

Der Riemengetriebene Startergenerator (RSG)

Eine innovative Funktionserweiterung des Nebenaggregatetriebs

Michael Bogner / Manfred Bonkowski Vortrag: Haus der Technik, Essen, 14-15.06.2004

1. Einleitung

Der Individualverkehr – einer der bedeutendsten Faktoren der europäischen Wirtschaft – gerät zunehmend in ein Spannungsfeld aus Ökonomie und Ökologie. Um den Individualverkehr weiterhin als ökologisch vertretbare Form der Mobilität zu erhalten, ist die Reduzierung des Flottenverbrauchs und somit die Reduzierung von Treibhausgasen unumgänglich. Neben einer konsequenten Weiterentwicklung verbrennungsmotorischer Antriebe liefert auch eine Optimierung des Fahrzeugbetriebs einen durchaus positiven Beitrag zum Klimaschutz und somit zu einer sauberen Zukunft für kommende Generationen. Die Einführung einer Start-/Stopp-Automatik stellt hierbei einen ersten wichtigen Schritt in die richtige Richtung dar.

Aus der Vielzahl der unterschiedlichen Lösungsansätze, die bislang zur Realisierung einer Start-/Stopp-Automatik untersucht wurden, ist die riemengetriebene Variante der Startergeneratoren in Bezug auf Komfort, Performance und Kosten eine äußerst interessante Alternative.

Die neue Generation der E-Maschinen steht dem Fahrzeughersteller in unterschiedlichen Leistungsklassen zur Verfügung. Der Wirkungsgrad wurde erheblich verbessert. Das Einsatzspektrum reicht hierbei von einfachen „low cost“ Systemen für konventionelle 14 V Bordnetze bis hin zu einer „high end“ Lösung für zukünftige 42 V Bordnetze. Ausgehend von einer einfachen „Start-/Stopp-Variante“ bis hin zum Hochleistungssystem mit erweiterter Funktionalität sind unterschiedliche, kundenspezifische Lösungen realisierbar. Die Integration einer „Boost“ Funktion, kombiniert mit der Möglichkeit des regenerativen Bremsens, bietet zusätzliches Einsparpotential.

Ein kostengünstiger und effektiver Einstieg in die Hybridisierung von Kraftfahrzeugen rückt für die Kraftfahrzeugindustrie in greifbare Nähe.

2. Motivation

Treibende Kraft für die Einführung einer Start-Stopp-Funktionalität ist letztendlich das Ziel, die für 2008 vereinbarten Emissionsgrenzwerte zu erreichen.

Aufgrund des direkten Zusammenhangs zwischen CO₂ Ausstoß und Treibstoffverbrauch lässt sich der angestrebte Grenzwert von 140 g/km auch als Durchschnittsverbrauch ausdrücken. Umgerechnet wird für 2008 ein mittlerer Verbrauch von etwa 5,7 l/100km für Fahrzeuge mit Ottomotor gefordert, ein Fahrzeug mit Dieselmotor darf max. 5,1 l/100km konsumieren. Verglichen mit Verbrauchswerten von 2002, die im Mittel bei ~7 l/100km lagen, bedeutet dies eine notwendige Einsparung zwischen 20% und 25%. Dieses Ziel stellt eine große Herausforderung für die gesamte Automobilbranche dar und betrifft die Fahrzeughersteller und die Zulieferer in gleichem Maße.

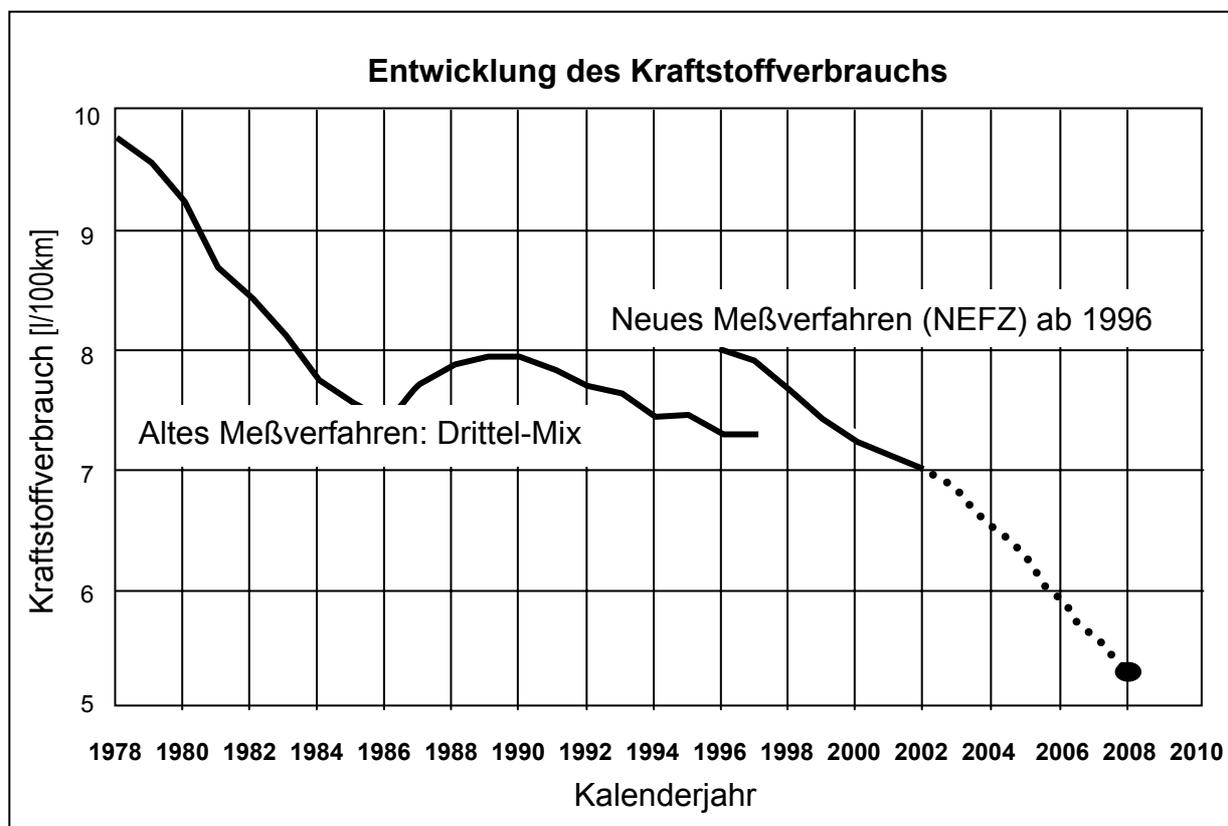


Bild 1: Entwicklung des durchschnittlichen Treibstoffverbrauchs (Quelle: VDA)

Die Einführung einer Start-/Stopp-Funktion bietet in Abhängigkeit vom gewählten Fahrzyklus ein zusätzliches Einsparpotential zwischen 5% und 10%. Der Startergenerator im Riementrieb liefert somit einen nicht unerheblichen Beitrag zur erfolgreichen Umsetzung der Ziele für 2008.

3. Funktion

Für den Antrieb heute üblicher Nebenaggregate wie z. B. Klimakompressor, Wasserpumpe, Lenkhilfepumpe und Generator hat sich der Keilrippenriemen mittlerweile bei allen Fahrzeugherstellern etabliert. Durch den Einsatz eines riemengetriebenen Startergenerators (RSG) wird der Riementrieb um eine zusätzliche Funktionalität erweitert. Der Riementrieb wird demnach zukünftig auch für den Motorstart verantwortlich sein, wobei aufgrund der Drehmomentumkehr während des Startbetriebs die Position von Leer- und Zugtrum nicht mehr eindeutig definiert ist. Die Anforderungen an den Riementrieb steigen.

3.1. Startbetrieb

Während des Startbetriebs wirkt der Startergenerator als Motor. Das Drehmoment wird über die Riemenscheibe des Startergenerators in den Riementrieb eingeleitet und zur Kurbelwellenscheibe übertragen. Auf diese Weise wird neben dem konventionellen Antrieb der Nebenaggregate ein schneller und komfortabler Motorstart realisiert. Dies ist eine Grundvoraussetzung für die Kundenakzeptanz eines Start-/Stopp-Systems.

Durch den Einsatz bewährter Technologien, der Startergenerator basiert meist auf dem Funktionsprinzip der Klauenpolmaschine, die Bleibatterie wird in leicht modifizierter Ausführung ebenfalls weiterhin zum Einsatz kommen, lassen sich die zu erwartenden Mehrkosten minimieren. Hinzu kommt ein vergleichsweise geringer Änderungsaufwand am Motor selbst. Ein Eingriff in den Antriebsstrang ist nicht erforderlich, was wiederum zu geringen Entwicklungs- und Systemkosten beiträgt. Falls gewünscht kann selbstverständlich auch ein 42 V Bordnetz mit einem RSG-System realisiert werden.

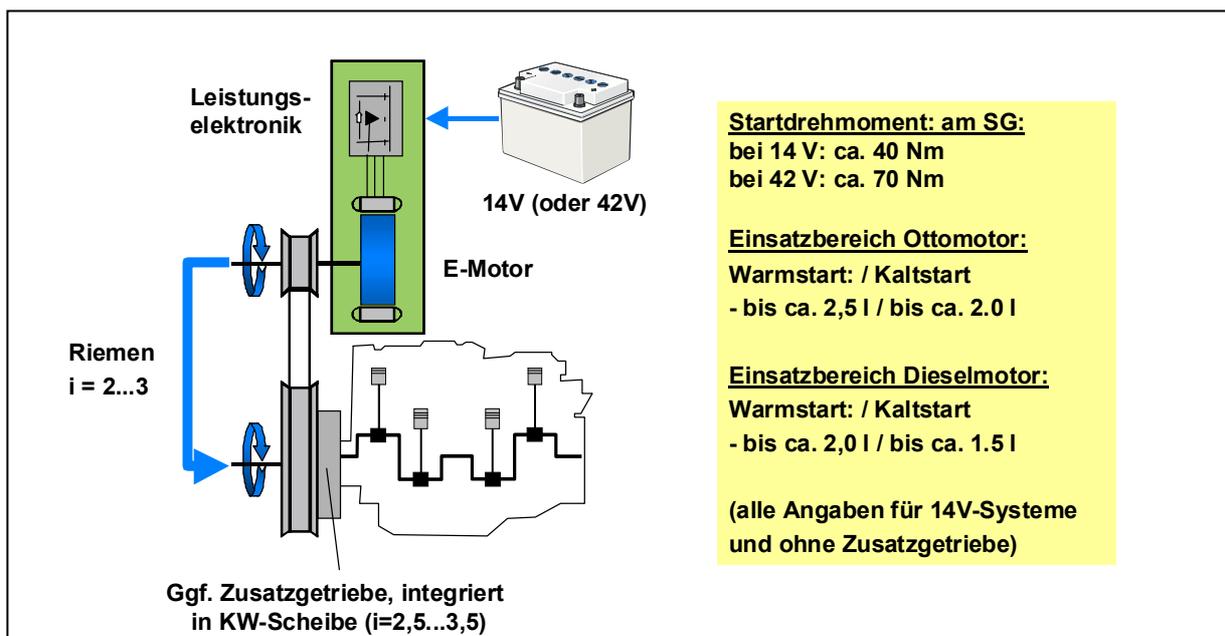


Bild 2: Funktionsweise des RSG-Systems im Startbetrieb

Aufgrund der begrenzten elektrischen Leistung der E-Maschine ist bei einem 14 V System die Warmstartfähigkeit (20° C) von Ottomotoren bis ca. 2,5 l Hubraum, bei Dieselmotoren bis ca. 2,0 l Hubraum gegeben. Der Kaltstart (-25° C) ist bei Ottomotoren bis ca. 2,0 l Hubraum möglich, bei Dieselmotoren liegt die Grenze bei ca. 1,5 l Hubraum, d. h. die Hubraumgrenze für den Motorstart liegt bei Dieselmotoren aufgrund des höheren Drehmomentbedarfs etwas niedriger als bei Ottomotoren.

Durch den Einsatz einer speziell gestalteten Riemenscheibe mit integriertem Planetengetriebe kann das im Startfall an der Kurbelwelle wirksame Drehmoment erhöht werden, im generatorischen Betrieb ist die Getriebeübersetzung deaktiviert. Dadurch läßt sich die maximal startbare Motorgröße um jeweils ca. 0,5 l Hubraum nach oben verschieben.

3.2. Generatorischer Betrieb

Im generatorischen Betrieb wird der Startergenerator als Generator betrieben, das Drehmoment wird von der Kurbelwelle in den Riemetrieb eingeleitet und über den Riemetrieb an die Generatorwelle übertragen. Bei 14 V Anwendungen sind elektrische Leistungen bis ca. 3 kW bei einem maximalen Wirkungsgrad von ca. 70% realisierbar, mit 42 V-Technologie können elektrische Leistungen bis ca. 8 kW bei einem maximalen Wirkungsgrad von 75% erzeugt werden. Die elektrische Leistung wird hierbei nicht von der E-Maschine selbst begrenzt. Ausschlaggebend für die Begrenzung sind vielmehr die Leitungsverluste, bzw. der benötigte Leitungsquerschnitt.

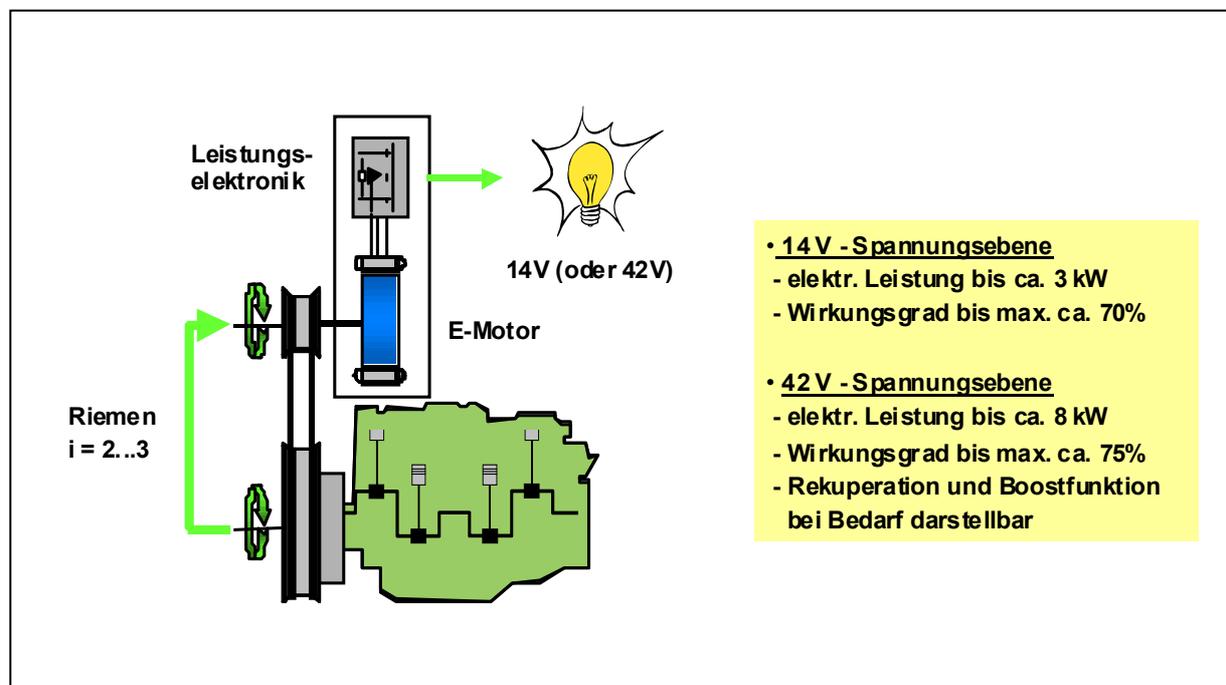


Bild 3: Funktionsweise des RSG-Systems im generatorischen Betrieb

3.3. Zusatzfunktionen

Neben einer reinen Start-/Stopp-Funktion sind mit einem RSG-System weitere Zusatzfunktionen, wie z. B. Boost und regeneratives Bremsen, realisierbar.

Die Boost-Funktion beschreibt im Wesentlichen eine Drehmomentunterstützung durch die E-Maschine. Dieses zusätzliche Drehmoment kann beispielsweise als Anfahrhilfe oder auch für Überholvorgänge genutzt werden. Ferner ist auch der Einsatz als Abwürgeschutz denkbar.

Das regenerative Bremsen dient der Rückgewinnung der Bremsenergie während der Verzögerungsphase. Das größte Problem stellt hierbei die Speicherung der rückgeführten Energie dar, da zusätzlich zur konventionellen Bleibatterie der Einsatz anderer Speichermedien notwendig ist, um größere Mengen elektrischer Energie in der kurzen Zeitdauer des Bremsvorganges speichern zu können.

4. Auswirkungen auf den Riementrieb

Bei einem konventionellen Aggregattrieb wird das Spannsystem üblicherweise im Leertrum, d. h. unmittelbar nach der Kurbelwellenscheibe angeordnet. Dies ist immer dann möglich, wenn die Einleitung des Drehmoments einer Antriebsscheibe (z. B. der Kurbelwellenscheibe) eindeutig zuzuordnen ist. Im Vergleich zu herkömmlichen Nebenaggregattrieben, bei denen die Kurbelwelle immer antreibende Scheibe ist und die anderen im Trieb befindlichen Scheiben immer die angetriebenen Scheiben darstellen, ist bei RSG-Systemen eine eindeutige Zuordnung des Leer- und Zugtrums nicht mehr möglich. Abhängig vom jeweiligen Betriebszustand wird die E-Maschine entweder als Motor oder als Generator betrieben und bewirkt somit eine Verschiebung von Leer- und Zugtrum.

Bei der Auslegung eines Riementriebsystems sind daher mindestens zwei unterschiedliche Betriebszustände zu berücksichtigen. Ziel der Auslegung ist die Sicherstellung einer an den jeweiligen Betriebszustand angepassten und nahezu konstanten Riemenvorspannkraft. Dies muss unabhängig von der Temperatur über die gesamte Einsatzdauer des Riementriebs sowohl während des Startbetriebs als auch während des generatorischen Betriebs gewährleistet sein.

Um auch künftig den gewohnt hohen Standard eines Nebenaggregattriebs für RSG-Anwendungen sicher stellen zu können wurden unterschiedliche Lösungsansätze zu Riementrieb und Spannsystem erarbeitet und anschließend ausführlich untersucht. Bei herkömmlichen Nebenaggregattrieben bewegt sich die Anforderung an die Riemenlebensdauer je nach Anwendungsfall zwischen 160.000 km und 240.000 km. Bei RSG Systemen müssen zusätzlich rund 30.000 Kaltstarts und ca. 500.000 Warmstarts nachgewiesen werden. Ferner sind Boost- und Rekuperationsvorgänge zu berücksichtigen sofern die jeweilige Anwendung diese Funktionalität bietet. Die stark gestiegene Komplexität des Gesamtsystems und die höheren Anforderungen bzgl. Motordynamik, Geometrie und Bauraum, erfordern neue Lösungsansätze für Riemen und Spannsystem.

4.1 Startbetrieb

Der kumulierte Zeitanteil des Startbetriebs scheint auf den ersten Blick vernachlässigbar, bei genauerer Betrachtung stellt sich jedoch heraus, dass der Startbetrieb wegen der Grundfunktion „Motorstart“ extrem kritisch zu betrachten ist. Während des Startbetriebs ist sicher zu stellen, daß das maximale Drehmoment welches der Startergenerator abgibt, sicher übertragen werden kann und die maximal zulässigen Schlupfwerte nicht überschritten werden. Je nach Anwendungsfall gilt dies auch für den Kaltstart bei Temperaturen von -30°C . Um dies zu gewährleisten sollte der Umschlingungswinkel der Kurbelwellenscheibe und an der Generatorriemenscheibe bei ca. 180°C liegen. Extrem kleine Durchmesser am Generator sind ebenfalls zu vermeiden.

4.2 Generatorischer Betrieb

Die stark erhöhte Generatorleistung und ein erhöhtes Massenträgheitsmoment führen auch im generatorischen Betrieb zu höheren stationären und dynamischen Belastungen im Riementrieb.

Bisher wurde bei kritischen Fällen ein sogenannter Generatorfreilauf angewandt. Der Generatorfreilauf hat die Aufgabe, die Massenträgheit des Generators von den Drehbewegungen der Kurbelwelle abzukoppeln. Bei RSG-Systemen ist der Einsatz eines herkömmlichen Generatorfreilaufs aufgrund der unterschiedlichen Drehmomentrichtungen nicht mehr möglich. Die Folge für den Riemen sind hohe Zugkraft-, Biege- und Verschleißbeanspruchungen. Das Spannsystem erfährt hohe mechanische Belastungen und muß erhöhten Anforderungen an Vorspannkraft und Dämpfung gerecht werden. Ferner werden auch die im Antrieb integrierten Nebenaggregate mit höheren Kräften beaufschlagt.

Diverse Auslegungen und Versuche an verschiedenen Motoren haben gezeigt, daß diese Effekte durch eine frühzeitige Systemoptimierung beherrschbar sind. Demnach ist ein funktionsfähiges Riementriebsystem mit Start-/Stopp-Funktion oder sogar Boost- und Rekuperationsfunktion (im 42 V Bordnetz) mit relativ geringem Mehraufwand darzustellen. Um dennoch auch für kritische RSG-Anwendungen einen Generatorfreilauf anbieten zu können befindet sich derzeit ein hierfür geeignetes Produkt in der Entwicklung.

5. Komponenten für RSG Anwendungen

Das System „Riemengetriebener Startergenerator“ besteht im Wesentlichen aus einer E-Maschine inkl. der zugehörigen Leistungselektronik, einem Riemen zur Übertragung der erforderlichen Drehmomente und einem speziell angepassten Spannsystem.

5.1 Hochleistungs Keilrippenriemen für RSG-Anwendungen

Auf Basis der heute für hohe Laufzeiten und weite Einsatztemperaturen besonders geeigneten EPDM-Keilrippenriemen UNIPOWER[®] sind zur weiteren Optimierung für RSG-Applikationen diverse Modifikationen vorgenommen worden, um den speziellen Anforderungen im RSG-Einsatz gerecht zu werden.



Bild 4: Keilrippenriemen für RSG-Applikationen: UNIPOWER[®] BSA

Diverse Funktions- und Start-/Stopp-Dauerlaufversuche auf entsprechenden Prüfständen sowie Funktionserprobungen an befeuerten Motoren und mit Prototypfahrzeugen haben mittlerweile gezeigt, daß die Anforderungen für aktuelle RSG-Applikationen erfüllt werden. Die axiale Baubreite kann im Regelfall bei den heute üblichen 6 PK bleiben, nur bei sehr hohen Drehmomentanforderungen sowie Zusatzfunktionen wie Boost und Rekuperation sind ggf. 1-2 Rippen mehr erforderlich (3,56 mm pro Rippe). Die anfängliche Befürchtung, dass mit einem kraftschlüssigen Zugmittel die erforderlichen Umfangskräfte nicht übertragbar seien, sind ausgeräumt. Derzeit wird das für die Kurbelwelle verfügbare Startdrehmoment weniger vom Riementrieb als vielmehr von der E-Maschine und der Belastbarkeit der Leistungselektronik definiert.

5.2 Spannsystem für RSG-Anwendungen

Aufgrund der geänderten Randbedingungen ist der Einsatz eines herkömmlichen Spannsystems nur in Ausnahmefällen möglich und stellt in jeder Hinsicht einen Kompromiss dar. Die Charakteristik des Spannsystems kann in diesem Fall nur an

einen Betriebszustand angepasst werden, wobei üblicherweise der Startbetrieb den kritischeren Betriebszustand darstellt. Die für den Startbetrieb erhöhte Vorspannkraft liegt auch im generatorischen Betrieb an. Das Kraftniveau liegt somit auf einem höheren Niveau als heute üblich. Dieser Effekt führt zu einer Einschränkung der zu erwartenden Riemenlebensdauer. Um dies zu umgehen ist die Entwicklung geeigneter Spannsysteme notwendig, wobei die nachfolgend beschriebenen Anforderungen zu erfüllen sind.

- **Sicherstellen einer angepassten und nahezu konstanten Riemenspannkraft, sowohl bei Start-, als auch im generatorischen Betrieb (Wechsel zwischen Leer- und Zugtrum)**
- **Sicherstellung einer ausreichenden Riemenvorspannung für einen zuverlässigen Motorstart über den gesamten Temperaturbereich**
- **Sicherstellen einer hohen Lebensdauer aller Komponenten**
- **Reduzierung von Riemenschlupf und Laufgeräusch**
- **Reduzierung dynamischer Spitzenbelastungen im Riemetrieb**
- **Ausgleich von Riemenlängung und Verschleiß über Lebensdauer**

Bild 5: Anforderungen an RSG-Spannsysteme

Bei Riemetrieben für RSG-Anwendungen ist eine eindeutige Zuordnung des Leertrums nicht mehr möglich da der Generator im Startbetrieb antreibendes Element ist, im generatorischen Betrieb angetriebenes Element. Die Richtung des an der Generatorscheibe wirksamen Drehmoments kehrt sich je nach Betriebszustand um. Die große Herausforderung bei der Entwicklung von für RSG-Anwendungen geeigneten Spannsystemen liegt demnach darin, unabhängig vom Betriebszustand das jeweils vorhandene Leertrum zu spannen. Der Idealzustand ist erreicht, sobald die Möglichkeit besteht, während des Startbetriebs die Vorspannkraft zusätzlich zu erhöhen, während im generatorischen Betrieb die Vorspannkraft reduziert werden kann. Ferner muß bei Hochleistungs-RSG-Anwendungen zusätzlich noch die Möglichkeit des Boost- und Rekuperationsbetriebs sichergestellt werden.

Ein Lösungsansatz für die geschilderte Problematik stellt das sogenannte „Pendelspannsystem“ dar. Besonderes Merkmal ist die Ausführung mit zwei voneinander unabhängigen Hebelarmen die lediglich durch eine Feder verbunden sind. Dieses Spannsystem wird im Riemetrieb derart angeordnet, dass immer einer der beiden Hebelarme im jeweils vorhandenen Leertrum sitzt. Durch die Verlagerung des Gesamtsystems ergibt sich für den Startbetrieb eine andere Betriebsposition als im generatorischen Betrieb, was bei entsprechender Drehpunktlage und ggf. gezielt unterschiedlichen Hebelarmlängen zu einer Erhöhung der Vorspannkraft im Startbetrieb führt.

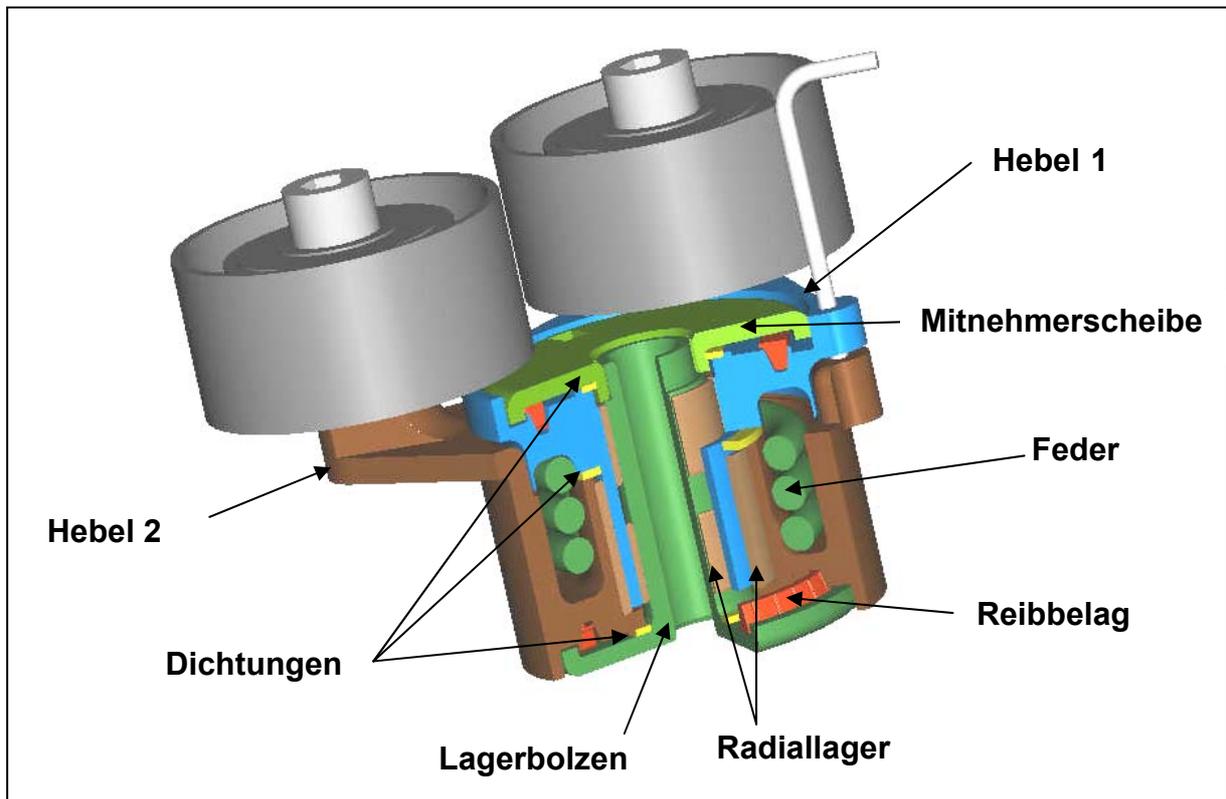


Bild 6: Pendelspannsystem in Schnittdarstellung

Ein weiterer sehr vielversprechender Lösungsansatz ist die Verwendung des Generators selbst als Spannsystem. Die Grundidee ist hierbei eine drehbare Lagerung des Generators, der über ein hydraulisches Spannelement abgestützt wird.

Die Vorteile liegen hierbei in einer vergleichsweise einfachen Umsetzbarkeit, geringem Bauraumbedarf, sowie nahezu universeller Einsatzmöglichkeit.

Während des Startvorgangs wirkt das an der Generatorriemenscheibe in den Riemetrieb eingeleitete Drehmoment am Generatorgehäuse als äquivalentes Gegendrehmoment. Dieses Gegendrehmoment kann bei geschickter Anordnung des Drehpunktes eine automatische Erhöhung der Vorspannkraft zur Folge haben. Dieser Effekt unterstützt die Drehmomentübertragung während des Motorstarts. Im generatorischen Betrieb kehrt sich dieser Effekt um, die Vorspannkraft wird dadurch reduziert und die Lebensdauer des Riemens steigt.

Neben der gezeigten Variante des Pendelspannsystems sowie des Generatorspannsystems befinden sich selbstverständlich auch andere Spannerkonzepte in der Entwicklung. Eine ausführliche Beschreibung aller Konzepte würde jedoch den gegebenen Rahmen sprengen.

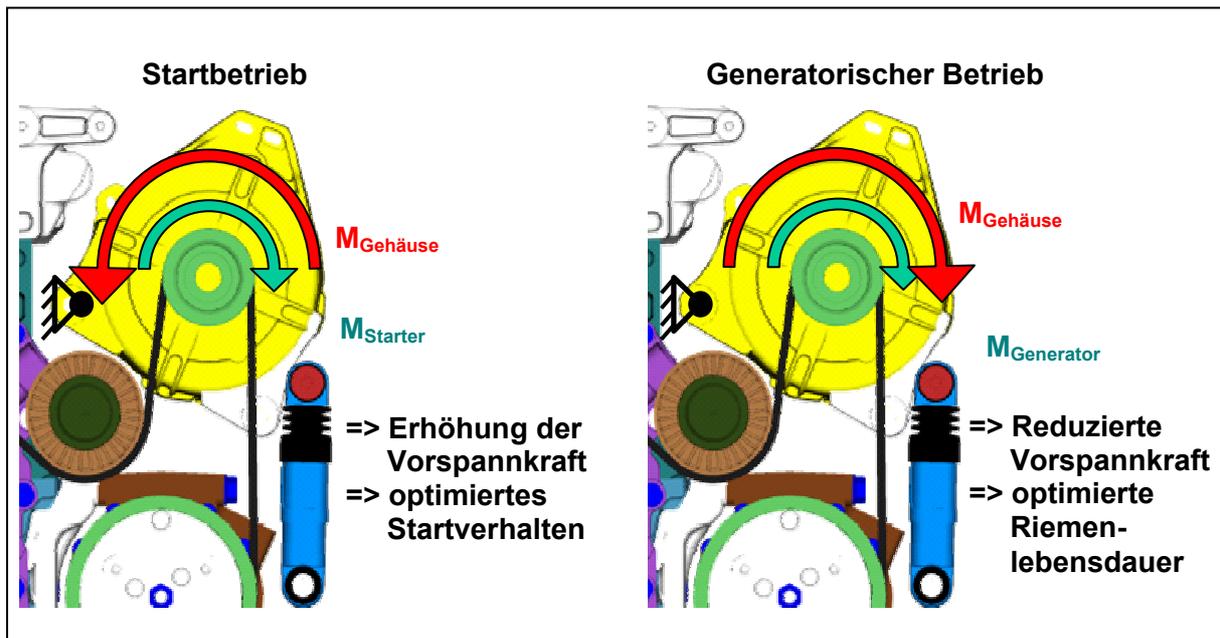


Bild 7: Generatorspannsystem als Prinzipdarstellung

6. Entwicklungstools

6.1 Berechnungstools

Die Entwicklungsphase eines Riementriebsystems gliedert sich im Wesentlichen in drei große Abschnitte. Rechnerische Auslegung und dynamische Simulation des Riementriebs, Konstruktion und Bauteiloptimierung sowie Überprüfung der Hardware im Versuch. Hierfür sind speziell an die neuen Herausforderungen angepasste Entwicklungstools vorhanden. Die rechnerische Auslegung erfolgt zunächst statisch unter Berücksichtigung aller Belastungszustände und Toleranzlagen, darüber hinaus werden bei der statischen Auslegung auch thermische Effekte berücksichtigt. Im direkten Anschluß wird eine dynamische Simulation des Riementriebs durchgeführt. Ziel ist hierbei, Aufschluß über das Verhalten des Riementriebs unter dynamischer Anregung der Kurbelwelle zu erhalten. Besonderes Augenmerk liegt hierbei auf der Bewegung des Spannsystems, sowie auf den Kräften die im Riementrieb auftreten können. Bisher konnte die dynamische Simulation des Riementriebs nur für stationäre Betriebspunkte durchgeführt werden, aufgrund der veränderten Anforderungen von RSG-Anwendungen wurde die vorhandene Software jedoch grundlegend überarbeitet. Mittlerweile sind neben stationären Berechnungen auch transiente Simulationen möglich, demnach kann ein kompletter Startvorgang quasi ab Drehzahl Null bis hin zu max. möglichen Motordrehzahl simuliert werden. Dies ermöglicht bereits in einem sehr frühen Entwicklungsstadium die Optimierung des Gesamtsystems und trägt somit zu verkürzten Entwicklungszeiten und geringeren Entwicklungskosten bei.

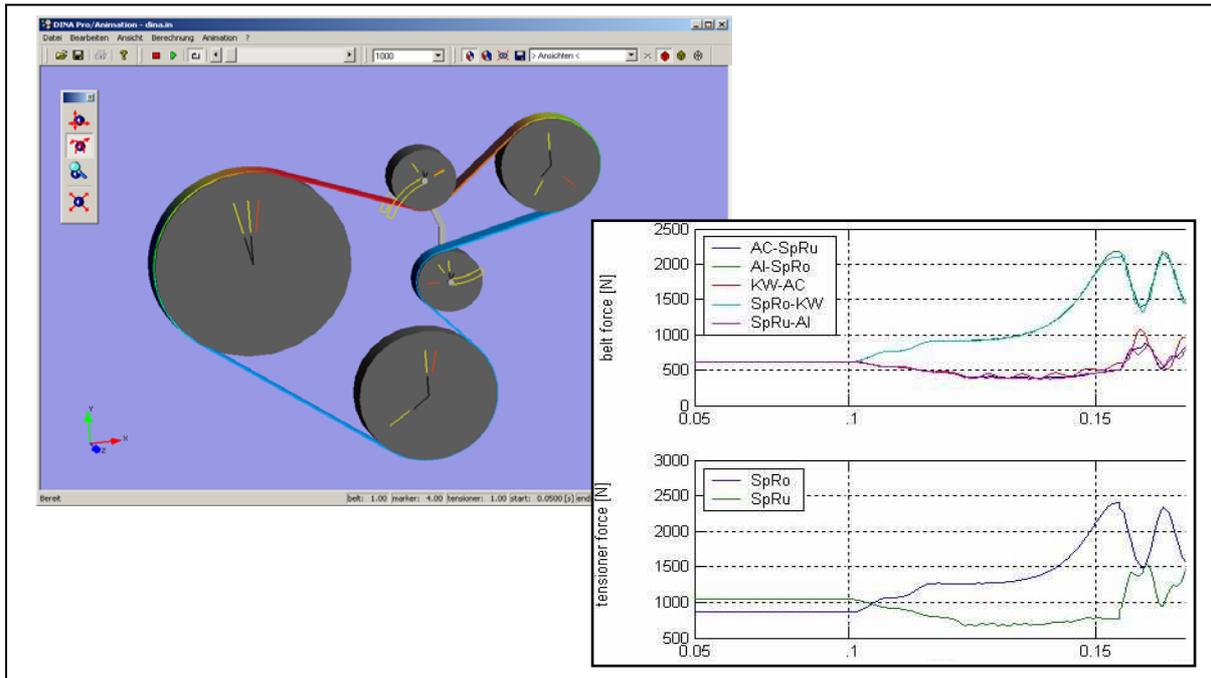


Bild 8: RSG-Antrieb in einer DINA Simulation

Hinsichtlich der konstruktiven Gestaltung der Spannsysteme kommen moderne 3D CAD Systeme, wie z. B. Pro-Engineer zum Einsatz. Im Nachgang kann dann die vorhandene Geometrie anhand der simulierten Belastungsdaten bzgl. der Festigkeit aller Bauteile analysiert werden. Um den vorhandenen Bauraum bestmöglich auszunutzen und das Spannsystem hinsichtlich auftretender Belastungen zu optimieren, besteht ferner die Möglichkeit eine Topologieoptimierung der Bauteile durchzuführen.

Neben der dynamischen Simulation ist auch die Funktions- und Lebensdaueranalyse des Riemetriebes unter stationären Lastzuständen ein wichtiges Entwicklungstool, das im Zusammenspiel mit der statischen Auslegung des Spannsystems zur frühzeitigen Antriebsoptimierung genutzt wird. Die Eingabeparameter und die Ergebnisse nach einem Berechnungsdurchgang zeigt das nachfolgende Bild 9.

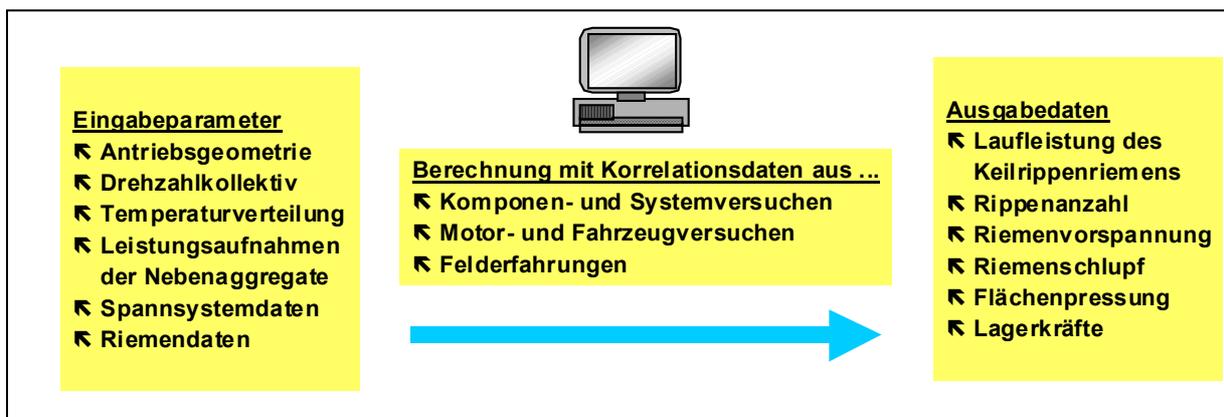


Bild 9: Berechnung / KRR-Lebensdauer für stationäre Betriebszustände

Mit diesem Entwicklungstool kann in einer frühen Phase in Abhängigkeit der gewählten Riemenausführung und –breite die zu erwartenden Lebensdauer des Riementriebs sowie wichtige Funktionskennwerte wie z. B. stationärer Schlupf oder Mindestvorspannkraft ermittelt werden. Sollten die Lebensdauanforderungen mit dem vorgegeben Trieblayout nicht zu erreichen sein, sind außerdem aus den Ergebnissen Optimierungsmaßnahmen abzuleiten, deren Auswirkungen in weiteren Berechnungsdurchgängen direkt überprüft werden können. Somit ist eine unter den gegebenen Randbedingungen funktions- und lebensdaueroptimierte Riementrieb-systemauslegung sowie die technische Bewertung alternativer Varianten möglich.

6.2 Prüfstände und Meßeinrichtungen für die Riementriebssystementwicklung

Trotz der vielfältigen Simulationsmöglichkeiten sind auch Versuchseinrichtungen notwendig um die Funktion und die Lebensdauer der Komponenten sowie des gesamten Systems zu verifizieren. Das Spektrum reicht von verschiedensten Komponentenprüfständen zum Nachweis der Funktion und Lebensdauer von Riemen, Spannsystem und Umlenkrollen bis hin zur Untersuchung kompletter Riementriebe anhand eines sogenannten Breadboard-Tests. Hierfür wird der gesamte Riementrieb inklusive der Nebenaggregate auf einer Grundplatte 1:1 nachgebildet. Die Kurbelwelle wird mittels eines E-Motors simuliert, der auch in der Lage ist, die Kurbelwellendrehungleichförmigkeit (gemessen oder gerechnet) abzubilden. Die Nebenaggregate können über entsprechende Belastungseinheiten gezielt mit Drehmoment beaufschlagt werden.

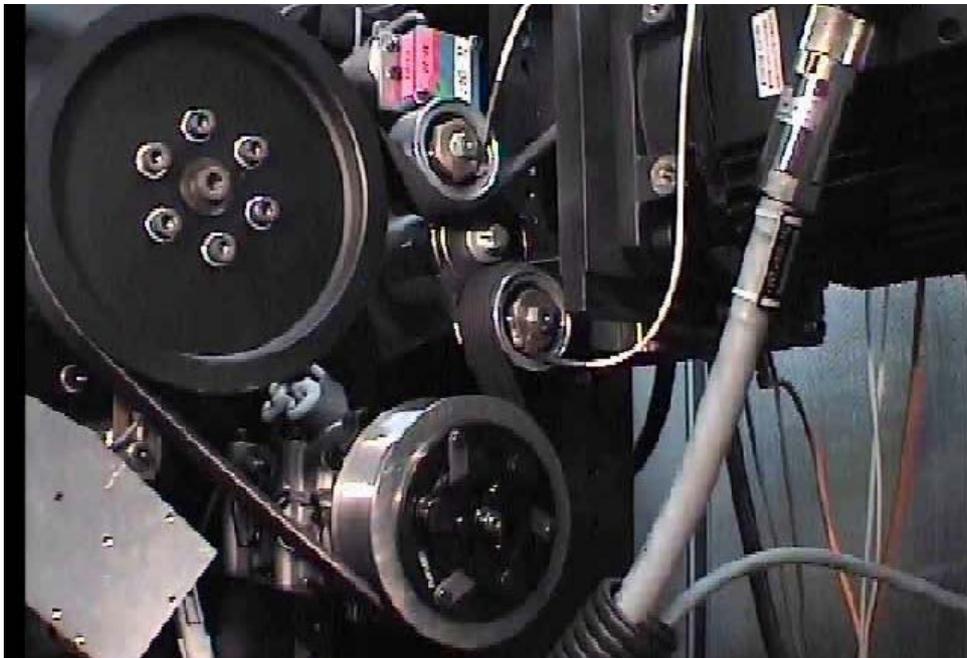


Bild 10: RSG Simulationsprüfstand mit einem typischen Layout.

Speziell für die Simulation von RSG-Trieben wurde ein eigens hierfür konstruierter Simulationsprüfstand aufgebaut. Hier wird neben der Kurbelwelle auch der Startergenerator mittels geeigneter E-Motoren simuliert. Die Simulation kann sowohl für den Startbetrieb als auch für den generatorischen Betrieb durchgeführt werden. Ähnlich wie bei der rechnerischen Simulation des Startvorgangs kann unter Einsatz des Simulationsprüfstands ebenfalls ein kompletter Startvorgang, bis hin zu max. möglichen Motordrehzahl simuliert werden. Bei Bedarf sind außerdem regeneratives Bremsen sowie Boost nachstellbar.

Sobald ein realer Motor zur Verfügung steht besteht selbstverständlich auch die Möglichkeit einer Messung am befeuerten Motor, wobei die gezielte Belastung von Motor und Nebenaggregaten notwendig ist. Auch Messungen unter verschiedenen klimatischen Bedingungen (z. B. Kaltstart) sind durchführbar. Für Untersuchungen im Fahrzeug steht ein klimatisierter Rollenprüfstand zur Verfügung. Typische Messgrößen für eine umfassende Funktionsanalyse sind hierbei Wege und Kräfte der Spannrollen, Schlupfverhalten des Riemens an unterschiedlichen Scheiben, Riemenschwingungen und Kräfte im Riemen sowie das Beschleunigungsverhalten von Bauteilen.

7. Zusammenfassung und Ausblick

Der riemengetriebene Startergenerator bietet die Möglichkeit, ein komfortables Start-/Stopp-System ohne großen Änderungsaufwand bei moderaten Mehrkosten an vorhandene Motoren zu applizieren. Die grundsätzliche Funktion wurde sowohl theoretisch als auch praktisch nachgewiesen. Eine zufriedenstellende Systemlebensdauer ist bei optimaler Abstimmung realisierbar. Erste konkrete Serieneinsätze sind in Europa ab 2004 zu erwarten, wobei die Einführung zuerst bei kleinen Benzinmotoren im Rahmen des vorhandenen 14 V-Bordnetzes erfolgen dürfte.

Anhand von Berechnungen und ersten Motorversuchen wurde die grundsätzliche Eignung des riemengetriebenen Startergenerators auch für das 42 V-Bordnetz nachgewiesen. Aufgrund der hiermit möglichen Zusatzfunktionen wie regeneratives Bremsen und Boostfunktion ergeben sich weitere interessante Perspektiven und zusätzliches Potential zur Verbrauchsreduzierung.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, daß der RSG sowohl im 14 V- als auch im 42 V-Bordnetz technisch realisierbar ist und sich aufgrund seiner systemtypischen Merkmale als Basis für ein kostenoptimiertes Start-/Stopp-System anbietet. In den nächsten Jahren ist mit dem verstärkten Serieneinsatz dieser Technologie zu rechnen.

Literatur

- [1] Schäfer, H:
Integrierter Starter-Generator (ISG), Das multifunktionale Bindeglied zwischen Bordnetz und Antriebsstrang im Kraftfahrzeug. Expert Verlag, ISBN 3-8169-1946-4
- [2] Dr.-Ing. P.Solfrank / Dipl.-Ing. P.Kelm:
Dynamiksimulation von PKW Nebenaggregatetrieben (INA Sonderdruck 1999)
- [3] VDI Berichte 1758 (VDI Tagung Umschlingungsgetriebe - Fulda 24/25.06.2003)

Autoren

Dipl.-Ing. (FH) Michael Bogner
Dipl.-Ing. Manfred Bonkowski

INA-Schaeffler KG
Contitech Antriebssysteme

Herzogenaurach
Hannover
