Energie sparen? - mit System!

4. Fachtagung E-Motoren und Transformatoren
Fulda, 28.01.2015

Sylvia Blankenhagen, VEM GROUP

Energie sparen? - mit System!

Inhalt

1. Status von Gesetzgebung (EVPG) und Normung
2. Maßnahmen und Wirkung
3. Fallunterscheidung
4. Kostenbetrachtung
5. Physikalische Begründung
6. Antworten
7. EN 50598
8. Umsetzung bei VEM
9. Produkte
10. Resümee

Gesetzgebung:

Stufe 2 der VO (EG) Nr. 640/2009: seit 01.01.2015 in Kraft
-> **IE3** Mindestwirkungsgrad für Motoren von **7,5-375kW**

Stufe 3 noch 704 Tage bis zum Inkrafttreten
-> IE3 wird Mindestwirkungsgrad für Motoren <7,5kW (untere Grenze 0,75kW)

- Geltungsbereich: 3~Asynchronmotoren 2, 4, 6polig für S1-Betrieb, eine feste Drehzahl, Netzspeisung 50Hz
- **Alternative: IE2 + Frequenzumrichter**

Normung:

Klassifizierungsbasis bis IE4 geschaffen: EN60034-30-1:2014

Erweiterter Geltungsbereich:

- 0,12 – 1000kW,
- 2-8polige Motoren
- keine Beschränkung auf 3~Asynchronmotoren

Systembetrachtung mit **E**rweitertem **P**rodukt **A**nsatz: **EN50598**

- **Bewertung geregelter Systeme**:

  PDS (Motor + CDM + Kabel) **+ Arbeitsmaschine**

Energie sparen? - mit System!

2. Maßnahmen an den Motoren und deren Wirkung

Typprüfprotokoll
für Drehstrom-Asynchronmotor

Nr.: Y254c/10

Typbezeichnung: **IE2-WE1R112MZ4**

Erzeugnis-Nr.	: TK09/10	Auftrag	: FA875643
Nennleistung [kW]	: **4**	Drehzahl [1/min]	: 1450
Nennspannung [V]	: 240/420	Frequenz [Hz]	: 50
Nennstrom [A]	: 14.4/8.3	Leistungsfaktor	: 0,76
Schaltung	: D/Y	Wirkungsgrad [%]	: 86,6
Raumtemperatur [°C]	: 40	WKl.	: 155
Bauform	: IM B3	Schutzart	: IP 55
Betriebsart	: S1		

Erwärmungslauf: 3.75 h mit 26.336 Nm

Umgebungs-Temp. [°C]		Ru-v [Ω]			Temp.-Zunahme [K]			
kalt	warm	kalt	warm 0s	-30s	Stator 0s	-30s	Gehäuse	Rotor
25.6	25	1.928	2.228	2.210	**41.1**	38.6	26	

Typprüfprotokoll
für Drehstrom-Asynchronmotor

F750 / 14

Typbezeichnung: **IE3-W41R112M4**

Sach-Nr.	: **9003566001_400V**	Auftrag	: **FA1260395_2_400V**
Nennleistung [kW]	: **4**	Drehzahl [1/min]	: 1470
Nennspannung [V]	: 400	Frequenz [Hz]	: 50
Nennstrom [A]	: 7,70	Leistungsfaktor	: 0,83
Schaltung	: D (Dreieck)	Wirkungsgrad [%]	: 89,6
Raumtemperatur [°C]	: 40	Th.Kl.	: 155 (F)
Bauform	: B34FT135	Schutzart	: IP55

Erwärmungslauf: 2,4 h mit 26,06 Nm

Umgebungs-Temp. [°C]		Ru-v [Ω]			Temp.-Zunahme [K]			
kalt	warm	kalt	warm 0s	-30s	Stator 0s	-30s	Gehäuse	Rotor
23,3	24	1,947	2,214	2,200	**34,7**	32,9	18,7	

Typprüfprotokoll
für Drehstrom-Synchronmotor
am Frequenzumrichter

M67 / 14

Typbezeichnung: **PE1R112M4**

Sach-Nr.	: **2014-01-13_PE1R112M4_4,0kW**	Auftrag	: **PE1R112M4_4,0kW_50Hz_D5,5**		
Nennleistung [kW]	: **4**	Drehzahl [1/min]	: 1500	Umrichter:	
Nennspannung [V]	: 323	Frequenz [Hz]	: 50	Typ	: Danfoss FCP106 5,5kW
Nennstrom [A]	: 7,9	Leistungsfaktor	: 0,99	Schlupfkomp.[%]	:
Schaltung	: Y (Stern)	Wirkungsgrad [%]	: 92,3	U/f-Verh.[V/Hz]	: 6,46
Raumtemperatur [°C]	: 40	Th.Kl.	: 155 (F)	Startkomp.[%]	: autom.
Bauform	: B3	Schutzart	: IP55	Startspann.[V]	: autom.
Betriebsart	: S1	Polzahl	: 4		

Erwärmungslauf: 4,3 h mit 25,467 Nm

Umgebungs-Temp. [°C]		Ru-v [Ω]			Temp.-Zunahme [K]			
kalt	warm	kalt	warm 0s	-30s	Stator 0s	-30s	Gehäuse	Rotor
20	22,3	1,809	2,086	2,066	**36,7**	33,9	24,4	

Typ	IE2-WE1R 112MZ4	IE3-W41R 112M4	IE4-PE1R 112M4
m [kg]	50	65	37
Lges [mm]	461	509	391
Dgeh [mm]	196	217	196
η [%]	86,6	89,6	92,3

Energie sparen? - mit System!

3. Fallunterscheidung

	Fall 1: Anteil 5-10% (Schätzung)		Fall 2: Anteil 90-95%	
System-charakte-ristik	Ungeregelte Systeme mit fester Drehzahl im Dauerbetrieb (Regelung macht keinen Sinn)		Geregelte Systeme mit an den Leistungsbedarf anzupassende Drehzahl	
Applikation	quadratisches Gegenmoment $T \sim n^2$	konstantes Gegenmoment $T=const$	quadratisches Gegenmoment $T \sim n^2$	konstantes Gegenmoment $T=const$
Beispiele	Schmutzwasser-pumpen Trafokühler	Stetigförderer	Gebäude-klimatisierung	Förderbänder
Alternativen für Motor	IE3-Motor oder IE2-Motor + Frequenzumrichter		IE2-Motor + CDM oder IE3-, IE4-Motor + CDM	

Energie sparen? - mit System!

4. Kostenbetrachtung - Randbedingungen

Randbedingungen für die folgenden Analysen:

Keine Änderungen an Arbeitsmaschine / Gerät –

nur **Substitution** von nichtklassifizierten oder IE1-Motoren

Initialkosten:

Anschaffungskosten Motoren (Annahme marktüblicher Preis)

Anschaffungskosten Frequenzumrichter (Annahme marktüblicher Preis)

Betriebskosten (working costs):

Annahme Energiepreis: **15 ct/kWh**

P1 berücksichtigt Betriebspunkt und Wirkungsgrad des Motors (Grenzwert der IE-Klasse) bzw. von Motor und Frequenzumrichter (last- und betriebspunktabhängig)

Gesamtkosten (total costs) = Initialkosten + Betriebskosten (working costs)

Energie sparen? - mit System!

4. Kostenbetrachtung – Fall 1: ungeregelte Systeme

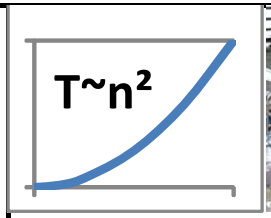
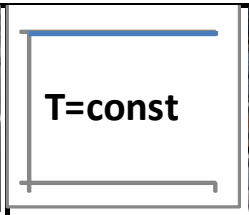
Bilanz der Kosten für die Substitution von IE1- durch IE3-Motoren			Pumpen/Lüfter T~n²	T=konst.
nach 8760 Betriebsstunden (1 Jahr)			Kosten mit IE3 – Kosten mit IE1 =	
2polig	3kW	Working costs	129,78 €	-116,56 €
		Total costs	231,78 €	-14,56 €
	11kW	Working costs	96,63 €	-405,68 €
		Total costs	264,63 €	-237,68 €
4polig	2,2kW	Working costs	21,66 €	-175,64 €
		Total costs	147,66 €	-49,64 €
	45kW	Working costs	499,35 €	-982,93 €
		Total costs	1.219,35 €	-262,93 €
6polig	11kW	Working costs	293,59 €	-390,92 €
		Total costs	735,59 €	51,08 €
	55kW	Working costs	224,58 €	-1.042,15 €
		Total costs	999,58 €	-267,15 €

Energie sparen? - mit System!

4. Kostenbetrachtung – Fall 1: ungeregelte Systeme

IE3-Motor vs. IE1-Motor
S1-Betrieb am starren Netz
4polig, 45kW

In einer Pumpen- oder Lüfterapplikation wird niemals ein break-even point erreicht -> **Mit jeder Betriebsstunde erhöhen sich Energieverbrauch und Kosten im Vergleich zum IE1-Motor!**

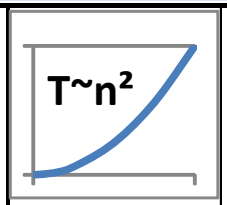
Application							
			Pump	**Fan**		**Elevator**	
Efficiency Class		**IE1**	**IE3**	**IE3 vs. IE1**	**IE1**	**IE3**	**IE3 vs. IE1**
Number of poles		**4**					
Size		**225 M**					
Weight	m [kg]	323,0	450,0	**1,39**	323,0	450,0	**1,39**
Speed	n [rpm]	**1465**	**1482**	**17**	**1465**	**1482**	**17**
Torque (work. point)	T [Nm]	293,35	300,20		293,35	293,35	
Output Power	P2 [kW]	**45,00**	**46,59**		**45,00**	**45,52**	
Efficiency	η [%]	**91,7**	**94,2**		**91,7**	**94,2**	
Input Power	P1 [kW]	**49,07**	**49,45**	**1,01**	**49,07**	**48,33**	0,98
Motor price	€	1595	2315	720,00	1595	2315	720,00
Energy costs	€/ kWh	0,15	0,15		0,15	0,15	
Working time	t [h]	**6.417**	**6.417**		**6.417**	**6.417**	
Working costs	€	47.236,13	47.601,92	**365,79**	47.236,13	46.516,10	-720,03
Total costs	€	48.831,13	49.916,92	**1085,79**	48.831,13	48.831,10	-0,03

Energie sparen? - mit System!

4. Kostenbetrachtung – Fall 2: geregelte Systeme

IE3-Motor + CDM vs. IE1-Motor: 4polig, 45kW
Drehzahlgeregeltes System am Beispiel eines Pumpen-Lastprofiles mit 90% Volllastanteil

Break-even point wird nach ca. 9 Monaten erreicht!

Application			**Pump**	Load profile for closed loop variable flow systems			**Fan**
Efficiency Class		**IE1**	**IE3 + CDM**				**IE3+CDM vs. IE1**
Number of poles		**4**					
Size		**225 M**					
Weight	m [kg]	323,0	390,0				**1,21**
Load profile	n_{rel} / %		100 / 90	75 / 0	50 / 0	25 / 10	
Speed	n [rpm]	**1465**	**1465**	**1099**	**733**	**366**	
Torque (work. point)	T [Nm]	293,35	293,35	165,01	73,34	18,33	
Output Power	P2 [kW]	**45,00**	**45,00**	**18,98**	**5,63**	**0,70**	
Motor efficiency	η_m [%]	**91,7**	**94,2**	**94,2**	**88,0**	**75,0**	
CDM efficiency	η_c [%]		**97,5**	**96,0**	**90,0**	**85,0**	
Input Power	P1 [kW]	**49,07**	**49,00**	**20,99**	**7,10**	**1,10**	
Motor price	€	1595	2315				720,00
CDM price	€	0	4000				4.000,00
Energy costs	€/ kWh	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	
Working time	t [h]	**6.466**	**5.819**	**0**	**0**	**647**	**6.466,00**
Working costs	€	47.596,82	42.769,51	0,00	0,00	106,98	-4.720,34
Total costs	€	49.191,82				49.191,49	-0,34

Energie sparen? - mit System!

5. Physikalische Begründung

IE1 – K21R 100 L2
η= 82,8%

IE3 – W41R 100 L2
η= 87,1%

Problem Leistungsaufnahme:

meist Austausch der Motoren IE1 gegen IE3
<u>ohne</u> Änderungen am Aggregat
→ bei Antrieben mit Pumpen / Lüfterkennlinie gilt
$T \sim n^2$

n = 2865 rpm
P_{mech} = 3,0 kW
I_{Nenn} = 10,7 / 6,15 A
P_{el} = 3,62 kW

$P \sim n^3$!

n = 2940 rpm
P_{mech} = 3,24 kW
$I_{3,24kW}$ = 11,6 / 6,7 A
P_{el} = 3,72 kW

Fall 1 - Regelung nicht möglich und/oder sinnvoll:

Oft keine Lösung mit Energieeinsparungseffekt für $T \sim n^2$ möglich!

Wir ~~können~~ dürfen dem Kunden den alten Betriebspunkt nicht zurückgeben!!

Fall 2 – Antriebsaufgabe verlangt nach Regelung:

- **Umsetzung EN50598 bei VEM (IES-Klassifizierung, VEMoDRIVE)**
- Verlustbestimmung mit realem Frequenzumrichter (CDM), nicht mit RCDM (Referenz-CDM)
- Ermittlung optimaler FU-Parameter / Steuerverfahren
- Test der Messmethode
- Test der Interpolationsverfahren
- Erweiterung der Anzahl der Messpunkte
- Erstellung Berechnungstool für Verluste von PDS

Fokus: Benefit für den Hersteller des „Erweiterten Produktes“ !

(Lieferung optimaler Eingangsgrößen für Kalkulationsmodell einer elektrisch angetriebenen Arbeitsmaschine)

Energie sparen? - mit System!

7. EN 50598 – ZVEI Handout

ZVEI Akademie

ZVEI Die Elektroindustrie

Handout

Energieeffizienz mit elektrisch angetriebenen Arbeitsmaschinen – Norm EN 50598

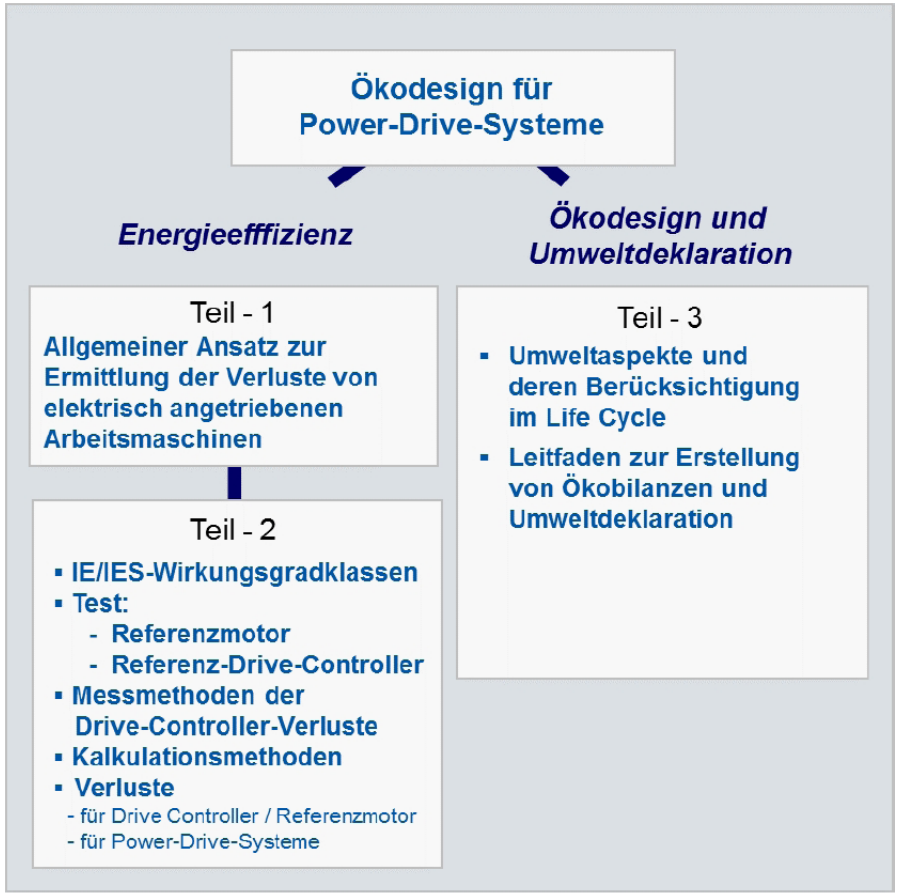
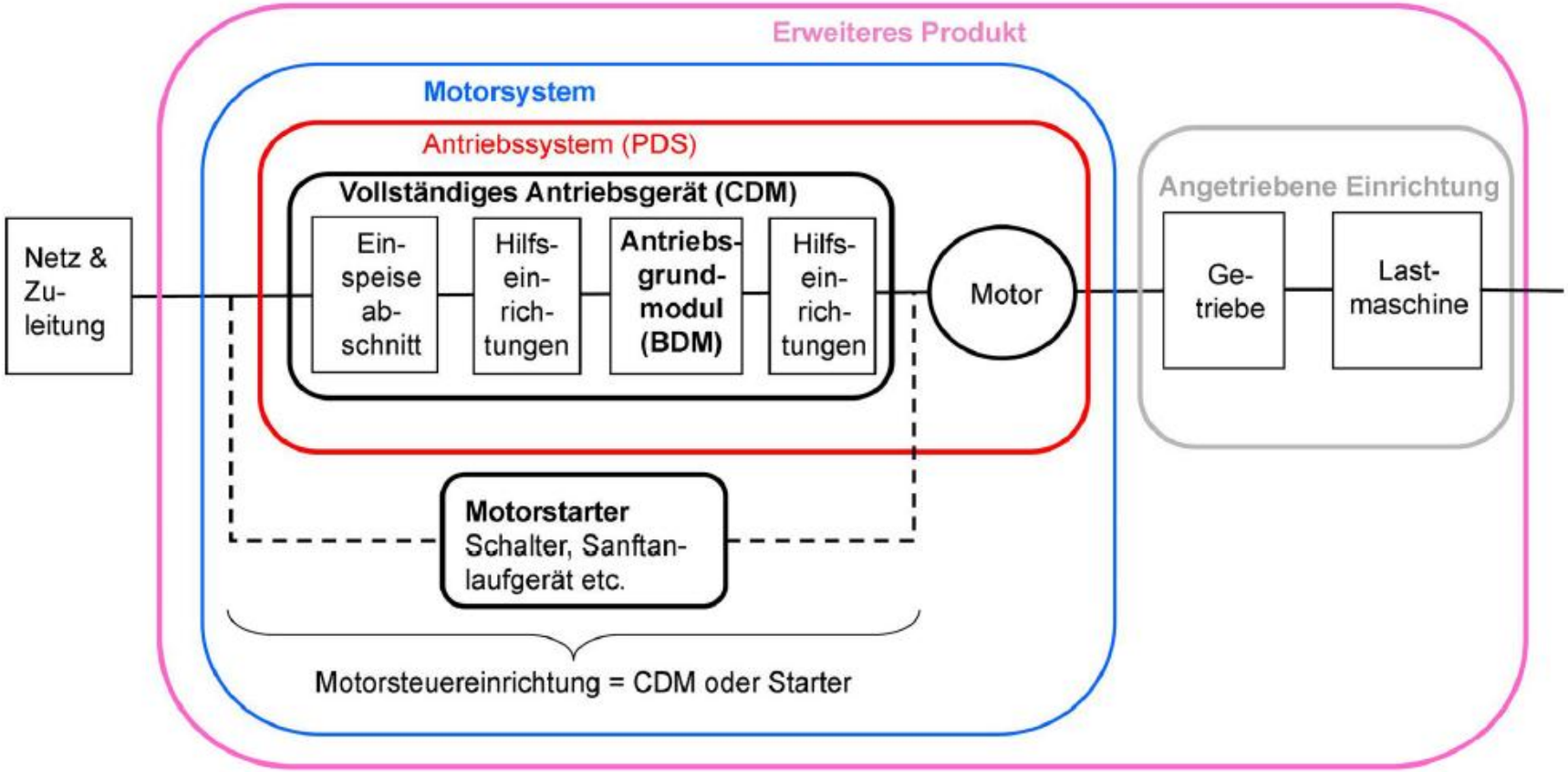


Bild 1 Übersicht Ökodesign-Produktnorm für Motorsysteme / Power-Drive-Systeme

Energie sparen? - mit System!

7. Extended Product Approach - Components

Quelle: FprEN 50598-2



Energie sparen? - mit System!

7. Extended Product Approach

Quelle: ZVEI Handout „Energieeffizienz mit elektrisch angetriebenen Arbeitsmaschinen – Norm EN 50598

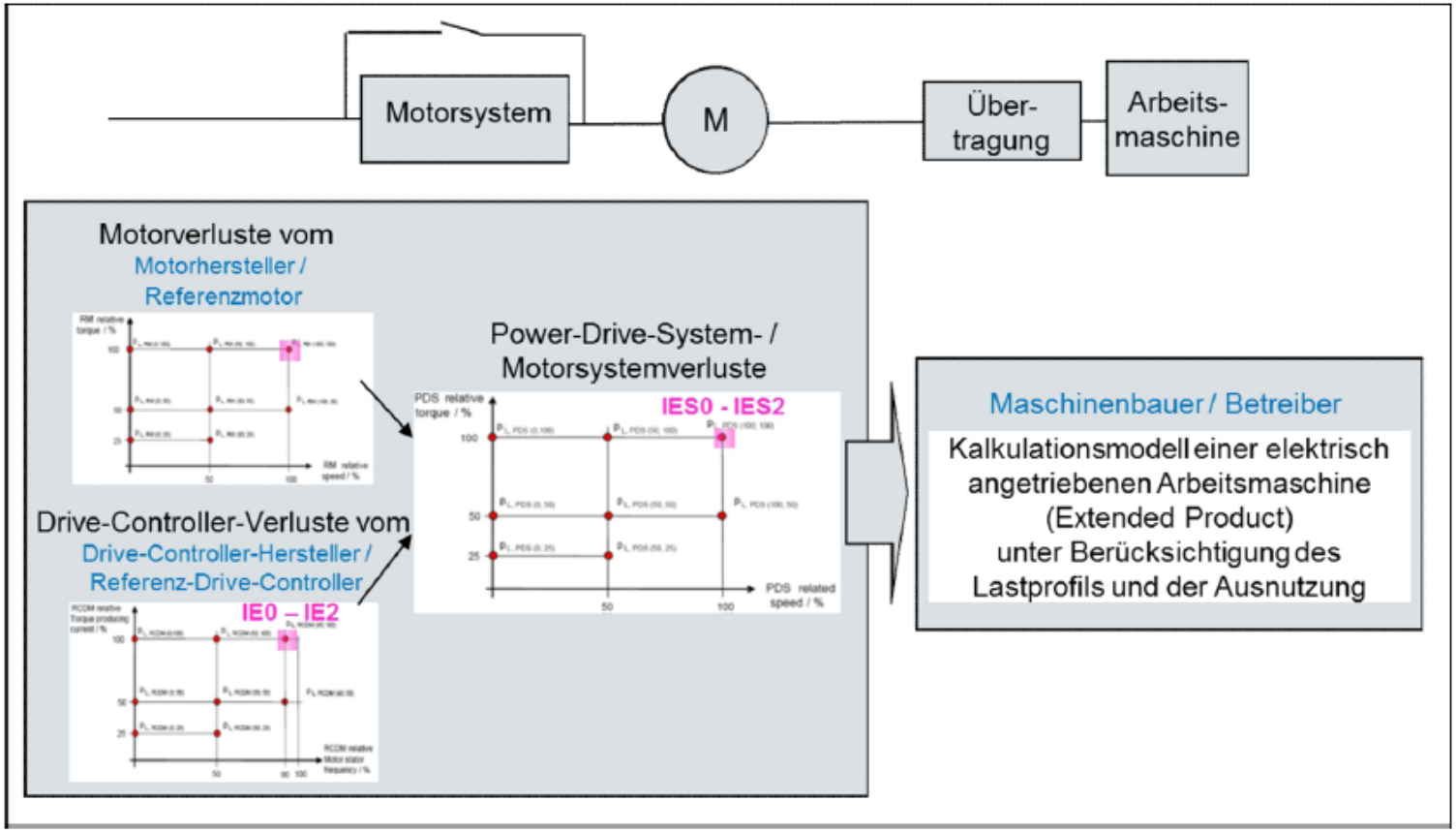


Bild 3 Energieeffizienzindex (EEI) einer elektrisch angetriebenen Arbeitsmaschine

Energie sparen? - mit System!

7. Extended Product Approach - Beispiel

Lastregime für Pumpen nach „Extended product approach for pumps“ (April, 2013)
3.1 Closed loop variable flow system

	Flow [%]	Time [%]
L_1	100	6
L_2	75	15
L_3	50	35
L_4	25	44

Motorbemessung: P_2=4,0 kW n=1500 min^{-1}

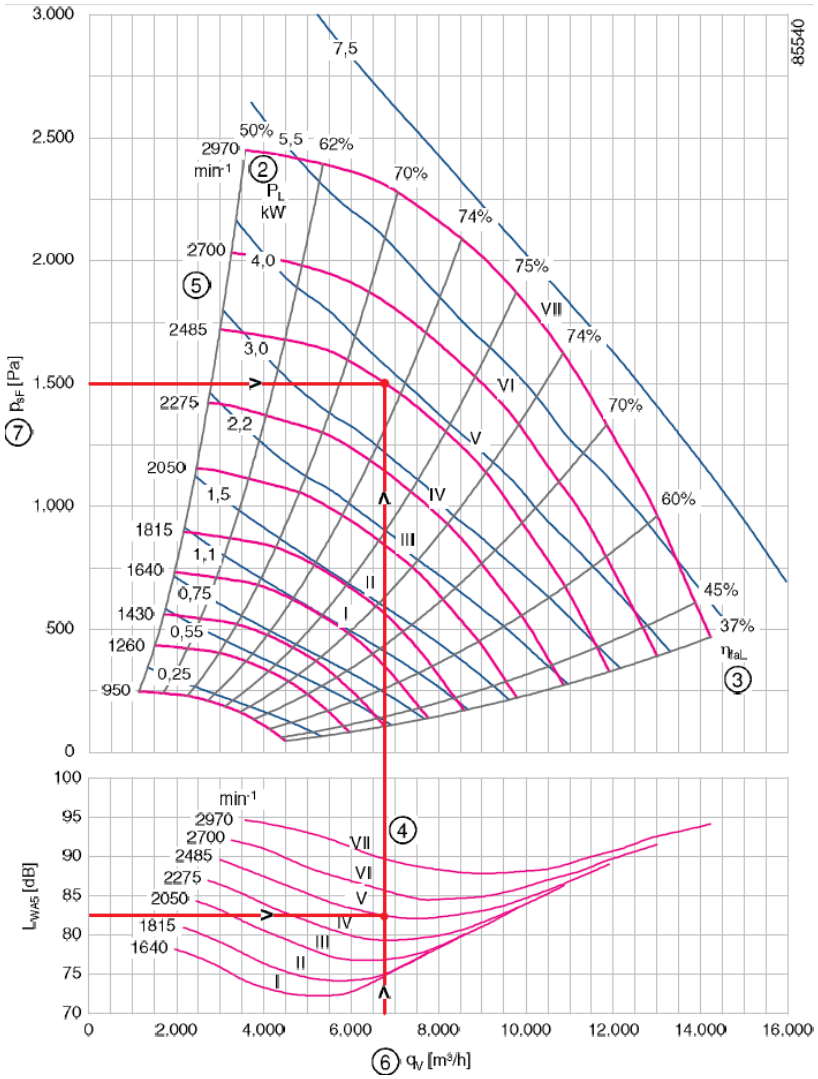
Verlustvergleich Permanentmagnet erregter Synchronmotor / IE2-Asynchronmotor als geregelter Pumpenantrieb mit o.g. Lastregime

	IE4- PE1R 112 M4	IE2-WE1R 112 MZ4
Verluste / Tag	3,96 kWh	7,28 kWh
Differenz / Tag	- 3,32 kWh	

Energierechner: Strompreis: 0,20 €/kW Ersparnis PM-Motor/Jahr: **242 €**

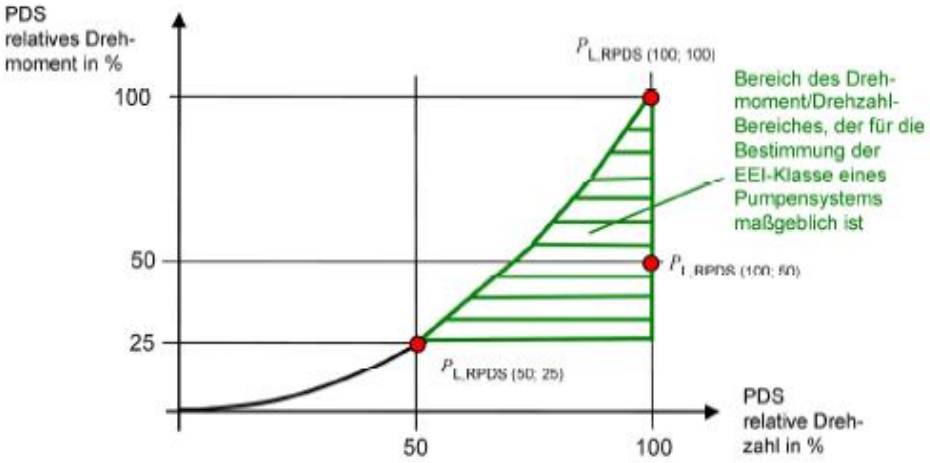
Energie sparen? - mit System!

7. Extended Product: Ventilator



Unten: Darstellung der 3 Pflichtmesspunkte, aus denen entsprechend EN50598 beliebige Betriebspunkte per Interpolation ermittelt werden sollen

Links: Typisches Ventilatorkennfeld, für das in jedem Punkt genaue Verlustwerte bestimmbar sein sollen

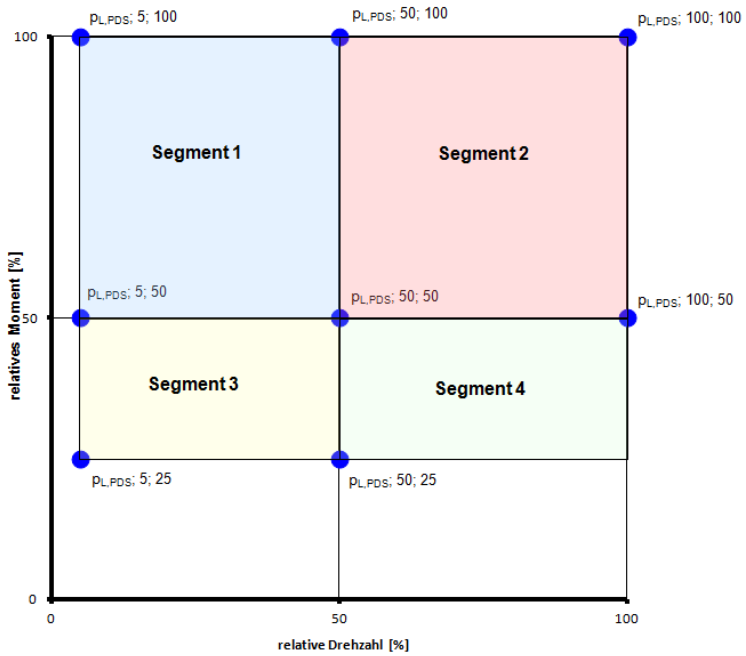


Quelle: Ziehl-Abegg SE
Catalogue Centrifugal fans for air handling units

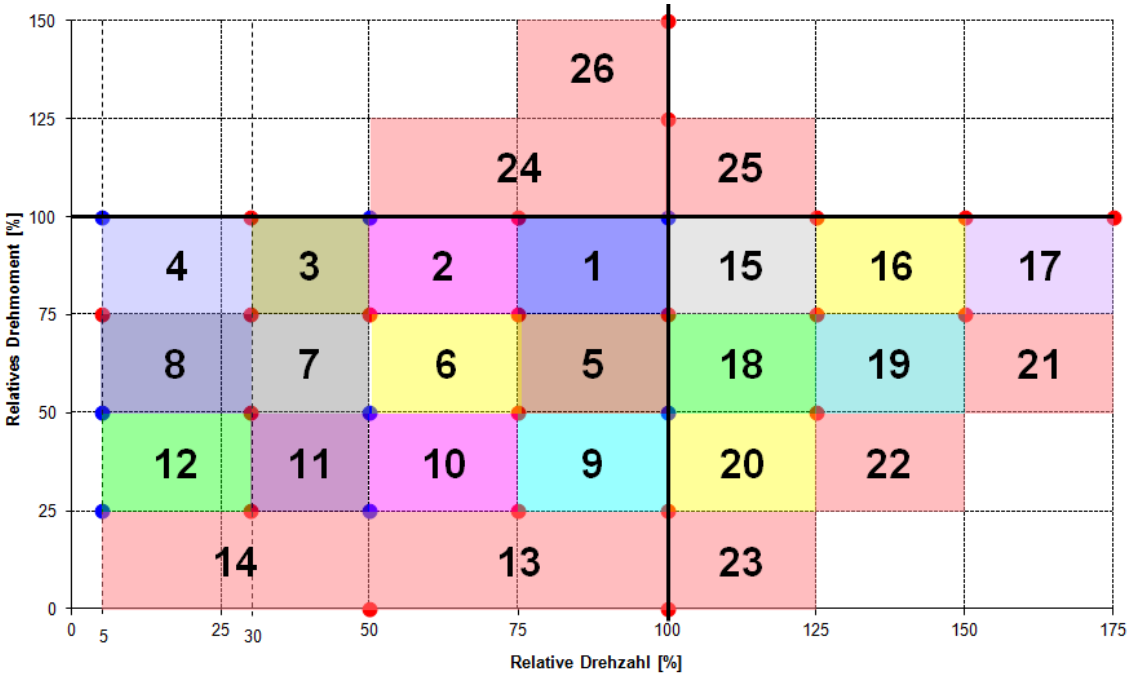
Energie sparen? - mit System!

8.Messdatenbasis für Verlustbestimmung eines PDS

Messpunkte PDS (EN50598)



Messpunkte PDS (VEM-System)



Blaue Punkte: EN50598

Betriebspunkte für T/Tn<0,25 mit dem Interpolationsverfahren nicht bestimmbar

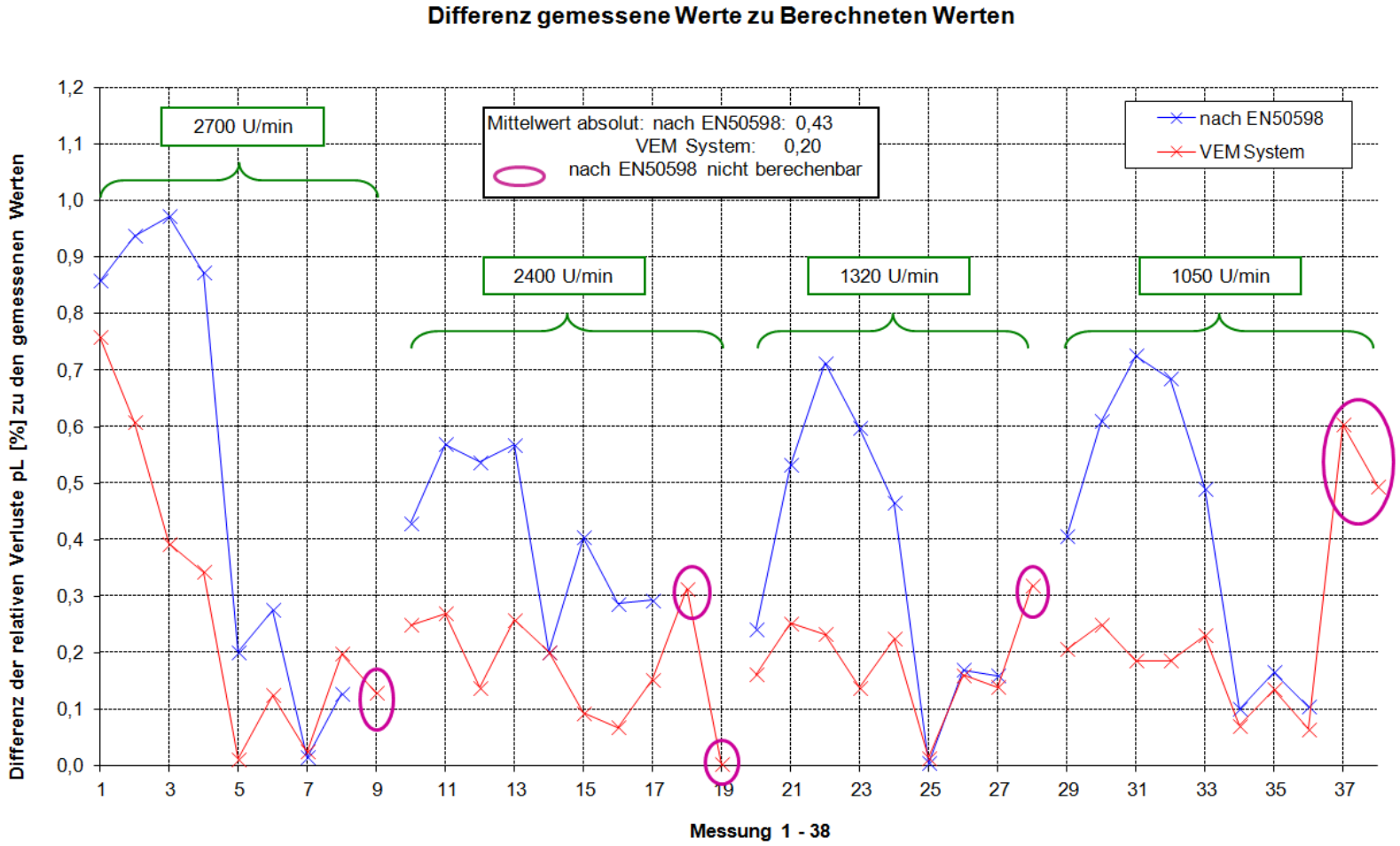
Rote Punkte: VEM-System

Hellrote Segmente (13, 14, 21, 22, 23, 24, 25, 26): geringere Interpolationsgenauigkeit

Energie sparen? - mit System!

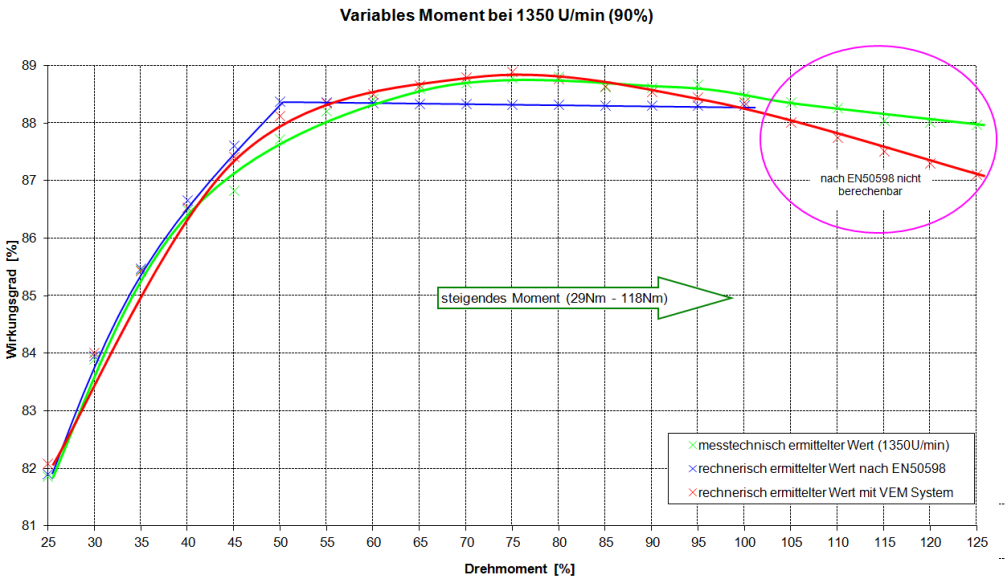
8. Ergebnisvergleich – Genauigkeit Beispiel 1

PDS: IE2-WE1R112MX2 (4 kW) + Danfoss FC302



Energie sparen? - mit System!

8. Ergebnisvergleich – Genauigkeit Beispiel 2

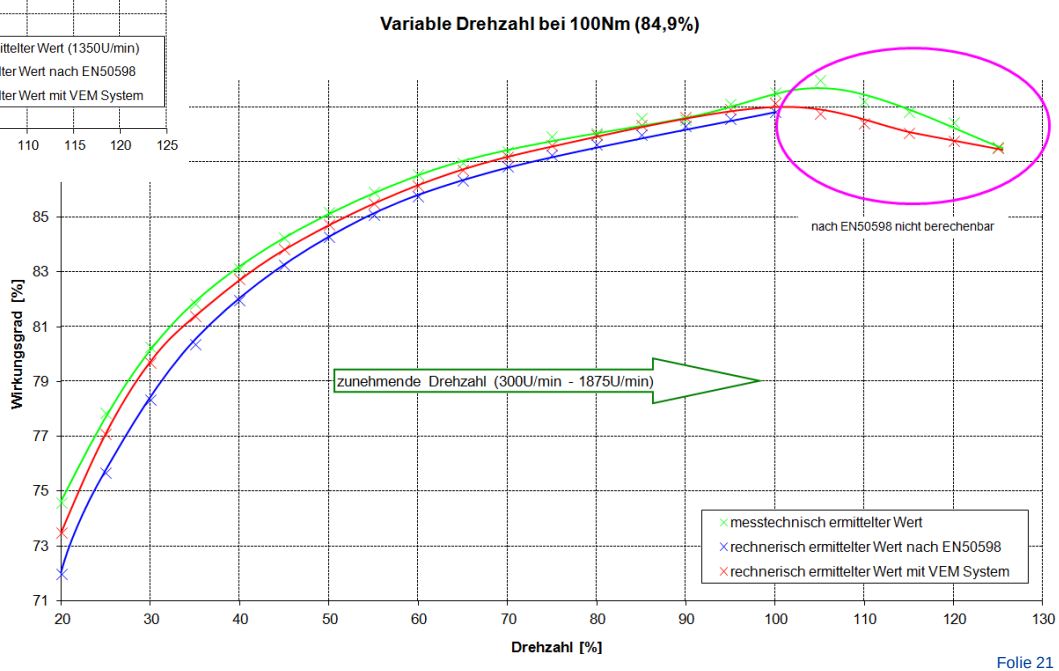


Vergleich Genauigkeit der Wirkungsgradbestimmung in Abhängigkeit vom Moment bei konstanter Drehzahl

PDS =

IE2-WE1R180M4 (18,5 kW)
+ Danfoss FC302

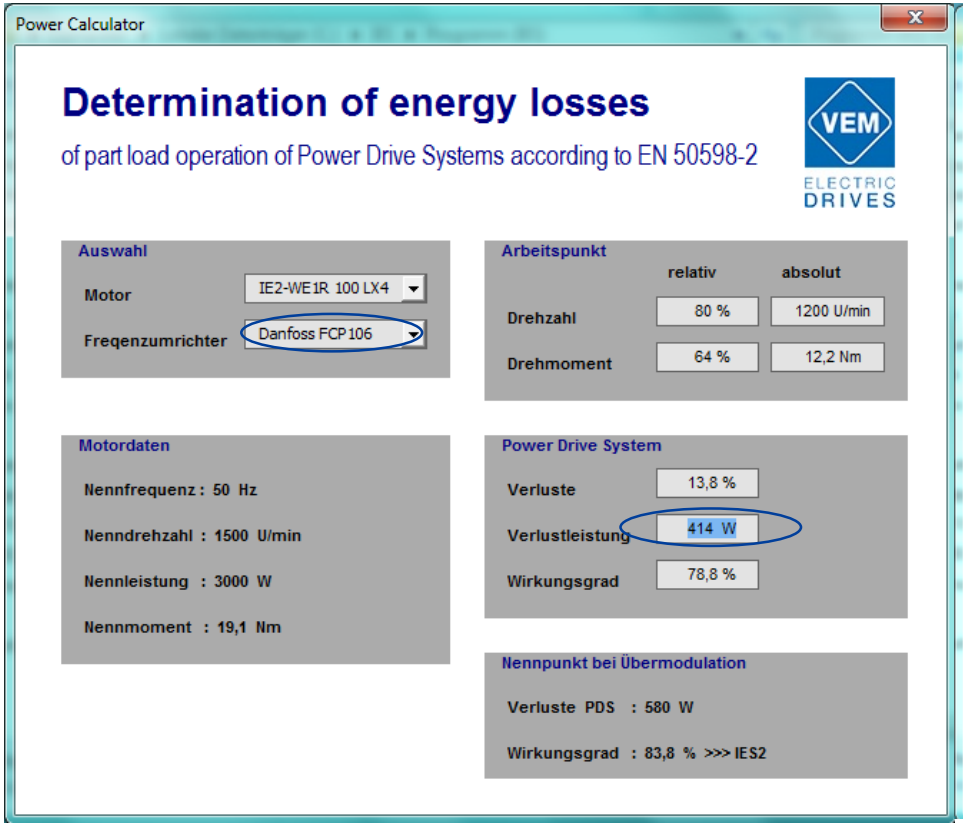
Vergleich Genauigkeit der Wirkungsgradbestimmung in Abhängigkeit von der Drehzahl bei konstantem Moment

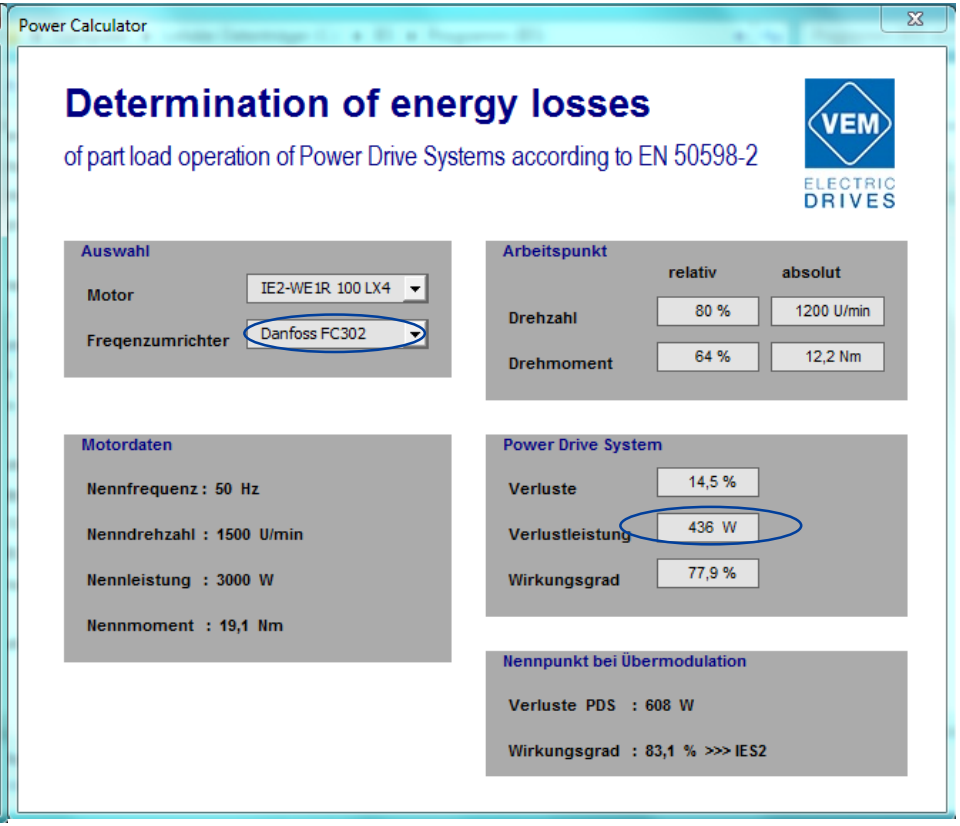


Energie sparen? - mit System!

8. VEM-Berechnungstool für Verluste des PDS - Beispiel 1

Verlustbestimmung für 3kW-Asynchronmotor 4polig mit Aufbau- und separatem Controller
Pumpen- oder Lüfterapplikation ($T \sim n^2$): Betriebspunkt n/n_N=80% T/T_N=64%

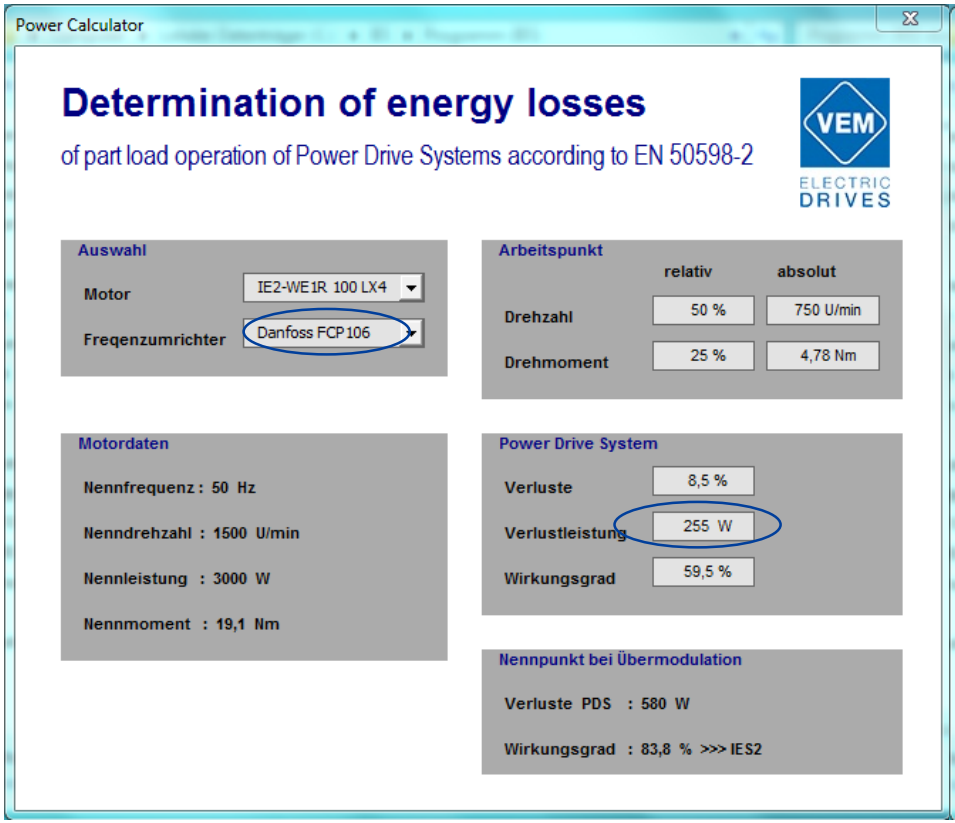


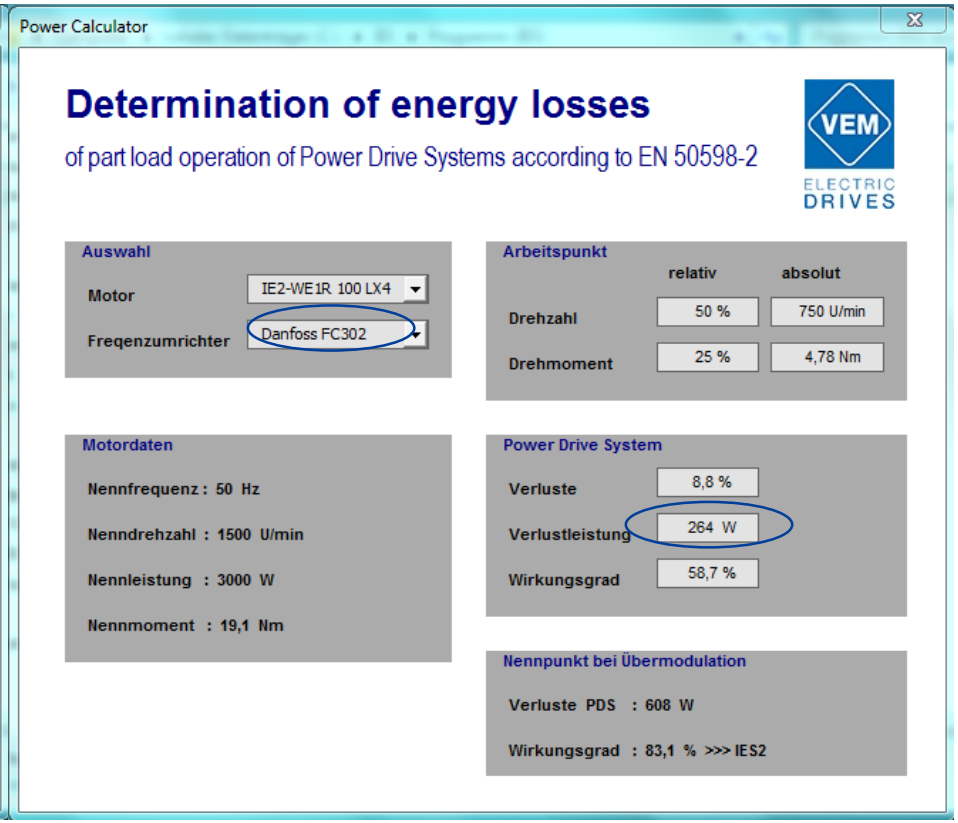


Energie sparen? - mit System!

8. VEM-Berechnungstool für Verluste des PDS - Beispiel 2

Verlustbestimmung für 3kW-Asynchronmotor 4polig mit Aufbau- und separatem Controller
Pumpen- oder Lüfterapplikation ($T \sim n^2$): Betriebspunkt n/n_N=50% T/T_N=25%





Energie sparen? - mit System!

9. Produkte: PDS mit IES-Klassifizierung nach EN50598

VEMoDRIVE, z. B. Kompaktantriebe in Standard- und Spezialausführung

Standardausführung für alle Belastungsarten

M… DAN (IES2)
0,55-7,5kW
(2016: bis 22kW)
- asynchron
- permanent erregt

Bahnanwendungen

M… AST (IES2)
bis 3kW / 8kW
- asynchron

Axialbauform für Pumpen-und Lüfteranwendungen

M… ZA (IES2)
bis 5,5kW
(*Funktionsmuster*)
- asynchron
- permanent erregt

Energie sparen? - mit System!

10. Resümee

1. Der eigentliche Energiespareffekt wird erreicht, wenn die Drehzahl dem tatsächlichen Lastprofil einer Anwendung angepasst wird
2. Der Schlüssel liegt in der Systembetrachtung
3. VEM wird IES2-klassifizierte PDS anbieten
4. bedarfsgerechte Ermittlung und Veröffentlichung der Verlustwerte in den für die Anwender relevanten Lastpunkten
5. Schwerpunkt bei Motor / Antriebsauswahl verschiebt sich hin zur genauen Beschreibung des Lastprofiles – erhöhter Engineering-Aufwand auf Seiten der Projektanten und Anwender!!! VEM unterstützt hierbei seine Kunden

➢ Mit Effizienz zum System – Mit System zur Effizienz

… vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.