



# ECO-Shaker

Energiesparende Schwingungsprüftechnik



## Inhalt

<b>Inhalt</b> .....	<b>2</b>
<b>1 Zielstellung</b> .....	<b>3</b>
1.1 Energieprobleme .....	3
1.2 Niedriger Geräuschpegel.....	5
1.3 Grenzen der Möglichkeiten manueller Regelung.....	6
<b>2 Funktionsprinzip</b> .....	<b>7</b>
2.1 Optimierungsproblem .....	7
2.2 Aussagen zu den Spulentemperaturen mit Hilfe eines Temperaturmodells .....	11
2.3 Die Suche nach der optimalen Betriebsbedingung .....	12
<b>3 Implementierung</b> .....	<b>14</b>
<b>4 Leistung</b> .....	<b>16</b>
4.1 Energieeinsparung.....	16
4.2 Reduzierung des Lüftergeräuschpegels .....	17
<b>5 Nachrüstung</b> .....	<b>18</b>



# 1 Zielstellung

## 1.1 Energieprobleme

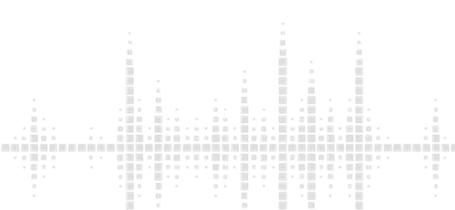
Unter allen Herausforderungen im Bereich Umwelt, vor denen wir heute stehen, ist die Entwicklung energiesparender Technologien für elektrodynamische Schwingerreger (ED-Shaker) eine Forderung der meisten Nutzer von ED-Shakern zur Reduzierung der Freisetzung umweltschädlicher Treibhausgase.

Eine erhebliche Verbesserung der Energieeinsparleistung von ED-Shakersystemen lässt sich zudem erzielen, wenn die tatsächlich benötigte Ausgangskraft relativ gering im Verhältnis zur Nennkraft des Systems ist. So beträgt beim Shakersystem IMV EM2601 bei einer Nennanregungskraft von 54kN die jährliche Leistungsaufnahme 130,000kWh, wenn die Ausgangskraft zu 50% des Nennwerts für 3000 Betriebsstunden pro Jahr angesetzt wird. Wenn diese Leistungsaufnahme um die Hälfte reduziert werden könnte, wäre dies ein wichtiger Beitrag zur Energieeinsparung. Mit dem ECO-Shaker IMV lässt sich diese Einsparung realisieren.

### Leistungsverlust von Schwingungsprüfsystemen und potenzielle Einsparungen

Schauen wir uns den potenziell energiesparenden Einsatz eines mit Luftkühlung arbeitenden ECO-Shakersystems, wie es häufig bei Schwingungsprüfungen eingesetzt wird, genauer an.

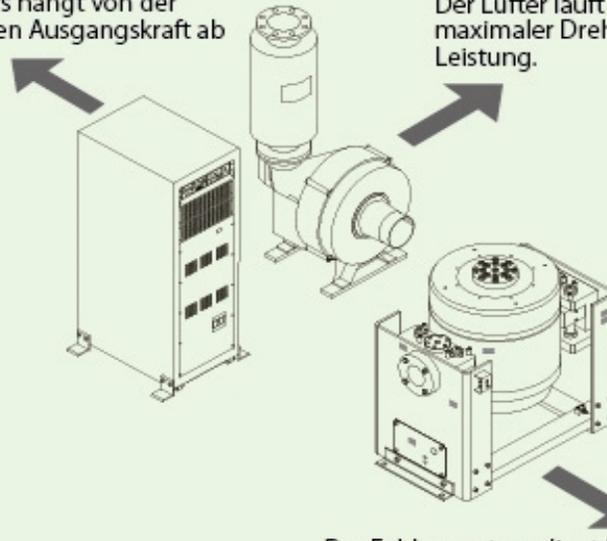
Beim Einsatz von ED-Shakersystemen ist es erforderlich, dass Feldspule und Armatur ständig gekühlt werden. Beim herkömmlichen ED-Shakersystem mit Luftkühlung läuft der Lüfter ständig mit Nenndrehzahl, die Einstellung des Feldstroms erfolgt auf Nennwert, damit gesichert wird, dass das System bei entsprechender Festlegung in den Vorgaben stets zur Abgabe der maximal möglichen Anregungsleistung bereit ist.



## Herkömmlich

Der Leistungsverlust des Verstärkers hängt von der geforderten Ausgangskraft ab

Der Lüfter läuft konstant mit maximaler Drehzahl und voller Leistung.

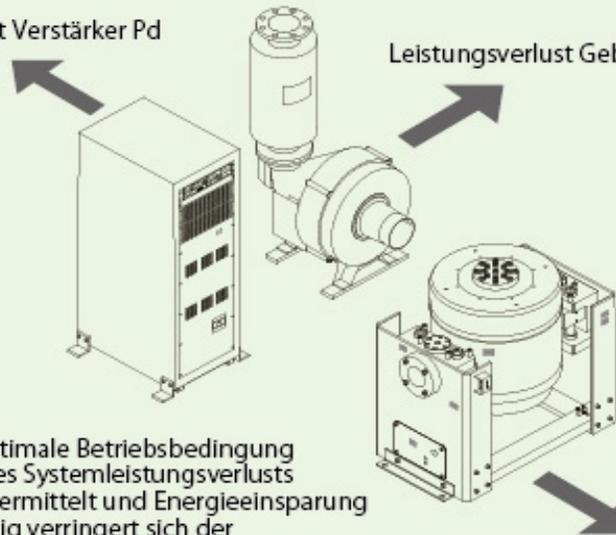


Der Feldnennstrom liegt kontinuierlich an, an der Feldspule entsteht der vollständige Leistungsverlust

## ECO-Shaker

Leistungsverlust Verstärker  $P_d$

Leistungsverlust Gebläse  $P_b$



ECO-Shaker: Die optimale Betriebsbedingung mit Minimierung des Systemleistungsverlusts ( $P_f + P_d + P_b$ ) wird ermittelt und Energieeinsparung realisiert. Gleichzeitig verringert sich der Geräuschpegel des Lüfters

Feldleistungsverlust  $P_f$

Ist jedoch eine gegenüber dem Nennwert niedrigere Anregungsleistung gefordert, bedeutet dies eine erhebliche Verschwendung von Energie. So könnte beispielsweise der Lüfter mit kleinerer Drehzahl laufen und Energie sparen. Doch wie lässt sich das realisieren, da eine mögliche Reduzierung der Lüfterdrehzahl doch von der benötigten Anregungskraft abhängt? Die zuverlässige Anwendung dieses einfachen Prinzips auf den energiesparenden Betrieb beim Einsatz des Shakersystems ist alles andere als eine einfache Aufgabe. Jeder Fehler in der Steuerung der Lüfterdrehzahl könnte dazu führen, dass die Shaker-Spulen wegen zu starker Erhitzung durchbrennen und so beschädigt werden, dass eine Instandsetzung außerhalb jeder Betrachtung liegt.

Eine weitere Möglichkeit wäre, bei erforderlicher geringer Anregungskraft den Strom der Feldspule auf einen niedrigeren Wert einzustellen, denn der ED-Shaker benötigt nur ein schwaches Magnetfeld für die Realisierung der Bedingungen für die Schwingungsprüfung. Wird der Feldspulenstrom reduziert, erzeugt die Feldspule weniger Wärme, wodurch die Lüfterdrehzahl weiter abgesenkt werden kann. Andererseits steigt bei schwächer werdendem Magnetfeld der durch den Verstärker bereit gestellte Strom für den Ankerantrieb (bedingt durch die 'Linke-Hand-Regel', wonach die Shaker-Kraft proportional dem Produkt aus dem Strom durch die Armatur und dem Feldstrom ist). Diese Regelung des Ansteuerstroms (Drive-Signal) wird durch den Schwingungsregler automatisch erreicht, so dass die Beschleunigung der Armatur dem spezifizierten Referenzwert entspricht.

Wie können die optimalen Einstellungen von Lüfterdrehzahl und Feldstrom für jede Phase der unterschiedlichsten Schwingungsprüfungen realisiert werden? Das ECO-Shakersystem löst dieses Problem mit Hilfe des Softwareprogramms Energie-Manager (EM). Die EM-Software überwacht den Antriebsstrom (Armaturstrom) und verwendet diesen als Regelgröße bei den Optimierungsroutinen. Die EM-Software legt die optimalen Betriebswerte für Lüfterdrehzahl und Feldstrom fest, indem sie die Mindestenergie berechnet, die das ED-Shakersystem zur Einhaltung der festgelegten Betriebsbedingungen bei einer Prüfung benötigt. Diesen in Echtzeit ablaufende Rechenvorgang führt die EM-Software als Teil des automatischen Energiesparmodus des ECO-Shakersystems durch.

## **1.2 Niedriger Geräuschpegel**

Als zusätzlicher Effekt kommt es beim Betrieb im Energiesparmodus infolge der niedrigeren Lüfterdrehzahl zu einer erheblichen Verringerung des Geräuschpegels des Lüfters, wenn nur ein Bruchteil der Anregungskraft abgerufen wird. In diesem Sinne bewirkt der Energiesparmodus gleichzeitig eine Reduzierung des Geräuschpegels des Systems.



### 1.3 Grenzen der Möglichkeiten manueller Regelung

Die manuelle Abregelung von Lüfterdrehzahl und Feldstrom auf Werte unter dem Nennwert zur Energieeinsparung ist eine Möglichkeit. Bei herkömmlichen Anlagen erfolgt das in der Regel durch Einstellung eines Schalters oder einer verdrahteten Verbindung. Diese Methode erfordert genaue Kenntnisse, welche Kraft bei der Durchführung einer bestimmten Prüfung erforderlich ist sowie umfangreiche manuelle Berechnungen als Kontrolle, dass die Einstellungen von Lüfterdrehzahl und Feld realistisch sind. In der Praxis hat sich diese Methode aus folgenden Gründen zu keiner Zeit wirklich durchgesetzt:

#### Grenzen für die manuelle Einstellung

- Eine genaue Aussage über die benötigte Anregungskraft ist schwierig. So können z.B. bei Gleitsinusprüfungen erhebliche Unterschiede über den Frequenzbereich der Prüfung auftreten. Ist die tatsächlich benötigte Anregungskraft größer als vor Prüfungsbeginn angenommen, z. B. nahe einem Kerbpunkt, würde sich die Anlage aus Sicherheitsgründen automatisch abschalten (möglicher Armatur-Stromgrenzwert überschritten). Die Prüfung müsste an diesem Punkt abgebrochen werden.
- Um dieser Gefahr zu begegnen, ist eine sehr konservative Einstellung der Werte für Lüfter und Feld erforderlich, was unvermeidliche Energieverluste nach sich zieht. Kommt es während der Prüfung zu Änderungen der Betriebsbedingungen, z.B. infolge Produktermüdung, kann selbst die konservative Einstellungspraxis den Abbruch der Prüfung nicht verhindern.

## 2 Funktionsprinzip

### 2.1 Optimierungsproblem

Wie bereits angeführt, löst das ECO-Shakersystem ein Optimierungsproblem zur Einhaltung der benötigten Anregungskraft bei gleichzeitiger Minimierung der Leistungsaufnahme des Geräts. Diese Optimierung basiert auf der Überwachung der Daten für den Armaturstrom während der Schwingungsprüfung und bestimmt die optimale Betriebsbedingung für den Feldstrom  $I_f$ , den Antriebsstrom  $I_d$  und die Lüfterdrehzahl  $V$ . Das heißt, bezeichnet man den Leistungsverlust an der Feldspule mit  $P_f$ , an der Armatur mit  $P_d$  und den am Lüfter mit  $P_b$ , ergibt sich der Gesamtverlust als:

$$P = P_f + P_d + P_b \quad (1)$$

Das zu lösende Problem stellt sich wie folgt dar:

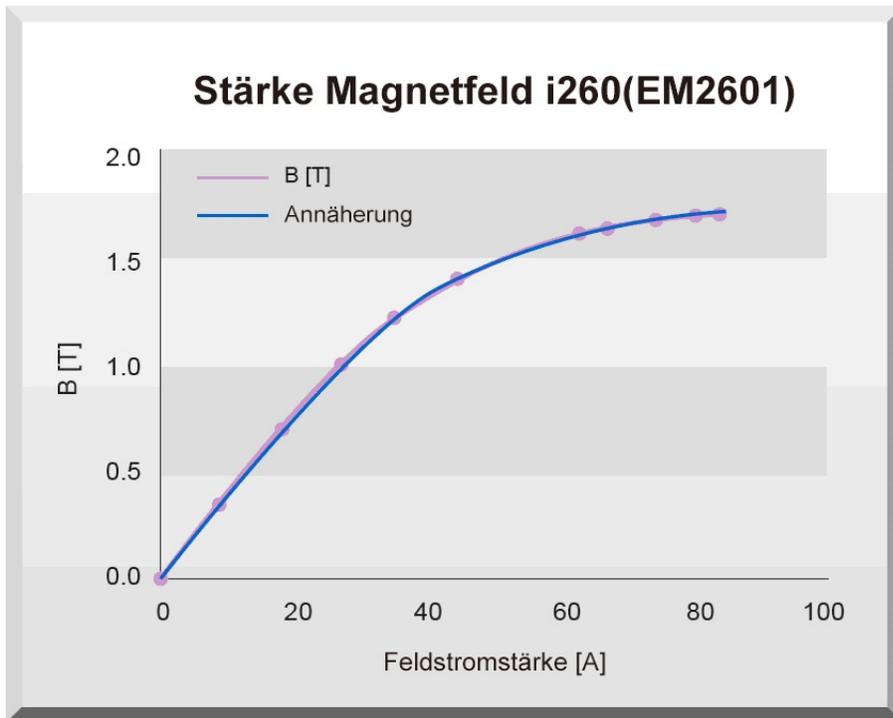
Bestimmung der optimalen Betriebsbedingung ( $I_{f\_opt}$ ,  $I_{d\_opt}$ ,  $V_{opt}$ ), bei der der Gesamtleistungsverlust  $P$  bei allen möglichen Betriebsbedingungen bei Wahrung der Anregungskraft  $F_1$  minimiert wird.

#### Überwachung der benötigten Kraft

Die benötigte Anregungskraft  $F_1$  wird durch Erfassung des Antriebsstroms  $I_d$  überwacht. Da der an der Feldspule anliegende Feldstromwert  $I_f$  bekannt ist, kann das Magnetfeld  $B$  [T] am Spalt des Magnetkreises mittels einer Annäherungsfunktion von

$I_f$  berechnet werden, die im Vorfeld bestimmt wurde:

$$B = B(I_f) \quad (2)$$



Damit kann die an der Armatur generierte Kraft  $F_1[N]$  durch Überwachung des Antriebsstroms  $I_d[A]$  mit folgender Gleichung berechnet werden:

$$F_1 = B * L * I_d \quad (3)$$

wobei  $L[m]$  die Länge der Armaturspule ist.

Die benötigte Anregungskraft ist während der Prüfung keine Konstante. Typische Beispiele sind Gleitsinusprüfungen, bei denen das Übertragungsverhalten frequenzabhängig ist. Daher verändert sich die Anregungskraft mit der Frequenz selbst wenn ein konstantes Beschleunigungsniveau innerhalb eines bestimmten Frequenzbandes erforderlich ist.

Auch bei Prüfungen mit festen Frequenzen ändert sich der Anregungswert häufig entsprechend einem Zeitplan für Änderungen des Prüfpegels.

Bei Versuchen mit rauschförmiger Anregung ist es gängige Praxis, dass die Anregungskraft nach einem festen Zeitplan geändert wird, während das Referenzspektrum zur Wahrung der gleichen Form erhalten bleibt. Andererseits verändert sich auch das Übertragungsverhalten des Systems mit der Temperatur und anderen Bedingungen an Shaker und Prüfprobe. Damit ändert sich die Anregungskraft allgemein in Abhängigkeit von einer Reihe der oben



genannten Größen. Somit erfolgt der Ansatz des aktuellen (Augenblicks-)Werts für die Kraft nach Gleichung (3) und Verwendung des Messwerts für den Antriebsstrom  $I_d$ . Diese Messung von  $I_d$  könnte als Mittelwert oder Maximalwert über bestimmte Zeitintervalle entsprechend der Prüfaufgabe erfolgen.

Festlegen der Betriebsbedingung, bei der die benötigte Ausgangskraft bei minimaler Energieaufnahme erreicht wird

Ist der erforderliche Wert für die Kraft  $F_1$  erst einmal bestimmt, kann die Bestimmung der optimalen Kombination der Ströme ( $I_f$ ,  $I_d$ ), bei denen die Leistungsaufnahme minimiert wird, durchgeführt werden: Dazu wird die Gleichung (3) wie folgt umgestellt:

$$I_d = \frac{F_1}{B(I_f)^* L} \quad (4)$$

Diese Gleichung ergibt den erforderlichen Antriebsstrom  $I_d$  für die benötigte Kraft  $F_1$ , wenn der Feldstrom bei Kenntnis des Magnetfeldes aus Gleichung (2) auf einen beliebigen Wert  $I_f$  eingestellt wird:

Ist die Kombination der Ströme ( $I_f$ ,  $I_d$ ) bestimmt, können die Leistungsverluste an jeder Spule wie folgt bestimmt werden:

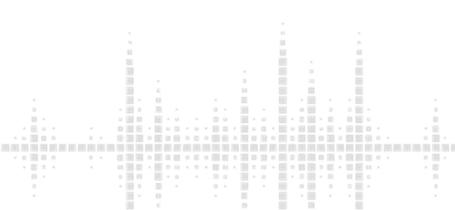
$$P_f = R_{f0} * I_f^2 \quad (5-f)$$

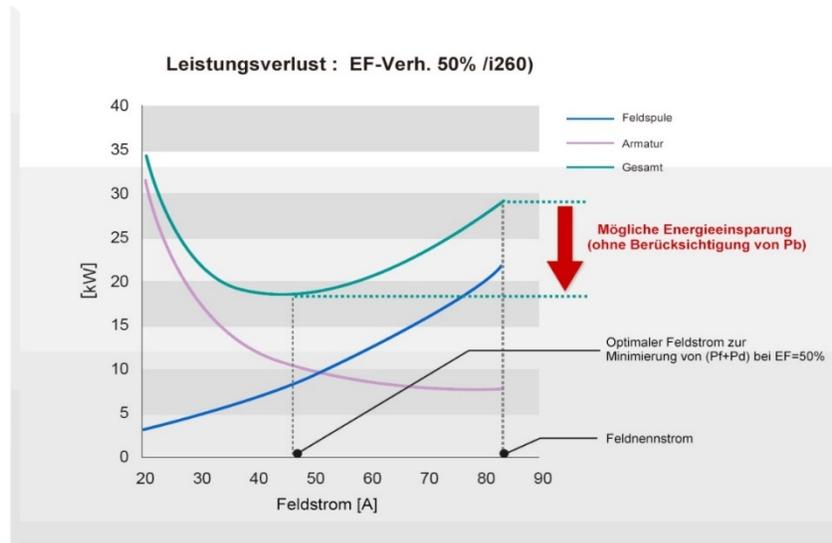
$$P_d = R_{d0} * I_d^2 \quad (5-d)$$

mit  $R_{f0}$  und  $R_{d0}$  als Widerstand der jeweiligen Spule.

Die Abbildung verdeutlicht eine Beispielrechnung für den Leistungsverlust ( $P_f, P_d$ ) für die Bereitstellung der erforderlichen Leistung  $F_1$  (50% bei diesem Beispiel) entsprechend der unterschiedlichen Werte für den Feldstrom  $I_f$ . Wie aus der Abbildung hervorgeht, gibt es eine optimale Feldstromeinstellung, bei der der Gesamtleistungsverlust  $P = P_f + P_d$  minimiert wird

Neben der vorstehenden Berechnung erhöht sich der Widerstand der Spule mit steigender Temperatur der Spule. Der Widerstand erhöht sich um mehrere % aller  $10^\circ\text{C}$ . Die Spule erhitzt sich entsprechend dem fließenden Strom. Bei einer Temperaturerhöhung um mehrere  $10^\circ\text{C}$  beträgt der erhöhte Leistungsverlust mehrere 10% gegenüber dem aus Gleichung (5) bestimmten Wert. Dieser erhöhte Leistungsverlust ist nicht vernachlässigbar.





Die Änderung des Widerstands als Funktion des Temperaturanstiegs muss in Betracht gezogen werden. Mit Hilfe der Wärmekoeffizienten  $C_f$ ,  $C_d$  der Spulen, wird Gleichung (5) verfeinert:

$$P_f = R_{f0} * (1 + C_f * (T_f - T_{f0})) * I_f^2 \quad (6-f)$$

$$P_d = R_{d0} * (1 + C_d * (T_d - T_{d0})) * I_d^2 \quad (6-d)$$

Dabei sind  $T_{f0}$ ,  $T_{d0}$  die Temperatur zum Zeitpunkt der Messung der Widerstandswerte  $R_{f0}$ ,  $R_{d0}$ . Die Werte von  $C_f$ ,  $C_d$  sind vor der Prüfung zu bestimmen. Der Leistungsverlust jeder Spule ( $P_f$ ,  $P_d$ ) unter Berücksichtigung der Erhöhung der Temperatur der Spulen kann mit der Gleichung (6) bestimmt werden. Die Spulentemperaturen ( $T_f$ ,  $T_d$ ) sind jedoch für die Betriebsstromwerte ( $I_f$ ,  $I_d$ ) nicht bekannt. Wenn ( $T_f$ ,  $T_d$ ) nicht bestimmt werden können, ist Gleichung (6) nicht anwendbar.

## 2.2 Aussagen zu den Spulentemperaturen mit Hilfe eines Temperaturmodells

Es muss uns gelingen, Gleichung (6) auf irgendeine Weise zu lösen. Angenommen, wir können Gleichung (6) mit einer geeigneten Methode lösen, erhalten wir die optimale Stromkombination ( $I_f, I_d$ ), mit der der GesamtLeistungsverlust  $P$  minimiert wird. Als ersten Schritt müssen wir untersuchen, wie weit die Lüfterdrehzahl unter optimalen Betriebsbedingungen sicher abgesenkt werden kann. Für diesen wichtigen Schritt müssen wir die Temperatur für das thermische Gleichgewicht der Spulen bei gegebenen Betriebsbedingungen ( $I_f, I_d, V$ ) so genau wie möglich kennen.

Hier führen wir ein mathematische Modell (thermisches Modell : TM) ein, mit dessen Hilfe Aussagen über die Spulentemperaturen unter gegebenen Betriebsbedingungen ( $I_f, I_d, V$ ) wie folgt getroffen werden können:

$$T_f = f(P_f, P_d, V) + T_{inlet} \quad (7-f)$$

$$T_d = g(P_f, P_d, V) + T_{inlet} \quad (7-d)$$

Dabei sind  $f$  und  $g$  das TM der Feldspule und der Armatur, die eine entsprechende Funktionsform aufweisen. Die Einzelheiten dieser Funktionen  $g$  und  $f$  sind der Einfachheit halber nicht dargestellt. Die Funktionen  $g$  und  $f$  werden aus experimentelle Daten durch Messung von  $T_f, T_d$  an verschiedenen

Prüfpunkten ( $I_f, I_d, V$ ) bestimmt. Obwohl das TM selbst bereits bestimmte Aussagen über den Temperaturanstieg der Spule  $\Delta T$  zulässt, hängt die tatsächliche Spulentemperatur ( $T_f, T_d$ ) auch von der Temperatur  $T_{in}$  der Kühlluft entsprechend Darstellung in (7)ab. Daraus kann abgeleitet werden, dass die durch das EM-System bestimmten optimalen Betriebsbedingungen in Sommer und Winter unterschiedlich sind. Ferner ist aus Erfahrung bekannt, dass der Energieeinsparungseffekt im Winter größer ist. Damit wird jedoch auch unterstrichen, wie wichtig es ist, die Lufteintrittstemperatur als eine Bezugsgröße zu verwenden.

Neben der Temperatur der Spule wird ein weiteres TM für die Temperatur der austretenden Kühlluft  $T_{out}$  bestimmt:

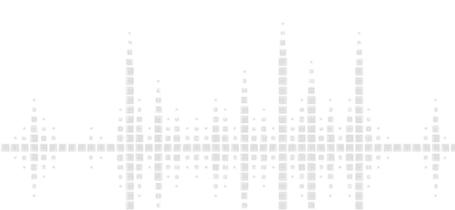
$$T_{out} = h(P_f, P_d, V) + T_{inlet} \quad (7-out)$$

Die Temperatur der ausströmenden Luft  $T_{out}$  wird wie die Temperatur der angesaugten Luft  $T_{in}$  durch Wärmesensoren konstant überwacht. Die Gültigkeit des TM wird durch einen Vergleich des angenommenen Werts mit dem berechneten Wert geprüft. Derartige Sicherheitsfunktionen sind zur Verbesserung der Sicherheit beim Betrieb des Systems implementiert worden.

### 2.3 Die Suche nach der optimalen Betriebsbedingung

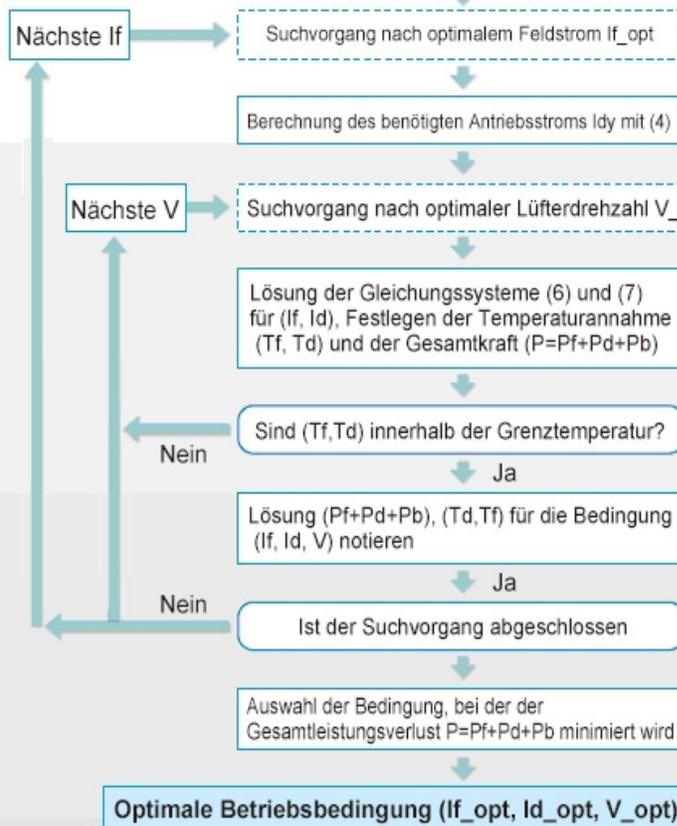
Schließlich ergibt sich die optimale Betriebsbedingung ( $I_{f\_opt}$ ,  $I_{d\_opt}$ ,  $V_{opt}$ ) mit Hilfe des im nachstehenden Fließbild dargestellten Verfahrens.

Bei invariablen physikalischen Größen eines Shakers ( $R_{f0}, R_{d0}, T_{fo}, T_{do}, C_f, C_d, T_{in}$ ) und der Betriebsbedingung ( $I_f, I_d, V$ ), müssen noch vier Variable ( $P_f, P_d, T_f, T_d$ ) aus den Gleichungen (6) und (7) bestimmt werden. Da vier Gleichungssysteme und vier Variable vorliegen, gibt es für dieses Problem eine definite Lösung. Von den möglichen Lösungen des Problems der Festlegung der Betriebsbedingung von  $I_f, I_d, V$  können nur jene Lösungen als gültig angesehen werden, welche die Bedingung der maximalen Spulengrenztemperatur erfüllen. Schließlich wird die Lösung, welche den Gesamtleistungsverlust  $P = P_f + P_d + P_b$  minimiert, als optimale Lösung des Problems der Festlegung der Werte für  $I_{f\_opt}, I_{d\_opt}, V_{opt}$  ausgewählt.



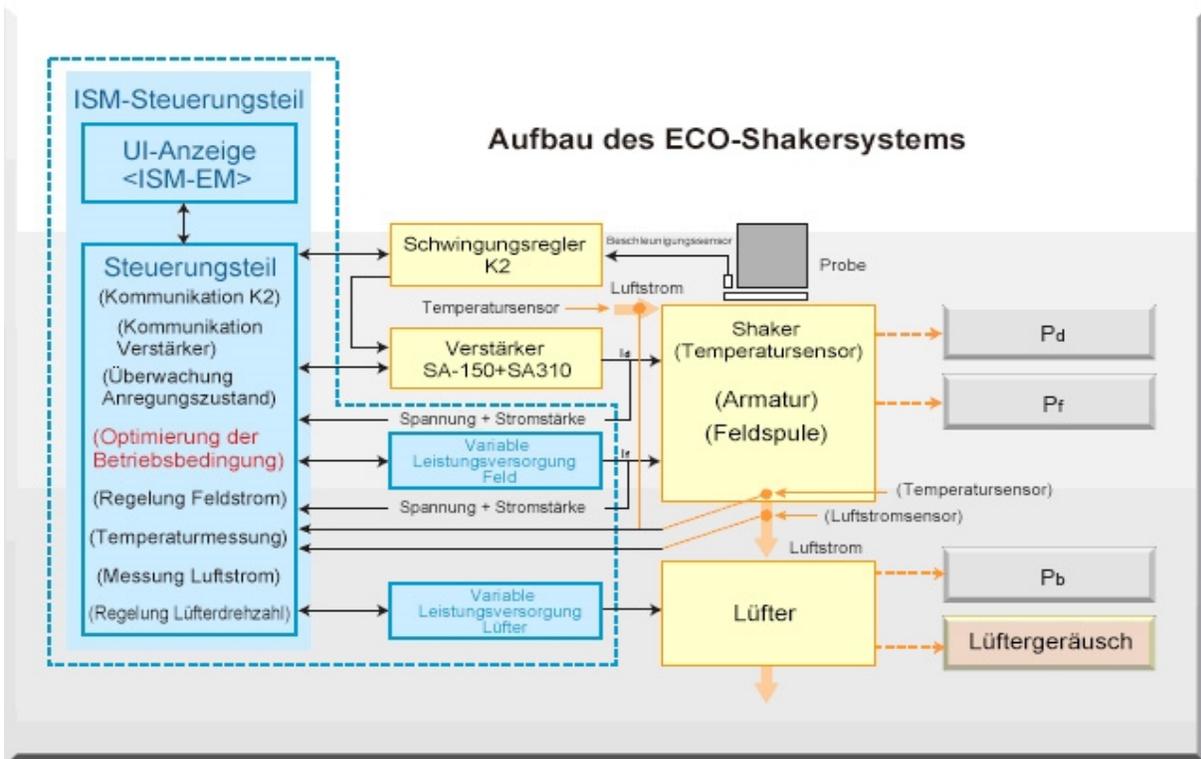
## Suchalgorithmus optimale Betriebsbedingung

### Überwachung Antriebsstrom $I_d$ , Berechnung der benötigten Kraft $I_{f\_opt}$



### 3 Implementierung

Der Aufbau des jetzigen ECO-Shakersystem entspricht folgender Darstellung:



Der blau gestrichelt umrandete Bereich verdeutlicht die Erweiterung des herkömmlichen Shakersystems zur Realisierung des energiesparenden Betriebs. Dieser Teil umfasst eine 'variable Leistungsvorsorgung für das Feld', eine 'variable Leistungsvorsorgung für den Lüfter' und den 'Teil ISM-Steuerung' für die Steuerung von Feld und Lüfter.

Der Teil ISM-Steuerung besteht aus einem Echtzeit-Regler für die Energiemanagementfunktion und die UI-Anwendungssoftware <ISM-EM> unter einem Windows-Betriebssystem.

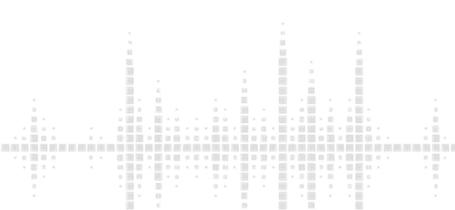
Die Energiemanagersoftware <ISM-EM> läuft auf einer speziellen DSP-Baugruppe und ist durch Datenaustausch mit dem Schwingungsregler K2 von IMV für die Sicherheit des Schwingungsprüfsystems zuständig. Die ISM-EM-Software beinhaltet alle Steuerungsfunktionen des Schwingungsprüfsystems zur Sicherung der Optimierung der Systemenergie.

Die Software <ISM-EM> kommuniziert ferner mit dem Leistungsverstärker (SA-150+SA-301) über eine spezielle DSP-Baugruppe zur Überwachung des Verstärkerzustands und umfassenden Steuerung des Verstärkers.

Die variable Leistungsversorgung für das Feld besteht aus einem pulsbreitenmodulierten Leistungsumformer und stellt den von der ISM-Steuerungssoftware angeforderten Gleichstrom bereit.

Die variable Leistungsversorgung für den Lüfter ist ebenfalls ein pulsbreitenmodulierter Leistungsumformer, der die zur Regelung der Lüfterdrehzahl entsprechend Vorgabe durch die ISM-Steuerungssoftware angeforderte Wechselspannung zur Verfügung stellt.

Jede der beiden Leistungsversorgungen verfügt über ein eigenes Steuerungsmodul und Energieerzeugungsmodul. Beide Module sind über CAN-Bus mit der ISM-Steuerungssoftware verbunden. Die optimalen Betriebswerte für Feldstrom und Lüfterdrehzahl für das jeweilige Schwingprüfungsmodul werden durch die Optimierungsfunktion der ISM-EM-Steuerungssoftware berechnet und über das CAN-Busnetz an die jeweiligen Steuerungsmodule gegeben. Damit arbeitet der Shaker mit dem definierten Minimalenergieeinsatz.

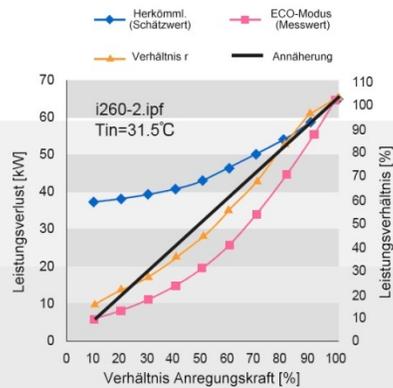


## 4 Leistung

### 4.1 Energieeinsparung

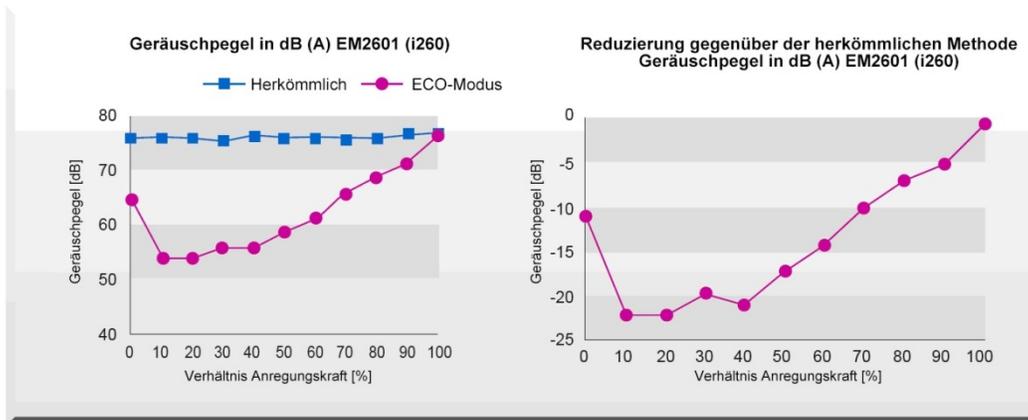
Die mit der IVM-Anlage EM2601 bei einer Umgebungstemperatur  $T_{in}=32^{\circ}\text{C}$  erzielten Ergebnisse der Energieeinsparung mit dem ECO-Shaker sind in der folgenden Tabelle dargestellt:

EF (Kraft)	If (Feld)	Id (Antrieb)	V (Lüfter)	Leistungsverlust		Einsparung	
				Herkömmli. (Schätzwert)	ECO Modus (Messwert)	Verh.R	1-r
	[A]	[A]	[Hz]	[kW]	[kW]		
10%	28.0	124	10.0	36.9	5.3	14%	86%
20%	29.6	236	10.6	37.7	7.7	20%	80%
30%	36.4	296	16.0	39.0	10.6	27%	73%
40%	42.7	355	22.6	40.7	14.4	35%	65%
50%	48.7	412	29.4	43.0	19.2	45%	55%
60%	55.1	469	38.1	46.0	25.5	55%	45%
70%	61.0	530	47.6	49.7	33.6	68%	32%
80%	66.0	589	58.7	53.7	45.1	84%	16%
90%	84.0	623	59.8	57.7	55.4	96%	4%
100%	84.0	693	60.0	62.6	63.7	102%	



## 4.2 Reduzierung des Lüftergeräuschpegels

Messdaten der Reduzierung des Lüftergeräuschpegels der Anlage EM2601 sind beispielhaft im Folgenden dargestellt:



## 5 Nachrüstung

Die Technologie des ECO-Shakers ist in der EM-Baureihe von IMV vollständig implementiert. Mit dieser Originaltechnologie kann sich der Kunde sicher sein, die absolut beste Leistung zu haben.

Andererseits ist es möglich, zur Energieeinsparung herkömmliche Shaker-Anlagen mit der neuesten ECO-Shakertechnologie nachzurüsten (der in der Abbildung blau gestrichelt dargestellte Teil). Ferner muss der Schwingungsregler zur Realisierung des vollautomatischen Betriebs des ECO-Shakers mit der "ISM-Steuerungssoftware" fehlerfrei kommunizieren. Daher ist ein Schwingungsregler IMV K2 erforderlich.

Das thermische Modell des vorhandenen Shakers als Grundlage für die ECO-Shakertechnologie muss ermittelt werden. IMV verfügt in vielen Fällen bereits über Datenbanken mit den für den vorhandenen Shaker benötigten technischen Informationen. Als erster Schritt zur Umrüstung auf die ECO-Shakertechnologie sollte der Kunde daher IMV die erforderlichen Daten zur vorhandenen Anlage übermitteln.

