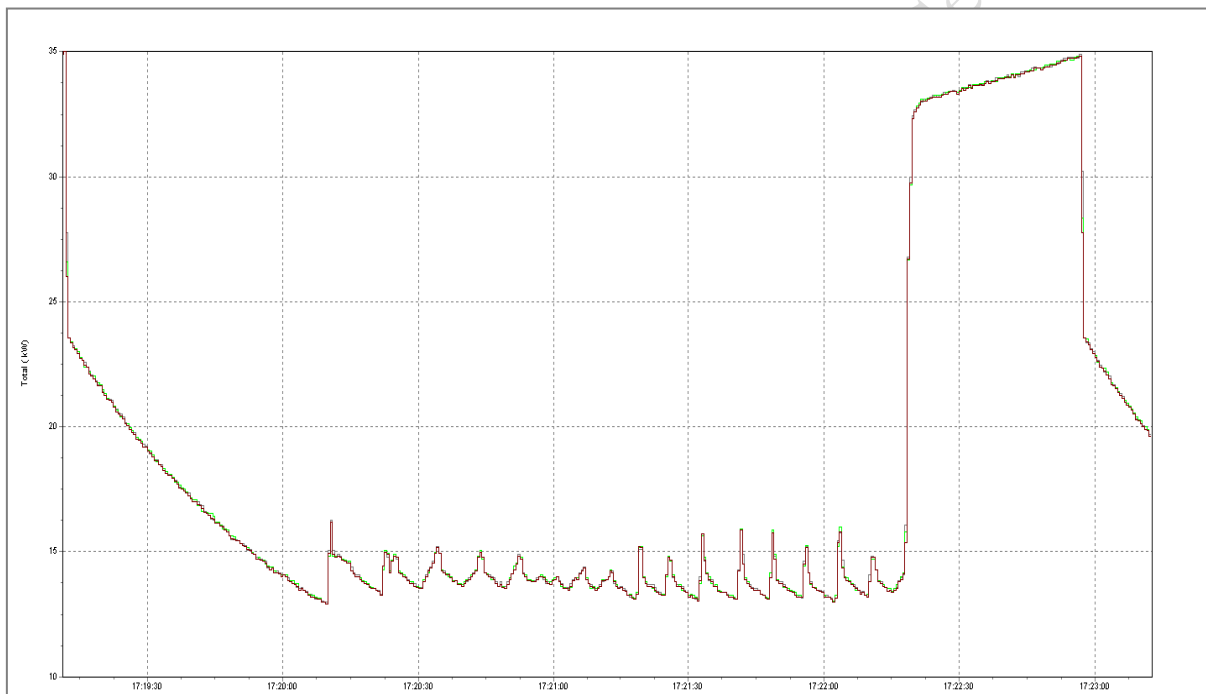


Abb. 7: Typischer Lastverlauf eines Kompressors (30kW) mit dem Sprung von „Leerlaufphase“ auf Belastungsphase (>100 %)

3.7.2 Spritzgussantriebe

Am eingefügten Beispiel eines Lastverlaufs einer Spritzgussanwendung (vgl. Abb.8) lässt sich der sinnvolle Einsatz der „Festen Kennlinie“ erkennen. Derartig hochdynamisches Lastverhalten ist mit einer freien Regelung nicht sinnvoll zu beherrschen, da die stationären Punkte zeitlich nicht ausreichend anstehen. Mit Anwahl der festen Kennlinie wird die Spannungshöhe in Abhängigkeit der Leistungsänderung fest vorgegeben. Dies geht marginal zu Lasten der Energieeinsparung.

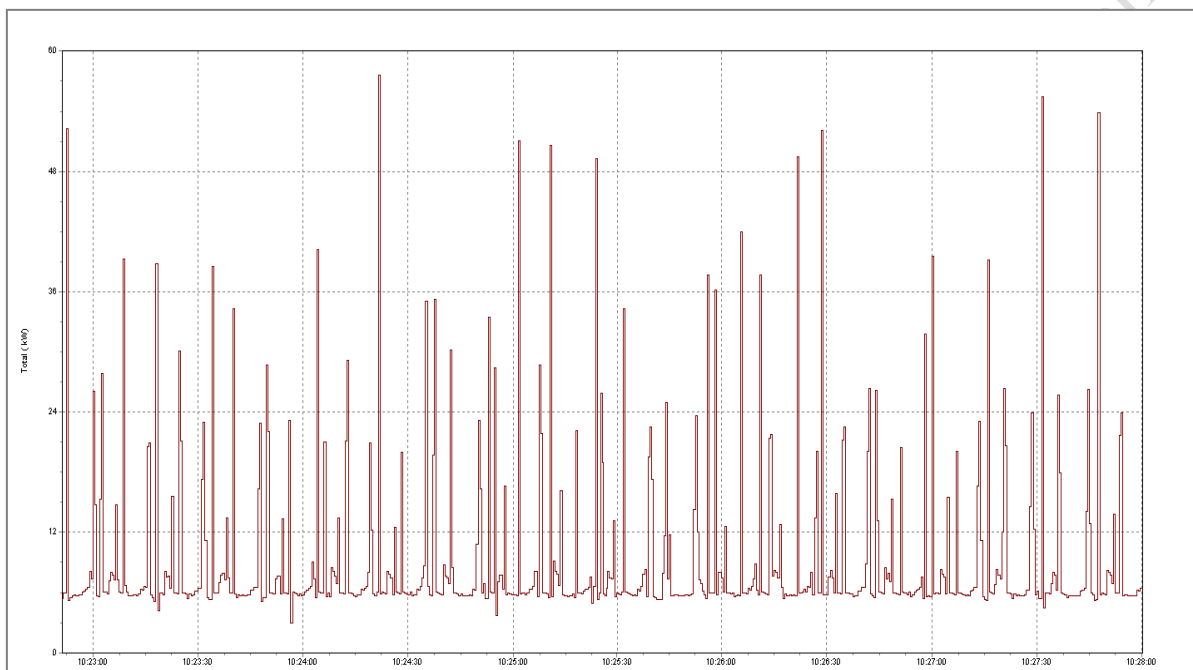


Abb. 8: Hohe, zeitlich asymmetrische Lastsprünge erfordern die Regelung mit fester Kennlinie

3.7.3 Pumpenantriebe

An einer Hydraulikpumpe in Filakovo (Slowakei), die zum Antrieb einer Presse genutzt wurde, trat ein weiteres Problem auf: Bei langsam, stetig steigender Last und einem dann plötzlich auftretenden Lastsprung konnte die bis dahin vorgesehene Stellschraube U_{diff} (Spannungsdifferenz von Netz- zur Motorseite) diesen nicht detektieren. Hier musste ebenfalls softwaremäßig nachgebessert werden: Bei Überschreitung einer bestimmten Leistungsdifferenz in Abhängigkeit einer bestimmten Zeit wird die Lastsprungerkennung, unabhängig von der Arbeitspunkthöhe des Motors, aktiviert. Dies führte zur Lösung des geschilderten Problems. Zur Veranschaulichung ist eine Auswertung der Ergebnisse in Filakovo angehängt (vgl. Anhang), die auch das Einsparpotential des Motorkontrollers dokumentiert.

3.7.4 Schweranläufer

Bei Feldversuchen wurde die Einsatzmöglichkeit des Motorkontrollers bei Schweranläufern verifiziert. Das Beispiel von zwei Lüftereinheiten (vgl. Abb.9 und Abb.10) zeigt, dass der Strom- und Leistungsbedarf durch Einsatz des MK entscheidend gesenkt werden konnte. Eine wesentliche Verbesserung stellte auch der mit dem Modul für den Kunden einfach zu parametrierende zeitliche Versatz der Anläufe dar, die vorher zeitgleich gestartet wurden und somit zeitgleich ihre Spitze generierten.

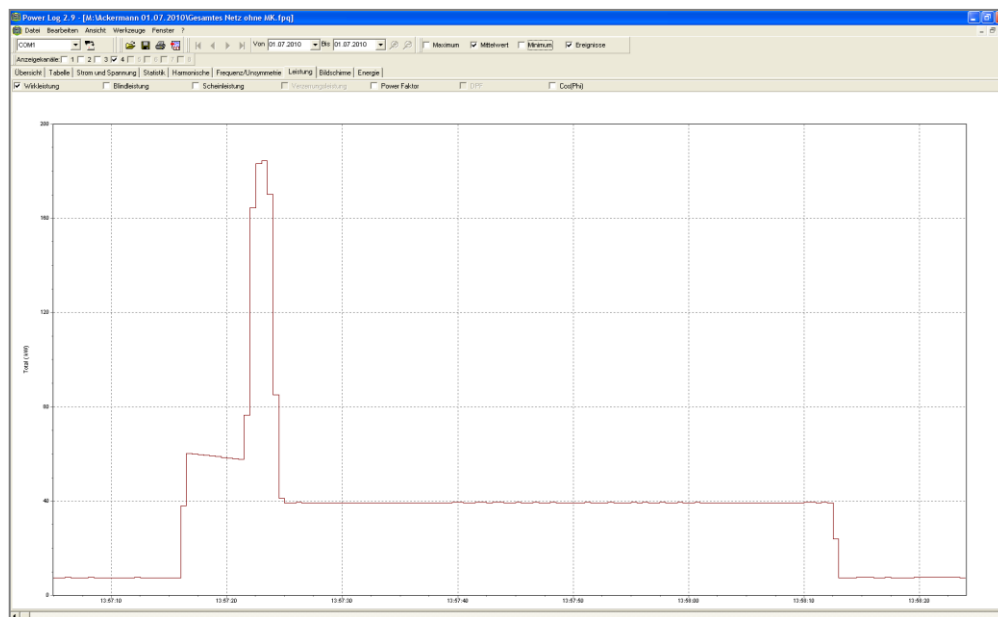


Abb. 9: Anlauf beider Lüfter zeitgleich (30kW) unter Stern-Dreieck-Schaltung

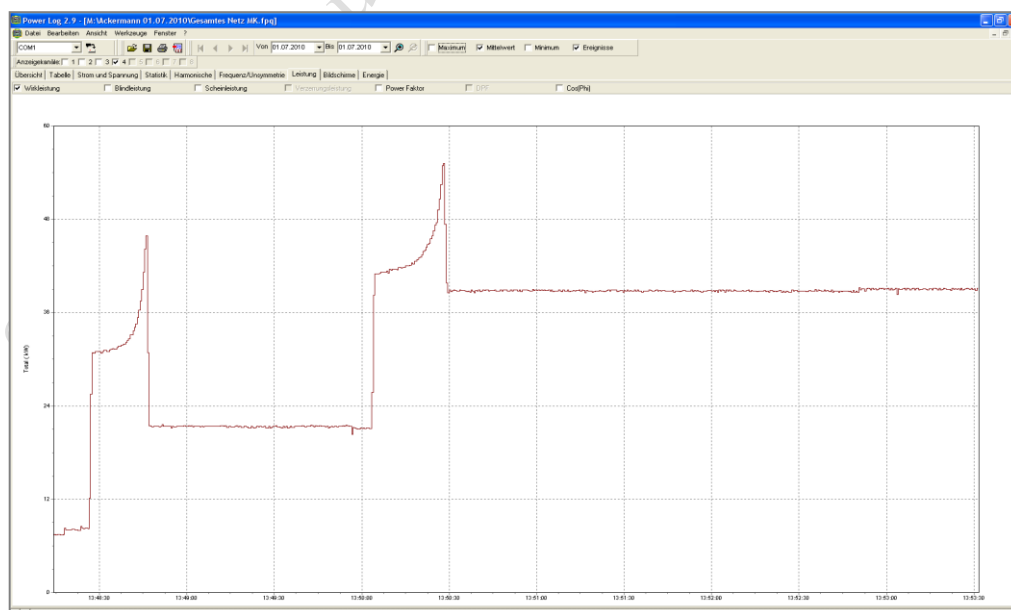


Abb. 10: Anlauf beider Lüfter zeitversetzt unter MK-Betrieb: Deutliche Absenkung der Leistungsspitze gegenüber Stern-Dreieck

Eine weitere Problematik offenbarte sich an einer Holz-(Band-)säge in Milmersdorf: Bisherige Versuche, den Antrieb mit Sanftanläufern zu betreiben, scheiterten. Die ständig wechselnden Parameter (Zustand Sägeblatt, Spannung Sägeblatt, veränderliche Biegsamkeit durch veränderte Temperatur etc.) ließen keine generell funktionierende, feste Einstellung von Anlaufparametern zu. Entweder löste die Motorschutzeinrichtung aus, da der Motor in der vorgegebenen Zeit aufgrund der sich geänderten Bedingungen nicht auf volle Drehzahl beschleunigt hatte, oder die verwendeten Geräte brachen den Anlauf ab, weil der vorgegebene Anlaufstrom überschritten wurde. Hier konnte mit unserem Modul Abhilfe geschaffen werden. Die Software wurde derart geändert, dass die bestehende Stern-Dreieck-Kombination den Anlauf durchführt und die Motorregelung nach Hochlauf der Maschine vom MK übernommen wird.

3.8 AP Nr.8: Störschutzmaßnahmen

Zielsetzung:

Ermittlung eventuell auftretender Störungen und Erarbeitung relevanter Gegenmaßnahmen.

3.8.1 – 3.8.3 EMV, Funkenstörung, Störstrahlung passiv

Unter Zuhilfenahme eines in Berlin ansässigen Labors konnte eine Entstörschaltung entwickelt werden, die die EMV entscheidend verbessert (im Anhang). Der MK liegt im Bereich der gesetzlichen Normen (im Anhang).

3.9 AP Nr.9: Dokumentation

Die Dokumentation des gesamten Projektverlaufs wurde zeitnah geführt. Aus Gründen der Reproduzierbarkeit wurden sämtliche Abläufe, Änderungen oder Anpassungen mit Erstellungsdatum archiviert.

3.10 AP Nr.10: Projektleitung / Teamworkshops

Alle projektrelevanten Maßnahmen / Auswertungen / Änderungen und Adaptionen wurden im Rahmen von Teamworkshops abgesprochen und schriftlich fixiert. Der Projektleitung oblag es, die beim IAL Berlin gewonnenen wissenschaftlichen Erkenntnisse sowohl hardware- als auch softwaremäßig in die Praxis umzusetzen. Die Terminvorgaben erfolgten unter Berücksichtigung der Machbarkeit.

4. Bewertung der Vorhabensergebnisse

Unternehmensziele umfassen heute u.a. Zielgrößen wie Kostenminimierung, Umweltbewusstsein, Imagepflege und Innovation auf die viele Unternehmen ihr Handeln ausrichten. Eine umweltbewusste und emissionsarme Produktion fängt unmittelbar mit dem Energieverbrauch an. Hier lassen sich nicht nur Ersparnisse durch Reduzierung der Energiekosten realisieren, zusätzlich können auch die Kosten im Rahmen des Emissionshandels reduziert werden. Darüber hinaus werden Maßnahmen zur Reduzierung von Verbrauch und Emissionen im Rahmen eines umweltbewussten Unternehmensauftritts zu einer externen wie internen Imageverbesserung beitragen.

Mit Sanftstartern und Frequenzumrichtern gibt es bereits zwei Energiesparlösungen auf dem Nachrüstmarkt für asynchrone Elektromotoren. Diese stellen den Stand der Technik dar, mit dem der in diesem Entwicklungsprojekt entwickelte MotorKontroller hinsichtlich technologischer Funktionalität, Einsatzmöglichkeiten, Wirtschaftlichkeit und ökologischer Relevanz verglichen werden muss.

Die einzige Funktion von Sanftstartern ist die graduelle Erhöhung der Spannung über eine Zeitachse, bis zum Erreichen der Nenndrehzahl. Hintergrund ist die Vermeidung von Stromspitzen und von mechanischen Schlägen auf die Lager im Anlauf. Einsparungen im laufenden Betrieb sind konstruktionsmäßig nicht realisierbar, daher wird nach Erreichen der Nenndrehzahl der Sanftstarter gebrückt, um Eigenverluste zu vermeiden. Grundsätzlich kann ein Sanftstarter mit allen Antrieben, welche auf Netzfrequenz mit Nenndrehzahl laufen, eingesetzt werden. Der derzeitige Marktanteil liegt bei ca. 3%.

Frequenzumrichter variieren Netzfrequenz und Netzspannung. Mit diesem Verfahren können unterschiedliche Drehzahlen/Leistungen generiert werden. Drehzahl und Drehmoment (an Welle abgegebene mechanische Leistung) stehen in direktem Zusammenhang. Eine Absenkung der Drehzahl führt somit zu einer Verringerung des Drehmomentes. Vereinfachtes Beispiel: Bei Anwendungen, die verminderte Drehzahlen erfordern, wird somit auch nur verminderte Leistung eingesetzt. Lediglich voll rückspeisefähige Frequenzumrichter können Energie einsparen, werden aber von den Anschaffungskosten her erheblich über den Kosten eines MotorKontrollers liegen. Weiterhin sind Frequenzumrichter aufgrund von steilen Flankenanstiegen der Spannungen und Ströme (keine Sinusform sondern rechtwinkliger Anstieg zur Nullachse durch Pulsweitenmodulation) für Motoren älter als 5 Jahre nicht geeignet, da die Isolation den steilen Flankenanstiegen nicht standhält. Durch die konstruktionsbedingten Oberwellen

werden sehr aufwendige Entstörungsmaßnahmen notwendig und der Eigenverbrauch des Frequenzumrichters steigt an. Frequenzumrichter werden mit Motoren neuerer / neuester Bauart, deren Einsatz eine Veränderung von Drehzahl / Drehmoment möglich / notwendig macht, eingesetzt. Der derzeitige Marktanteil liegt bei ca. 10%.

Der Motorkontroller unterscheidet sich als neuartige industrielle Anwendung hinsichtlich seiner Leistungsfähigkeit und Einsatzmöglichkeiten erheblich von diesen bisherigen Energiesparlösungen. Er erfasst die Leistungsmerkmale des Motors mit einer hohen Abtastgeschwindigkeit und regelt mittels einer adaptiven Regelungssoftware, abhängig vom jeweiligen Lastpunkt, über Thyristorsteller die Spannung auf den energetisch optimalen Punkt. Das Drehmoment wird nur minimal verringert. Anfallende Oberwellen bewegen sich innerhalb aller relevanten Normen und machen keine zusätzlichen Entstörungsmaßnahmen notwendig. Der Anwender kann vor Ort mittels Eingabetaster und LCD-Anzeige das Modul optimal parametrieren. Weiterhin sind in den Motorkontroller folgende Features integriert: Sanftanlauf, Überstromüberwachung, Phasenüberwachung und Sanftstopp. Der MotorKontroller kann mit allen Drehstrom/Asynchronmotoren, welche mit Netzfrequenz betrieben werden, eingesetzt werden.

Fest steht, dass unser Entwicklungsprojekt Motorkontroller kein "Me Too"-Produkt ist, sondern gegenüber bisherigen Standardlösungen einen klaren Mehrwert für unsere potentiellen Kunden bietet:

- Der Motorkontroller ist leistungsfähiger als Sanftstarter, da er neben der ebenfalls enthaltenen Sanftstart-Funktion auch die Leistungsaufnahme im laufenden Betrieb optimiert;
- Der Motorkontroller kann aufgrund seiner technischen Eigenschaften bei Asynchronmotoren eingesetzt werden, für die Frequenzumrichter technisch bedingt nicht einsetzbar sind.

Das Produkt Motorkontroller muss in Bezug auf Software, Größe, Leistung einer permanenten Weiterentwicklung unterzogen werden. Kurzfristig sind die vorliegenden Vorhabensergebnisse jedoch schon ausreichend, um eine erfolgversprechende Marktvorbereitung und Markteinführung in Angriff zu nehmen.

Welches wirtschaftliche bzw. Umweltentlastungspotential könnte nun mit dem Motokontroller realisiert werden? Betrachten wir hierzu den Stromverbrauch in Deutschland. Insgesamt nahm der Bruttostromverbrauch in Deutschland 2007 auf 617,5 Mrd. kWh zu. Wenn wir den Stromverbrauch der Bereiche Industrie und Gewerbe auf 45%

des Endenergieverbrauchs ansetzen und weiterhin annehmen, dass elektrische Antriebe für etwa 65% des Stromverbrauchs verantwortlich sind, dann ergibt sich daraus ein Verbrauch von ca. 180 Mrd. kWh pro anno.

Als Zielmarkt für unseren Motorkontroller gehen wir von ca. 15 Millionen installierter elektrischer Asynchronmotoren in den Größenklassen 11kW - 500kW aus, dies entspricht ca. 40% der gesamten installierten Asynchronmotoren in Deutschland. Sicherlich kann die aufgenommene elektrische Energie der gesamten Motoren nicht genau entlang einer 40/60 Teilung zugeordnet werden. Zur Illustration des CO₂-Einsparpotentials begnügen wir uns jedoch erst einmal mit dieser Annahme. Weiterhin gehen wir davon aus, dass 90% dieser Motoren bisher nicht über eine Energieoptimierung verfügen. Daraus ergibt im für uns relevanten Zielmarkt ein Verbrauch von ca. 65 Mrd. kWh pro anno.

Wenn durch den Einsatz des Motorkontrollers Industrie und Gewerbe in unserem Zielmarkt nur 5% Energie einsparen, bedeutet dies eine Verbrauchsreduzierung von ca. 3,25 Mrd. kWh pro anno. Ausgehend von der Annahme, dass pro produzierter kWh Strom 1,042 kg CO₂ freigesetzt werden, bedeutet dies eine CO₂-Reduzierung in Höhe von ca. 3,385 Mio. Tonnen pro anno.

Wie viel Energie im Mittel ein Unternehmen durch Einsatz unseres Motorkontrollers einsparen kann hängt von verschiedenen Faktoren, wie der Motordimensionierung, dem Wirkungsgrad, der Lastbeaufschlagung / den Lastwechselphasen und den Betriebsstunden ab.

Zur ökonomischen Betrachtung müssen wir dann auch noch die Thematik der zukünftigen Preisgestaltung unseres Produkts mit einbeziehen. Wir haben in unseren laufenden Kalkulationen mit zwei "Preisebenen" gearbeitet, abgeleitet von der bisherigen Annahme, dass wir bei unserer Stücklistenkalkulation von nur zwei "Kostenebenen" ausgehen können. Das kann aber gewiss nicht dem Anspruch einer für uns passenden Preisstrategie genügen. Unsere gegenwärtigen Gedanken zur Entwicklung einer passenden Preisfindungsstrategie: Produkte sind nicht einfach nur pauschal alle gleich zu kalkulieren, sondern mit dem Blick auf den Nutzen, der für den Kunden generiert wird. Das verlangt Produktpositionierung und nicht nur Zuschlagsätze. Vielleicht ist manche Lösung sogar zu billig verkauft, weil man nur eigene Kosten addiert hat, der erzeugte Nutzen aber viel höher liegt und man eine überhöhte Nachfrage gar nicht abarbeiten kann. Zwei Schritte werden von uns bewusst zu gehen sein:

1. Strategische Ausrichtung darauf, Kundenwert zu generieren und eine Kalkulation, die jene Produktversionen verteuert, die das bieten.
2. Die so kalkulierten Werte sind dann operativ dem Kunden zu verkaufen (Steuer und Belohnung, mit oder ohne Prämie).

Das bisher bevorzugte klassische Kosten plus Modell, die Stücklistenpreise mit Zuschlägen für Lohn / Gehalt usw. "aufzuschichten" wird den Gegebenheiten unserer Marktsituation wohl nicht gerecht. Aufmerksamkeit muss auf den Wert, den unser Motorkontroller für den Kunden bringen wird, gelegt werden und dementsprechend muss ein Preis bestimmt werden. Also müssen wir einerseits den Wert für den Kunden finden und bepreisen, den Abstand zum Mitbewerber im Auge behalten (auch wenn wir grundsätzlich Sanftstarter und Frequenzumrichter nicht als "echte Konkurrenzprodukte" betrachten, so befassen sie sich doch mit der Thematik Energieverschwendung) oder eine absolut neue Strategie entwickeln und umsetzen. Der Wert für unsere Kunden ergibt sich offensichtlich aus den Einsparmöglichkeiten je kW-Gruppe. Das heißt für uns, dass wir eventuell für alle abgestuften Leistungsbereiche individuelle Preisstufen einbauen werden.

Es lässt sich somit auch keine allgemein verbindliche Aussage zur theoretischen Amortisationszeit einer Investition in den Motorkontroller tätigen. Wir werden bei zukünftigen Investitionsrechnungen immer darauf hinweisen müssen, dass die Amortisationszeit als einfaches Maß für die Beurteilung des Investitionsrisikos dient, eine willkürliche, subjektive Größe ist und weder über Ertragskraft und Rendite, noch über Energieeinsparung etwas aussagt. Wirtschaftlich sinnvoll ist eine Investition immer dann, wenn die Amortisationszeit kürzer ist als die Nutzungsdauer und der interne Zinssatz höher ist als die Verzinsung einer vergleichbaren Finanzanlage am Kapitalmarkt.

5. Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse

Die Eigenschaft der dynamischen Lastanpassung ist die von uns propagierte Innovation und stellt den entscheidenden technischen Wettbewerbsvorteil dar. Die durch den Einsatz des MotorKontrollers zu erzielenden Senkungen der Energiekosten sowie die gleichzeitige Verbesserung der Ökobilanz eines Unternehmens sind unser zentrales Nutzenversprechen. Zudem ergibt sich weiteres Einsparpotential aufgrund einer längeren Lebensdauer der Elektromotoren. Diese wird durch eine optimierte und weichere Motorensteuerung

realisiert. Die Motoren arbeiten während der gesamten Betriebszeit in einem Schwingungsarmen Zustand.

Primär haben wir es auf die „Nachrüstung“ installierter Motoren (Retrofit-Markt) abgesehen. Wir sehen aber dennoch Ansatzpunkte, um auch im OEM Geschäft Fuß fassen zu können. Ein weiterer Betrachtungspunkt ist das Thema Hocheffizienzmotoren. In der EU besteht zurzeit nur eine Empfehlung, bei Neuanschaffung von Motoren auf einen Hocheffizienzmotor „umzusteigen“. Eigentlich sollte die deutlich bessere Kostenrechnung über den gesamten Lebenszyklus von energieeffizienten Elektromotoren Kaufargument genug sein. Dem ist bis heute nicht so. In Europa gehören heute 85% der verkauften Motoren der Efficiency-Class 2 (Wirkungsgrad 76,2 – 93,6%) an und nur 12% der Efficiency-Class 1. Hinzu kommt, dass allein in Deutschland von den ca. 30 Millionen installierten Motoren ca. 10 Millionen als aus Energie-Effizienz-Sicht modernisierungsbedürftig angesehen werden [Gro08].

Zentrales Thema der parallel zur technischen Weiterentwicklung verlaufenden Marktvorbereitung und Markteinführung ist für uns die Gewinnung und der Aufbau von Geschäftsbeziehungen mit kompetenten Marktpartnern in Deutschland, sowie im europäischen Ausland und später weltweit. Der gemeinsame Aufbau von Referenzkunden als Multiplikator unserer Marktpräsenz und unseres Bekanntheitsgrades ist absolut kritisch dabei.

Vor dem Hintergrund ständig steigender Energiepreise und zunehmendem betrieblichen Energiebewusstsein werden wir dem Enduser mit einer universell einsetzbaren Lösung helfen, seine Energiesparpotentiale zu erschließen - konkreter Kundennutzen durch Energiekosteneinsparung.

Das Angebot einer lohnenden Investition, die kurzfristig nicht nur eine Minimierung von Betriebskosten, sondern auch einen höheren Nutzen für die Umwelt durch Einsparung von Primärenergie und Minderung des Kohlendioxidausstoßes und des Treibhauseffektes erbringen kann, sollte aber auch für OEMs von Interesse sein. Der erhöhte Kundennutzen durch den Einsatz von unserem Produkt kann von diesen als Wettbewerbsvorteil genutzt werden. Umweltbewusstsein kann verstärkt bei unternehmerischer Entscheidung für ein Energieeinsparprodukt mit angesprochen werden.

Expertenmeinungen zufolge gibt es keine Branche, in welcher nicht eine Vervierfachung der Energieproduktivität erreichbar wäre. Es erscheint ein Rätsel, dass Unternehmen nicht systematischer die brachliegenden Effizienzreserven aufspüren. Die

Energiekostenverantwortlichen Personen in der Industrie müssten eigentlich selbst erkennen, wie vorteilhaft es wäre wenn Ihre eingesetzten Produktionsmittel energieeffizienter arbeiten würden (Stichwort: Energieeinsparpotential = mögliche Reduzierung der Betriebskosten). Dafür, dass sinnvolle betriebswirtschaftliche Maßnahmen nicht automatisch umgesetzt werden, sind unter anderem folgende Barrieren verantwortlich:

- Vielen Firmen fehlt "das nötige Know-how zur rechten Zeit";
- Die Wichtigkeit im Bewusstsein der Industrie, gerade bei vielen Industrieekäufern, ist noch nicht ausreichend gewachsen;
- Die innerbetriebliche Verantwortung für Energiebelange ist verteilt auf mehrere Abteilungen (Produktion, Wartung, Einkauf, Finanzen);
- Das Top-Management weiß zu wenig über die Rentabilität von energieeffizienten Motorsystemen;
- Unternehmen haben oft andere Sorgen als die Einsparung von Energie.

Unsere Herausforderung ist es nun mit gezielter Produktwerbung, PR und Marktkommunikation eine entsprechende „Vertriebsplattform“ zu schaffen.

Die dazu bisher durchgeführten Maßnahmen umfassen:

- Entwicklung eines einprägsamen Corporate Designs;
- Aufbau einer Internetpräsenz (www.mk-regler.com/);
- Entwicklung von Produkt-Flyern in sieben Sprachen (vgl. www.mk-regler.com/de/motorkontroller/downloads/);
- Entwicklung verschiedener Support-Materialien wie Formulare zur Erfassung von Motordaten und Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen (vgl. www.mk-regler.com/de/motorkontroller/downloads/);
- Presse-Veröffentlichungen (WAGOdirect > industry - Ausgabe 2/2009 S.13 f.; etz 7/2010 S.34 f.; Konstruktion & Entwicklung 7-8 / 2010 S.40 f.; Apr 9/2010 S.15 f.);
- Veröffentlichungen auf Web-Portalen (www.b-und-i.de; www.elektronikpraxis.vogel.de/; <http://plasticker.de>);

- Kundengerichtete Verkaufsförderungsmaßnahmen: Leihgeräte auf Zeit, Messverteiler;
- Messe-Teilnahme auf der ENERGIE 2009.

Die für 2011 geplanten Maßnahmen umfassen:

- Relaunch der Internetpräsenz;
- Messe-Teilnahmen;
- Mediawerbung (Print-Werbung in Fachzeitschriften; SEO; Google-Adwords);
- Verkaufsförderung (Vertriebsgerichtete Maßnahmen: Salesfolder, Produktschulung, Kalkulations-Vorlage Mietkauf; Käufer- bzw. Anwendergerichtete Maßnahmen: Broschüre, neuer Flyer);
- Direct Marketing (Mailing)
- Event-Marketing: Roadshow bei IHKs und Energieagenturen der Länder;
- PR: Presse- und Medienarbeit

4. Zusammenfassung der Ergebnisse und zukünftig notwendige Arbeiten

In seiner derzeitigen hard- und softwaremäßigen Konstruktion ist der Motorkontroller eindeutig ein innovatives, marktfähiges Produkt.

Weitere Feldeinsätze und -erfahrungen, Kundenwünsche etc. werden höchstwahrscheinlich eine konstante Überprüfung und Überarbeitung der Software-Features bedingen.

Die derzeitige Schutzklasse IP 54 wird wahrscheinlich nicht erhöht werden können (Dichtigkeit/Wärmeabführung).

Im fortlaufenden Fertigungsprozess wird unser Augenmerk auf einer Kostenreduzierung, ohne Verschlechterung oder Verlust der Leistungsfähigkeit des Motorkontrollers, liegen.

Die grundlegenden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten betrachten wir als erfolgreich abgeschlossen.

Vergleich zu Siemens Sanftstartern und Envirostart:

Die von der Siemens AG gefertigten Sanftstarter haben im laufenden Betrieb keine Energiesparfunktion, da nach Hochlauf des Motors der Sanftstarter gebrückt wird.

Das unter dem Namen Envirostart vermarktete Produkt ist dem MotorKontroller in folgenden funktionalen Belangen eindeutig unterlegen:

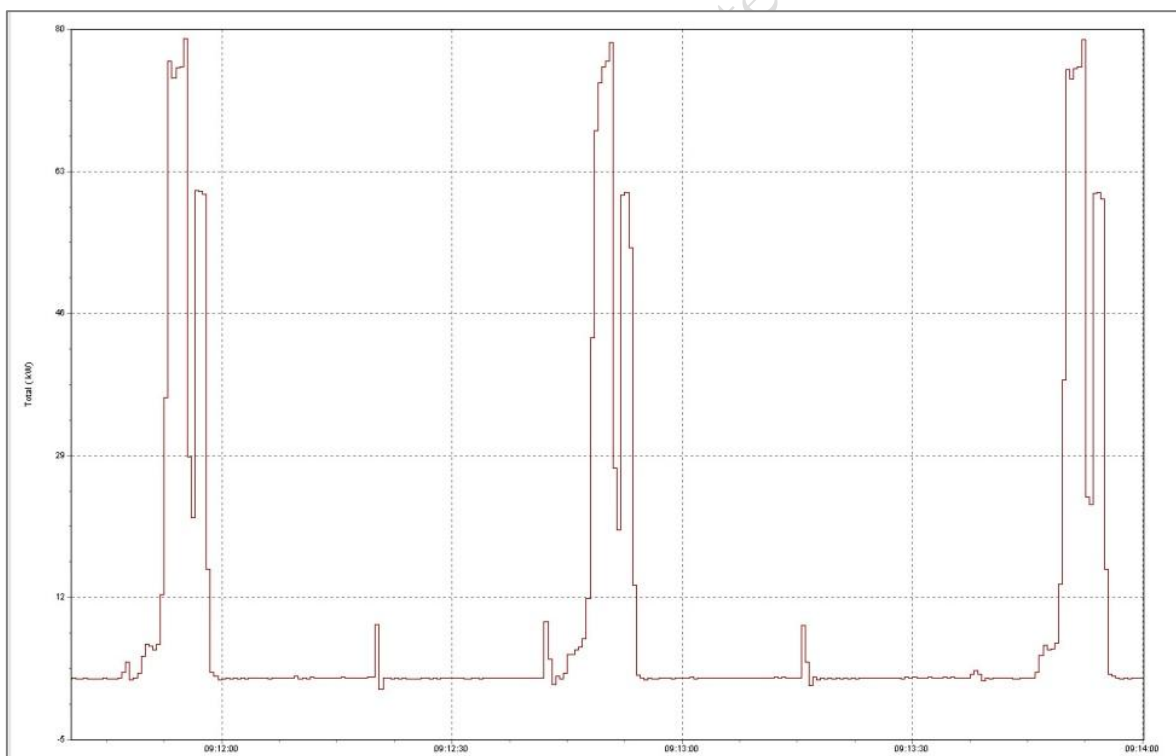
- Keine adaptive Regelung, sondern reines Spannungsabsenken auf zwei Werte, 400V/300V. Diese Werte können die energetisch richtigen sein, die Wahrscheinlichkeit sieht jedoch anders aus.
- Mangels präziser Messmöglichkeiten für den sich bei Lastanpassungen ändernden Strom kann nur mittels detektierbarem Spannungseinbruch auf den anderen zur Verfügung stehenden Spannungswert gesteuert werden; Präzision sieht anders aus.
- Feldberichte von Anwendern weisen auf folgende Unzulänglichkeiten hin:
 1. kein integrierter Bypass; bei Fehlfunktion und/oder Ausfall steht die gesamte Anlage.
 2. Entspricht nicht mehr Stand der Technik und ist keinem Produktionsbetrieb zu vermitteln.
 3. Bedingt durch die nur zur Verfügung stehenden zwei Spannungswerte fangen die Motoren häufig an, stark zu schwingen, bzw. das Drehmoment wird stark reduziert, Motoren führen im laufenden Betrieb in den Stillstand.
 4. Weitere Einschränkungen: fehlendes Display sowie Programmierung über Dip-Schalter!
- Feste, im Vorfeld abgelegte Kennlinien können de facto einen Motor nicht zuverlässig betreiben und optimieren, da die Gesamtheit der sich im Falle einer Lastanpassung verändernden physikalischen Größen zu komplex ist.
- Unter dem Aspekt der Fertigungssicherheit verschwindet der Aspekt einer möglichen, eher zufälligen Energieersparnis, gänzlich.

Anhang

Auswertung der Ergebnisse in Filakovo

Informationen zu Anwendung und Motor				
Art der Anwendung	Motorleistung	Effizienzklasse	Verteilung der Motorlast (Lastverlauf)	
Blechpresse (Herstellung von Abwaschbecken)	60 kW	EFF3 (cos phi 0,79)	Leerlauf	91%
			Teillast	--
			Volllast	9%

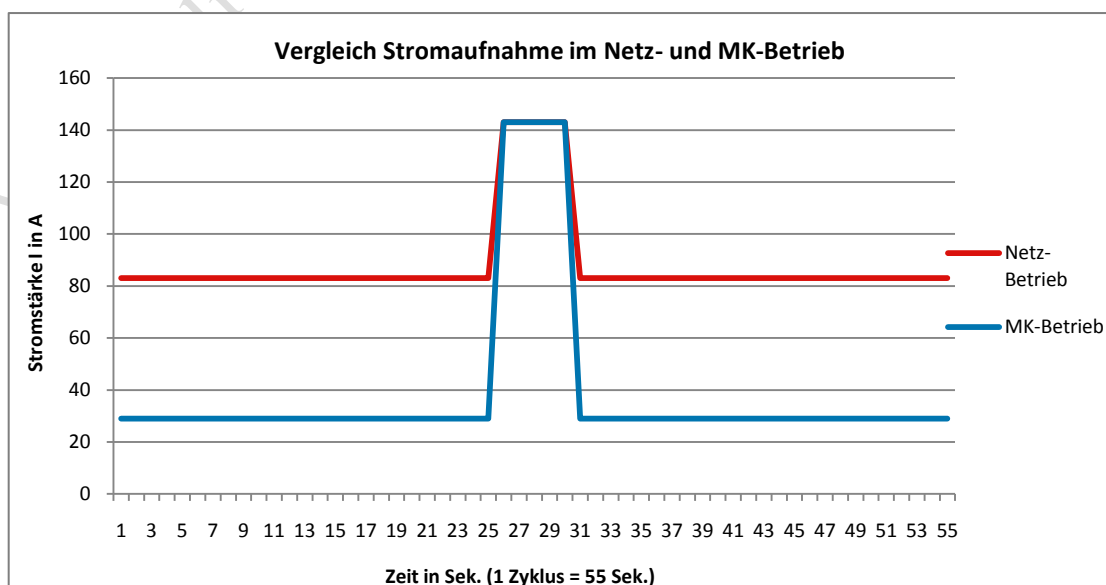
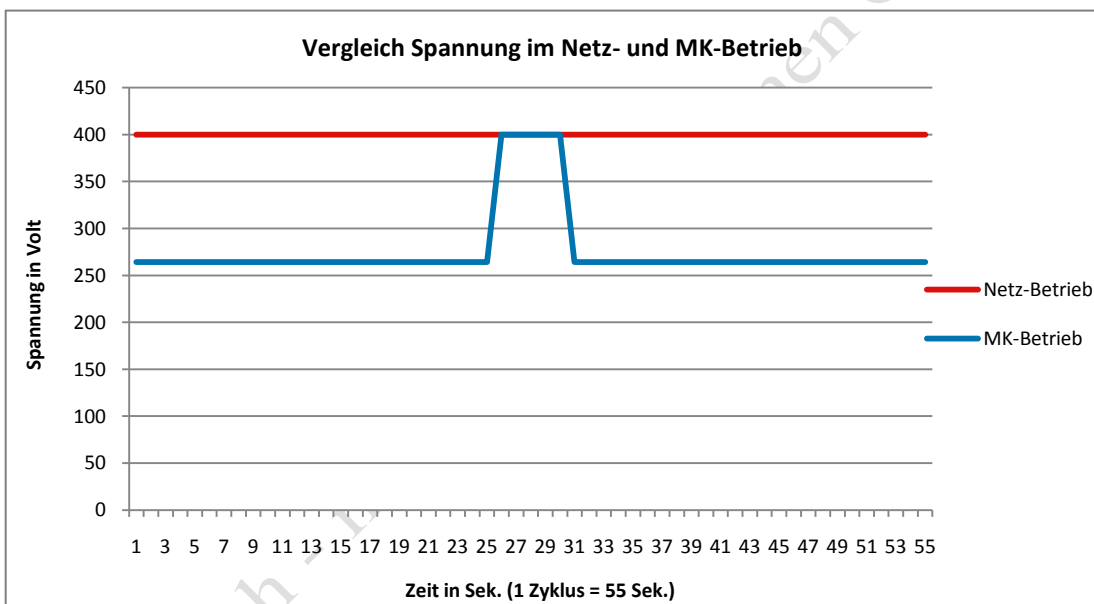
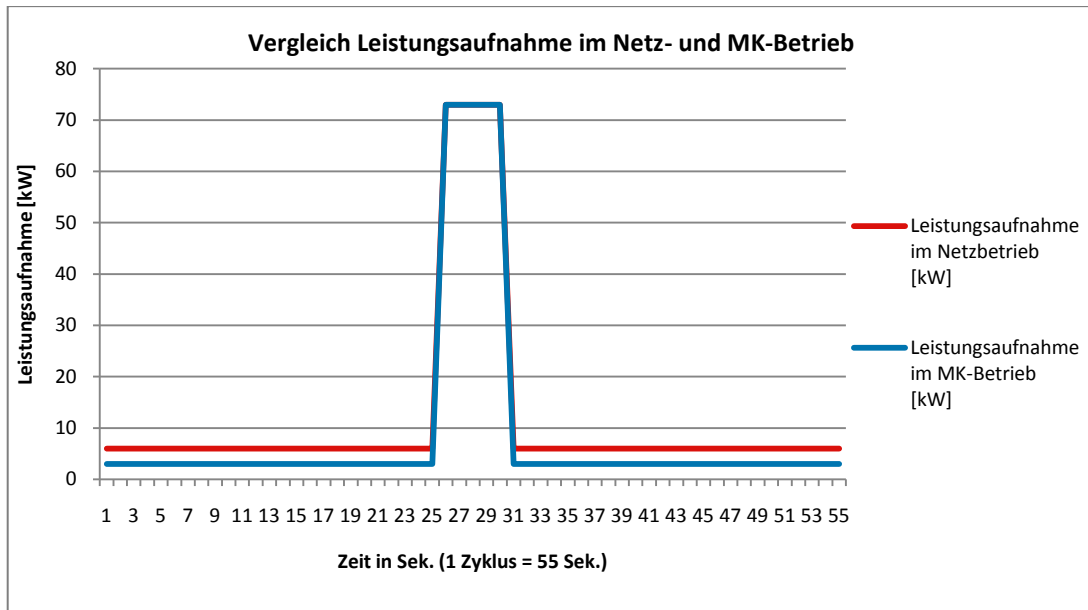
Lastverlauf:



Messwerte für einen einzelnen Lastzyklus (55 Sekunden):

		Netz-Betrieb	MK-Betrieb	Einsparung
Wirkleistung (P)	Volllast (Pressen)	73 kW/h	73 kW/h	0%
	Leerlauf	6 kW/h	3 kW/h	50%
Blindleistung (Q)	Volllast (Pressen)	61 kVAR	61 kVAR	0%
	Leerlauf	57 kVAR	16 kVAR	72%
Scheinleistung (S)	Volllast (Pressen)	95 kVA	95 kVA	0%
	Leerlauf	58 kVA	17 kVA	71%
Spannung	Volllast (Pressen)	400 V	400 V	0%
	Leerlauf	400 V	264 V	34%
Strom	Volllast (Pressen)	143 A	143 A	0%
	Leerlauf	83 A	29 A	65%

Messwerte aufgenommen mit Fluke 1735 Power Quality Analyzer,
Messgenauigkeit bei Leistungsmessung $\pm 1\%$.



Zusammenfassung der vergleichenden Leistungsmessungen des Kunden über je zwei Arbeitstage im Netz- und Motorkontroller-Betrieb:

	Betriebsstunden	Anzahl Pressvorgänge	Energieverbrauch
Netz-Betrieb	13,5 Stunden	515	134 kW/h
MK-Betrieb	13,0 Stunden	586	83 kW/h
Energieeinsparung absolut			51 kW/h
Energieeinsparung prozentual			Ca. 38%

Messwerte aufgenommen mit einem handelsüblichen Leistungsmessgerät des Kunden.

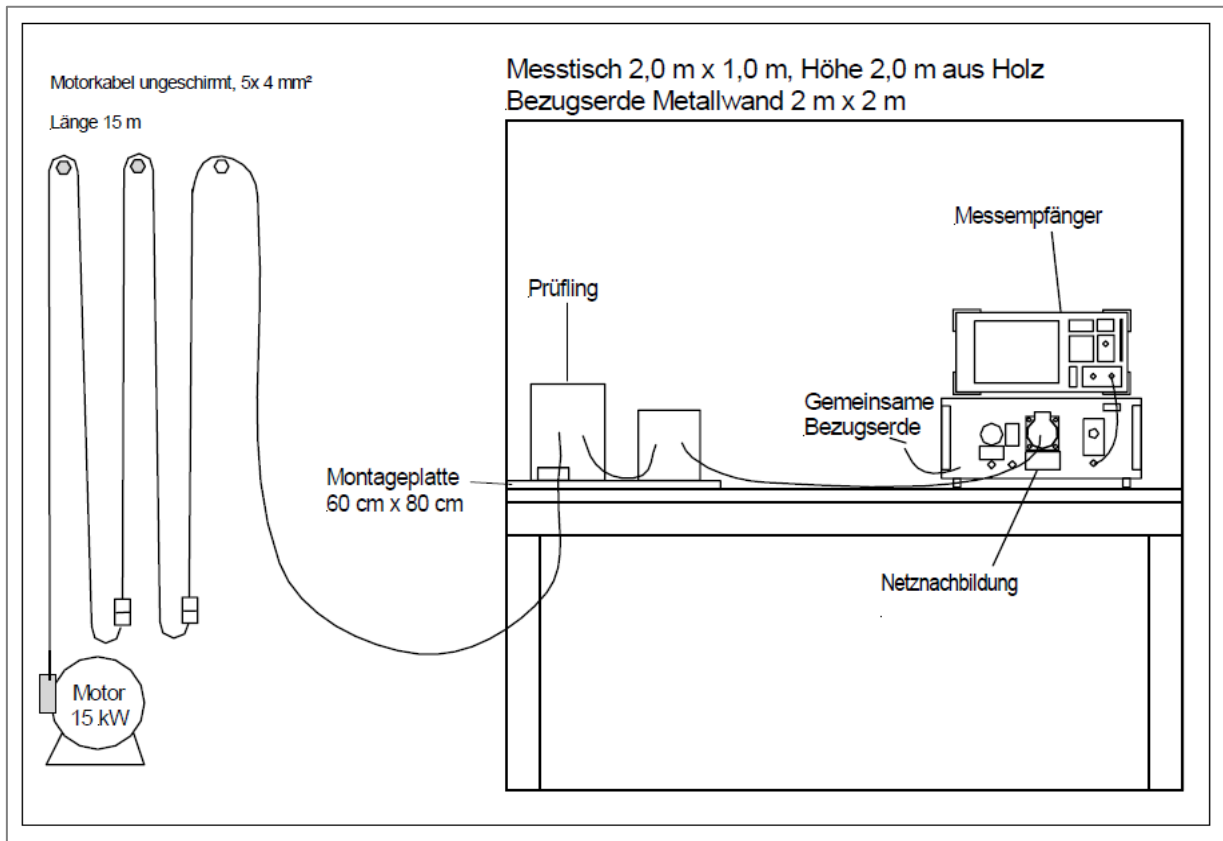
Mittelwerte der zwei vergleichenden Leistungsmessungen des Kunden über je zwei Arbeitstage im Netz- und Motorkontroller-Betrieb.

Energetische Einsparungen pro Betriebsstunde	
Verbrauch Netzbetrieb	9,92 kW/h
Verbrauch MOTORKONTROLLER-Betrieb	6,38 kW/h
Einsparung absolut	3,54 kW/h
Einsparung prozentual	36%

EMV-Prüfbericht

Auftraggeber	MK-Regler GmbH Blohmstrasse 37-61 12307 Berlin
Ansprechpartner	Jürgen Lampe Betriebsleiter 030 26079814 0177 8016385
Prüfobjekt	MK-Regler 45 kW
Art der Prüfung	Leitungsgebundene Störungen an den Netzanschlüssen im Frequenzbereich 150 kHz bis 30 MHz
Norm	EN 55022, Klasse A, Industriebereich
Messgeräte	Netznachbildung Schwarzbeck NSKL 8126 Messempfänger Rohde&Schwarz ESPI Messung auf Messtisch
Datum	16.4.2010
Ergebnis	Der Prüfling hält die Grenzwerte am Eingang ein. An dem Hilfsspannungsversorgungsanschluss werden die Grenzwerte für leitungsgebundene Funkstörung eingehalten. An dem Anschluss des Start-Eingangs werden die Grenzwerte sehr gut eingehalten.

Messaufbau

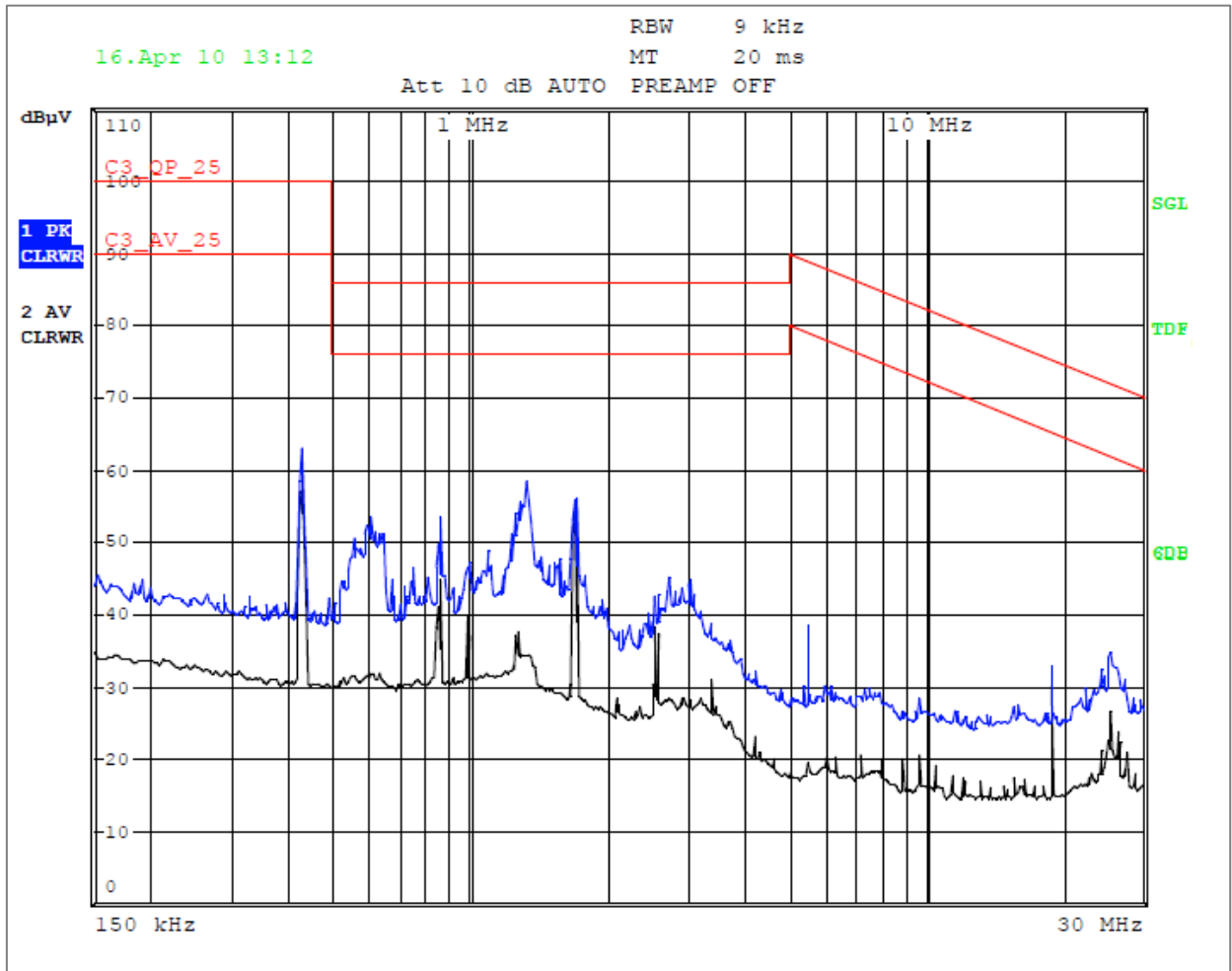


Vertraulich - nur für a

Messergebnisse

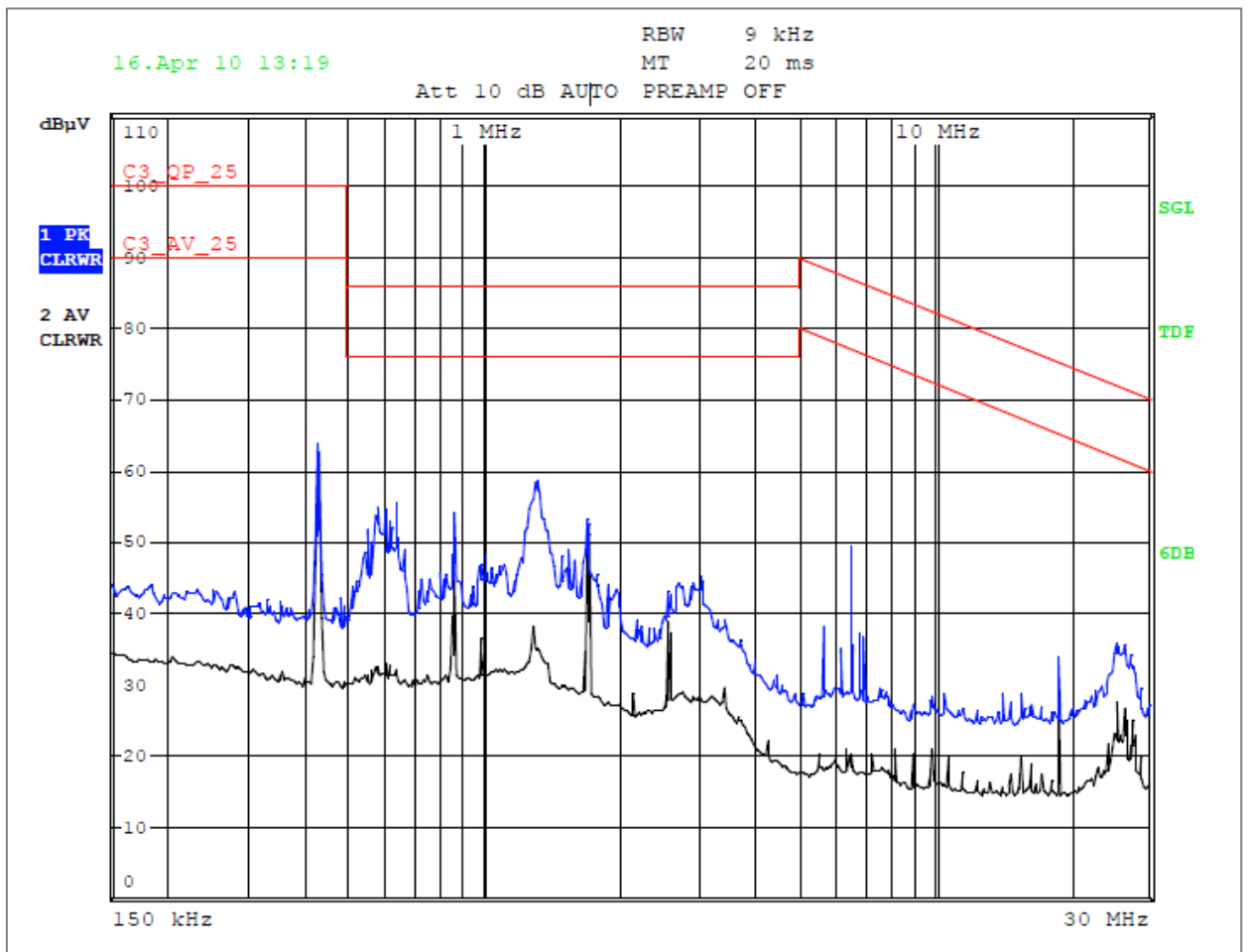
Messungen am Netzanschluss

Standby, L1



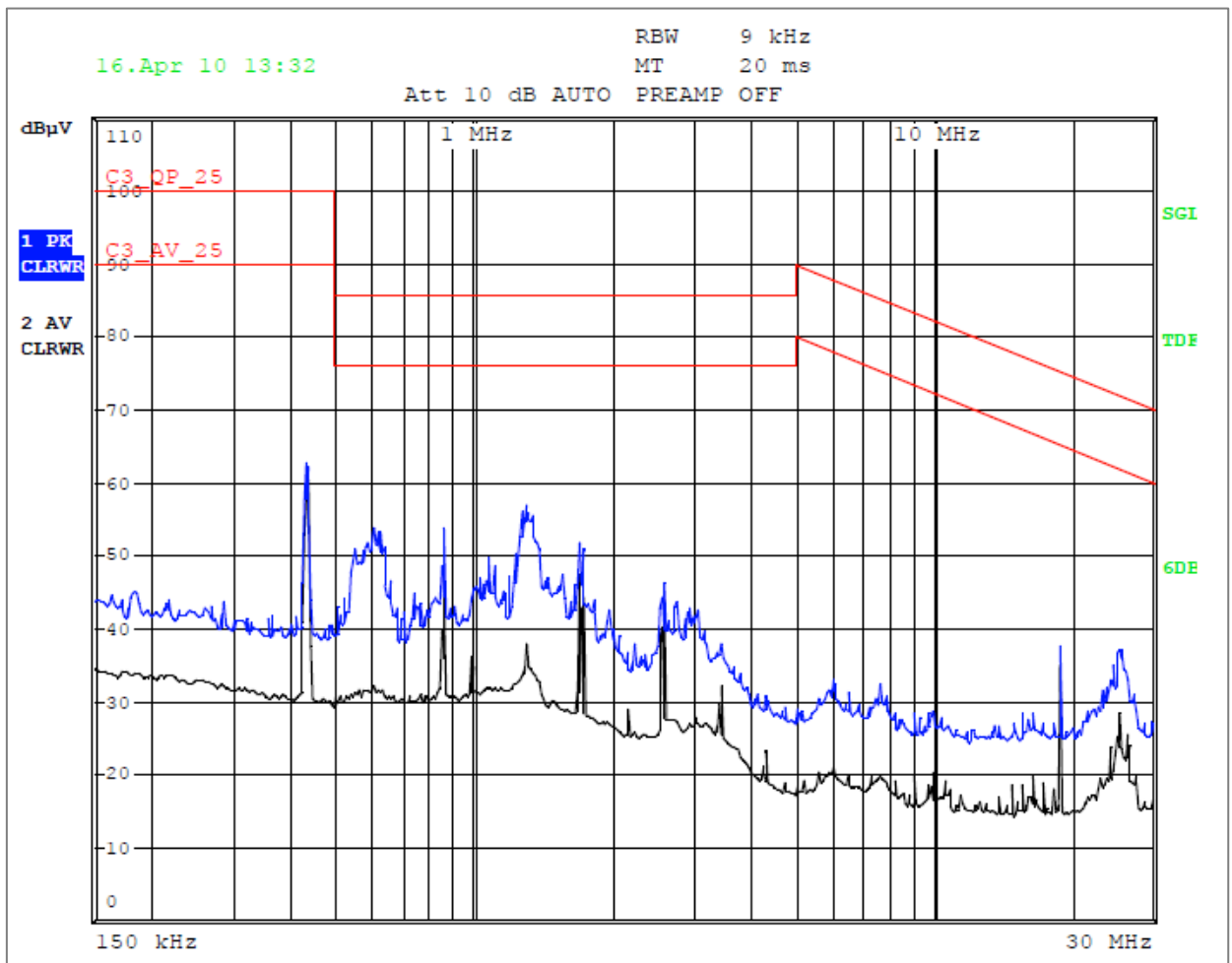
Vertraulich

Standby, L2



Vertraulich - nur I

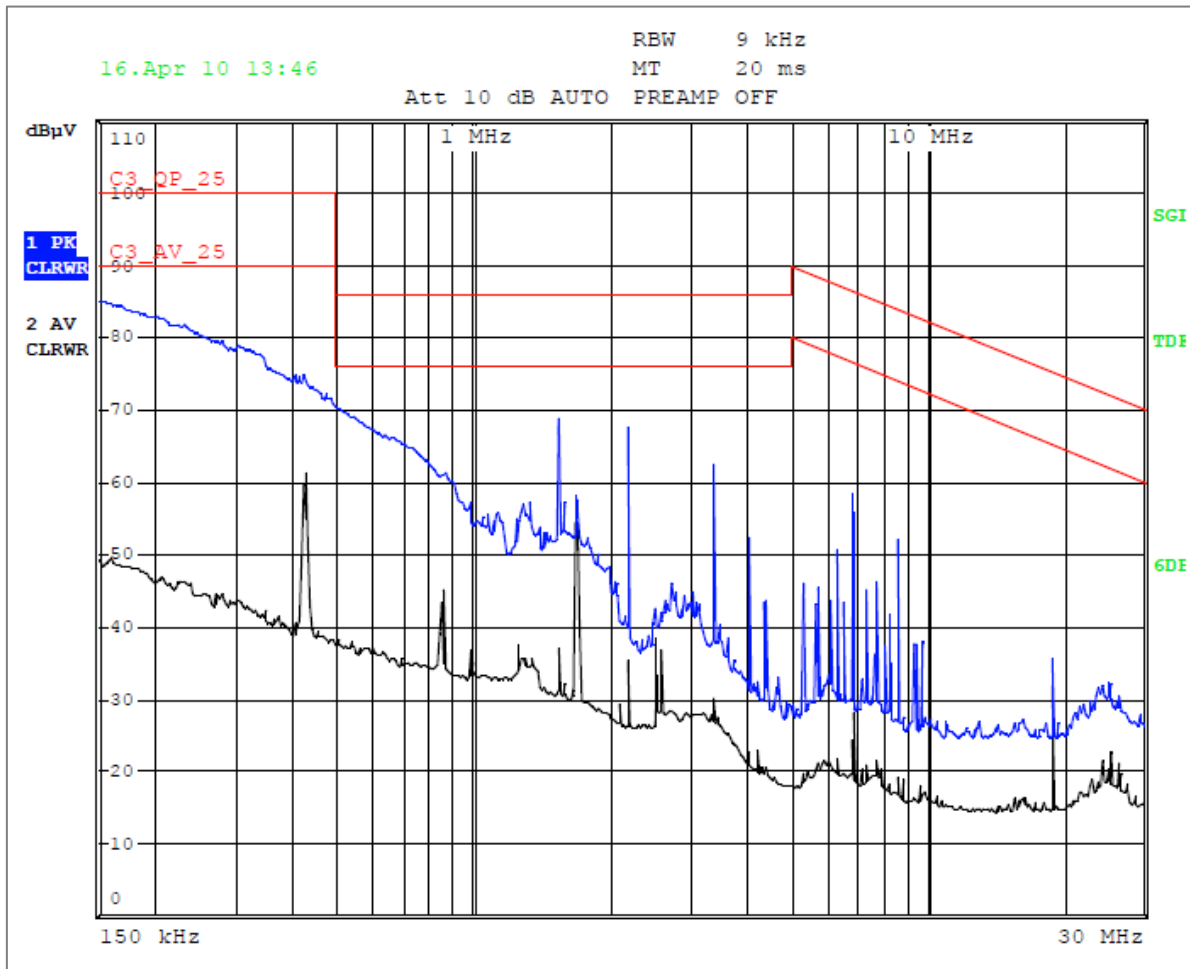
Standby, L3



Leichte Störmuster liegen weit unter den Grenzwerten.

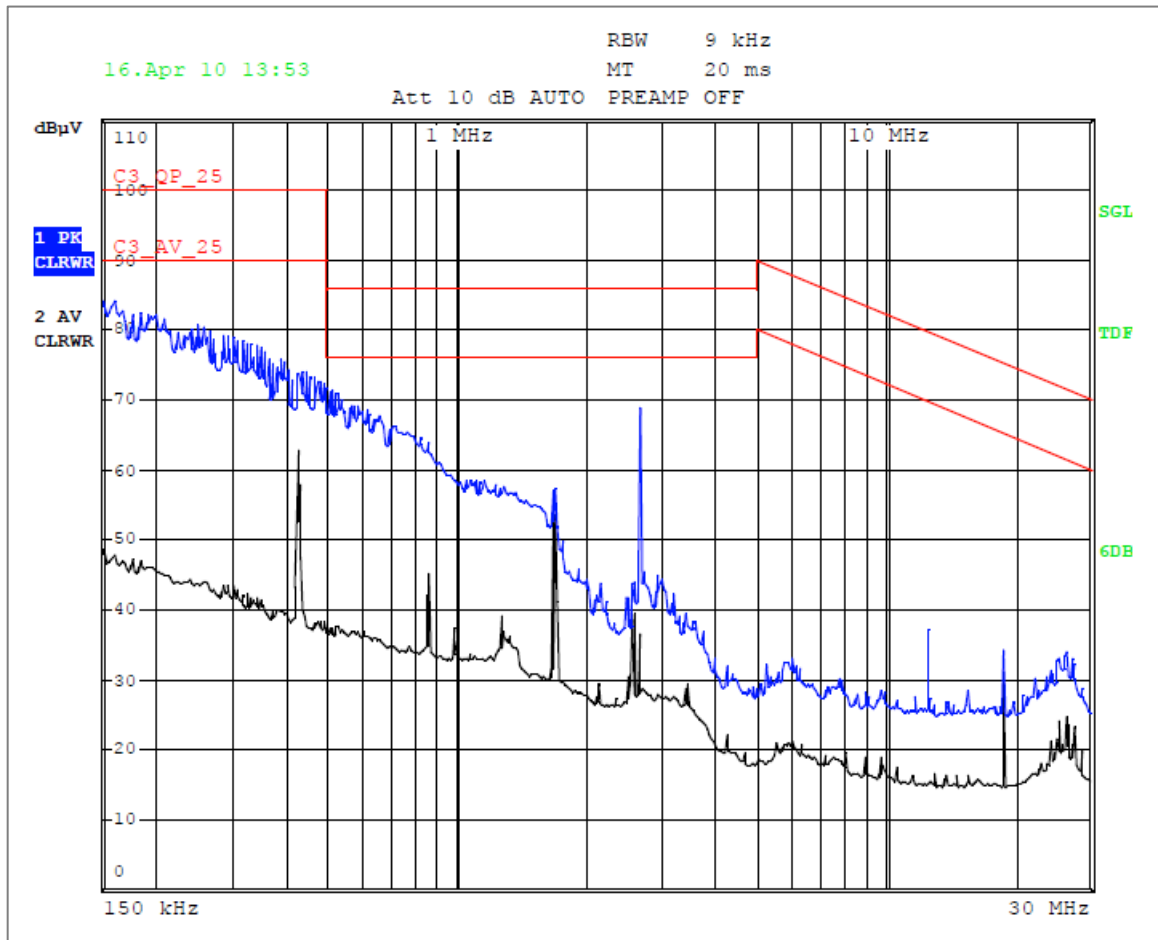
Vertraulich nur

Betrieb, L1



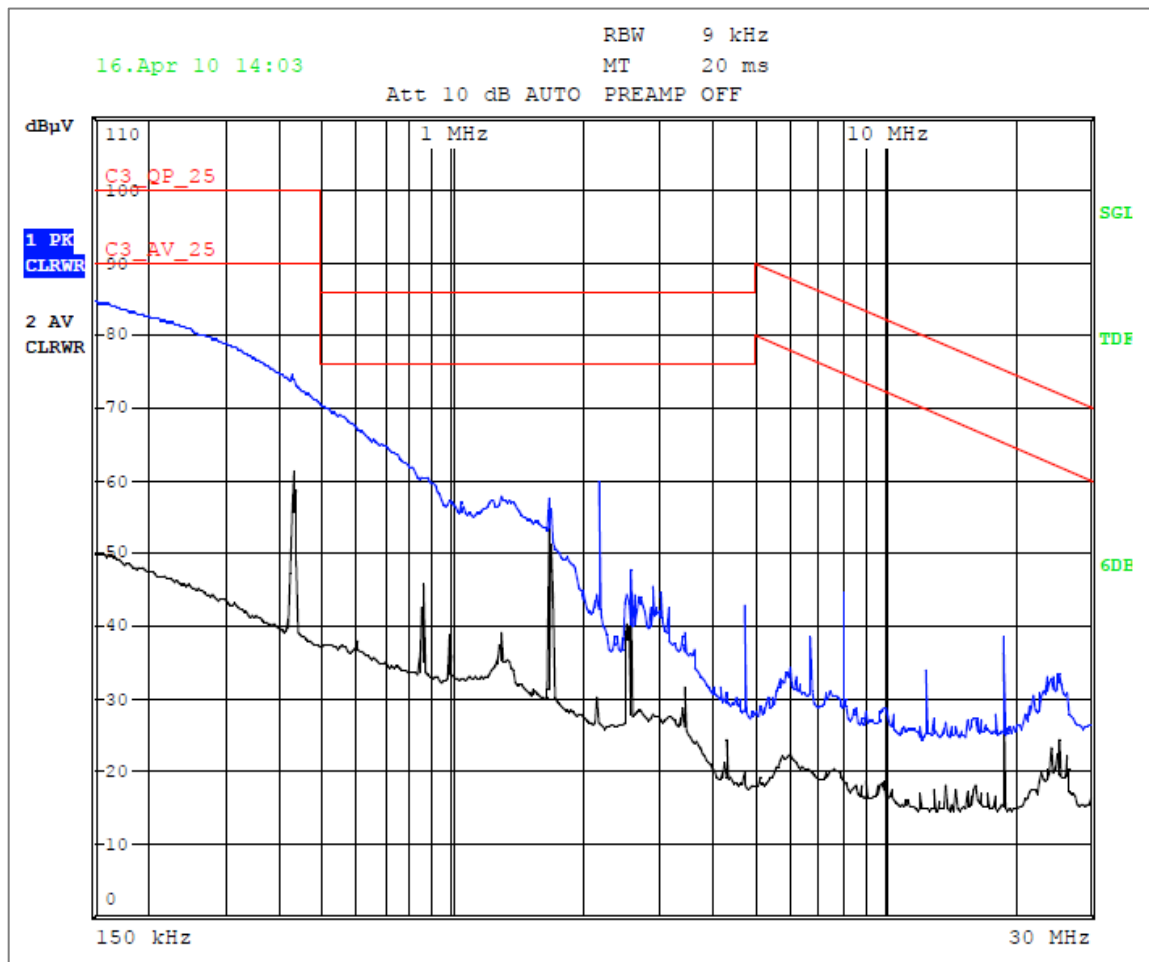
Vertraulich - nur für

Betrieb, L2



Vertraulich - nur für

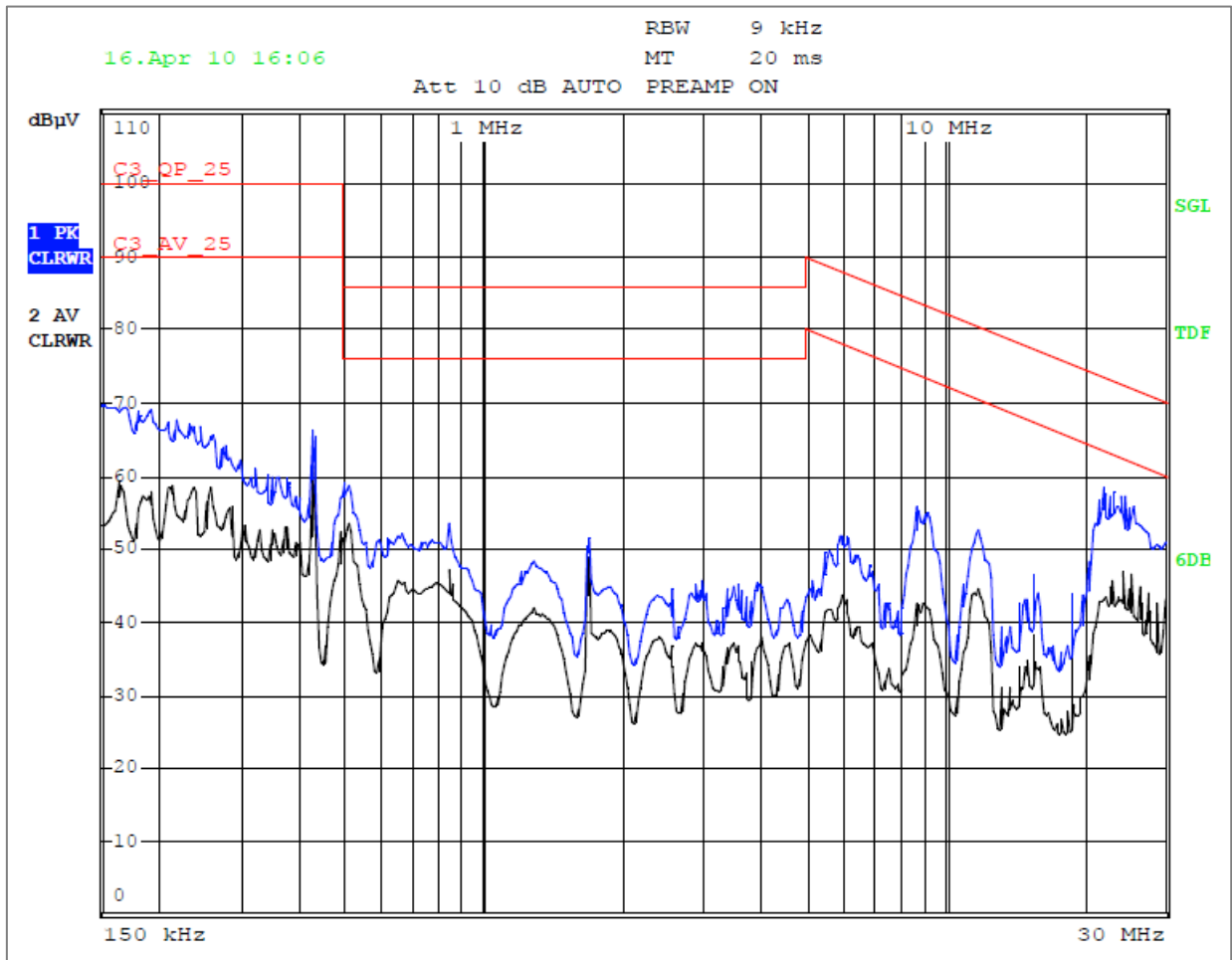
Betrieb, L3



Messwerte liegen unterhalb der Grenzwerte.

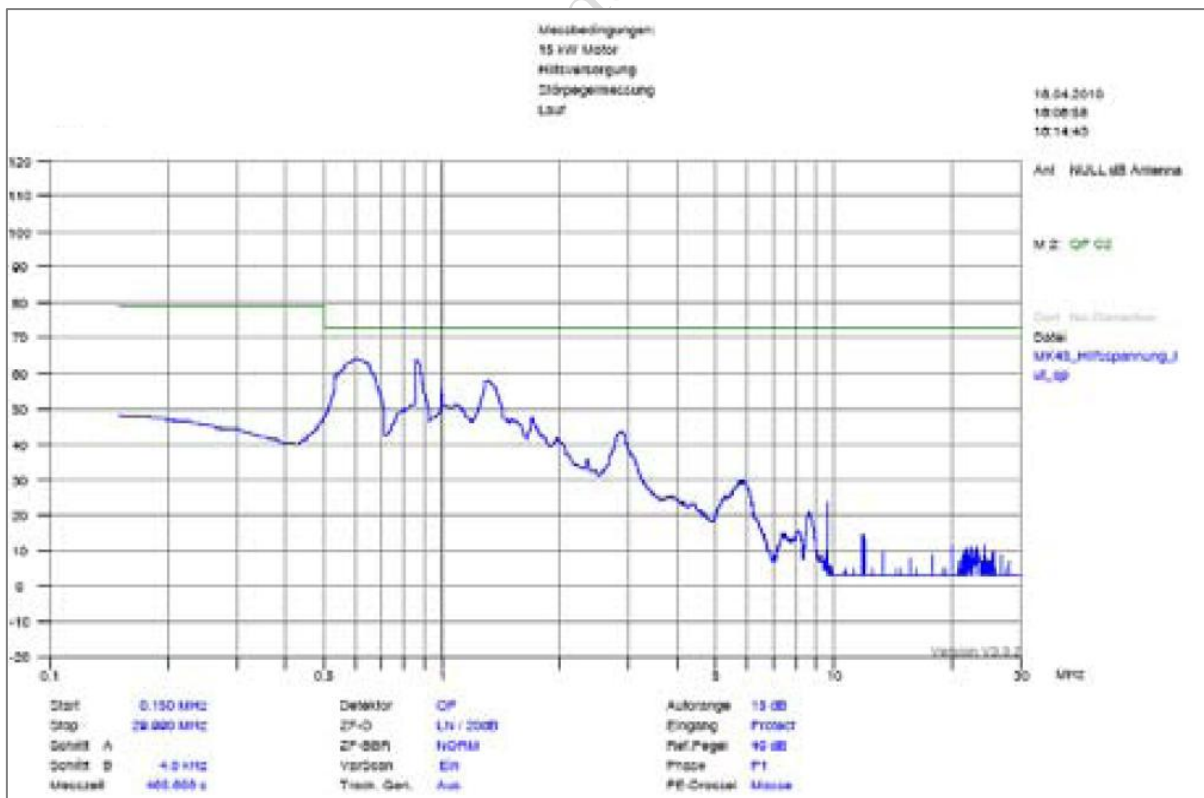
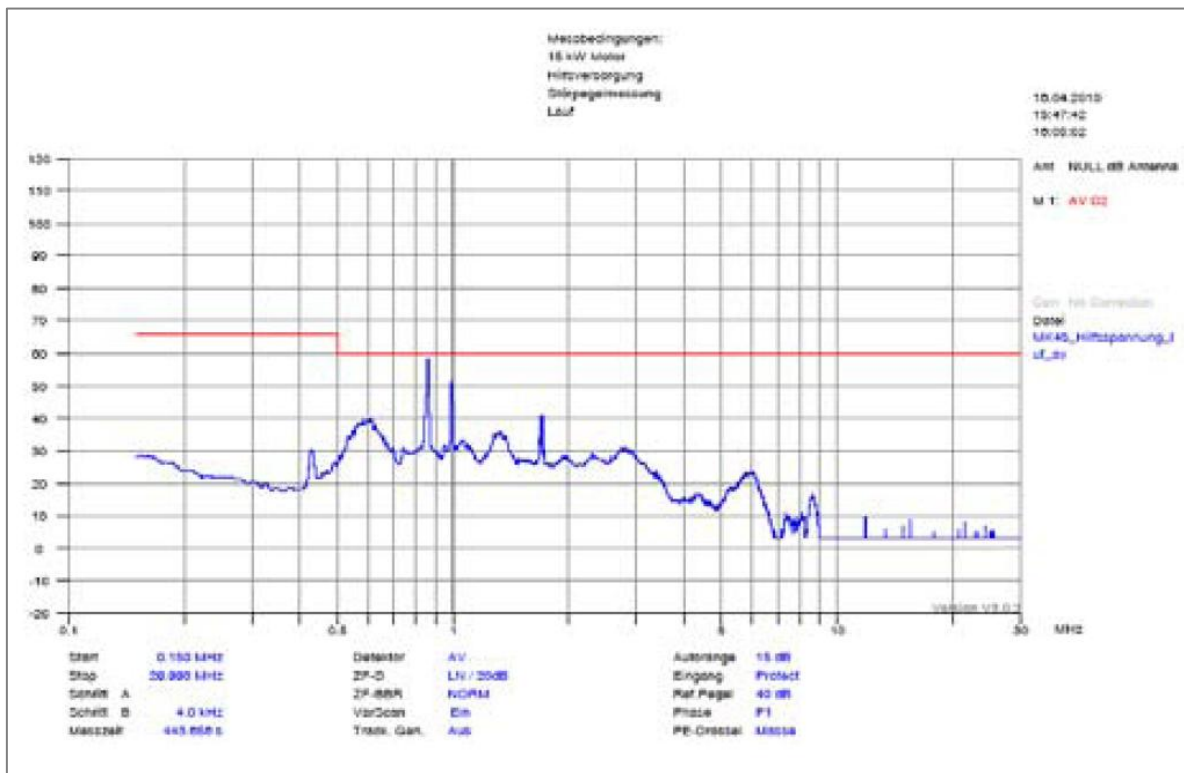
Vertraulich

Steuereingang



Vertraulich - nur für

Hilfsversorgung

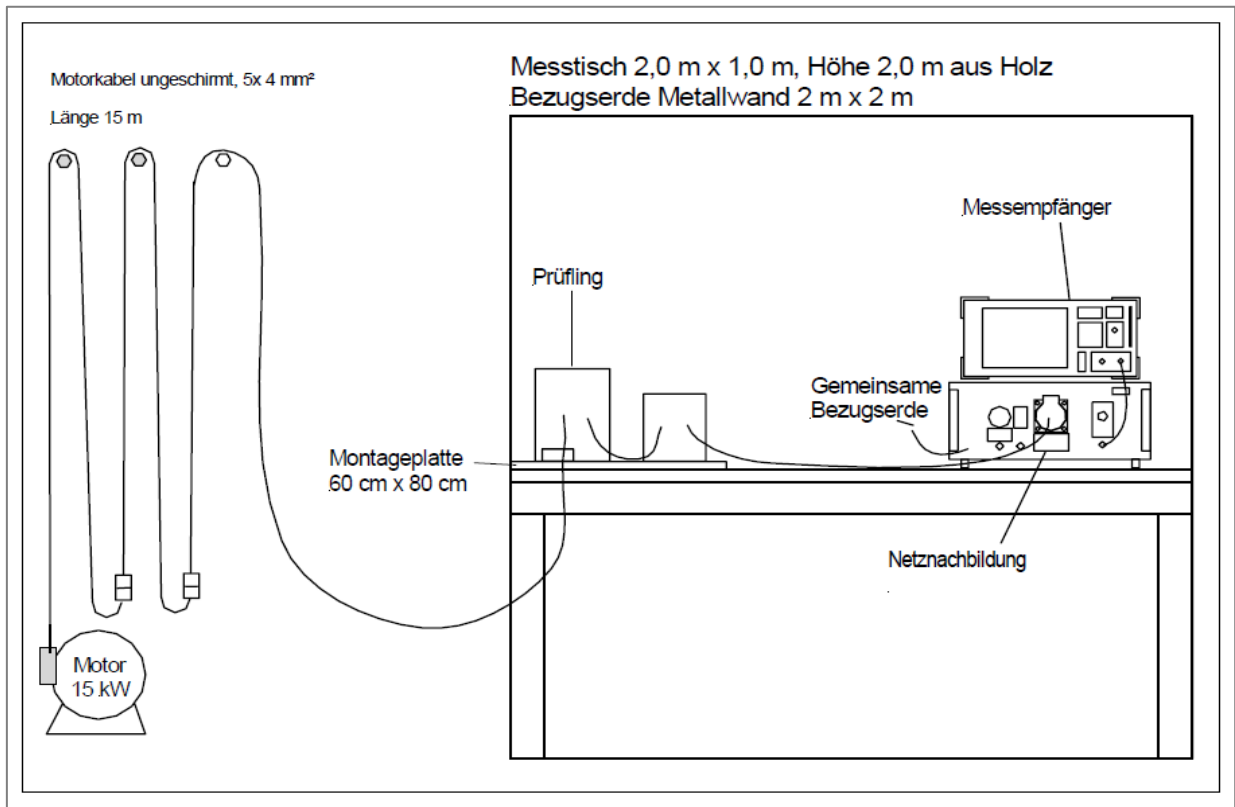


Messwerte Hilfsversorgung und Steuereingang liegen weit unter den Grenzwerten.

EMV - Prüfbericht ohne Entstörung

Auftraggeber	MK-Regler GmbH Blohmstrasse 37-61 12307 Berlin
Ansprechpartner	Jürgen Lampe Betriebsleiter 030 26079814 0177 8016385
Prüfobjekt	MK-Regler 45 kW
Art der Prüfung	Leitungsgebundene Störungen an den Netzanschlüssen im Frequenzbereich 150 kHz bis 30 MHz
Norm	EN 55022, Klasse A, Industriebereich
Messgeräte	Netznachbildung Schwarzbeck NSKL 8126 Messempfänger Rohde&Schwarz ESPI Messung auf Messtisch
Datum	7.4.2010
Ergebnis	Der Prüfling hält die Grenzwerte am Eingang nicht ein. An dem Hilfsspannungsversorgungsanschluss werden die Grenzwerte für leitungsgebundene Funkstörung eingehalten. An dem Anschluss des Start-Eingangs werden die Grenzwerte sehr gut eingehalten.

Messaufbau

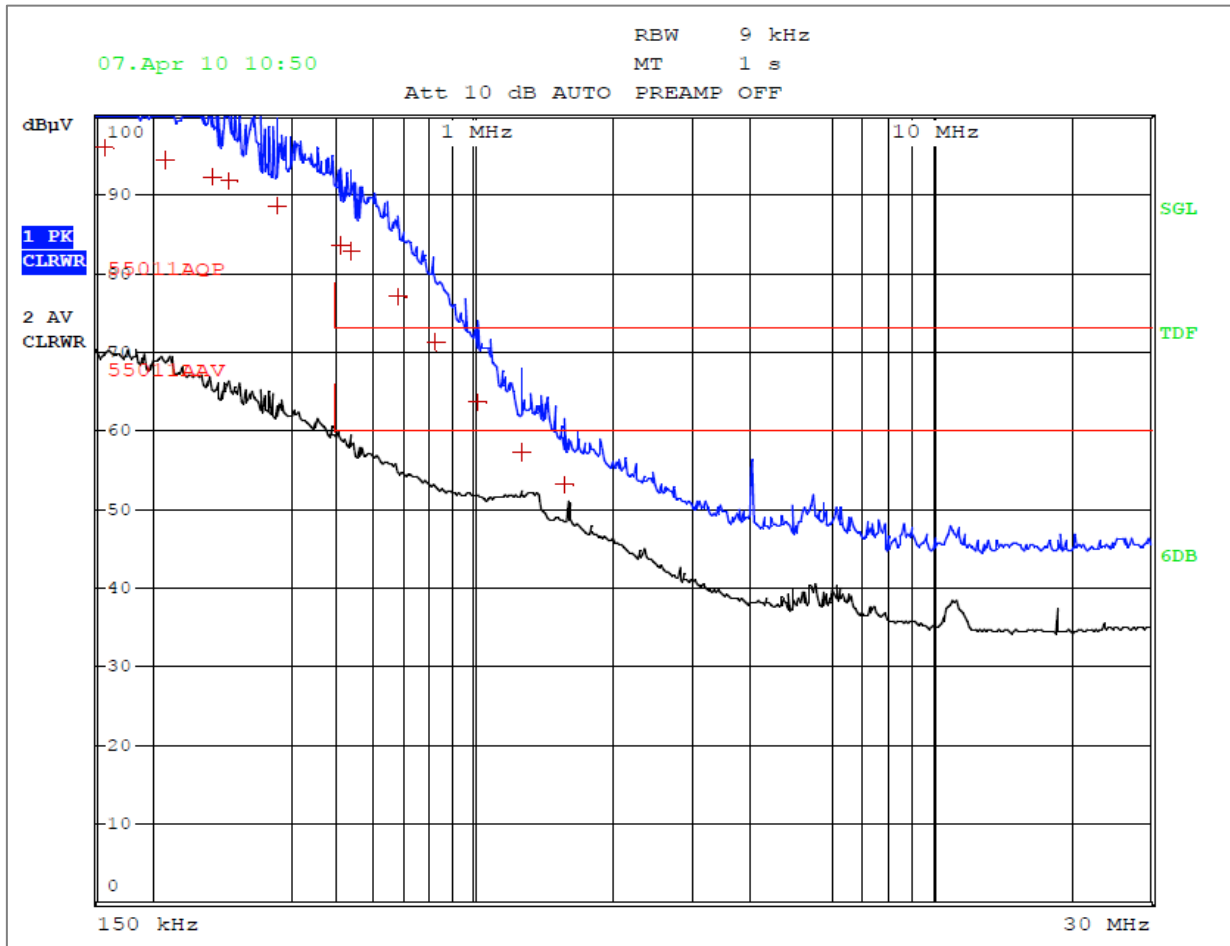


Vertraulich - nur für den

Messergebnisse

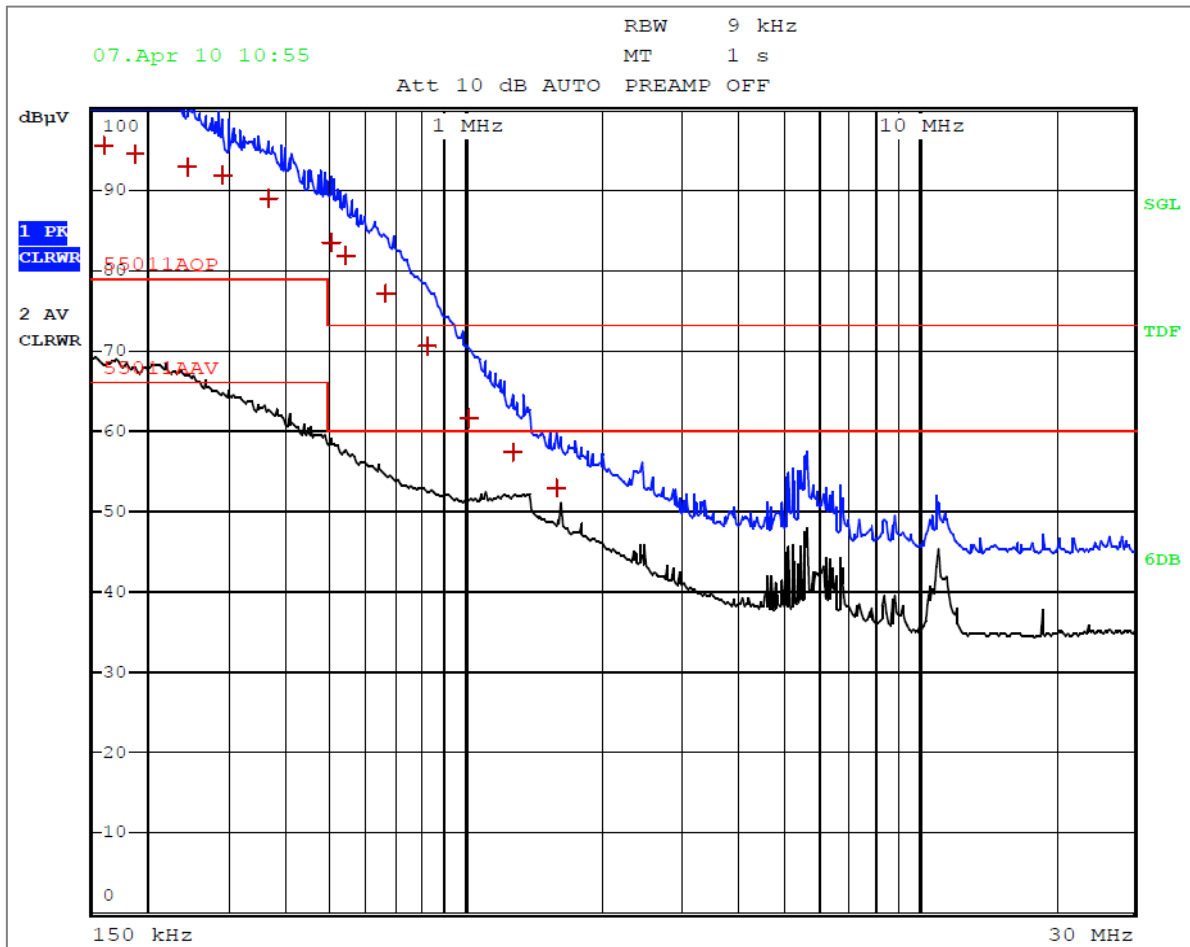
Messungen am Netzanschluss

L1



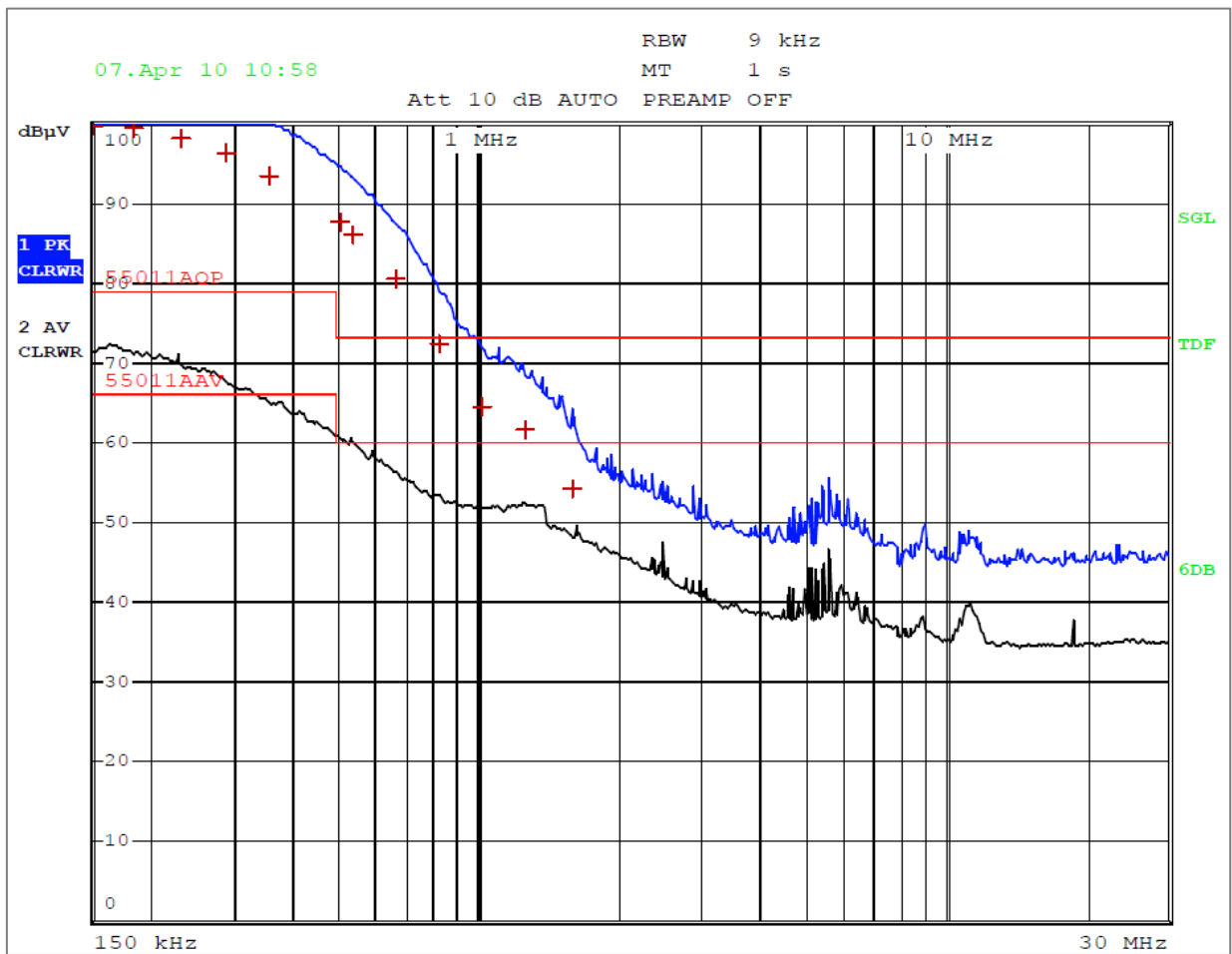
Vertraulich

L2



Vertraulich - nur für

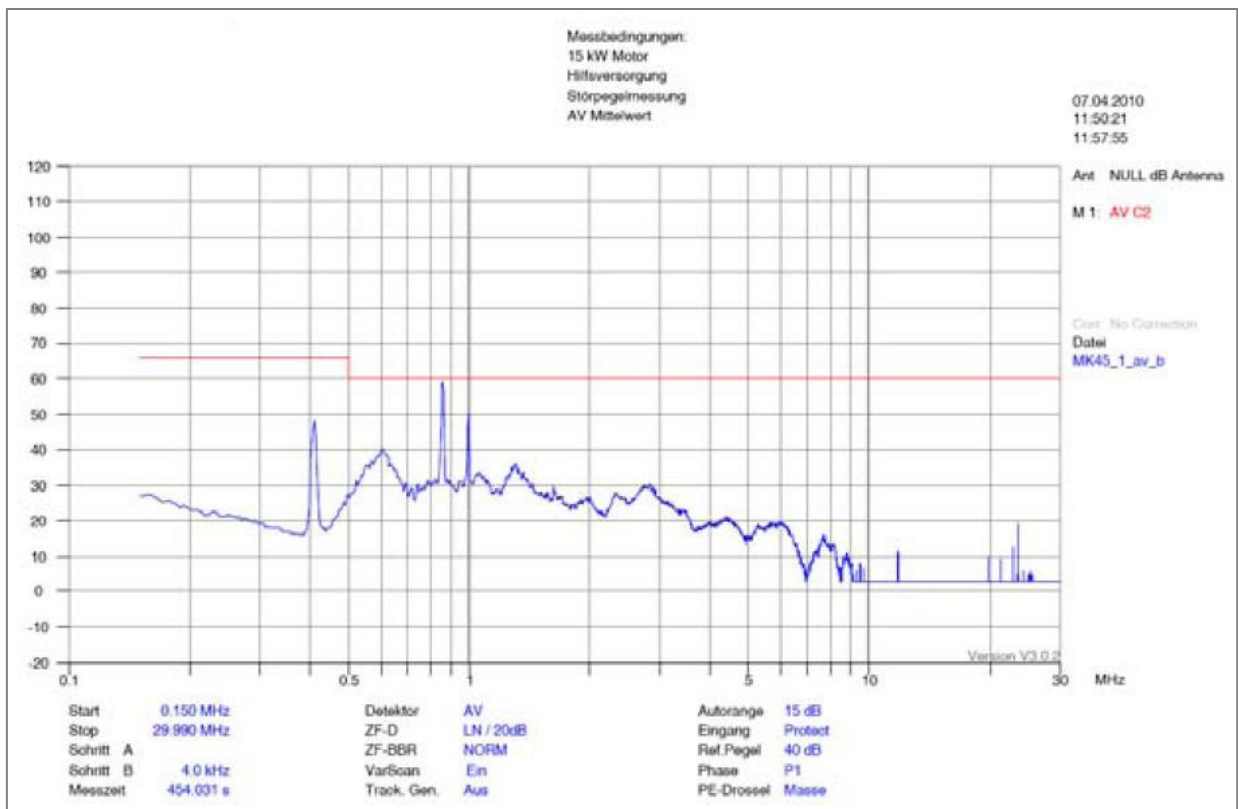
L3



Die hochfrequenten Anteile liegen im Frequenzbereich über den Grenzwerten für den Industriebereich.

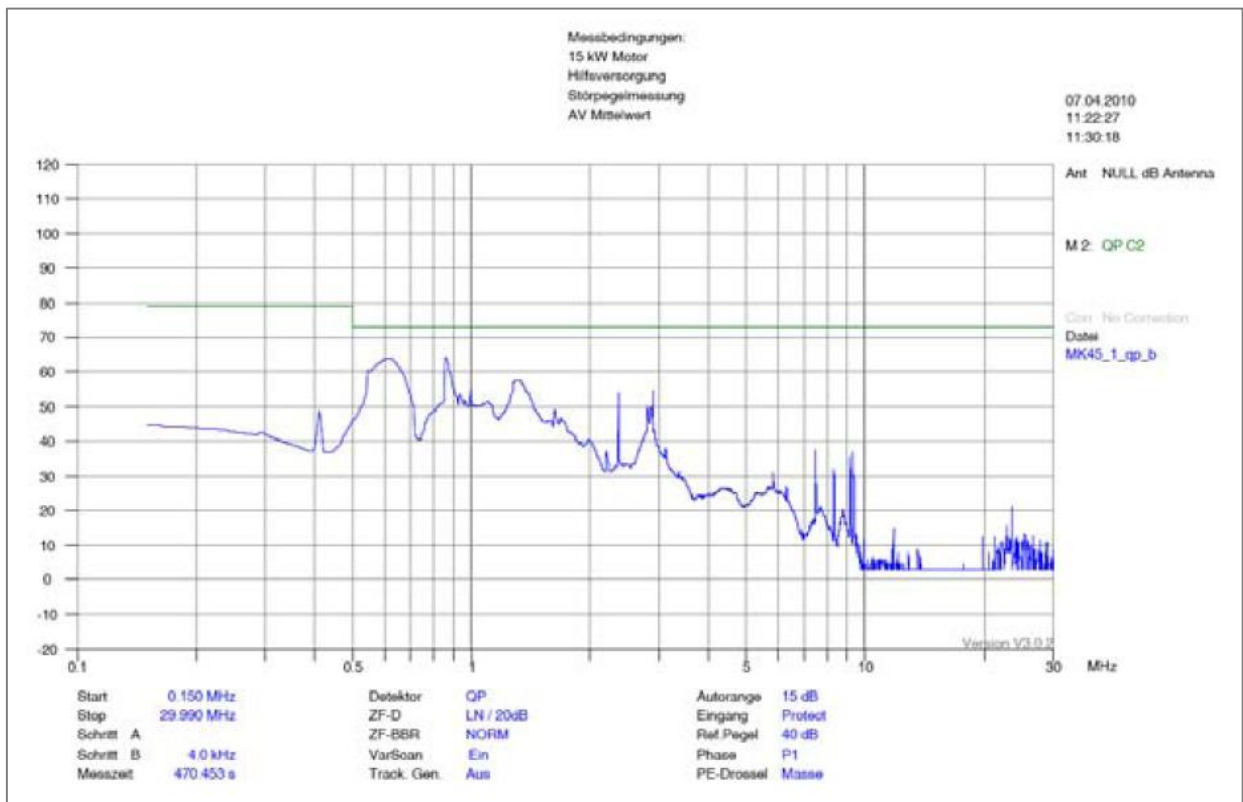
Messung am Hilfsversorgungsspannungsanschluss

Mittelwertdetektor



Vertraulich - nur für C

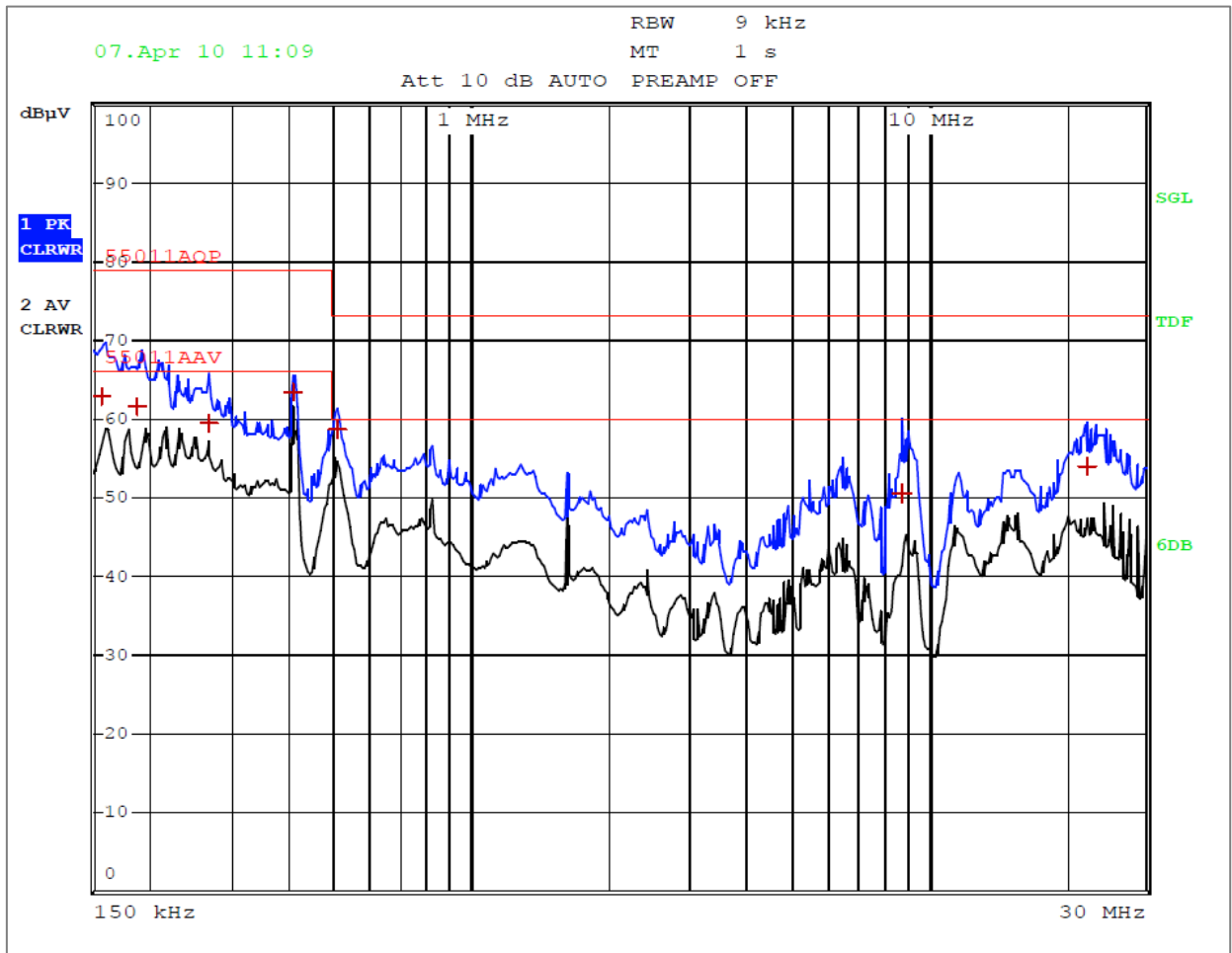
Quasipeak-Detektor



Die Grenzwerte Klasse A werden eingehalten. Die Taktfrequenz des Netzteils von 400 kHz tritt deutlich auf und bei 800 kHz (2. Harmonische) liegt der Mittelwert recht nah am Grenzwert.

Vertraulich - nur für den

Messung am Starteranschluss



Die Grenzwerte werden hier sehr gut eingehalten.

Vertraulich

Auszug aus Norm 60947-4-2

Tabelle 14 – Störspannungsgrenzen für leitungsgeführte hochfrequente Störaussendung an den Anschlüssen

Geräteklasse (Netzwerktyp)	A * (industriell)		B (öffentlich)	
	dB(μ V) Quasispitzenwert	dB(μ V) Mittelwert	dB(μ V) Quasispitzenwert	dB(μ V) Mittelwert
0,15 bis 0,5	100	90	66 bis 56 (abnehmend mit log der Frequenz)	56 bis 46 (abnehmend mit log der Frequenz)
0,5 bis 5	86	76	56	46
5 bis 30	90 bis 70 (abnehmend mit log der Frequenz)	80 bis 60 (abnehmend mit log der Frequenz)	60	50

* Grenzwerte entsprechend CISPR 11, Gruppe 2.

Vertraulich - nur für den internen Gebrauch

Quellenverzeichnis

- [Glo08] Global Carbon Project: Carbon budget and trends 2007; 26.09.2008;
<http://www.globalcarbonproject.org>
- [ZVE06] ZVEI-Broschüre: "Energiesparen mit elektrischen Antrieben -
Einsparpotentiale in Milliardenhöhe"; 01.04.2006.
- [Gro08] Großes Sparpotenzial; 18. April 2008.
<http://www.allaboutsourcing.de/de/elektrische-Antriebssysteme/>

Vertraulich - nur für den internen Gebrauch