



## **Drehzahlvariable Stromerzeuger**

K. Mies  
Kirsch GmbH  
Biewerer Straße 231, 54293 Trier  
Tel.: (0651) 9660-0, Fax: (0651) 9660-401  
e-mail: kmies@kirsch-energie.de

Dieser Vortrag ist eine Ergänzung des Vortrages aus dem Jahr 1999, der Herren Günther Cramer, Dirk Wimmer und Roland Grebe von der Fa. SMA Regelsysteme GmbH und Herrn Dr. Peter Zacharias, ISET, mit dem Titel "Drehzahlvariable Systeme mit permanent erregten Generatoren".

Der Vortrag bezieht sich auf den Entwicklungsstand der Kirsch GmbH vom September 2000 und auf den Leistungsbereich von 2 bis 200 kW<sub>el</sub> mit Diesel-Hubkolbenverbrennungsmotoren als Antrieb. Die im weiteren genannten technischen Daten und Messwerte sind noch nicht in Langzeitversuchen bestätigt worden, bzw. handelt es sich um Ergebnisse aus den Entwicklungsprüffeldern der Firmen SMA Regelsysteme GmbH und Kirsch GmbH. Die bisher gewonnenen Erkenntnisse bestätigen jedoch sehr vielversprechend die in den Entwicklungsaufträgen theoretisch geforderten Ziele.

### **1 Einleitung**

Die zukünftigen EU-Vorschriften für Stromerzeuger mit Hubkolbenverbrennungsmotoren zielen auf eine stetige Verringerung der Emissionen (Schall, Abgase, Partikel; siehe Tabelle 1). Die Käufer von hochwertigen Stromerzeugern erwarten zusätzlich eine Reduzierung der Kraftstoffverbräuche, eine Verlängerung der Wartungsintervalle und damit Reduzierung der Instandhaltungskosten, eine längere Nutzungsdauer und eine flexiblere Einsatzmöglichkeit der Stromerzeuger.

Diese Vorschriften und Forderungen sind mit herkömmlichen Stromerzeugern, in der klassischen Bauform, Verbrennungsmotor mit einem Synchron- oder Asynchrongenerator nicht oder nicht mehr lange zu erfüllen.

Ein Schwerpunkt zur Umsetzung der oben gestellten Forderungen liegt in der modernen Motorenentwicklung. Hier müssen die Grundlagen zur Reduzierung der Kraftstoffverbräuche, der Schall-, Abgas und Partikelemissionen geschaffen werden. Die Motorenentwicklung allein stößt jedoch bei drehzahlstarren Systemen sehr schnell an ihre



Grenzen. Erst die Kombination eines modernen Motors unter Ausnutzung variabler Drehzahlen erfüllt alle Ansprüche.

Mit der Ausnutzung der variablen Drehzahl kann erstmals auch ein erweitertes Leistungsspektrum des Verbrennungsmotors ausgenutzt werden. Dies ist besonders interessant im Zusammenhang mit dem Anlauf von problematischen elektrischen Verbrauchern. Bisher mussten Stromerzeuger nach der maximal geforderten Leistung der Verbraucher ausgelegt werden und dies obwohl die mittleren Auslastungen der Stromerzeuger im Betriebsverlauf in der Regel deutlich unter 50% liegen. (Abb. 1)

Das führt dazu, dass konventionell ausgeführte Stromerzeuger in den meisten Fällen deutlich größer dimensioniert werden müssen, als es von der "mittleren Belastung" her notwendig wäre.

Ein in der Leistung überdimensionierter Antriebsmotor, der dazu noch mit einer mittleren Belastung <50% über einen längeren Zeitraum betrieben wird, führt zwangsläufig zu einem erhöhten Kraftstoffverbrauch und zu unnötig hohen Schadstoffemissionen, insbesondere Partikelemissionen. Außerdem wirkt sich eine Überdimensionierung ungünstig auf den Verbrennungsprozess aus, welcher sich wiederum negativ auf die Lebensdauer des Motors auswirkt.

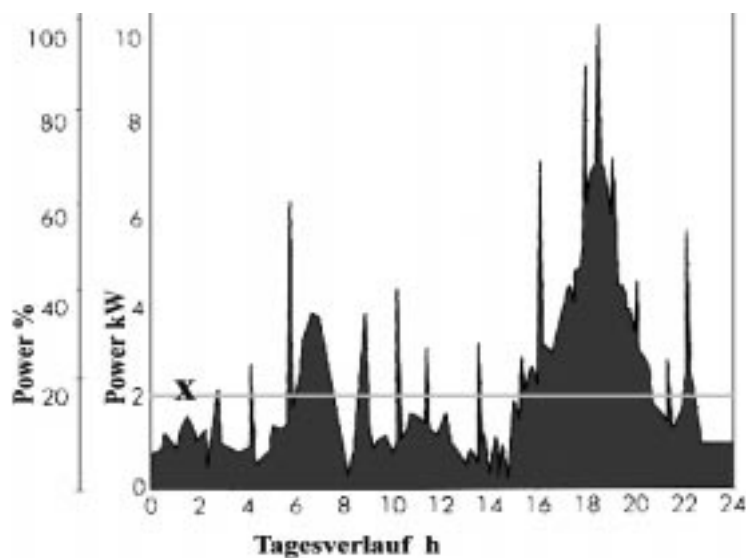
Aus dieser Betrachtung ergeben sich die wesentlichen Ansätze zum Einsatz neuer Technologien für Stromerzeuger mit Hubkolbenverbrennungsmotoren.

Bei dem von der Fa. Kirsch GmbH entwickelten Konzept für den Leistungsbereich 20 bis 200 kW<sub>el.</sub> mit Diesel-Hubkolbenverbrennungsmotoren als Antrieb, kommen 12-polige, wassergekühlte, permanenterrechte Generatoren zum Einsatz. Die verschiedenen Leistungsstufen werden durch miteinander verbundene, einzelne Magnetscheiben, als Innenläufer, realisiert. Jede Magnetscheibe ist 40 mm breit und hat einen Außendurchmesser von 275 mm. Bei einer Drehzahl von 2.750 1/min erzeugt jede Magnetscheibe eine elektrische Leistung von ca. 28 kW<sub>el.</sub>. Die Konstruktion ist für sieben Magnetscheiben, entsprechend ca. 196 kW<sub>el.</sub>, ausgelegt. Zur Bewältigung der starken magnetischen Kräfte sind alle Generatoren dieser Leistungsgröße in Zweilagertechnik mit zusätzlicher Kupplung ausgeführt. Die in der Länge variablen Gehäuse bestehen aus einem Aluminiumguss mit einem integrierten, spiralförmig angeordneten Wasserkühlsystem.



| Partikelemissionen      | • 37 kW - • 75 kW              | • 75 kW - • 130 kW                  |
|-------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| Stufe I, ab 31.12.1997  | 0,85 g/kWh                     | 0,7 g/kWh                           |
| Stufe II, ab 31.12.2002 | 0,4 g/kWh                      | 0,3 g/kWh                           |
| Geräuschemissionen      | $P_{el.} \bullet 2 \text{ kW}$ | $2 < P_{el.} \bullet 10 \text{ kW}$ |
| Stufe I, ab ca. 2002    | 97 dB/pW                       | 98 dB/pW                            |
| Stufe II, ab ca. 2005   | 95 dB/pW                       | 96 dB/pW                            |

Tabelle 1: Emissionsgrenzwerte der EU (in Auszügen) für Industriedieselmotoren und Kraftstromerzeuger



X = mittlere Auslastung

Abb. 1: Belastungsspektrum einer Verbraucheranlage über einen Zeitraum von 24 h, am Beispiel eines 10 kW-Stromerzeugers



## 2 Vergleich: konventionelle und drehzahlvariable Stromerzeuger

### 2.1 Emissionen (Schall, Rußpartikel)

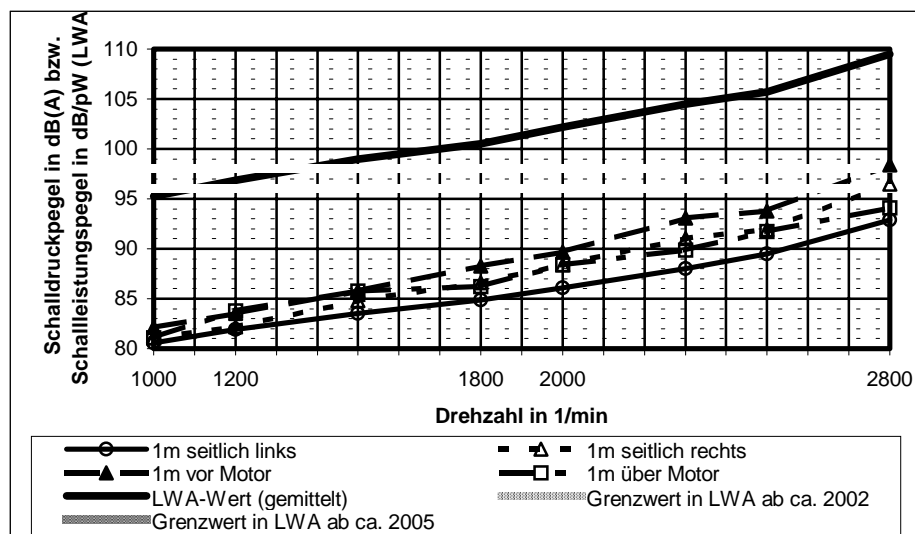


Abb. 2.1.1 Luftschall- und Schalleistungspegel als Funktion der Drehzahl

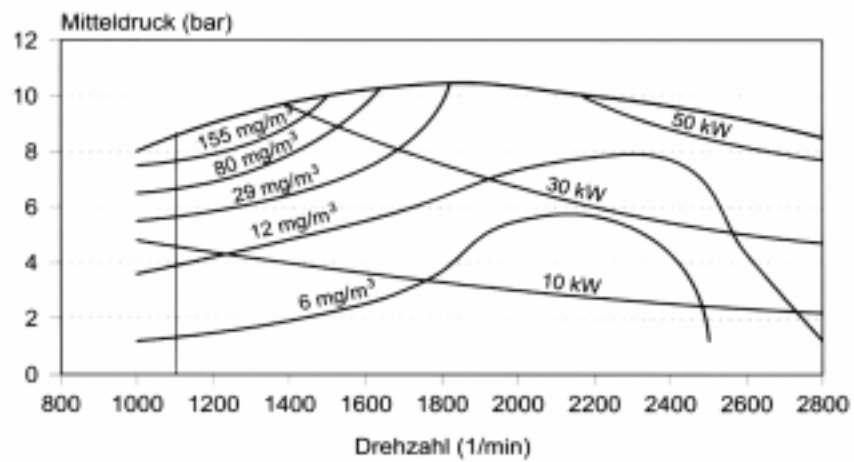


Abb. 2.1.2 Motorleistung und Rußemission als Funktion der Drehzahl



## 2.2 Kraftstoffverbrauch

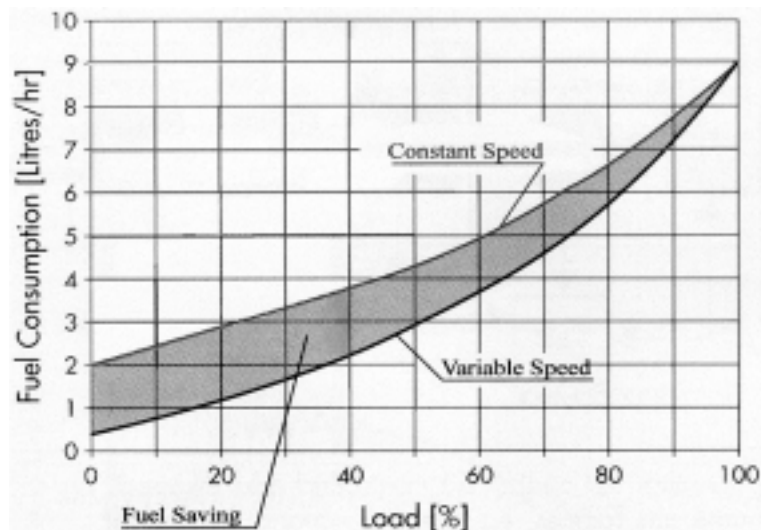


Abb. 2.2.1 Kraftstoffverbrauch bei konstanter und variabler Drehzahl

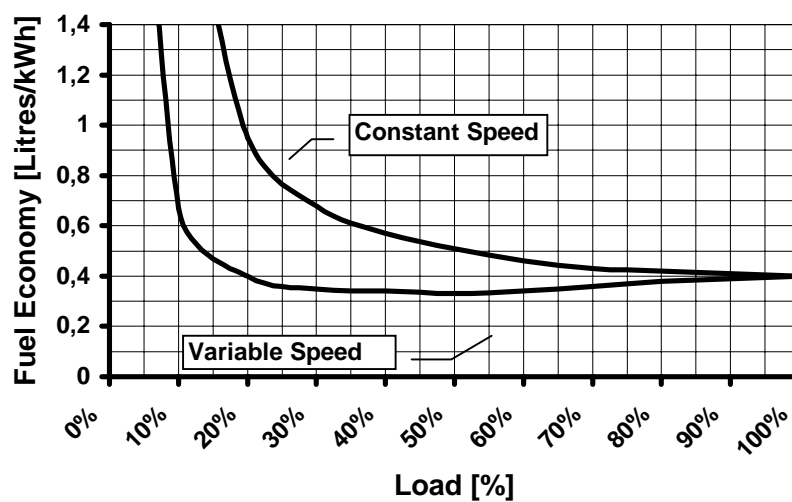


Abb. 2.2.2 Kraftstoffverbrauch bei konstanter und variabler Drehzahl



Der Kraftstoffverbrauch bewegt sich im mittleren bzw. unteren Leistungsbereich im Verhältnis  $>2 : 1$  !

### **2.3 Wartungsintervalle, Beschaffungskosten, Life Cycle Cost (LCC)**

Wir gehen zur Zeit davon aus, dass im Leistungsbereich  $>15$  kW, gegenüber herkömmlichen Aggregaten, die mit konstanter Drehzahl betrieben werden, die Beschaffungskosten für Stromerzeuger mit drehzahlvariablen Antrieben um 20 bis 30 % höher liegen werden. Diese Mehrkosten werden jedoch durch die Verlängerung der Wartungsintervalle (hier insbesondere der Ölwechsel-Intervalle), die Verringerung der Kraftstoffverbräuche (vor allem bei Stromerzeugern größerer Leistungen) und dem weitgehenden Verzicht von aufwendigen Partikelfilteranlagen, mehr als kompensiert.

Die Ausnutzung eines weiten Drehzahlbereiches führt dazu, dass Kunden auf die Beschaffung ganzer Stromerzeuger-Gruppen verzichten könnten. Statt zum Beispiel wie bisher für 2, 4 und 6 kVA jeweils entsprechende Stromerzeuger zu beschaffen, könnten Kunden beim Einsatz von drehzahlvariablen Stromerzeugern auf einen oder sogar zwei Leistungstypen verzichten, indem sie einen drehzahlvariablen Stromerzeuger mit einer Leistung von 6 kVA einsetzen. Dies bringt zunächst eine erhebliche Einsparung bei der Beschaffung und später auch bei der logistischen Betreuung der Stromerzeuger. Das gleiche gilt auch für bisher einzeln beschaffte DC- und AC-Aggregate. Mit der entsprechenden Elektronik ausgerüstete Stromerzeuger können in einem Aggregat DC- und AC-Komponenten vereinigen und zusätzlich die Ausgangsfrequenz variieren (z. B. 50/60 Hz).

### **2.4 Abmessungen und Gewichte**

Die Abmessungen von Stromerzeugern mit drehzahlvariablen Antrieben unterscheiden sich deutlich von denen mit drehzahlstarren Antrieben. Die Baulänge der permanenterregten Generatoren ist, bei der von der Fa. Kirsch gewählten Konstruktionsausführung und je nach Leistungsgröße, bis zu 50 % kürzer und das Gewicht um ca. 50 % niedriger als bei vergleichbaren Asynchron- oder Synchrongeneratoren herkömmlicher Bauart (siehe Tabelle 2.4.1). Das niedrigere Gewicht des permanenterregten Generators wird jedoch durch das Gewicht der erforderlichen Leistungs- und Steuerungselektronik zum größten Teil wieder kompensiert. Die Elektronikbaugruppen können jedoch unabhängig von der Motor-Generator-Baugruppe an einem nahezu beliebigen anderen Platz positioniert werden, was für beengte Einbauverhältnisse einen erheblichen Vorteil darstellt.



| <b>Länge</b>          |        |             |
|-----------------------|--------|-------------|
| PME - Generator       | 250 mm | <b>51 %</b> |
| Synchron - Generator  | 450 mm | 92 %        |
| Asynchron - Generator | 490 mm | 100 %       |
| <b>Gewicht</b>        |        |             |
| PME - Generator       | 75 kg  | <b>44 %</b> |
| Synchron - Generator  | 145 kg | 85 %        |
| Asynchron - Generator | 170 kg | 100 %       |

**Tabelle 2.4.1 Vergleich von Längen und Gewichten von 20 kVA - Generatoren**

Die zu einem 20 kVA PME - Generator gehörende Elektronikbaugruppen, wiegen inklusive einer Wasserkühlung und dem Gehäuse ca. 65 kg.



**Bild 2.4.1: 80 kW Hilfsantrieb mit PME - Generator für einen Oberleitungsbus**

## 2.5 Wirkungsgrade

Die bisher ermittelten Wirkungsgrade beziehen sich auf die elektrischen Komponenten des Stromerzeugers ab der Motorantriebswelle. Die Einbeziehung der Antriebsmotoren in die Betrachtung der Gesamtwirkungsgrade ist noch nicht abgeschlossen und hängt, bedingt durch die variable Drehzahl von vielen Parametern ab.



| Belastung in % | PME – Generator, inkl. Leistungselektronik | Asynchron - Generator | Synchron - Generator |
|----------------|--|-----------------------|----------------------|
| 100            | 80   | 83                    | 85                   |
| 20             | 70   | 50                    | 80                   |

**Tabelle 2.5.1 Vergleich der Wirkungsgrade von 20 kW – Generatoren bei verschiedenen Belastungszuständen in Prozent**

### **3 Einsatzmöglichkeiten für Stromerzeuger mit drehzahlvariablen Antrieben**

In dem von der Fa. Kirsch GmbH bisher untersuchten und entwickelten Leistungsbereich (15 bis 200 kW<sub>el.</sub>) scheint es im Augenblick, aufgrund der zu erwartenden kleinen Stückzahlen, nicht möglich zu sein, die Gesamtkosten solcher Systeme im Rahmen heutiger hochwertiger Stromerzeuger zu halten. Daher kommen als erste Anwender einer solchen Technologie, Bedarfsträger in Betracht, die hohe Anforderungen an einen Stromerzeuger oder dessen Einbausituation stellen.

Dazu gehören in erster Linie:

- Sonderstromerzeuger für die Feuerwehr, THW, Militär usw.
- Hilfsantriebe in Trolleybussen (Oberleitungsbusse)
- Hauptantriebe in Sonderfahrzeugen (Hybridfahrzeuge)
- Blockheizkraftwerke

In dem Leistungsbereich unter 15 kW<sub>el.</sub> wird, aufgrund der erwarteten deutlich höheren Stückzahlen angestrebt, einen Verkaufspreis heutiger hochwertiger Stromerzeuger für Sondereinsatzfälle zu erreichen. Diese Prognose wird unterstützt durch ein seit Jahren fallendes Preisniveau bei leistungselektronischen Bauteilen/Baugruppen und den Sondermagnetwerkstoffen.

Der Einsatz drehzahlvariabler Systeme bedingt allerdings eine neue Definition der heute in einschlägigen Normen und Richtlinien festgelegten Begriffe. Weder die Schallleistungspegel, die Kraftstoffverbräuche, die Wartungsintervalle, noch Angaben wie Nennleistung und Nenndrehzahl können für die neuen Konzepte angewandt werden. Es ist ein Umdenkprozess erforderlich der in Lastenheftforderungen und Prüfstandsläufen berücksichtigt werden muss.

Der drehzahlvariable Stromerzeuger verfügt, im Gegensatz zu den drehzahlstarren Lösungen, über eine Vielzahl von optimierten Nennbetriebspunkten. So wird es u. a.





möglich sein, den Stromerzeugern in Betriebspunkten minimaler Partikel-, Kraftstoff-, oder Schallemissionen zu betreiben, sofern es die gerade zu versorgenden elektrischen Verbraucher zulassen.

#### **4 Zusammenfassung**

Ständig strengere Auflagen des Gesetzgebers und höhere Anforderungen der Bedarfsträger für hochwertige Stromerzeuger haben es notwendig gemacht, dass eigentlich in allen Facetten bekannte Prinzip eines Stromerzeugers mit einem Hubkolbenverbrennungsmotor als Antriebsquelle, neu zu überdenken. Für die nächsten ein bis zwei Jahrzehnte werden diese Auflagen und Anforderungen zunehmend nur noch von drehzahlvariablen Stromerzeugern erfüllt werden können, bis diese Konzepte durch Brennstoffzellensysteme oder in Verbindung mit wasserstoffbetriebene Antriebsmotoren abgelöst bzw. weiterentwickelt werden können.