

Programm *Elektrizität*
Forschungsprojekt



Marktuntersuchung für ein Prüfinstitut Antriebssysteme

ausgearbeitet durch
Rolf Gloor
Gloor Engineering
7434 Sufers

im Auftrag des
Bundesamtes für Energie

Vertragsnummer: 73 483
Projektnummer: 33 565

**Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energie entstanden.
Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor
dieses Berichts verantwortlich.**

Zusammenfassung

Um der Energieeffizienz in der Antriebstechnik mehr Aufmerksamkeit zu verschaffen, sollen die relevanten Werte bevorzugt in einer mächtigen öffentlichen Antriebsdatenbank aufgeführt werden. Ein spezialisiertes Prüfinstitut für Antriebssysteme soll diese Datenbank mit gemessenen Werten aufbauen. Dadurch soll in den undurchsichtigen Antriebsmarkt Transparenz gebracht werden.

Um diesen Plan zu prüfen, wurden die dazu erforderlichen Leistungen eines Prüfinstitutes in der Form eines Prospektes mit Fragebogen (*Anhang, Kapitel 10*) beschrieben und an 170 Marktteilnehmer in der Schweiz versandt. Die Auswertung dieser Umfrage kann ernüchternd kurz gefasst werden: Weder Anbieter noch Anwender sind an einer Datenbank oder einem Prüfinstitut für Antriebssysteme ernsthaft interessiert.

Um die Energieeffizienz in der Antriebstechnik zu fördern, könnten an Stelle der Antriebskomponenten die konkreten Antriebsanwendungen geprüft und beurteilt werden. Dazu wäre in einem neuen Projekt die Idee einer Zertifizierung „Energieoptimale Antriebslösung“ zu untersuchen.

Summary

To provide the energy efficiency in the motor driven systems more attention, the relevant values are to be specified preferentially in a powerful public drive data base. A specialized testing institute for drive systems is to structure this data base with measured values. Thus transparency is to be brought into the drive market.

Around this plan to check, the performances of a testing institute necessary for it were described in the form of a folder with questionnaire (*appendix, chapter 10*) and dispatched to 170 supplier and users of the drive market in Switzerland. The analysis of this inquiry can be reported briefly: Neither suppliers nor users are seriously interested in a data base or a testing institute in drive systems.

In order to promote the energy efficiency in the drive systems, the concrete applications of drives could be checked and judged in place of the drive components. The idea of a certifying "energy-optimal drive solution" would be examined in a new project.

Résumé

Pour procurer plus d'attention l'efficacité énergétique dans la technique d'entraînement, les valeurs pertinentes doivent être spécifiées de préférence dans une base de données de commande publique puissante. Un institut de contrôle spécialisé pour systèmes d'entraînement doit développer cette base de données avec des valeurs mesurées. De cette manière, la transparence doit être apportée dans le marché de commande.

Pour examiner ce plan, les performances nécessaires d'un institut de contrôle sous forme d'une chemise avec questionnaire sont devenues (*l'annexe, chapitre 10*) décrites et envoyées à 170 fournisseurs et preneurs du marché en Suisse. L'évaluation de cette enquête est, brièvement dit, désillusionnante: ni fournisseurs ni utilisateurs se sont intéressés sérieusement à une base de données ou à un institut de contrôle aux systèmes d'entraînement.

Pour encourager l'efficacité énergétique dans la technique d'entraînement, au lieu des composantes, les applications concrètes pourraient être examinées et jugées. Dans un nouveau projet, l'idée d'une certification "solution optimale de commande" devrait être examinée.

Inhaltsverzeichnis

1.	Ausgangslage.....	6
2.	Ziel.....	6
3.	Lösungsweg	6
4.	Prüfmethoden	7
4.1.	Prüfung von Motoren	8
4.2.	Prüfung von Steuergeräte	9
4.3.	Prüfung von Antriebssystemen.....	11
4.4.	Weitere Prüfungen und Leistungen	11
5.	Prüfinstitut.....	12
5.1.	Ausrüstung	12
5.2.	Durchführung.....	13
5.3.	Organisation	15
6.	Marktuntersuchung.....	16
7.	Schlussfolgerungen.....	17
8.	Abkürzungs- und Symbolverzeichnis.....	18
9.	Literaturverzeichnis	18
10.	Anhang	19

1. Ausgangslage

Für den Anlagen-, Maschinen- und Apparatebau gibt es eine Vielfalt von drehzahlvariablen Antrieben. Über 200 verschiedene Anbieter von Motoren und Steuergeräten sind auf dem Markt zu finden. Im Gegensatz zu Normmotoren unterscheiden sich viele dieser Produkte durch spezielle Antriebseigenschaften, welche nicht einheitlich beschrieben werden. Angaben über den Wirkungsgrad und Leerlaufverluste sind kaum erhältlich. Hersteller beschäftigen sich mit der Analyse von Konkurrenzprodukten, Anwender treiben einen hohen Aufwand, das geeignete Produkt zu finden. Bei der grossen Produktauswahl, den vielen Antriebsfunktionen, dem Zeitdruck und dem harten Preiskampf hat bei den meisten Untersuchungen das Thema Energieeffizienz keinen Platz.

2. Ziel

Ein spezialisiertes Prüfinstitut für Antriebssysteme könnte im undurchsichtigen Antriebsmarkt für Anbieter und Anwender Transparenz schaffen und das Thema Energieeffizienz berücksichtigen. Ziel dieses Projektes ist ein solches Institut und seine Leistungen zu beschreiben und die Marktchancen abzuklären.

Die Marktuntersuchung für Leistungen eines Prüfinstitutes konzentrieren sich vor allem auf Anbieter von standardisierten Baureihen (Frequenzumrichter, Motoren, Servoantriebe). Zusätzlich wird aber auch das Interesse an weiteren Leistungen im Institut und vor Ort beim Anwender erfragt. In diesem Zusammenhang wird die Integration von OPAL [1], ein kommerzielles Auswahlprogramm für Normmotoren, untersucht.

3. Lösungsweg

Zuerst werden die Funktionskriterien und möglichen Prüfmethode von Antriebssystemen bestimmt. Damit die Prüfungsergebnisse für die Marktteilnehmer interessant sind, sollten nicht nur energetische Aspekte untersucht werden, sondern auch wesentliche Antriebseigenschaften, welche Vergleiche ermöglichen. Als Grundlage dienen Normen, technische Produktunterlagen und Gespräche mit Fachleuten.

Dann werden die Anforderungen an ein Prüfinstitut ausgearbeitet und zusammen mit den ausgewählten Prüfleistungen in einem Prospekt beschrieben. Mit diesem Dokument (*Anhang*) wird bei Anbieter und Anwender eine Umfrage durchgeführt. Das Interesse der Angefragten wird mit Hilfe eines Fragebogens und telefonischen Rückfragen ermittelt. Die Antworten werden ausgewertet und dienen als Grundlage für die Abschätzung der Marktakzeptanz eines Prüfinstituts Antriebssysteme.

4. Prüfmethoden

Die beiden Antriebskomponenten Motor und Steuergerät lassen sich in vielfältiger Weise zu Antriebssystemen kombinieren. Zusätzlich gibt es jede Menge unterschiedliche Anwendungsanforderungen (Pumpe, Förderband, Roboter usw.) und Schnittstellen. Für eine vollständige Beurteilung von Antriebssystemen wäre die Berücksichtigung all dieser Varianten notwendig, aber das ist in dieser Breite nicht möglich. Um den Prüfaufwand in Grenzen zu halten, werden standardisierte Prüfkriterien für folgende 3 Gruppen vorgeschlagen:

- **Motoren:** Prüfung an Spannungsquellen mit geringem Oberwellenanteil.
- **Steuergeräte:** Prüfung mit institutseigenen, durchschnittlichen Motoren.
- **Antriebssysteme:** Gemeinsame Prüfung von Motor und zugehörigem Steuergerät.

Neben diesen standardisierten Prüfungen sollen auf Wunsch auch weitere Messungen im Institut oder ausserhalb durchgeführt werden.

Systemgrenzen

Ein Antriebssystem ist im Prinzip ein elektromechanischer Energiewandler. Aus diesem Grund beschränkt sich die Prüfung im wesentlichen auf diese Input/Output Betrachtung (Abb. 1). Auf der einen Seite sind die mechanischen Grössen (Drehmoment und Drehzahl) und auf der andern Seite sind die elektrischen Grössen (Spannung und Strom) sowie die Steuersignale.

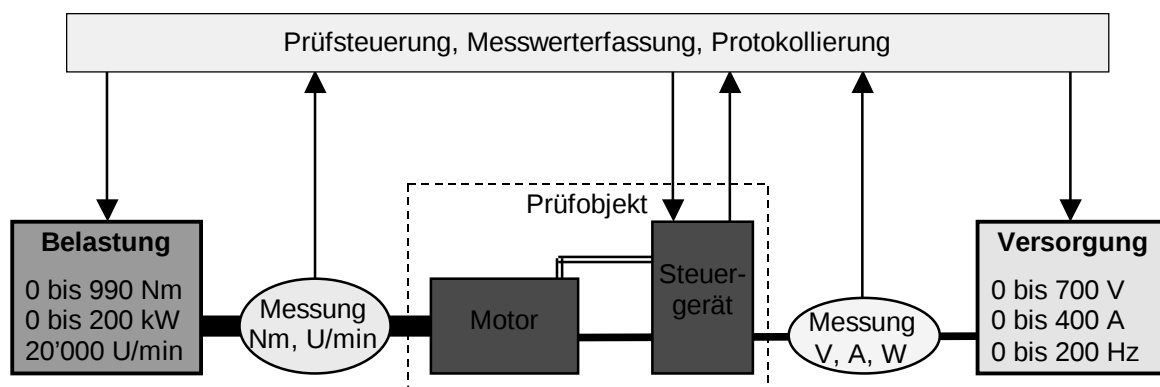


Abb. 1) Struktur des Prüfaufbaus und der Systemgrenzen.

Für die Prüfung müssen die Klimabedingungen eingestellt werden können. Vor allem für die thermische Belastbarkeit von Steuergeräten ist die Lufttemperatur wichtig. Zusätzlich kann über die Messung der abgeführten Verlustwärme auch der Wirkungsgrad überprüft werden. Weitere Umgebungseinflüsse wie Lärm, Vibrationen, luftgebundene Störungen können auch gemessen werden.

Taktfrequenz, Spannungsteilheiten und Ausgangsstrom des Steuergerätes und weitere innere Grössen sollen nicht gemessen werden. Für die Überprüfung der thermischen Reserve ist aber die Messung der Motor- und Kühlkörpertemperatur der Steuergeräte notwendig.

4.1. Prüfung von Motoren

Ausgangsgrösse für die Prüfung sind die vom Hersteller angegebenen Nennwerte (nach neuer Norm [2] die Bemessungswerte) der Prüflinge. Die meisten Werte und auch der Wirkungsgrad beziehen sich auf den Betriebspunkt, bei dem ein Motor seine Nennleistung abgibt. Ein Antrieb muss aber auch hoch- und runterfahren und die Belastung kann unter oder über der Nennbelastung liegen.

Bei der Motorenprüfung liegt der Schwerpunkt auf den normierten Asynchronmotoren. Für diese Gruppe gibt es einschlägige Vorschriften, die technischen Angaben beruhen aber vorwiegend auf Berechnungen. Die Prüfung von Asynchronmotoren lassen sich in folgende 3 Versuchszyklen unterteilen:

- 1. Leerlauf** Aufnahme der Drehmoment-Drehzahlkennlinie des stromlosen Motors: Bestimmung der Lagerreibung und der Lüfterverluste (in beiden Drehrichtungen). Erhöhung der Spannung: Aufnahme der Magnetisierungskennlinie und Bestimmung der Eisen- und Leerlaufverluste.
- 2. Nennpunkt** Nennbelastung bei Nennspannung bis sich die Motorwicklung nicht mehr weiter erwärmt. Dazu wird die Verbindung immer wieder für kurze Zeit unterbrochen und der Widerstand der Wicklungen gemessen: Bestimmung von Nennstrom, Phasenwinkel, Nenndrehzahl, Wirkungsgrad, thermischer Zeitkonstante und Wicklungsübertemperatur. Die Überprüfung der EC und CEMEP Standards eff_1 , eff_2 und eff_3 von Normmotoren kann gleichzeitig nach verschiedenen Methoden (europäisch und amerikanisch) erfolgen.
- 3. Kennlinie** Aufnahme der Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie bei Nennspannung (Dreieckschaltung) und bei Teilspannung (Sternschaltung): Bestimmung des Anlaufmoments, eventueller Sattelmomente und des Kippmoments im Motor- und Generatorbetrieb.

Damit die gemessenen Werte (Tab. 1) unabhängig von der Motorgrösse besser vergleichbar sind, können sie in Beziehung zu den Nenngrossen (Leistung, Drehmoment) gebracht werden. Bei Motoren ist die eigentliche Kenngrösse das Drehmoment, denn die Leistung lässt sich mit höheren Nenndrehzahlen steigern.

Prüfobjekt	Nennleistung	Nennspannung	Nennstrom	Leistungsfaktor	Nenn-drehzahl	Wirkungsgrad	Leerlaufanteil	Maximalmoment	Minimalmoment	Übertemperatur	Leistungspreis
	P_n	U_n	I_n	$\cos\varphi_n$	n_n	P_n/P_{el}	P_o/P_n	M_{max}/M_n	M_{min}/M_n	$\Delta\vartheta_n$	Preis/P_n
Einheit	kW	V	A	-	U/min	%	%	%	%	°K	€/kW
ASM-00013	5.5	3*400	12.1	0.83	1450	85.4	7.2	325	230	85	60
ASM-00053	5.5	3*400	11.8	0.80	1455	86.4	7.6	315	180	92	65
ASM-00215	5.5	3*400	12.4	0.84	1457	87.7	6.8	345	245	95	68

Tab. 1) Auswahl der Zusammenfassung von 4-poligen 5,5 kW Asynchronmotoren.

Bei andern Motoren (Gleichstrom-, Synchron-, Reluktanzmotoren usw.) kann nach einem ähnlichen Prinzip vorgegangen werden, die spezifischen Vergleichswerte sind aber anzupassen. Mit elektronisch kommutierten Antrieben (Schrittmotoren, bürstenlose Gleichstrommaschinen usw.) ist eine Systemprüfung durchzuführen.

4.2. Prüfung von Steuergeräte

Der Schwerpunkt der Marktaktivitäten im standardisierten Antriebsbereich liegt bei den Frequenzumrichter. Moderne Frequenzumrichter können mit Asynchronmotoren in Anwendungsbereiche eindringen, welche bisher mit Gleichstrom- und Servoantrieben ausgerüstet wurden. Wo die Grenze jeweils liegt und welche Frequenzumrichter diese erreichen, ist anhand der zur Verfügung stehenden technischen Produktunterlagen schwer abzuschätzen.

Referenzmotoren

Die Erfahrung zeigt, dass ein Frequenzumrichter je nach Asynchronmotor (herstellerabhängig) unterschiedliche Eigenschaften aufweist. Es gibt sogenannte „Billigmotoren“, bei denen gewisse Regelalgorithmen nicht zufriedenstellend wirken. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass ein Frequenzumrichter, welcher einen durchschnittlichen Motor gut im „Griff“ hat, auch mit einem schwierigen Motor besser „fertig“ wird.

Ein Vergleich verschiedener Frequenzumrichter der gleichen Leistung an einem entsprechenden Referenzmotor ist aussagekräftiger, als die Beschreibung der eingesetzten Hard- und Software. Wenn die Referenzmotoren mit manuell eingelegten Wicklungen versehen sind, können sie nach einem Defekt mit hoher Wahrscheinlichkeit wieder in den ursprünglichen Zustand gebracht werden.

Zubehör

Frequenzumrichter erzeugen durch die Gleichrichtung und die Zerschaltung der Ausgangsspannung Störungen am Ein- und Ausgang, über die Steuerschnittstellen und über die Luft. Zur Reduktion der Störungen (Funkentstörgrad A oder B) werden zusätzliche Komponenten (Drosseln, Netzfilter) eingesetzt. Je nach Motorleitungslänge und Art (geschirmt oder nicht) werden teilweise auch Filter am Ausgang des Frequenzumrichters empfohlen.

Damit der Frequenzumrichter einen Asynchronmotor abbremsen kann, muss er die generatorisch erzeugte Energie in einem Ballastwiderstand (intern oder extern) verheizen oder, über eine zusätzlich installierte Leistungselektronik, ins Netz zurück speisen.

Für einen repräsentativen Vergleich der Frequenzumrichter gibt es für die Ausrüstung mit Zubehöriteilen folgende einheitliche Vorgabe: Schutzart mindestens IP 20, Funkentstörgrad B, Motoranschluss mit einem geschirmten 10 Meter langen Kabel und ein kurzzeitiges Abbremsen des Motors mit mindestens dem Nennmoment soll möglich sein.

Schnittstelle

Die Möglichkeiten der Kommunikation zwischen Frequenzumrichter und der übergeordneten Steuerung sind sehr vielfältig und teilweise recht aufwendig zu installieren. Als Standardschnittstelle für die Prüfung wird deshalb der praktisch überall vorhandene Digitaleingang für den Startbefehl und der Analogeingang für die Drehzahlvorgabe verwendet.

Einstellwerte

Die Prüfung wird mit der Werkseinstellung durchgeführt, auch wenn gewisse Funktionen mit veränderten Parametern bessere Resultate erbringen würden.

Die Prüfung der Frequenzumrichter wird in folgende 5 Versuchsphasen unterteilt:

- 1. Leerlauf** Aufnahme des Einschaltstromes in Funktion der Zeit: Bestimmung der Netzbelastung beim Einschalten (Ladewiderstände) und der Leerlaufverluste des Frequenzumrichters (Netzgerät, Lüfter usw.). Durch mehrmaliges Geben des Startbefehls Bestimmung der Reaktionszeit und deren Streuung vom Befehl bis zur Ausführung und Meldung.
- 2. Belastung** Belastung mit dem Nennmoment aber bei 90% der Nenndrehzahl (90 % der Ausgangsspannung). Bei 100% der Nenndrehzahl werden die Leistungsschalter weniger belastet, weil für die volle Ausgangsspannung weniger Ein- und Ausschaltungen notwendig sind. Um die thermische Belastbarkeit des Frequenzumrichters zu prüfen, erfolgt der Belastungstest bei einer Umgebungstemperatur von 40 °C für eine Zeitdauer von 60 Minuten. Direkt anschliessend erfolgt bei gleicher Drehzahl der Überlasttest mit 150% des Nennmomentes für 60 Sekunden.
- 3. Nennpunkt** Betrieb im Nennpunkt des Motors. Bestimmung des Wirkungsgrades des Umrichters unter Abzug der bekannten Motorverluste beim Netzbetrieb. Messung der stabilen Motortemperatur und des Netzstromes mit seinen Oberwellen am Umrichtereingang.
- 4. Kennlinie** Aufnahme der Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie indem der Frequenzumrichter in einem Fall (Motorbetrieb) den Drehzahlsollwert 100% und im andern Fall (Bremsbetrieb) den Sollwert 0% erhält. Die Belastungsmaschine durchfährt den Bereich der synchronen Drehzahl von –20% bis 120%. Bestimmung des Anlauf-, Maximal- und Bremsmoments.
- 5. Minimum** Belastung mit dem Nennmoment im unteren Drehzahlbereich und Suche der minimalen Drehzahl, bei der die Momentpulsation kleiner als 10% ist. Bestimmung des Drehzahlstellbereiches vom Frequenzumrichter.

Die ermittelten Werte lassen sich wie bei der Motorprüfung unabhängig von der Umrichtergrösse besser vergleichen (Tab. 2), wenn sie in Beziehung zu den Nenngrössen (Leistung, Drehmoment) gesetzt werden. Bei Frequenzumrichter ist die eigentliche Kenngrösse der Ausgangsstrom, zusammen mit den festen Spannungsebenen (230V, 400V, 480V) ergibt das wie bei Transformatoren die Scheinleistung (VA).

Prüfnummer	Nennleistung	Nennspannung	Netzstrom	Oberwellen	Wirkungsgrad	Leerlaufanteil	Maximalmoment	Bremsmoment	Anlaufmoment	Minimale Drehzahl	Leistungspreis
Symbol	P_n	U_{netz}	I_{netz}	I_1/I_{netz}	P_r/P_{netz}	P_o/P_n	M_{max}/M_n	M_{max}/M_n	M_a/M_n	$n(M_n)/n_o$	Preis/P_n
Einheit	kW	P*V	A	%	%	%	%	%	%	%	€/kW
NFU-00254	5.5	3*400	13.7	85	96.4	3.2	160	60	85	1.2	140
NFU-00816	5.5	3*400	14.8	87	97.2	3.6	155	43	98	3.5	138
NFU-00089	5.5	3*400	15.2	86	96.3	2.8	175	108	112	2.4	152

Tab. 2) Auswahl der Zusammenfassung von 5,5 kW Frequenzumrichter.

Neben Frequenzumrichter könnten auch Sanftanlaufgeräte geprüft werden. Für andere Steuergeräte wären die entsprechenden Motoren erforderlich, welche aber nicht standardisiert sind. Für diese Geräte ist die Systemprüfung vorgesehen.

4.3. Prüfung von Antriebssystemen

Hier wird unter einem Antriebssystem eine Einheit von einem Motor und seinem Steuergerät verstanden. Oft sind auch hier Kombinationen von verschiedenen Motoren und Steuergeräten möglich, aber meistens nur im beschränkten Umfang, weil die Schnittstellen (Nennspannung, Rotorlagegeber, Stecker usw.) speziell sind. Die Prüfung von Antriebssystemen ist ähnlich wie die von Frequenzumrichter, zusätzlich wird aber der Regelkreis untersucht. Der Auftraggeber sollte bei der Prüfung dabei sein, damit er die Regelparameter optimal einstellen kann. Zusätzlich zum Standard der Umrichterprüfung werden folgende Funktionen überprüft:

- 1. Regelung** Dem System wird ein sinusförmiger Drehzahlsollwert mit steigender Frequenz vorgegeben, welcher mit dem Drehzahlwert verglichen wird. Dadurch können Unstetigkeiten und die Grenzfrequenz des Drehzahlregelkreises bestimmt werden.
- 2. Pulsation** Exakte Messung des Drehzahlverlaufs bei unterschiedlichen Reversierzeiten. Bestimmung rotorlageabhängiger Momentpulsationen, welche durch die Drehzahlregelung nicht ausgeglichen werden.
- 3. Auflösung** Vergleich von Drehzahl- und Momentsollwert mit dem Istwert: Bestimmung der Auflösung, Genauigkeit und Linearität.

Die Ergebnisse (Tab. 3), werden wie bei den anderen Prüfungen auch in Beziehung zu den Nenngrößen (Leistung, Drehmoment, Drehzahl) gesetzt.

Prüfnummer	Nennleistung	Nennspannung	Nennmoment	Oberwellen	Wirkungsgrad	Leerlaufanteil	Maximalmoment	Maximaldrehzahl	Momentpulsation	Grenzfrequenz	Leistungspreis
Symbol	P_n	U_{netz}	M_n	I_2/I_{netz}	P_n/P_{netz}	P_o/P_n	M_a/M_n	n_{max}/n_n	$\Delta M/M_n$	f_g	Preis/P_n
Einheit	kW	P*V	Nm	%	%	%	%	%	%	Hz	€/kW
PSM-00415	5.5	3*400	27.3	85	82.4	11.2	242	105	5.2	55	340
PSM-00133	5.5	3*400	26.8	86	78.2	10.6	308	114	3.5	68	328
PSM-00388	5.5	3*400	26.4	88	86.3	9.8	370	122	2.4	92	395

Tab. 3) Auswahl der Zusammenfassung von 5,5 kW Antriebssystemen

4.4. Weitere Prüfungen und Leistungen

Neben den beschriebenen Standardprüfungen können auch weitere Antriebsgrößen im Labor, beim Hersteller oder beim Anwender gemessen werden:

- Normen, Spannungsfestigkeit, Explosionsschutz, Lärm, Schwingungen usw.
- Leistungsaufnahme und Lastkennlinien von Maschinen und Anlagen.
- Störungen durch Oberwellen, EMV usw.

Bei konkreten Antriebsproblemen sind auch Beratungs- und Expertenleistungen möglich. So könnte die optimale Auslegung von Antrieben mit Werkzeugen wie OPAL angeboten werden.

5. Prüfinstitut

Basis für die Nützlichkeit eines Prüfinstitutes ist folgende Grundüberlegung: In der ganzen Welt führen Antriebsanbieter und -anwender Tests mit Antriebssystemen durch. Hochgerechnet sind wahrscheinlich im Schnitt über 1000 Personen dauernd mit der vergleichenden Prüfung einer Teilmenge aus 200 grösseren Herstellwerken beschäftigt. Die Ergebnisse sind unvollständig und vor allem nicht zugänglich. Ein spezialisiertes Prüfinstitut könnte mit einem Bruchteil dieses Aufwandes eine bessere Qualität und volle Transparenz bieten. Zur Beschreibung dieses Prüfinstituts wird folgende Unterteilung gewählt:

- **Ausrüstung:** Leistungsbereich, Infrastruktur und Gerätepark.
- **Durchführung:** Personalbesetzung, Qualitätssicherung, Prüfaufwand.
- **Organisation:** Grundsätze, Wirtschaftlichkeit.

Das Ziel ist nicht ein Prüflabor wie es an Schulen oder in Entwicklungsabteilungen zu finden ist, sondern eine automatisierte Einrichtung für die standardisierte Prüfung von möglichst vielen Antrieben mit minimalem Aufwand.

5.1. Ausrüstung

Für die Abdeckung eines Leistungsbereichs von 0,2 bis zu 200 kW Nennleistung sind mindestens 5 Prüfstände erforderlich. Die Prüflinge haben Gewichte von 1 kg bis 2000 kg.

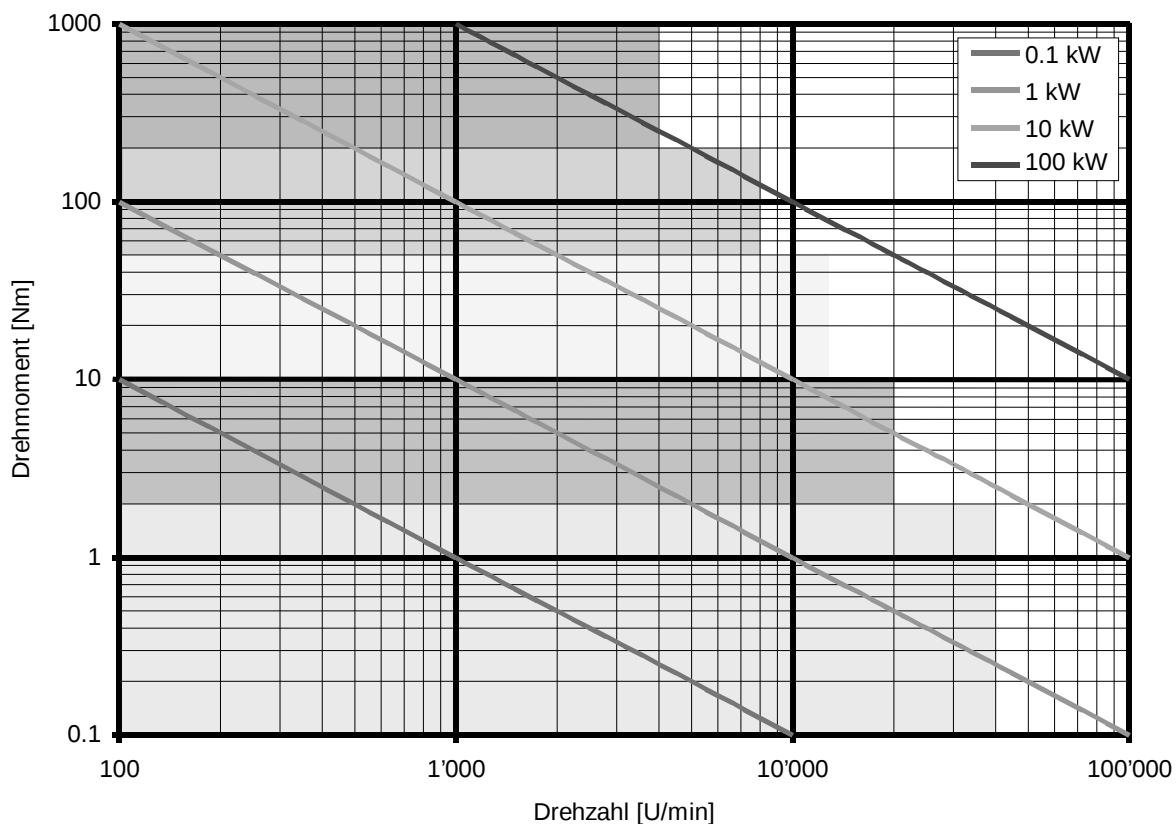


Abb. 2) Drehmoment-Drehzahlbereich der zu prüfenden Antriebssysteme in doppelt-logarithmischer Darstellung.

Für die Stromversorgungseinrichtung genügen 2 Leitungsklassen, weil die Nennspannungen näher zusammenliegen als die Nenndrehzahlen der Motoren.

Einrichtung	Details	Investition	Nutzdauer	Jahreskosten
Räumlichkeiten (Miete)	150 m ² Werkstatt und 50 m ² Büro	120'000 Fr.	15 Jahre	50'000 Fr./a
Stromversorgung inkl. Messeinrichtung	500 kVA bis 700 V und 400 A	120'000 Fr.	15 Jahre	10'000 Fr./a
	50 kVA von 0 bis 400 Hz	60'000 Fr.	10 Jahre	8'000 Fr./a
Prüfstände inklusive Messeinrichtung Belastungsmaschine und Referenzmotoren	1000 Nm bis 4000 U/min	200'000 Fr.	10 Jahre	25'000 Fr./a
	200 Nm bis 8000 U/min	120'000 Fr.	10 Jahre	15'000 Fr./a
	50 Nm bis 12'000 U/min	60'000 Fr.	8 Jahre	10'000 Fr./a
	10 Nm bis 20'000 U/min	40'000 Fr.	8 Jahre	7'000 Fr./a
	2 Nm bis 40'000 U/min	30'000 Fr.	8 Jahre	5'000 Fr./a
4 Klimakammern	für Motor und Steuergeräte	100'000 Fr.	8 Jahre	15'000 Fr./a
Messeinrichtungen	Widerstandsmessung, Lärm usw.	100'000 Fr.	5 Jahre	25'000 Fr./a
Messdatenerfassung	Redundantes Computersystem	50'000 Fr.	2 Jahre	30'000 Fr./a
Summe		1'000'000 Fr.		200'000 Fr./a

Tab. 4) Grobe Abschätzung der benötigten Ausrüstung und der Kosten.

Die in der oberen Tabelle (Tab. 4) angeschätzten Kosten beziehen sich auf die Einrichtung für ein neues Prüfinstitut. Die grosse Masse der Antriebe und auch die grösste Streuung im Wirkungsgrad haben Antriebe unter 20 kW Leistung. Mit einer Beschränkung auf diese Leistung liessen sich die Investitionskosten halbieren und die Jahreskosten um 30% reduzieren. Auf der andern Seite könnte die Infrastruktur auch Richtung EMV aufgerüstet werden, womit sich die Kosten locker verdoppeln könnten.

Der Ausbau eines bestehenden Labors (zum Beispiel Firma Landert AG in Bülach) und die Übernahme von nicht mehr genutzten Prüfeinrichtungen (ETH Zürich, Fachhochschulen usw.) würde den Investitionsaufwand erheblich senken, die Jahreskosten aber längerfristig kaum reduzieren.

5.2. Durchführung

Das Wichtigste an einem guten Prüfinstitut sind kompetente und motivierte Mitarbeiter. Die erforderlichen Tätigkeiten lassen sich in folgende drei Prozesse unterteilen:

- **Prüfung:** Auspacken, Identifikation, Einrichten, Starten der Prüfprogramme, Kontrolle der Resultate, Abbau, Verpackung, Kontrolle und Signierung des Prüfberichtes. Diese Tätigkeit erfordert qualifizierte Berufsleute (z.B. Elektromaschinenbauer).
- **Entwicklung:** Bereitstellung von Werkzeugen zur rationellen Prüfung, zur Qualitätssicherung, zur Berichterstellung und zum Datentransfer in die öffentliche Antriebsdatenbank. Zusätzliche Aufgabe ist die Entwicklung von neuen Prüfmethode. Diese Tätigkeiten erfordern tiefergehende Kompetenzen im Bereich Elektrotechnik und Informatik. Zusätzlich ist temporär die Unterstützung durch Fachspezialisten erforderlich.
- **Marketing:** Akquisition von Kunden, Auftragsabwicklung, Werbung, Marktforschung.

Die Erfüllung dieser Aufgaben erfordert ein Team aus mindestens 2 bis 3 Mitarbeiter, welche sich gegenseitig aushelfen.

Qualitätssicherung

Das Ziel der Prüfung ist Ermittlung von aussagekräftigen Resultaten. Eine Bedingung dazu ist eine sinnvolle Genauigkeit und das Grundprinzip der wissenschaftlichen Nachvollziehbarkeit. Eine zweite Prüfung sollte auch in einem anderen Labor die gleichen Resultate ergeben. Um dieses zu erreichen, ist folgendes Vorgehen notwendig:

- **Identifikation:** Jeder Prüfling wird eindeutig identifiziert: Auftraggeber, Hersteller, Fabrikationsnummer, Versanddaten, Foto, Kenndaten (Gewicht, Leistung, Spannung ...).
- **Messeinrichtung:** Die Messeinrichtungen müssen regelmässig kalibriert werden.
- **Prozess:** Die Abläufe müssen genau dokumentiert und regelmässig überprüft werden.

Durch eine Akkreditierung als Prüflabor durch die SAS (Schweizerische Akkreditierungsstelle) würden Bemühungen zur Qualitätssicherung besser anerkannt.

Zeitaufwand

Die Haupttätigkeit des Prüfinstituts ist das Ausmessen von Antrieben. Bei der Standardprüfung von Motoren, Steuergeräten und Antriebssystemen ist die Objektgrösse zu berücksichtigen. Je grösser der Prüfling, desto umständlicher ist das Handling und desto länger dauert seine Erwärmung auf die Nenntemperatur.

Prüfobjekt	Motoren		Steuergeräte		Systeme	
Leistungsklasse	1 kW	100 kW	1 kW	100 kW	1 kW	100 kW
Werbung	0.5		0.5		0.5	
Auftragsabwicklung	1.0		1.0		1.5	
Nachbearbeitung	0.5		0.5		1.0	
Kundenkontakt	2.0	0.0	2.0	0.0	3.0	0.0
Auspacken	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3
Registrierung	0.5		0.5		0.7	
Anschluss mechanisch	0.5	1.0	0.7	1.2	1.0	1.5
Anschluss elektrisch	0.3	0.2	0.6	0.5	0.5	0.5
Aufräumen	0.3	0.3	0.5	0.4	0.5	0.4
Verpacken	0.3	0.5	0.2	0.3	0.5	0.8
Einrichtung	2.0	2.2	2.6	2.5	3.4	3.5
Einstellung			0.5		1.0	
Leerlauf	0.2		0.2		0.2	
Nennpunkt	0.5	4.0	0.5	4.0	0.5	4.0
Kennlinie	0.2		0.2		0.2	
Überlast			0.5		0.5	
Regelkreis			0.3		0.5	
Prüfbericht	1.0		1.0		1.5	
Prüfung	1.9	4.0	3.2	4.0	4.4	4.0
Summe Zeitaufwand	5.9	6.2	7.8	6.5	10.8	7.5
Stundenansatz Fr./h	169	161	192	154	185	133
Marktpreis Fr.	1000	1000	1500	1000	2000	1000

Tab. 5) Abschätzung des benötigten Zeitaufwandes für eine Prüfung.

In der oberen Tabelle (Tab 5) ist der Zeitaufwand für einen 1 kW Antrieb und der zusätzliche Zeitaufwand für einen 100 kW Antrieb aufgeführt. Für einen 75 kW Frequenzumrichter ergibt das 11,2 Stunden Prüfzeit (7,8 Stunden plus 75/100 mal 6,5 Stunden), was 2250 Franken (1500 Franken plus 75/100 mal 1000 Franken) kosten soll.

5.3. Organisation

Für die beschriebenen Antriebsprüfungen ist eine professionelle Organisation erforderlich, bei der die Vertrauenswürdigkeit und Marktakzeptanz die oberste Priorität haben. Folgende 5 Grundsätze sollen das beschreiben:

Transparenz: Die Identität der Aktionäre, Verwaltungsräte, der mindestens drei festangestellten Fachleute und der Partner (vor allem aus dem Bereich der Hochschulen) wird offen gelegt.

Qualität: Als akkreditierte Prüfstelle wird an der Entwicklung von aussagekräftigen Prüfverfahren und Methoden zur Veranschaulichung gearbeitet.

Finanzierung: Das Kerngeschäft ist die von Auftraggeber bezahlte Prüfung von Antriebssystemen, die Veröffentlichung der Ergebnisse und Anwendungsberatung mit OPAL [1]. Daneben kann das Prüfinstitut im Bereich der Aus- und Weiterbildung tätig sein.

Sicherheit: Prüflinge werden nicht ausspioniert (Blackbox). Der Auftraggeber kann die Existenz eines Prüflings und die Prüfergebnisse für geheim erklären.

Neutralität: Der Auftraggeber kann keinen Einfluss auf die Prüfergebnisse ausüben. Das Prüfinstitut gibt keine Empfehlungen für Produkte oder Hersteller ab.

Die enge Verbindung mit einer Technischen Hochschule wäre für ein eigenständiges Prüfinstitut eine gute Basis. Der dauernde Kontakt mit den neusten Antriebssystemen wäre für die Lehre und das Image der Schule wertvoll.

In einem Rhythmus von 4 Jahren erfolgt bei den Steuergeräten üblicherweise ein Generationenwechsel. Bei etwa 20 Grössen und Varianten pro Generation ergibt das bei weltweit 100 grösseren Produktionslinien pro Jahr rund 500 neue Geräte. Nicht eingerechnet sind hier Software-Updates. Das ehrgeizige Ziel ist, einen Viertel dieser Geräte zu prüfen.

Prüfobjekt	Motoren	Geräte	Systeme	Diverse	Summe
Prüfzeit	8 h	10 h	12 h	1 h	
Prüfkosten	Fr. 1'200	Fr. 1'800	Fr. 2'000	Fr. 200	
Stückzahl	50	100	30		180
Zeitaufwand	400 h	1'000 h	360 h	1'000 h	2'760 h
Jahresumsatz	Fr. 60'000	Fr. 180'000	Fr. 60'000	Fr. 200'000	Fr. 500'000

Tab. 6) Abschätzung der Anzahl jährlicher Antriebsprüfungen.

Bei 200'000 Franken Sachaufwand und 300'000 Franken Personalaufwand würde bei einem Jahresumsatz von 500'000 Franken die Erfolgsrechnung für ein Prüfinstitut gerade aufgehen. In einer Startphase über etwa 2 Jahre müsste mit Verlust gerechnet werden. Eine Erhöhung der Prüfkosten hat tendenziell eine Reduktion der Stückzahl zur Folge.

Die gewünschten Prüfkriterien, das mögliche Preisniveau und die zu erwartende Anzahl Prüfungen sind nicht bekannt. Dieses heraus zu finden ist das Ziel der im nächsten Kapitel beschriebenen Marktuntersuchung.

6. Marktuntersuchung

Die im Anhang aufgeführten Dokumente über das Prüfinstitut Antriebssysteme wurden an 140 Anbieter und 30 Anwender aus dem Bereich der Antriebstechnik verschickt. Zusätzlich wurden an der Hannovermesse 10 Hersteller direkt angesprochen. Trotz einfach gehaltenem Fragebogen haben nur 5 Anbieter und 1 Anwender schriftlich geantwortet, bei 24 grösseren Anbieter und 17 Anwender wurde telefonisch nachgefragt.

Ergebnisse der Umfrage

Konkret meldeten 3 mittelgrosse Anbieter und 1 Anwender aus dem Bereich Unterhalt schriftlich ihr Interesse an Leistungen des Prüfinstitutes an. Diese 4 positiven Antworten deckten zusammen fast das ganze Spektrum der Prüfleistungen auf dem Fragebogen ab. Es wurden 15 Prüfungen und 30 Stunden Beratung für zusammen rund 30'000 Franken in Aussicht gestellt.

Die magere Rückmeldung von nur 3% der angeschriebenen Marktteilnehmer kündigt ein geringes Interesse an. In den teilweise längeren Telefongesprächen wurden folgende Standpunkte erfahren:

- **Abschottung:** Die grossen Anbieter führen im Stammwerk eigene Vergleiche durch und verwenden die Resultate für ihre Produktentwicklung und Marktbearbeitung.
- **Nichtzuständigkeit:** Viele Vertretungen in der Schweiz wollen oder dürfen selber keine vergleichende Antriebsprüfungen in Auftrag geben und erwarten eine Reaktion des Lieferwerkes. Aus diversen Gründen (Ablehnung, Bequemlichkeit, Fremdsprache) wurde der Fragebogen meistens nicht weiter geleitet.
- **Nebensache:** Einige Anbieter und Anwender vertreten die Auffassung, dass die technischen Eigenschaften der Antriebe nur gering voneinander abweichen und bei der Kaufentscheidung eine untergeordnete Rolle spielen.
- **Unzureichend:** Vor allem Anbieter und Anwender aus dem Bereich der Antriebssysteme (Servoantriebe, Spezialantriebe) stellen fest, dass eine optimale Antriebsauswahl bei komplexeren Anwendungen anhand einiger Vergleichsdaten nicht möglich sei. Anbieter von Frequenzumrichter, welche mit mehreren Software-Updates pro Jahr konfrontiert sind, stellen die Aktualität der Vergleichswerte in Frage.

Wenn das Gespräch auf die Prüfkosten fiel, wurden diese als angemessen beurteilt. Die Deklaration der Antriebspreise war kein kritischer Punkt. Das Thema Energieeffizienz wurde von der Mehrheit als nebensächlich beurteilt. Die Auslegungssoftware OPAL war nur 2 Anbieter (beide Mitglieder der Gruppe Trendwatching Antriebe) bekannt.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Umfrage zeigte, dass an den Leistungen eines Prüfinstituts für Antriebssysteme kaum jemand interessiert ist. Bei der Mehrzahl der befragten Marktteilnehmer sind gleichgültige bis ablehnende Reaktionen festgestellt worden. Erstaunlich ist das geringe Interesse der Anwender an einer umfassenden Datenbank über Antriebe.

7. Schlussfolgerungen

Das Ziel ist im undurchsichtigen Antriebsmarkt für Anbieter und Anwender Transparenz zu schaffen und das Thema Energieeffizienz zu berücksichtigen.

Dieses Ziel scheint mit einem spezialisierten Prüfinstitut für Antriebssysteme, welches von den Marktteilnehmern finanziert wird, nur schwer erreichbar zu sein. Bei einer Finanzierung durch andere Quellen (der öffentlichen Hand) könnte zwar ein solches Institut betrieben werden, aber ohne den Druck des Marktes ist die Gefahr gross, dass die Ergebnisse kaum wahr genommen werden.

Viele Prüfstellen funktionieren nur, weil gewisse Prüfungen oder Nachweise gesetzlich vorgeschrieben sind. Prüfstellen welche sich über die Vermarktung der Resultate finanzieren, gibt es praktisch nur für Publikumsprodukte. Die schweizerischen Prüfstellen für Wärmepumpen und Sonnenkollektoren werden nur zu einem Drittel durch die Anbieter finanziert, die Resultate haben bei den Anbieter und Anwender einen hohen Stellenwert.

Die Marktuntersuchung für ein Prüfinstitut Antriebssysteme hat gezeigt, dass die Wahl für die eine oder andere Antriebskomponente von vielen Faktoren beeinflusst wird und dass der Faktor Energieeffizienz leider nur eine untergeordnete Bedeutung hat. Die Gespräche mit den Marktteilnehmern zeigten aber auch, dass die bekannten Massnahmen für eine energieoptimale Antriebslösung kaum konsequent durchgeführt werden. Aus dieser Feststellung kommt die Projektidee zur Schaffung des Qualitätsstandards „Energieoptimale Antriebslösung“.

Eine energieoptimale Antriebslösung beinhaltet alle wirtschaftlichen Möglichkeiten, um eine Anlage mit minimalem Energieverbrauch zu betreiben. Die Verwendung von Antriebskomponenten mit hohem Wirkungsgrad (zum Beispiel Normmotoren mit dem Label eff2 oder eff1) ist ein einfaches Element dazu. Die Antriebsauslegung mit einem Computerprogramm (zum Beispiel OPAL [1]) ist ein aufwendigeres Element. Das wichtigste Element ist aber die Prozessanalyse und die entsprechende Systemwahl. Zusätzliche Elemente sind zum Beispiel die Ansteuerung und Auswahl der Hilfsaggregate oder die Optimierungsmöglichkeiten durch den Anlagenbetreiber.

Eine energieoptimale Antriebslösung sollte ein begehrtes Qualitätsmerkmal einer Anlage oder Maschine werden. Eine verteilte Gruppe von Antriebsspezialisten (virtuelles Unternehmen) aus dem Bereich der technischen Hochschulen und produktneutralen Büros könnte einen neuen Standard „**OPAL: Energieoptimale Antriebslösung**“ oder zum Beispiel in Lizenz „**MINERGIE**“ zertifizieren. Zur Prüfung der Realisierungschance eines solchen Standards wird ein Projekt mit folgenden drei Aufgaben vorgeschlagen:

- a) **Entwicklung:** Ausarbeitung der Zertifizierungskriterien.
- b) **Feldversuch:** Durchführung von 5 verschiedenen Zertifizierungen.
- c) **Marketing:** Vorschläge für die Vermarktung und Abklärung der Marktchancen.

Die Ergebnisse dieser drei Teilaufgaben beeinflussen sich gegenseitig. Die drei wesentlichen Antworten aus dem Projekt sind: Lässt sich eine „Energieoptimale Antriebslösung“ klar definieren, was kostet sie und was ist sie im Markt wert?

8. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

<i>Abkürzung</i>	<i>Bezeichnung</i>
€	Euro, Währung der Europäischen Union
a	Jahr
BfE	Bundesamt für Energie
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule
Fr.	Schweizer Franken
SAS	Schweizerische Akkreditierungsstelle, Lindenweg 50, 3000 Bern-Wabern

<i>Symbol</i>	<i>Einheit</i>	<i>Bezeichnung</i>
φ		Phasenwinkel zwischen Spannung und Strom
ϑ	K	Temperatur
f	Hz	Frequenz
I	A	Strom
I_1	A	Grundwelle des Stromes
M	Nm	Drehmoment
n	U/min	Drehzahl
P	W	Wirkleistung (1000 W = 1 kW)
U	V	Spannung
	P	Anzahl Phasen
el		Bezogen auf elektrische Grössen
g		Grenzwert
n		Wert im Nennpunkt
netz		Bezogen auf die Seite des Netzanschlusses
o		Wert im Leerlauf

9. Literaturverzeichnis

- [1] OPAL, Optimale Auslegung drehzahlvariabler Antriebe, SEMAFOR Basel, BfE-Tagung: Technologietrends bei Antrieben, Zürich 1997
- [2] VDE 0530 Umlaufende elektrische Maschinen Teil 1 und 2 (wie SEV 3009-1 und 3009-2)
- [3] Drehende elektrische Maschinen: Erläuterungen zu VDE 0530, VDE Berlin, 1997
- [4] VDE 0875 Funkentstörung von elektrischen Betriebsmitteln und Anlagen, Teil 14 Grenzwerte und Messverfahren von Funkentstörung von Geräten mit elektromotorischem Antrieb
- [5] DIN EN 21680 Messung der Luftschallemission von umlaufenden elektrischen Maschinen (SEV 3009-7)
- [6] DIN 42669-42677 Drehstrommotoren mit Käfigläufer (SEV 3262-1)

10. Anhang

Auf dieser Seite ist der Begleitbrief der Umfrage, auf den folgenden 3 Seiten die Beschreibung des Prüfinstitutes und auf der letzten Seite der Fragebogen zu finden. In der Fusszeile war die Adresse des Projektverfassers angegeben.

GLOOR ENGINEERING
Umwelttechnik, Automatisierung
CH - 7434 Sufers
Telefon: 081 / 630 90 10
Telefax: 081 / 630 90 11
E-Mail: gloor@energie.ch

Sufers, 20. März 2000

«Name»

«Strasse»

«PLZ» «Ort»

Prüfinstitut für Antriebssysteme

Sehr geehrte Damen und Herren

Haben Sie sich nicht auch schon zuverlässige Vergleichsdaten der auf dem Markt erhältlichen elektrischen Antriebssysteme gewünscht?

Weitere Informationen finden Sie in der beiliegenden Beschreibung eines Prüfinstitutes für Antriebssysteme. Ich bin Ihnen dankbar, wenn Sie den Fragebogen auf der letzten Seite ausfüllen und bis Ende März an mich zurücksenden.

Für weitere Ausführungen und Fragen stehe ich Ihnen gerne zur Verfügung und verbleibe

mit freundlichen Grüssen



Rolf Gloor, Projektleiter
Dipl.Ing.ETH, NDU HSG

Beilage: Kurzbeschreibung Prüfinstitut

Prüfinstitut für Antriebssysteme

Marktuntersuchung im Auftrag des Bundesamtes für Energie und in Zusammenarbeit mit Hochschulen der Schweiz.

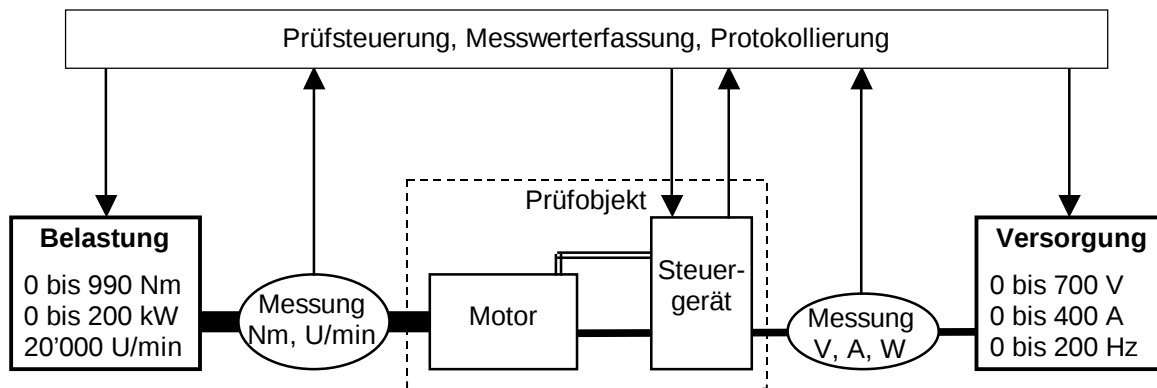


Bild 1) Struktur des Prüfaufbaus

- Ausgangslage** Elektrische Antriebssysteme sind im Gegensatz zu Normmotoren schwer untereinander vergleichbar. Anbieter und Anwender treiben einen hohen Aufwand für Vergleiche, die Ergebnisse werden aber kaum publiziert.
- Ziel** Die wesentlichen Leistungsdaten der weltweit verfügbaren Antriebssysteme sollen einheitlich gemessen und veröffentlicht werden.
- Lösung** Ein unabhängiges Institut spezialisiert sich auf die neutrale Prüfung von Antriebssystemen:
 Hohe Prüfqualität (Fachleute, Laboreinrichtung)
 Tiefe Prüfkosten (Automatisierung, Mengeneffekt)
 Breite Veröffentlichung (Fachzeitschriften, Internet)

Wenn die Auswertung dieser Marktuntersuchung (beiliegender Fragebogen) ein ernsthaftes Interesse zeigt, wird ein Prüfinstitut für Antriebssysteme innerhalb eines Jahres operativ tätig sein. Es ist alles schon vorhanden (Fachleute, Komponenten, Systeme), es muss nur noch zusammengefügt werden.

Sufers, 15. März 2000

Gloor

Rolf Gloor, Projektleiter
 Dipl.Ing.ETH, NDU HSG

Prüfablauf

- Jeder Prüfling wird zuerst identifiziert: Auftraggeber, Hersteller, Fabrikationsnummer, Foto, Kenndaten (Gewicht, Leistung, Spannung, Preis, ...). Jede Prüfung wird nach dem Grundprinzip der wissenschaftlichen Nachvollziehbarkeit durchgeführt (akkreditiertes Labor).
- Der Auftraggeber kann bei der Prüfung anwesend sein. Über jede Prüfung gibt es einen vollständigen Prüfbericht (deutsch und englisch) für den Auftraggeber. Er kann innerhalb von 30 Tagen entscheiden, ob die Ergebnisse veröffentlicht werden.

1. Motorenprüfung (bei Umgebungstemperatur)

- Überprüfung der EC und CEMEP Standards eff1, eff2 und eff3 von Normmotoren.
- a) Leerlauf: Strom in Funktion der Spannung, Leerlaufverluste bei Nennspannung
- b) Nennpunkt: Wirkungsgrad, Nenndrehzahl, thermische Zeitkonstante, Wicklungstemperatur
- c) Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie bei Nennspannung, Strom- und Leistungsaufnahme
- d) Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie bei Teilspannung (Sternschaltung)

Prüfobjekt	Nennleistung	Nennspannung	Nennstrom	Leistungsfaktor	Nenn-drehzahl	Wirkungsgrad	Leerlaufanteil	Maximalmoment	Minimalmoment	Übertemperatur	Leistungspreis
	P_n	U_n	I_n	$\cos\phi_n$	n_n	P_n/P_{el}	P_o/P_n	M_{max}/M_n	M_{min}/M_n	$\Delta\vartheta_n$	Preis/P_n
Einheit	kW	V	A	-	U/min	%	%	%	%	°K	€/kW
ASM-00013	5.5	3*400	12.1	0.83	1450	85.4	7.2	325	230	85	60
ASM-00053	5.5	3*400	11.8	0.80	1455	86.4	7.6	315	180	92	65
ASM-00215	5.5	3*400	12.4	0.84	1457	87.7	6.8	345	245	95	68

Tabelle 1) Auswahl der Zusammenfassung von 4-poligen 5,5 kW Asynchronmotoren

2. Umrichterprüfung (bei 40 °C Umgebungstemperatur)

- Für die Umrichterprüfung werden der institutseigenen 4-poligen Normmotoren der entsprechenden Leistung verwendet. Der Wirkungsgrad des Umrichters wird um den des Motors im Netzbetrieb korrigiert (Zusatzverluste im Motor gehen auf das Konto des Umrichters).
- Die vom Hersteller gelieferten Zubehörteile (Filter Klasse B, Drosseln, Chopper ...) werden mitgeprüft. Das Motorkabel ist geschirmt, 4-adrig und 10 m lang.
- Die Prüfung wird mit der Werkseinstellung und über den Analogeingang vorgenommen.
- a) Leerlauf: Einschaltstrom, Leerlaufverlust, Reaktionszeit auf Einschalt- und Startbefehl
- b) Belastung: Nennmoment bei 90% Spannung (45 Hz) für mindestens 60 Minuten
- c) Überlast: 150% Nennmoment bei 90% Spannung (45 Hz) für 60 Sekunden
- d) Nennpunkt: Netzstrom, Oberwellen, Wirkungsgrad
- e) Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie bei Sollwert 100% (Motorbetrieb) und 0% (Bremsbetrieb)
- f) Minimaldrehzahl für Nennmoment (Momentpulsation < 10%)

Prüfnummer	Nennleistung	Nennspannung	Netzstrom	Oberwellen	Wirkungsgrad	Leerlaufanteil	Maximalmoment	Bremsmoment	Anlaufmoment	Minimale Drehzahl	Leistungspreis
Symbol	P_n	U_{netz}	I_{netz}	I_1/I_{netz}	P_n/P_{netz}	P_o/P_n	M_{max}/M_n	M_{br}/M_n	M_a/M_n	$n(M_n)/n_o$	Preis/P_n
Einheit	kW	V	A	%	%	%	%	%	%	%	€/kW
NFU-00254	5.5	3*400	13.7	85	96.4	3.2	160	60	85	1.2	140
NFU-00816	5.5	3*400	14.8	87	97.2	3.6	155	43	98	3.5	138
NFU-00089	5.5	3*400	15.2	86	96.3	2.8	175	108	112	2.4	152

Tabelle 2) Auswahl der Zusammenfassung von 5,5 kW Frequenzumrichter

3. Systemprüfung (bei 40 °C Umgebungstemperatur für das Steuergerät)

- Die Systemprüfung ist ähnlich wie die Umrichterprüfung, der Motor mit konfektionierten Kabel wird aber vom Auftraggeber mitgeliefert.
- Der Auftraggeber kann die Antriebsparameter vor der Prüfung optimal einstellen.

Zusätzlich zum Standard der Umrichterprüfung werden folgende Funktionen überprüft:

- a) Frequenzgang des Drehzahlregelkreises (Bodediagramm)
- b) Drehzahlverlauf bei minimaler Reversierzeit, Momentpulsation
- c) Genauigkeit und Auflösung der Momentsteuerung und Drehzahlregelung

Prüfnummer	Nennleistung	Nennspannung	Nennmoment	Oberwellen	Wirkungsgrad	Leerlaufanteil	Maximalmoment	Maximaldrehzahl	Momentpulsation	Grenzfrequenz	Leistungspreis
Symbol	P_n	U_{netz}	M_n	I_1/I_{netz}	P_n/P_{netz}	P_o/P_n	M_a/M_n	n_{max}/n_n	$\Delta M/M_n$	f_g	Preis/ P_n
Einheit	kW	V	Nm	%	%	%	%	%	%	Hz	€/kW
PSM-00415	5.5	3*400	27.3	85	82.4	11.2	242	105	5.2	55	340
PSM-00133	5.5	3*400	26.8	86	78.2	10.6	308	114	3.5	68	328
PSM-00388	5.5	3*400	26.4	88	86.3	9.8	370	122	2.4	92	395

Tabelle 3) Auswahl der Zusammenfassung von 5,5 kW Antriebssystemen

4. Weitere Leistungen

Das Institut kann weitere Antriebsgrößen im Labor oder beim Kunden messen sowie bei der Antriebsauslegung Unterstützung leisten:

- a) Messung der Leistungsaufnahme und von Lastkennlinien von Maschinen und Anlagen
- b) Messungen nach Wunsch des Auftraggebers (Schall, Temperatur, Schwingungen usw.)
- c) Optimale Auslegung von Antrieben mit OPAL (Software mit grosser Antriebsdatenbank)

Prüfinstitut

Für das Prüfinstitut hat die Vertrauenswürdigkeit und Nützlichkeit die oberste Priorität:

- Transparenz:** Die Identität der Aktionäre, Verwaltungsräte, der mindestens drei festangestellten Fachleute und der Partner (vor allem aus dem Bereich der Hochschulen) wird offen gelegt.
- Qualität:** Als akkreditierte Prüfstelle wird an der Entwicklung von aussagekräftigen Prüfverfahren und Methoden zur Veranschaulichung gearbeitet.
- Finanzierung:** Das Kerngeschäft ist die von Auftraggeber bezahlte Prüfung von Antriebssystemen und die Veröffentlichung der Ergebnisse. Daneben kann das Prüfinstitut im Bereich der Aus- und Weiterbildung tätig sein.
- Sicherheit:** Prüflinge werden nicht ausspioniert (Blackbox). Der Auftraggeber kann die Existenz eines Prüflings und die Prüfergebnisse für geheim erklären.
- Neutralität:** Der Auftraggeber kann keinen Einfluss auf die Prüfergebnisse ausüben. Das Prüfinstitut gibt keine Empfehlungen für Produkte oder Hersteller ab.

Fragebogen

Firma:

Kontaktperson: _____ Datum: _____

Hauptinteresse: ☐ Verkaufsförderung, ☐ Problemlösung, _____

Motorenprüfung

Richtpreis 1000 Fr. + 10 Fr./kW

Art der Motoren: ☐ Asynchronmotoren, _____

Art der Prüfung: ☐ M/n-Kennline, ☐ Thermisch, ☐ Mechanisch, _____

Leistungsbereich:

Nennleistung in kW	0.06	0.09	0.12	0.18	0.25	0.37	0.55	0.75	1.1	1.5	2.2	3	4	5.5	7.5	11	15	19	22	30	37	45	55	75	90	110	132	160	200	250	315	400	500
> 3000 U/min																																	
1 - 3000 U/min																																	
< 1000 U/min																																	

Prüfbedarf: _____ Motoren für total _____ Fr. Prüfkosten pro Jahr

Umrichterprüfung

Richtpreis 1500 Fr. + 10 Fr./kW

Art der Umrichter: ☐ U/f-Umrichter, ☐ Vektorregelung, _____

Art der Prüfung: ☐ M/n-Kennline, ☐ Elektrisch, ☐ Thermisch, _____

Leistungsbereich:

Nennleistung in kW	0.06	0.09	0.12	0.18	0.25	0.37	0.55	0.75	1.1	1.5	2.2	3	4	5.5	7.5	11	15	19	22	30	37	45	55	75	90	110	132	160	200	250	315	400	500
> 3000 U/min																																	
1 - 3000 U/min																																	
< 1000 U/min																																	

Prüfbedarf: _____ Umrichter für total _____ Fr. Prüfkosten pro Jahr

Systemprüfung

Richtpreis 2000 Fr. + 10 Fr./kW

Art der Systeme: ☐ SM-Servo, ☐ ASM-Servo, ☐ DC-Servo, _____

Art der Prüfung: ☐ M/n-Kennline, ☐ Thermisch, ☐ Regelung, _____

Leistungsbereich:

Nennleistung in kW	0.06	0.09	0.12	0.18	0.25	0.37	0.55	0.75	1.1	1.5	2.2	3	4	5.5	7.5	11	15	19	22	30	37	45	55	75	90	110	132	160	200	250	315	400	500
> 3000 U/min																																	
1 - 3000 U/min																																	
< 1000 U/min																																	

Prüfbedarf: _____ Systeme für total _____ Fr. Prüfkosten pro Jahr

Weitere Leistungen

Richtpreis 200 Fr. pro Stunde

Ort der Prüfung: ☐ Institut, ☐ Hersteller, ☐ Anwender, _____

Art der Prüfung: ☐ Lastkennline, ☐ Antriebskennline, _____

Beratungsleistungen: ☐ Antriebsauslegung mit OPAL, _____

Bedarf: _____ Stunden für total _____ Fr. pro Jahr

Bemerkungen:

Anregungen und Bemerkungen werden dankend entgegengenommen.

Bitte bis 31. März 2000 an untenstehende Adresse senden (die Auswertung erfolgt anonym)