

Kraftstoff sparen mit variabler Drehzahl

Potenzial dieselektrischer Zusatzaggregate in mobilen Maschinen

Peter Dengler, Marcus Geimer, Richard Zahoransky

Seit Jahrzehnten werden im industriellen und mobilen Bereich kleine Dieselgeneratoren eingesetzt, um elektrische Energie im Bereich geringer Leistung zu erzeugen. Die Generatoren werden vom Anwender aufgrund der Spitzenleistung ausgesucht aber die meiste Zeit im Teillastbereich bei schlechtem Wirkungsgrad betrieben. Durch eine Anpassung der Drehzahl des Verbrennungsmotors an die Kurve des optimalen Verbrauchs kann der Gesamtwirkungsgrad des Systems gesteigert und damit der Kraftstoffverbrauch deutlich gesenkt werden.

Dipl.-Ing. Peter Dengler, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Mobile Arbeitsmaschinen (Mobima) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT),
Prof. Dr.-Ing. Marcus Geimer, Institutsleiter,
Prof. Dr. Richard Zahoransky, Geschäftsführer der Heinzmann GmbH & Co. KG, Schönau

Dieselektrische Aggregate werden überall dort eingesetzt, wo meist mehrere elektrische Verbraucher im Inselbetrieb mit Strom versorgt werden müssen. Dies können Anwendungen sowohl im mobilen als auch im stationären Bereich sein. Ein stationärer Einsatz erfolgt meist dann, wenn sich eine Stromanbindung nicht lohnt. Dieser Fall tritt beispielsweise bei entlegenen landwirtschaftlichen Betrieben oder bei einem vorübergehenden Bedarf z. B. als Generator auf Baustellen oder als Notstromaggregat in Krankenhäusern ein.

Im mobilen Bereich werden diese Aggregate meistens als so genannte Auxiliary Power Units (APUs) zusätzlich zum eigentlichen Verbrennungsmotor betrieben. Einsatzgebiete sind dabei sowohl im Freizeitbereich (Caravans, Freizeitboote, Reisebusse) als auch im kommerziellen Bereich der mobilen Maschinen zu finden (Kühltransporter, Sonderstromerzeuger für Lkw, Spezialfahrzeuge **Bild 1**).

Funktionsweise und Einsatzbereiche

Für gewöhnlich werden dieselektrische Generatoren auf die erforderliche Spitzenlast ausgelegt und mit konstanter Drehzahl betrieben. Da diese APUs häufig im Teillastbereich betrieben werden, läuft der Diesel in einem schlechten Wirkungsgrad. Ziel ist daher eine Betriebspunktverschiebung zur Verbrauchsoptimierung durch eine Anpassung der Drehzahl. Um im Teillastbereich den Diesel im verbrauchsoptimalen Bereich zu fahren, wird die Drehzahl so weit angepasst, bis der Diesel in einem Betriebspunkt fährt, in dem er den geringsten spezifischen Verbrauch hat [1], [2] (**Bild 2**). Auf diese Weise kann für jede Leistung ein Betriebspunkt

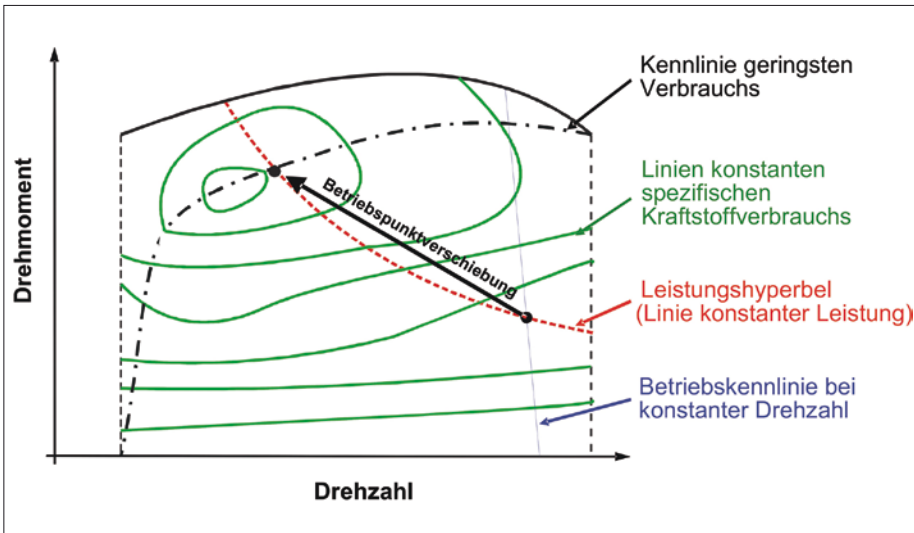


1: Anwendung
 Feuerwehrfahrzeug
 Bildquelle: Rosenbauer

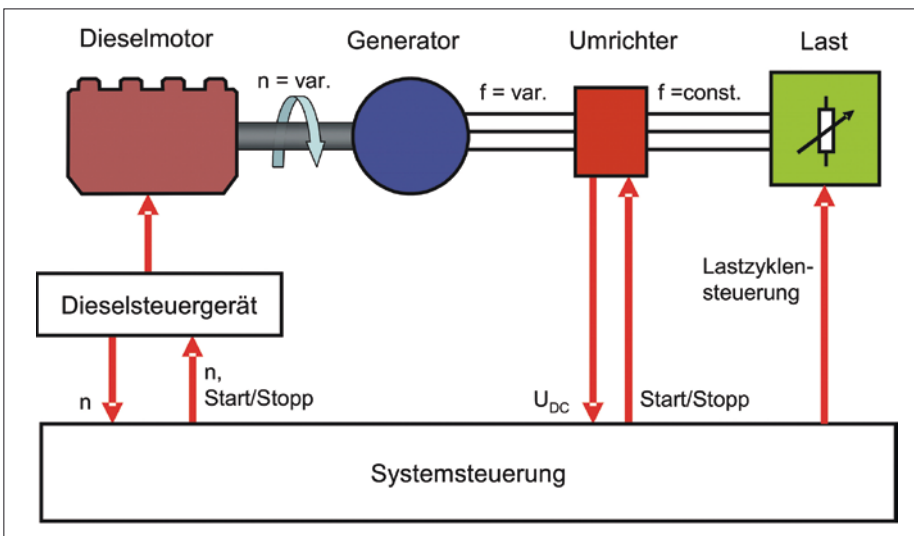


MIT HERZ UND VERSTAND FÜR DIE FLUIDTECHNIK

DICHTSYSTEME FÜR DIE ERSTAUSRÜSTER DER HYDRAULIK UND PNEUMATIK



2: Verbrauchsoptimum entlang Kennlinie geringsten Verbrauchs



3: Systemarchitektur des Versuchsstands

definiert werden, in dem der Kraftstoffverbrauch optimal ist. Verbindet man alle diese Punkte miteinander, ergibt sich eine Kennlinie des geringsten Verbrauchs, die in der Dieselsteuerung hinterlegt ist. Das sich daraus ergebende System ist ein drehzahlvariabler Generator (Variable Speed Generator - VSG), der seine Drehzahl an die aktuelle Last anpasst, um den höchsten Systemwirkungsgrad zu erzielen.

Moderne Leistungselektronik ermöglicht die Erzeugung einer von der Drehzahl entkoppelten Frequenz unter beliebigen Lasten und Drehzahlen mittels eines Umrichters [3].

Neben einer elektronischen Entkopplung gibt es auch die Möglichkeit einer mechanischen Entkopplung durch ein Getriebe mit stufenloser Übersetzung, diese Systeme bilden jedoch eher die Ausnahme [4].

Die Anwendung der VSG-Technologie ist vor allem bei der Stromerzeugung mit Generatoren variabler Drehzahl wie z. B. Windgeneratoren von Bedeutung [5]. Aufbauend darauf gibt es auch hybride Systeme, die einen drehzahlvariablen Dieselgenerator mit einem Windenergiegenerator kombinieren, um

Weitere Informationen www.vfv1.de/20852130 ▶

KASTAŞ KAUCUK SAN. VE TİC. A.Ş.
Atatürk Organize Sanayi Bölgesi
10001 Sokak, No.19,
35620 Çiğli İZMİR / TURKEY
info@kastas.com.tr

Kastas Kaucuk Europe GmbH
Schleswiger Damm 129a
22457 Hamburg / DEUTSCHLAND
+49 40 181 20 60 50
europe@kastas.com.tr

www.kastas.de



4: Permanenterregte Synchronmaschine von Heinzmann



5: Hatz Dieselmotor mit 3,5 kW Nennleistung

auch bei schwachem Wind ausreichend Leistung zur Verfügung stellen zu können [6].

Im mobilen Bereich gibt es bereits auf dem Markt erhältliche Systeme, die sowohl für den Freizeit- als auch den industriellen Bereich konzipiert sind [7], [8]. Ebenso sind Portalcräne [9], Rettungs- und Spezialfahrzeuge [10], sowie Militärfahrzeuge [11] mögliche Anwendungsgebiete für die VSG-Technologie.

Ein bedeutendes Anwendungsgebiet für den VSG im mobilen Bereich ist der Einsatz als APU in großen Transport-Lkw für die Stromversorgung des Fahrers nach Beendigung seiner Fahrt. Vor allen Dingen in den USA stellt die Nutzung des Lkw-Diesels nach Fahrtende zur Versorgung der elektrischen Verbraucher wie Heizung, Klimaanlage, Beleuchtung oder auch Unterhaltungselektronik ein großes ökologisches und ökonomisches Problem dar [12]. In den USA lässt ein Fernfahrer zu diesem Zweck den Diesel-

motor seines Fahrzeugs ca. 1830 h pro Jahr laufen. Da der Motor bei den vergleichsweise geringen Leistungen in einem sehr schlechten Wirkungsgrad läuft und deshalb einen hohen spezifischen Verbrauch hat, wird allein dadurch um die 2,6 Mio. Tonnen Dieseltreibstoff pro Jahr verbraucht [13]. Mittlerweile steuert die Gesetzgebung in einigen US-Bun-

den Kraftstoffeinsparung eines VSGs zu untersuchen (Bild 3). Als Lastprofile wurden Profile gewählt, wie sie vom VDEW (Verband der Elektrizitätswirtschaft, heute BDEW – Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft) herausgegeben werden, um Netzbetreibern die Ermittlung des Ausgleichsenergiebedarfs von Endkunden zu ermöglichen. Bei diesen Profilen handelt es sich um eine näherungsweise Bestimmung des Leistungsbedarfs, die jedoch hinreichend genau ist, so dass sie von Anbietern, Netzbetreibern und Versorgungsunternehmen gleichermaßen anerkannt sind [15]. Aus diesen Profilen wurden die für eine mögliche Anwendung des VSG relevanten Profile Haushalt, Gewerbe allgemein, sowie Landwirtschaftsbetriebe gewählt (jeweils ohne Grundlast). Dadurch lässt sich der Verbrauch an elektrischer Leistung für stationäre Anwendungen oder auch für allgemeine mobile Anwendungen abschätzen.

Ein drehzahlvariabler Generator ist eine kraftstoffsparende Alternative zu herkömmlichen Generatoren

desstaaten jedoch bereits gegen dieses Umweltproblem [14], was entsprechende technische Maßnahmen erforderlich macht.

Gemessene Kraftstoffersparnis

Da der VSG mit einem herkömmlichen Generator konkurriert und Anwender die höheren Investitionen für Umrichter und Regeleinheit scheuen, bedarf es eines Vergleichs des Kraftstoffverbrauchs eines Generators mit konstanter Drehzahl und eines Generators mit variabler Drehzahl.

Zu diesem Zweck wurde am Lehrstuhl für Mobile Arbeitsmaschinen (Mobima) ein Versuchsstand aufgebaut, mit dem Ziel, die

Um die Kraftstoffeinsparung bei der Anwendung als APU in einem Transport-Lkw zu ermitteln, hat man als weiteres Profil einen typischen Lastzyklus eines amerikanischen Transport-Lkw nach [16] und [17] hinzugezogen.

Der für die Versuche verwendete Generator war eine permanenterregte Synchronmaschine (Hersteller: Fa. Heinzmann, Bild 4), die von einem Einzylinder-Viertaktmotor mit einer Nennleistung von 3,5 kW angetrieben wurde (Hersteller: Fa. Hatz, Bild 5). Über eine Steuerung war es möglich, die Drehzahl des Diesels vorzugeben und somit an die aktuelle elektrische Last des Generators anzupassen.

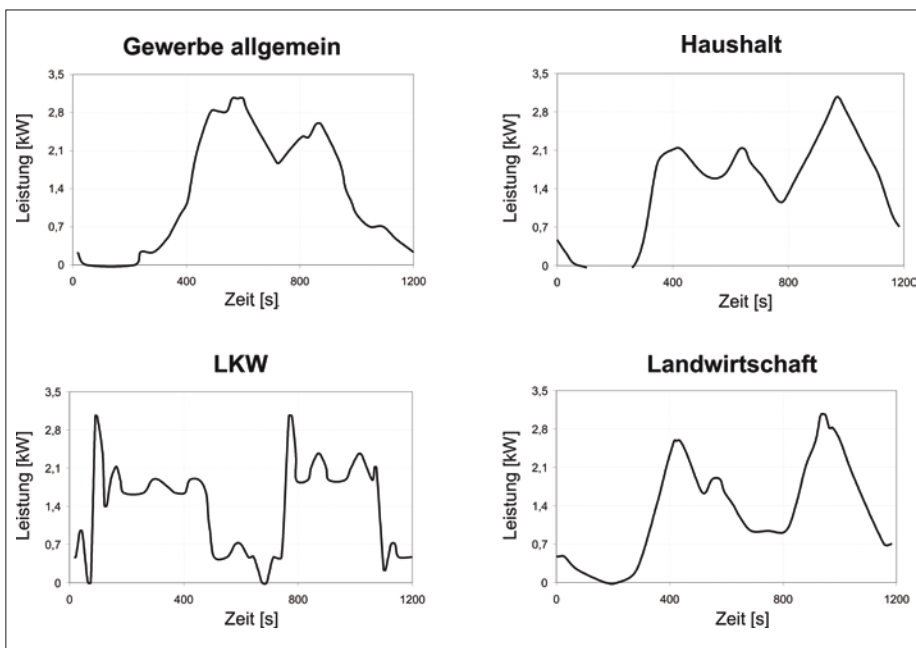
Die verwendeten Lastprofile wurden auf 3 kW Maximalleistung skaliert und in der Systemsteuerung hinterlegt. Durch stufenweises Zuschalten von Lastwiderständen konnte auf diese Weise das skalierte Lastprofil angenähert werden.

Für den Vergleich mit einem konventionellen System wurden die Lastprofile jeweils mit konstanter Drehzahl bei 3600 min⁻¹ und mit variabler Drehzahl in einem Bereich von 1500 bis 3600 min⁻¹ abgefahren.

Bild 6 zeigt die untersuchten Lastprofile, die gemessene Kraftstoffeinsparung ist in Tabelle 1 dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass eine Drehzahlanpassung zu einer hohen Kraftstoffeinsparung führt. Dies ist ausschließlich darauf zurückzuführen, dass durch die in der Motorsteuerung hinterlegte Kennlinie (Bild 2) das Gesamtsystem bestehend aus Diesel, Generator und Umrichter stets im höchsten Wirkungsgrad betrieben wird. Dies hat bei den betrachteten Profilen eine Kraftstoffeinsparung von ca. 30 % ermöglicht.

Zyklus	Kraftstoffersparnis
Gewerbe allgemein	28,5 %
Haushalt	29,2 %
Lkw	30,3 %
Landwirtschaft	31,1 %

Tabelle 1: Gemessene Kraftstoffersparnis mit einem drehzahlvariablen Generator



6: Kraftstoffersparnis bei den untersuchten Lastprofilen

Zusammenfassung

Der VSG ist eine kraftstoffsparende Alternative zu herkömmlichen Generatoren mit konstanter Drehzahl. Trotzdem scheuen Anwender die Mehrinvestition, da der tatsächliche Nutzen oftmals nicht bekannt und nur schwer abzuschätzen ist. Es wurden Einsatzmöglichkeiten des VSG aufgezeigt und realistische, repräsentative Lastprofile recherchiert. Bei allen gemessenen Profilen konnte eine deutliche Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs von 30 % nachgewiesen werden. Vor allem bei Profilen mit stark schwankenden Lasten ist der VSG deutlich effizienter, höhere Einsparungen werden erwartet. Durch eine Start/Stop-Funktion kann die Effizienz noch weiter erhöht werden, indem sich der Diesel selbstständig ausschaltet, wenn keine Last abgerufen wird. Weitere Potenziale eröffnen sich durch optimierte Komponenten.

MOBIMA 31871940

www.vfv1.de/31871940

Quellenangaben

[1] Leuchter, J. et al., *Efficiency Investigation of Mobile Power Sources with VSCF Technology*, SPEEDAM - International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, Taormina, 2006

Danke: DBU gefördert

Die vorgestellten Ergebnisse entstanden während eines Projektes, das in Zusammenarbeit mit der Firma Heinzmann GmbH & Co. KG und mit Unterstützung der Firma Hatz am Lehrstuhl für Mobile Arbeitsmaschinen (Mobima) bearbeitet wurde. Das Projekt wurde von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert. Die Autoren bedanken sich bei der DBU für die Unterstützung und die Förderung des Projektes.

- [2] Mies, K.: *Drehzahlvariable Stromerzeuger*, Kasseler Symposium Energie-Systemtechnik, 2000
- [3] Wheeler, P. et al.: *A Utility Power Supply Based on a Four-Output Leg Matrix Converter*, IEEE Transactions on Industry Applications, Band 44, Nr. 1, Januar/Februar 2008
- [4] Unbekannt: *A variable Answer for Gen-Sets?*, Fachartikel in „Diesel Progress North American Edition“, September 2007
- [5] Hau, E.: *Windenergieanlagen: Grundlagen, Technik, Einsatz, Wirtschaftlichkeit*, Springer-Verlag, 2008
- [6] Bowen, A.J., Cowie, M., Zakay, N.: *The Performance of a Remote Wind-Diesel Power System*, Renewable Energy, Band 22, Elsevier Science, 2001
- [7] Firmenbroschüre: *Marine Generatoren*, Firma Fischer Panda, im Internet verfügbar unter (Stand: 14. Oktober 2010): http://www.ocean-marine.de/pdf/fischerpanda/FP_Marine_DE.pdf
- [8] Firmenbroschüre: *VSCF - drehzahlvariabler AC-Stromerzeuger*, Firma Kirsch GmbH, im Internet

- verfügbar unter (Stand: 14. Oktober 2010): http://www.kirsch-energie.de/fileadmin/user_upload/redakteur/pdf/Kirsch_vscf.pdf
- [9] Firmenbroschüre: *A Technical Description of a Variable Speed Generator System for Retro-Fitting RTG Cranes*, Firma Nonsynchronous Energy Electronics, im Internet verfügbar unter (Stand: 14. Oktober 2010) <http://www.nonsynchronous.com/RTG%20Presentation.pdf>
- [10] Cherus, D.: *Modelling, Simulation and Performance Analysis of a Hybrid Power System for Mobile Medical Clinic*, Dissertation Universität Kassel, 2004
- [11] Andriulli, J.B. et al.: *Development of Proof-of-Concept Units for the Advanced Medium-Sized Mobile Power Sources (AMMPS) Program*, Bericht des Oak Ridge National Laboratory, 2002
- [12] Gaines, L., Vyas, A., Anderson, J. L.: *Estimation of Fuel Use by Idling Commercial Trucks*, Bericht zum „85th Annual Meeting of the Transportation Research Board“, Center of Transportation Research, Argonne National Laboratory, 2006
- [13] Stodolsky, F., Gaines, L., Vyas, A.: *Analysis of Technology Options to Reduce the Fuel Consumption of Idling Trucks*, Bericht des Argonne National Laboratory, Energy Systems Division, 2000
- [14] Title 13, *California Code of Regulation, Section 2485: Airborne Toxic Control Measure to Limit Diesel-Fueled Commercial Motor Vehicle Idling*, Office of Administrative Law, State of California, 2005
- [15] Fünfgeld, C., Tiedemann, R.: *Anwendung der repräsentativen VDEW-Lastprofile step-by-step*, Brandenburgische Technische Universität Cottbus, 2000
- [16] Lasher, S. et al.: *Evaluation of the potential for fuel cell APUs*, Proceedings of the Fuel Cell Seminar, San Antonio, USA, 2004
- [17] Steinberger-Wilckens, R.: *Wissenschaftlicher Ergebnisbericht 2006, Schwerpunkt: Energie, FE-Vorhaben: P12 Rationelle Energieumwandlung*, Forschungszentrum Jülich, 2006



THINK TECH, ENGINEER SUCCESS

New markets
New customers
New networks

Sichern Sie sich jetzt Ihren Platz als Aussteller auf der MobiliTec, der internationalen Leitmesse für hybride und elektrische Antriebstechnologien, mobile Energiespeicher und alternative Mobilitätstechnologien.

Präsentieren Sie Ihr Unternehmen, Ihre Produkte und Lösungen auf dem internationalen Branchentreffpunkt und profitieren Sie vom einzigartigen Konzept des weltweit wichtigsten Technologieereignisses, der HANNOVER MESSE.

Mehr Informationen unter:
hannovermesse.de/de/mobilitec

**Jetzt Platzierung sichern –
auf der MobiliTec 2012!**

MobiliTec



NEW TECHNOLOGY FIRST

23.-27. April 2012 · Hannover · Germany