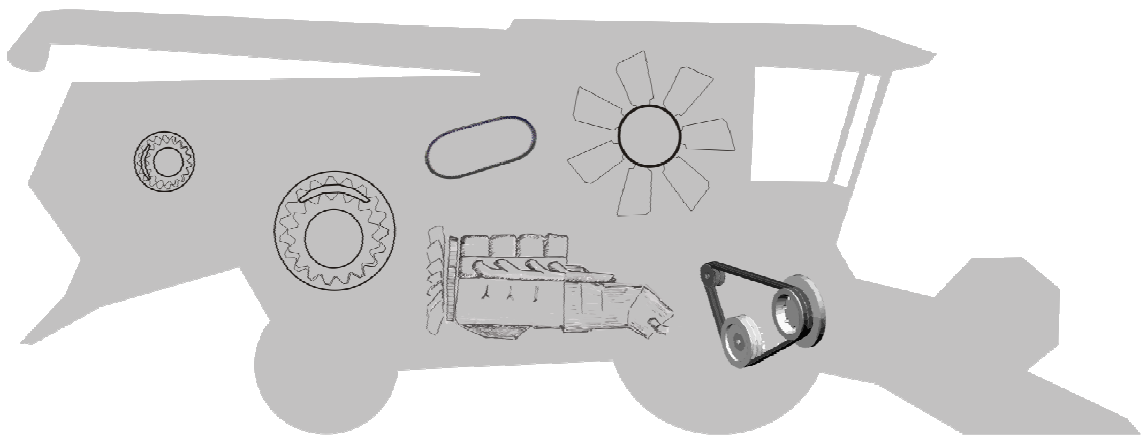


## ENA - Entkopplung Nebenaggregate

***Entwicklung einer Methodik zur Wirkungsgradverbesserung von Antrieben bei mobilen Arbeitsmaschinen durch eine bedarfsgerechte Regelung der Nebenaggregate.***



Institut für Fahrzeugsystemtechnik (FAST)

Lehrstuhl für Mobile Arbeitsmaschinen (Mobima)

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Prof. Dr.-Ing. Marcus Geimer, Dipl.-Ing. Frank C. Otto

76128 Karlsruhe

DFG Paket-Projekt mit

Institut für Kolbenmaschinen (IFKM)

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Spicher, Dipl.-Ing. Stefan Berlenz

76128 Karlsruhe

Fördergeber:



Genehmigt seit: Oktober 2010

Laufzeitende: Etwa Mitte 2013

## Präambel

Nebenaggregate, wie z.B. die Kühlmittelpumpe, der Kompressor für die Klimaanlage, Öl- und Wasserpumpe und im PKW-Bereich auch die Lenkhilfpumpe, sind mit einer festen Übersetzung an die Drehzahl des Verbrennungsmotors gekoppelt. Eine Auslegung der Nebenaggregate kann aufgrund des großen Drehzahlbereiches des Verbrennungsmotors nicht optimal sein. Es wird erwartet, dass eine deutliche Effizienzsteigerung der Nebenaggregate durch deren Entkopplung von der Drehzahl des Verbrennungsmotors erreicht werden kann. Dies hätte die Einsparung von Ressourcen wie Kraftstoff und nicht zuletzt einen geringen Ausstoß des klimaschädlichen Gases CO<sub>2</sub> zur Folge.

Das Potential der Kraftstoffeinsparung kann insbesondere bei mobilen Arbeitsmaschinen zurzeit nicht erschlossen werden, da die Hersteller der Verbrennungsmotoren und die Fahrzeughersteller in der Regel nicht identisch sind. Heute übernehmen die Verbrennungsmotorhersteller die Verantwortung für den sicheren Betrieb und somit die Gewährleistung des Motors nur, wenn die elementar wichtigen Nebenaggregate mitgeliefert werden. Dies ist ein Zusatzgeschäft, auf das die Motorenhersteller nicht verzichten möchten.

Aus diesem Grund wird in diesem Projekt das Potential der Effizienzsteigerung durch die Entkopplung der Nebenaggregate des Verbrennungsmotors ermittelt und eine Rechenmethodik entwickelt, mit der das Potential auf einen Motor und eine Anwendung spezifisch bestimmt werden kann. Bei ausreichend hohem Einsparpotential ist ein Nutzen für die Endanwender bestimmbar, so dass ein Umdenken bei den Herstellern angestoßen und erwartet werden kann.

Das vorgeschlagene Projekt wird derzeit in Zusammenarbeit von zwei Instituten des Karlsruher Instituts für Technologie KIT durchgeführt, da die Kompetenzen der beiden Institute zur Bearbeitung der Fragestellung benötigt werden: Das Institut für Kolbenmaschinen (IFKM) ist für die Messungen an dem Verbrennungsmotor und die Optimierung des Verbrennungsmotors zuständig, der Lehrstuhl für Mobile Arbeitsmaschinen (Mobima) des Instituts für Fahrzeugsystemtechnik (FAST) für die Lastanforderungen der Nebenaggregate, die Ausarbeitung der Regelstrategien für die spezifischen Anwendungen und die Erarbeitung einer simulationsgestützten Rechenmethodik.

# **1. Aufgabe**

## **1.1 Thema**

Entkopplung Nebenaggregate - Entwicklung einer Methodik zur Wirkungsgradverbesserung von Antrieben bei mobilen Arbeitsmaschinen durch eine bedarfsgerechte Regelung der Nebenaggregate.

## **1.2 Zusammenfassung**

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens soll durch eine bedarfsgerechte Regelung von Nebenaggregaten das Potential zur Wirkungsgradsteigerung des Gesamtfahrzeugsystems einer mobilen Arbeitsmaschine untersucht werden. Von entscheidender Bedeutung ist hierbei die Ermittlung der Leistungsaufnahmen der einzelnen Nebenaggregate. Die Untersuchungen sollen zeigen, bei welchen Betriebspunkten welche Leistungen der einzelnen Aggregate benötigt werden, um diese dann bedarfsgerecht zu regeln und hinsichtlich des Gesamtsystems wirkungsgradoptimal zu betreiben.

Schwerpunkte der Arbeiten am IFKM sind die messtechnischen Untersuchungen am Verbrennungsmotor und die Bestimmung der Kennfelder der Nebenaggregate. Mobima steuert typische Lastzyklen ausgewählter Maschinen bei, aus denen dann die Lastanforderungen an den Motor bestimmt werden können. Zudem wird die Auslegung und Optimierung des neuen Systems mit Hilfe der Simulationstechnik unterstützt.

Die Untersuchungen im Rahmen dieses Forschungsprojektes sollen dazu beitragen, den Betrieb von Nebenaggregaten deutlich effizienter zu realisieren und über eine bedarfsgerechte Regelung ein erhebliches Potential zur Kraftstoffeinsparung darstellen.

# **2. Stand der Forschung, eigene Vorarbeiten**

## **2.1 Stand der Forschung**

Verbrennungskraftmaschinen stellen heute den Stand der Technik im Bereich der Primärantriebe für die Fahrzeugtechnik dar. Speziell bei hohen geforderten Antriebsleistungen, wie bei mobilen Arbeitsmaschinen, gibt es zum Verbrennungsmotor keine Alternative. Die notwendige Energie- und Leistungsdichte wird von keinem sich derzeit in der Forschung befindenden Antrieb erreicht. Aus diesem Grund ist eine Optimierung des Primärantriebs Verbrennungsmotor auch heute sinnvoll und notwendig.

Beispielsweise beträgt der Anteil der Kraftstoffkosten an den Betriebskosten einer mobilen Arbeitsmaschine teilweise über 50%. Eine Reduktion des Kraftstoffverbrauchs schlägt sich daher stark in einer Reduktion der Betriebskosten und damit der Wirtschaftlichkeit, nieder. Zukünftig wird gerade die Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und somit der CO<sub>2</sub> Emissionen noch weiter an Bedeutung gewinnen. Es sind heute viele Forschungsaktivitäten im Be-

reich der Energieeffizienz in mobilen Arbeitsmaschinen bekannt. Diese Aktivitäten fokussieren sich heute erstens auf die Fahrtriebe, [BRA09, THI09, KOH08], und zweitens auf die Arbeitsantriebe der Maschinen, [STE08, DJU07]. In den genannten Arbeiten wird der Verbrennungsmotor als gegeben angenommen und ist somit nicht Bestandteil der Untersuchungen.

Ein erheblicher Anteil der von einem Verbrennungsmotor verrichteten Arbeit muss für den Antrieb von Nebenaggregaten aufgewendet werden. Untersuchungen an PKW Motoren haben ein enormes Verbrauchseinsparpotential durch eine bedarfsgerechte Regelung der Nebenaggregate aufgezeigt. Je nach Fahrzeugkategorie und Betriebszustand werden durch die Nebenaggregate bis zu 20% der vom Verbrennungsmotor bereitgestellten Leistung aufgenommen [GOE08, VOS91].

Bild 2.1 veranschaulicht am Beispiel eines Stadtlinienbusses die Relation zwischen der maximalen zur Verfügung stehenden Motorleistung und der Summe der erforderlichen Antriebsleistungen für Generator, Lüfter, Luftpresser und Wasserpumpe. Des Weiteren werden die Nebenaggregate in der Regel auf eine Bedarfsdeckung im unteren Drehzahlbereich ausgelegt. Das führt durch die meist starre Kopplung mit dem Verbrennungsmotor einerseits zu Überschussleistungen bei höheren Drehzahlen, andererseits zu überproportional ansteigenden Antriebsleistungen, da die Verluste mit zunehmender Drehzahl einen stark progressiven Verlauf haben [VOS91].

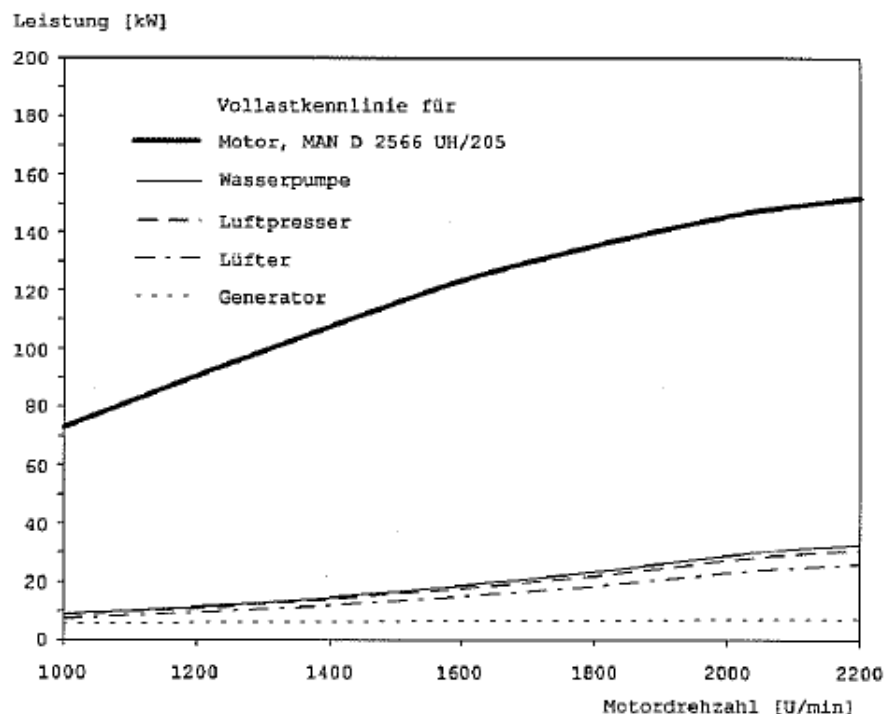


Bild 2.1: Leistungsaufnahme der Nebenaggregate eines MAN-Stadtlinienbusses entlang ihrer maximalen Kennlinie [VOS91]

Im Bereich der üblichen Fahrzeugkonzepte sind die Nebenaggregate direkt an den Verbrennungsmotor gekoppelt. Lichtmaschine, Wasserpumpe, Ölpumpe und viele weitere Nebenag-

gregate werden direkt über einen Riementrieb vom Verbrennungsmotor angetrieben (Bild 2.2).

Die starre Koppelung der Nebenaggregate an den Motor hat zur Folge, dass sich die Leistungsaufnahme der einzelnen Verbraucher nur mit der Drehzahl des Motors verändert, jedoch nicht an die Last des Motors angepasst werden kann. Dies ist gerade bei Lastkollektiven, die einen hohen Volllastanteil beinhalten, nachteilig, da die schon erwähnte Überschussleistung der Nebenverbraucher letztlich in unnötige Abwärme abgeführt wird.

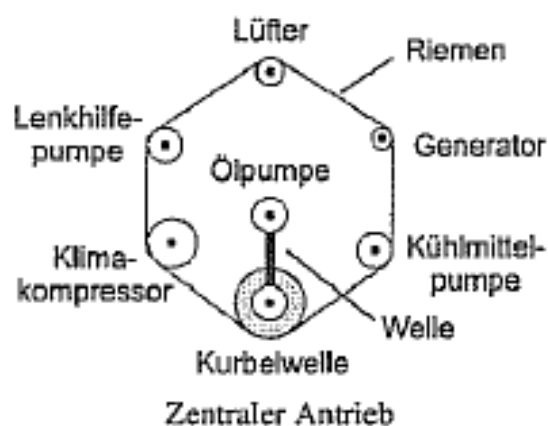


Bild 2.2: Direkte Koppelung der Nebenaggregate über den Riementrieb an den Verbrennungsmotor [SCH03]

Für eine detaillierte Betrachtung oder Auslegung von Dieselmotoren im Leistungsbereich zwischen 100 und 500 kW stehen keine Angaben bzw. Abhängigkeiten der einzelnen Nebenaggregate zur Verfügung, welche für mobile Arbeitsmaschinen verwendet werden können. Eine besonders geeignete Fachliteratur, welche die Nebenaggregate, deren Leistungen, Einschaltzeiten (-dauer), usw. bei Motoren höherer Leistung (150–500 kW) näher beleuchtet, wurde nicht gefunden.

Im Folgenden wird daher auf die einzelnen Nebenaggregate näher eingegangen und deren Auslegung beschrieben. Bei den Ausführungen ist zu beachten, dass eine Übertragbarkeit nur bedingt von mobilen Arbeitsmaschinen auf PKW oder umgekehrt möglich ist, da sich das Anforderungsprofil bzw. das geforderte Lastkollektiv der einzelnen Nebenaggregate unterscheidet.

### **Lüfter für das Kühlerpaket:**

Bei mobilen Arbeitsmaschinen werden üblicherweise die einzelnen Kühler für Motorkühlwasser, Ladeluft, Motoröl, Hydrauliköl, Klimaanlage usw. zu einem Kühlerpaket integriert. Als anschauliches Beispiel, Bild 2.3, können die Kühlerpakete von Traktoren gesehen werden. [AGC08, CLA07]

Für diese integrierte Bauweise ist es bisher üblich, dass nur ein Lüfter vorgesehen wird. Die Auslegung der Lüfter erfolgt aufgrund der Kühlleistung des Kühlerpakets in Abhängigkeit des

Luftstromes, welcher vom Lüfter erzeugt werden muss. Die Ausnutzung des Fahrtwindes darf bei mobilen Arbeitsmaschinen nicht berücksichtigt werden, da diese Maschinen teilweise bei stehendem Fahrtrieb die volle Motorenleistung für die Arbeitstätigkeit benötigen.

In der Fachliteratur wurden keine detaillierten Angaben zur Auslegung von Lüfterantrieben bei Dieselmotoren gefunden: „Die Bestimmung der Kühlergröße erfolgt in den meisten Fällen durch einen Vergleich mit bauartgleichen Motoren“ [KUR06]



Bild 2.3: aufklappbare Kühler von Deutz-Fahr, Werkbild [REN07]

Von der Auslegung der Lüfterräder, welche auch hier zum Einsatz kommen, ist jedoch bekannt, dass das benötigte Drehmoment quadratisch und die benötigte Leistung kubisch zur Drehzahl steigt. [AKG07] Auf Grundlage dieser Erkenntnis ist schnell ersichtlich, dass eine Entkopplung des Lüfterantriebes zur Motordrehzahl sinnvoll ist, wenn nicht die volle Lüfterleistung benötigt wird. Diese Drehzahlentkopplung wird heute durch temperaturgesteuerte bzw. –geregelter Visko-Kupplungen oder hydrostatisch angetriebene Lüfter bei mobilen Arbeitsmaschinen realisiert. [KUR06, DAI08]

Durch Einsatz von elektrischen Antrieben ist auch eine von der Motordrehzahl unabhängige bedarfsgerechte Kühlung möglich. [GEV06] Im Automotivbereich werden elektrische Lüfterantriebe mit 12 V seit vielen Jahren serienmäßig verbaut. Im Traktorenbau wurden bereits elektrisch Drehzahl verstellbare Asynchronmotoren vorgestellt, welche Nebenaggregate, unter anderem den Lüfter temperaturgeregelt antreiben. [BUN08]

### **Kühlmittelpumpe:**

Kühlmittelpumpen bei Dieselmotoren sind als Kreiselpumpen aufgebaut, welche durch Beschleunigung des Kühlmittels in radialer Richtung, eine Förderung des Kühlmittels erreichen. Kühlmittelpumpen werden in der Regel durch einen Riementrieb, welcher ein konstantes Übersetzungsverhältnis zur Motordrehzahl hat, angetrieben. Die Kühlmittelmenge entspricht etwa dem vier- bis sechsfachen des Motorhubraumes und wird ca. 10 bis 15 mal pro Minute umgewälzt. Bei Nutzfahrzeugen können somit 8.000 bis 32.000 l/h umgewälzt werden, wobei eine Temperaturdifferenz zwischen Motoreingang und –ausgang von 5 bis 7 °C eingehalten werden muss. [KUR06]

Ein drehzahlunabhängiger Antrieb der Kühlmittelpumpe wird zunehmend gefordert und kann durch einen elektrischen Antrieb erreicht werden. Durch drehzahlgeregelte Kühlmittelpumpen lassen sich niedrigere Volumenströme im Motorteillastbereich zur Erhöhung der Kühlmittel- und Öltemperatur für eine Motorreibleistungsverminderung, hohe Volumenströme bei Motorleerlauf, größeren Wärmeeintrag ins Kühlsystem nach Vollfahrt und bei hohen Motordrehmomenten bei niedrigen Drehzahlen erreichen. [BAS07]

Die Pumpenleistung ist von den unterschiedlichen Kühlkreislaufgesamtwiderständen abhängig, welche sich durch die Stellung der Heizung und des Thermostats verändern und somit einen neuen Arbeitspunkt einstellt. In Bild 2.4 ist der charakteristische Gesamtströmungswiderstand eines Kühlkreislaufes dargestellt. Dabei ist ersichtlich, dass sich vor dem Erreichen der hydraulisch rauen Strömung hohe Widerstände bei niedrigen Motordrehzahlen bzw. Volumenströmen einstellen, welche ab einem Grenzwert auf einen annähernd konstanten Wert der hydraulisch rauen Strömung übergehen. [BAS07]

Durch den proportionalen Antrieb zur Motordrehzahl stellen sich bei hohen Drehzahlen und ungünstigem Kühlmittelkreislauf hohe Druckverluste ein, die zu einer hohen Antriebsleistung führt. [HAA93]

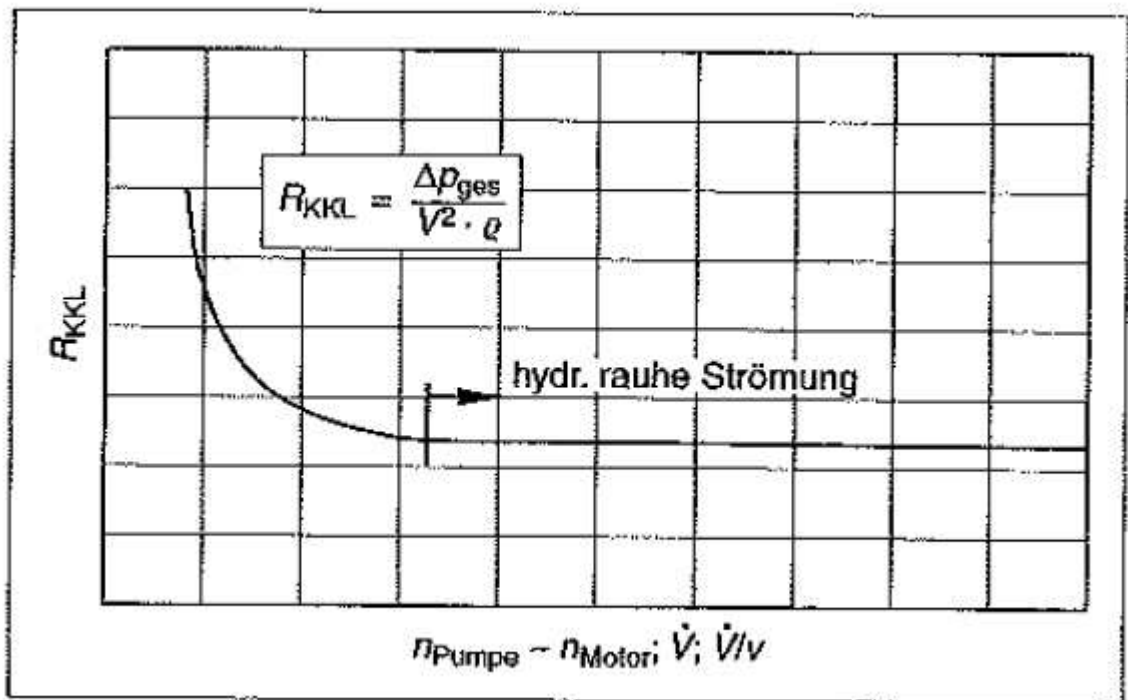


Bild 2.4: Gesamtströmungswiderstand eines Kühlkreislaufes [BAS07]

Durch den Einsatz von einem entkoppelten und bedarfsgerechten Antrieb der Kühlmittelpumpe sind Vorteile in der Effizienz und eine Verbesserung beim Warmlaufverhalten, z.B. im Teillastbereich, zu erwarten. Zudem werden neue Freiheitsgrade zur anwendungsgerechten Regelung ermöglicht und somit kann eine Energieeffizienzsteigerung erwartet werden.

### Ölpumpe zur Motorschmierung:

Dieselmotoren benötigen zur Schmierung und Kühlung ein Öl. Das System wird auch als Druckumlaufölsystem bezeichnet. Als Ölpumpen, welche eine zentrale Rolle beim Verbrennungsmotor spielen, werden sogenannte Zahnradpumpen verbaut, welche nach dem Verdrängerprinzip Zahn arbeiten. [BAS07, MUR07] Prinzipiell kann zwischen Kurbelwellen- und Ölsumpfpumpen unterschieden werden, welche in einzelnen Teilbereichen Vor- und Nachteile aufweisen. In der Literatur wurden diverse Optimierungsschritte von Ölpumpen veröffentlicht. [HAS91, HAS92, FAH92] Ölpumpen können bis zu 4% der Motorleistung als Schleppleistung aufnehmen. Der Antrieb der Ölpumpen erfolgt über ein konstantes Übersetzungsverhältnis zur Motordrehzahl entweder an der Kurbelwelle, oder über einen Ketten- bzw. Stirnradantrieb. Bei den Ölpumpen kommen folgende Regelprinzipien zum Einsatz, welche wiederum Vor- und Nachteile aufweisen: Direkte Regelung, indirekte Regelung, reinölseitige Regelung, Zwei- oder Mehrstufenregelung sowie Registerregelpumpen. Durch Einsatz von Volumenstrom-Regelpumpen besteht die Möglichkeit das Schluckvolumen und somit den benötigten Ölbedarf zur Sicherstellung der Schmierung und Kühlung, einzustellen, welche von der Drehzahl und dem abgegebenen Drehmoment abhängig ist. [BAS07]



Eine andere Möglichkeit zur Steuerung des Volumenstroms ist bei Konstantpumpen die Saugdrosselung, [WEL92]. Auch wenn die Systeme einen von der Drehzahl des Verbrennungsmotors nahezu unabhängigen Volumenstrom liefern haben sie sich auf Grund der systembedingten Pulsationen bis heute nicht durchgesetzt.

Bei Nutzfahrzeugen ist es üblich, dass einer Konstantpumpe, die das Schluckvolumen nicht verstellen kann, ein Regelventil nachgeschaltet ist, welches den Hochdruck begrenzt und das überschüssige Öl in die Ölwanne zurückführt. Durch die drehzahlabhängige Funktion der Ölpumpe können sich Nachteile zum Beispiel bei kaltem bzw. betriebswarmem Motor einstellen, welche durch einen entkoppelten Antrieb eliminiert werden können. Die Auslegung einer Ölpumpe erfolgt unter Berücksichtigung der Extrempunkte im Betrieb, um stets eine ausreichende Schmierung sicherzustellen. [MAA97, ESC92]

Als Vorteile der Entkopplung sind, wie bei der Kühlmittelpumpe, eine Verbesserung der Effizienz und der Warmlaufeigenschaften zu erwarten. [BAS07]

### **Druckluftherzeuger:**

Allgemein werden bei Nutzfahrzeugen Druckluftanlagen für die Hilfsaggregate, wie Betriebsbremse bei Zugfahrzeug und Anhänger, Reifenfüllanlagen, Komfort- und Hilfsfunktionen, verwendet. Eine pauschale Aussage über den Einsatz von Druckluftanlagen bei den verschiedenen Anwendungen kann nicht gegeben werden.

Als Beispiel wird bei einem Fendt Vario 936 ein Einzylinderkompressor mit einem Hubraum von 318 cm<sup>3</sup> durch einen Rädertrieb angetrieben, welcher einen Förderstrom von ca. 510 l/min bei Nenndrehzahl erzeugt. [WAB05] In der Regel werden bei den Nutzfahrzeugen die pneumatischen Funktionen nicht bei der maximalen Drehzahl des Dieselmotors benötigt, wo der Kompressor das maximale Fördervolumen bereitstellt. Das geforderte Drehzahlprofil des Kompressors ist also aufgrund der Anwendung nicht mit dem Drehzahlprofil des Dieselmotors deckungsgleich.

Durch eine Entkopplung des Kompressors vom Dieselmotor kann also eine Effizienzsteigerung erwartet werden. Die bisher vorgehaltenen Druckluftbehälter können durch einen entkoppelten Antrieb bzw. Betrieb reduziert werden, was Auswirkungen auf das Gesamtkonzept des Fahrzeuges haben kann.

### **Klimakompressor:**

Klimaanlagen gehören im PKW und in modernen Arbeitsmaschinen zur Standardausrüstung und erzeugen ein angenehmes Klima, bieten ein belastungs- und ermüdungsarmes Umfeld und fördern die Ergonomie und Sicherheit der Fahrer. [KUR06] In der Regel werden heutige Klimakompressoren durch s.g. Magnetkupplungen vom Riementrieb entkoppelt. Je nach Funktion der eingesetzten Magnetkupplung ist nur ein zwei Punktbetrieb möglich. [BAS07] Die durchschnittliche Einschaltdauer in Europa bei PKW's beträgt bis zu 23 % bei einer Kälteleistung von bis zu 2 kW. [SCH85] Die Leistungsaufnahme kann je nach Kompressorbauweise und Betriebszustand bis zu 11 kW betragen.

Durch einen entkoppelten Antrieb bestünde die Möglichkeit, die Antriebsdrehzahl des Kompressors im optimalen Wirkungsgradbereich zu betreiben.

### **Lenkung:**

Bei mobilen Arbeitsmaschinen werden die Lenkungen hydraulisch betrieben. Teilweise werden separate Pumpen für die Lenkung verbaut oder es wird von der Arbeitshydraulik über ein Prioritätsventil der benötigte Volumenstrom abgezweigt. Der benötigte Druck der Lenkung ist von der Fahrgeschwindigkeit und dem Lenkwinkel abhängig. Bei stehendem Fahrzeug und großen Lenkwinkel steigt der Druck des Lenksystems an, was zum Beispiel beim Rangieren der Fall ist. Die benötigte Leistung der Lenkung ergibt die aus dem benötigtem Druck und der Lenkgeschwindigkeit, welche bei zunehmender Fahrgeschwindigkeit abnimmt. Somit wird bei hohen Motordrehzahlen ein Mehrfaches des Nutzstromes als Verlust über einen Stromregler abgeführt. [BAS07] Auch hier würde ein entkoppelter Antrieb deutliche Vorteile bringen.

Bei mobilen Arbeitsmaschinen ist heute vereinzelt ein Trend zu erkennen, das Potential der Entkopplung der Nebenaggregate vom Verbrennungsmotor zu nutzen. So hat die Firma John Deere mit dem E-Premium auf der Agritechnica 2007 [JOH07] einen Traktor ausgestellt, bei dem der Klimakompressor, der Druckluftkompressor und die Lüfterantriebe elektrisch angetrieben sind. Einerseits wird so die Möglichkeit geschaffen, auch elektrische Verbraucher an den Traktor anzuschließen, andererseits soll der Kraftstoffverbrauch durch Effizienzsteigerungen gesenkt werden, was damit einen Nutzen für den Kunden hat. Eine umfassende Betrachtung aller Nebenaggregate ist jedoch nicht erfolgt.

## **2.2 Eigene Vorarbeiten**

Der in seiner Aufbauphase von namhaften Industrieunternehmen unterstützte Stiftungslehrstuhl für Mobile Arbeitsmaschinen (Mobima) am Institut für Fahrzeugsystemtechnik (FAST) steht für seine praxis- und anwendungsorientierte Ausrichtung.

*Verbrennungsmotor:* Im Projekt ANSKO wurde das Modell eines Verbrennungsmotors entwickelt, dass die dynamischen Vorgänge und den Kraftstoffverbrauch auf Basis der Vibe-Funktion berechnen kann, [BLI08]. Dieses Modell ist geeignet, um auch im beantragten Projekt simulationsgestützt den Kraftstoffverbrauch für die Nebenaggregate zu bestimmen und Optimierungen durchzuführen. Die zur Parametrierung des Modells notwendigen Größen werden an einem Prüfstand des IFKM ermittelt werden.

*Simulation:* Die Simulationstechnik stellt für den Lehrstuhl die Basis zur Auslegung und Optimierung von Systemen dar, [GEI06]. Die Erstellung von Simulationsmodellen einzelner Komponenten und komplexer Gesamtsysteme sowie die fachbereichsübergreifende Kopplung zählen zu den Kernkompetenzen des Lehrstuhls. Das Projekt GUSMA [GUS09] thematisiert die gekoppelte unternehmensübergreifende Simulation mobiler Arbeitsmaschinen. Das Ziel ist die Erarbeitung einer Richtlinie für die einheitliche, einfach handhabbare Kopplung von Simulationsteilmodellen. Hierbei sollen Modelle verschiedener Disziplinen und Softwareprogrammen codetechnisch gekapselt werden, um dem Anwender zwar einerseits die Para-

metrierung und Konfiguration zu ermöglichen, andererseits aber das firmenspezifische Know-How der Zulieferer zu wahren.

*Lastzyklen:* Am Institut wurde in verschiedenen laufenden und abgeschlossenen Projekten Messtechnik in Maschinen eingebaut, mit denen die im Betrieb auftretenden Lastzyklen gemessen wurden. So wurde im Projekt ANSKO in Zusammenarbeit mit drei Partnerinstituten aus Aachen, Braunschweig und Dresden Sensorik zur Messung von Motordrehzahl, Endabtriebswellendrehzahlen auf der Hinterachse und Drehzahl der Kardanwelle eines Traktors eingebaut. Die zugehörigen Drehmomente werden mittels DMS erfasst und telemetrisch übertragen. [DEI06]

Für einen Teleskoplader wurden im Weiteren an definierten Stellen unter differenzierten Raumrestriktionen individuelle Anpassungen vorgenommen, um den Leistungsfluss im Antriebsstrang zu messen. Die erfassten analogen und digitalen Größen werden durch ein Echtzeitmessdatenerfassungssystem verarbeitet. Die Auswertung der vorgenommenen Langzeitmessungen (Lastzyklen) am Teleskoplader führt zu Lastkollektiven, die in der Industrie und Forschung nicht vorliegen, aber eine wichtige Basis für die zeitfeste Auslegung der Bauteile darstellen. [HUB09]

*Maschinenmanagement:* In einem weiteren Projekt zum Thema Hybrid werden systematische Untersuchungen zur Auswahl eines geeigneten Hybridkonzepts vorgenommen sowie Betriebsstrategien zur optimalen Ansteuerung der Maschine entwickelt. Die Bewertung erfolgt simulationsgestützt. [THI07, THI08, THI09]

Ein von der DFG finanziertes Projekt, beschäftigt sich mit dem Organic Computing für einen Traktor. Die selbst lernende und adaptionsfähige Steuerungsstruktur des Organic Computing soll dabei auf die speziellen Randbedingungen einer mobilen Arbeitsmaschine angepasst werden. Ziel ist der Nachweis der Methodik für den betrachteten Bereich. Primär soll durch die Adaption der Methodik das Ziel einer Kraftstoffverbrauchsreduzierung erreicht werden.

Die bestehenden Erfahrungen auf dem Gebiet der mobilen Arbeitsmaschinen sowie die Kenntnisse im Bereich der Simulationstechnik, im speziellen das erarbeitete Modell des Verbrennungsmotors, bilden eine wichtige Basis für die Durchführung des Projekts zur Untersuchung des Effizienzvorteils bei der Entkopplung von Nebenaggregaten bei Verbrennungsmotoren am Mobima.

### **3. Ziele**

Das Ziel der Untersuchungen im Projekt liegt in der Wirkungsgradsteigerung des Gesamtantriebssystems durch eine bedarfsgerechte Regelung der Nebenaggregate und einer Entkopplung vom Verbrennungsmotor.

Nebenaggregate, wie beispielsweise Öl- und Wasserpumpe, Klimakompressor oder Lichtmaschine, sind heute üblicherweise mit einer direkten Übersetzung an die Drehzahl eines Verbrennungsmotors gekoppelt. Für einen effizienten Betrieb müssten diese Nebenaggregate über einen weiten Drehzahlbereich einen sehr hohen Wirkungsgrad besitzen, was heute

nicht der Fall ist. Eine Lichtmaschine wird heute beispielsweise mit einer Übersetzung von 3 ins Schnelle übersetzt, damit sie im Leerlauf eine ausreichende elektrische Leistung erzeugen kann. Bei Nenndrehzahl eines Verbrennungsmotors besitzt sie dann eine relativ hohe Drehzahl und arbeitet im Feldschwächebereich. Den Wirkungsgradbereich einer solchen Lichtmaschine zeigt Bild 3.1 exemplarisch.

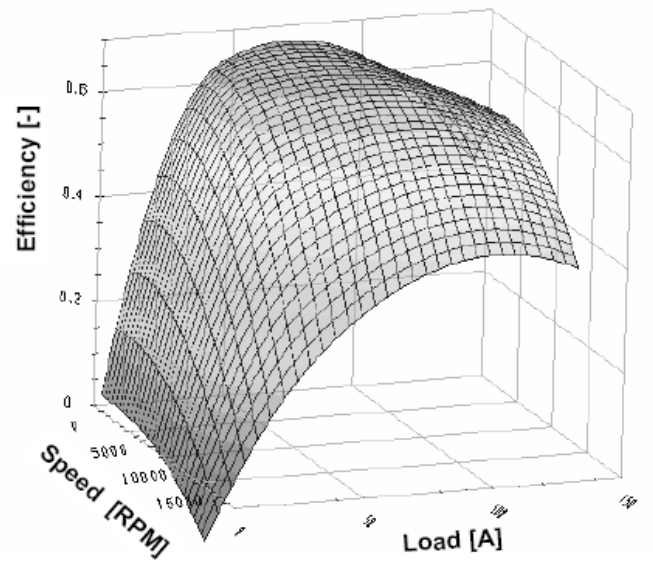


Bild 3.1: Generatorwirkungsgrad in Abhängigkeit der Generatordrehzahl und der Generatorlast [STR0x]

In mobilen Arbeitsmaschinen, wie beispielsweise Traktoren, Mähdreschern oder Radladern, sind heute bis zu sieben Kühler zu finden: Wasserkühler für den Motor, Klimakühler, Hydraulikölkühler, Getriebeölkühler, etc. Diese Kühler werden heute üblicherweise mit einem Lüfter angeströmt und arbeiten daher auch häufig nicht in ihrem optimalen Bereich. Während der Arbeitstätigkeit, wie z.B. der Getreideernte, benötigt insbesondere der Wasserkühler des Verbrennungsmotors hohe Kühlleistungen, da der Verbrennungsmotor an der Leistungsgrenze arbeitet. Bei Straßenfahrten hingegen wird die Hydraulikflüssigkeit der Fahrtriebe stark erhitzt, so dass die Hauptkühlleistung hier gefordert wird. Je nach Arbeitstätigkeit müssen daher die unterschiedlichen Kühlsysteme verschieden stark aktiviert werden, so dass auch hier ein Optimierungspotential durch die Entkopplung vorhanden ist.

Insgesamt ist aus den genannten Gründen die Auslegung der Nebenaggregate eines Verbrennungsmotors nicht optimal.

Ziel des Forschungsprojektes ist es daher, auf Basis des aktuellen Standes das Effizienzsteigerungspotential zu ermitteln, das durch die Entkopplung der Nebenaggregate vom Verbrennungsmotor erreicht werden kann. Grundsätzlich sollten dabei alle Nebenverbraucher, die mit der Drehzahl des Verbrennungsmotors gekoppelt sind, untersucht werden. Nach heutigem Kenntnisstand wird erwartet, dass insbesondere der Lüfterantrieb, Druckluftherzeuger, Klimakompressor und Lenkpumpe vorteilhaft zu entkoppeln sind. Eine finale Entscheidung über die zu untersuchende Nebenaggregate soll im Projekt getroffen werden. Die Ergebnisse zu Gewährleistungs- und Haftungsfrage sollen in der Dokumentation dargestellt werden.

Es soll eine Methodik entwickelt werden, auf deren Basis simulationsgestützt eine Auslegung vorgenommen werden kann. Die Entkopplung hätte die Vorteile, dass einerseits die Nebenaggregate bedarfsgerecht zugeschaltet werden können und andererseits auch die Drehzahl der Nebenantriebe auf deren optimale Drehzahl in Bezug auf Effizienz eingestellt werden kann. So ließen sich Regelungs- und Gesamtkonzepte für die Nebenaggregate aufstellen und das Potential der Entkopplung der Nebenaggregate am konkreten Fall ermitteln.

In einem ersten Schritt soll im vom Mobima beantragten Projekt die Literatur mit speziellem Fokus auf die Leistungsaufnahme der Nebenaggregate in wissenschaftlichen Datenbanken recherchiert werden. Wie eingangs dargestellt, wurden bisher für die Beurteilung nur unzureichende Literaturstellen gefunden, so dass eine erweiterte Recherche notwendig ist.

Es wird jedoch erwartet, dass keine ausreichenden Informationen zur Durchführung des Projektes in der Literatur zu finden sind. Von daher ist eine Ist-Aufnahme der Belastungen der Nebenaggregate an einem Verbrennungsmotor notwendig, um eine Vergleichsbasis zu schaffen. Diese Aufgaben soll vom Projektpartner, dem IFKM, durchgeführt werden.

Mit Hilfe konkreter Lastzyklen von Beispielanwendungen kann anschließend das Lastprofil für die Nebenaggregate eines Verbrennungsmotors bestimmt werden.

Auf dieser Basis lassen sich dann Regelungs- und Gesamtkonzepte für die Nebenaggregate aufstellen und das Potential der Entkopplung von Nebenaggregaten ermitteln.

## 4. Literatur

- [AGC08] Fendt Vario 800 Produktprospekt, AGCO GmbH, Fendt-Marketing, 800V/3.0-D/03-08/5-E, 2008, [www.fendt.com](http://www.fendt.com).
- [AKG07] AKG Thermotechnik International GmbH & Co. KG, Internet Produktkatalog Ausgabe 2007, [www.akg-gruppe.de](http://www.akg-gruppe.de), [Water\\_Air\\_Cooling\\_Systems.pdf](#).
- [BAS07] • Handbuch Verbrennungsmotor, Hrsg. van Basshuysen; Schäfer, 4. Auflage, Friedrich Vieweg & Sohn Verlag, GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2007, ISBN 978-3-8348-0227-9.
- [BAU99] • Robert Bosch GmbH und H. Bauer von Christiani: Diesel-Einspritzsysteme Unit Injector und Unit Pump System: Hochdruckerzeugung im Unit Injector und in der Unit Pump, Kraftstoffförderung im Niederdruckbereich, Elektronische Dieselregelung EDC, Konstanz, September 1999.
- [BLI08] Bliesener, M. und Th. Fleczonek: Dieselmotor in der Antriebsstrangsimulation, O+P Zeitschrift für Fluidtechnik - Aktorik, Steuerelektronik und Sensorik, 52 (2008) Nr. 11-12, S. 570-573.
- [BRA09] van Bracht, D.: Berechenbare Wirtschaftlichkeit: Hydraulischer Hybridantrieb im Feldversuch, Tagung Hybridantriebe für mobile Arbeitsmaschinen, 18.2.2009 in Karlsruhe. In: Tagungsband, S. 67-76.

- [BUN08] E Premium – Höhere Spannung in landwirtschaftlichen Nutzfahrzeugen, E. Buning, Tilo Kempf, Roger Keil, Tagungsband zur Landtechnik Tagung 2008, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf 2008, ISBN 978-3-18-092045-0.
- [CLA07] Claas Xerion 3300/3800 TRAC/TRAC VC Produktprospekt, CLAAS Vertriebsgesellschaft mbH, 09/07 (DC) deutsch 197/000 248 532.3, 2007, <http://www.claas.de>, Stand 15.3.2009.
- [DAI08] Unimog 300–500 Produktprospekt, Daimler AG Produktbereich Sonderfahrzeuge, 6703.B0301-00-00/0908, 2008, <http://www.daimler.de>, Stand 15.3.2009.
- [DEI06] H. Deiters et. al. Verifikation eines Softwaretools zur Simulation von Antriebsstrangkonzepten. 4. Kolloquium Mobilhydraulik 2006, Braunschweig. In: Forschungsberichte des Instituts für Landtechnik und Fluidtechnik, TU Braunschweig, S. 63-75.
- [DLG01] DLG-PowerMis – ein praxisorientierter Traktorentest, Internet: [http://www.dlg-test.de/powermix/PowerMix\\_Teil\\_I.pdf](http://www.dlg-test.de/powermix/PowerMix_Teil_I.pdf), Stand 27.3.2009.
- [DJU07] • Djurovic, M.: Energiesparende Antriebssysteme für die Arbeitshydraulik mobiler Arbeitsmaschinen „Elektrohydraulisches Flow Matching“, Dissertation am IFD der TU Dresden, Shaker Verlag Aachen, 2007.
- [ESC92] Luft im Schmieröl – Auswirkungen auf Schmierstoffeigenschaften und das Betriebsverhalten von Verbrennungsmotoren, T. Esch, Lehrstuhl für angewandte Thermodynamik, RWTH Aachen, 1992.
- [FEU05] Feuerstein, Th. und O. Degrell: Praxis aus der Konserve: Der DLG-PowerMix, DLG Test Landwirtschaft, 2/2005, S. 12-13.
- [FAH92] Konstruktion und Optimierung von Ölpumpen für Verbrennungsmotoren, E. Fahl, A. Haas, P. Kreuter, Aachener Fluidtechnische Kolloquium, 1991.
- [GEI06] M. Geimer et al. Co-Simulation, gekoppelte Simulation oder Simulationskopplung? Ein Versuch der Begriffsvereinheitlichung. In: O+P Zeitschrift für Fluidtechnik - Aktorik, Steuerelektronik und Sensorik 50 (2006) Nr. 11-12, S. 572-576.
- [GEI08] Vorlesungsskript „Fluidtechnik“, Lehrstuhl für Mobile Arbeitsmaschinen, Universität Karlsruhe (TH), Prof. Geimer, Sommersemester 2008.
- [GEV06] • Handbuch der Mess- und Automatisierungstechnik im Automobil, 2. vollständig bearbeitete Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 2006, ISBN 978-3-540-21205-8.
- [GOE08] Goeschel, B.: Magna Steyer, Elektrifizierung Antrieb, 2008.
- [GUS09] Gekoppelte unternehmensübergreifende Simulation mobiler Arbeitsmaschinen zur Virtualisierung der Produktentstehung (GUSMA), vom BMBF gefördertes Projekt, Internet: <http://www.gusma.de>, Stand 26.2.2009.

- [HAA93] • Fuel economy improvement by low friction engine design, A. Haas, R. Stecklina, E. Fahl, Secondary International Seminar “Worldwide Emmison Standards and How to Meet Them”, London, 1993.
- [HAS91] Optimized Design of the Lubrication System of Modern Combustion Engines, A. Haas, T. Esch, E. Fahl, P. Kreuter, F. Pischinger, SAE Paper 912407, 1991.
- [HAS92] • Ölpumpen für einen verlustarme Motorschmierung, A. Haas, E. Fahl, T. Esch, Tagung “Nebenaggregate im Fahrzeug”, Essen, 1992.
- [HUB09] Huber, A.: Lastkollektive Antriebsstrang Mobiler Arbeitsmaschinen, Projektinformationen auf der Homepage des Lehrstuhls Mobima, Internet: <http://www.mobima.uni-karlsruhe.de/451.php>, Stand 26.2.2009.
- [JOH07] Traktoren 7030 Premium / E Premium, Informationsbroschüre der Firma John Deere, Internet: [http://www.deere.com/region\\_ii/media/application/equipment/agriculture/tractors/7030\\_premium/brochure\\_7030\\_premium\\_de.pdf](http://www.deere.com/region_ii/media/application/equipment/agriculture/tractors/7030_premium/brochure_7030_premium_de.pdf), Stand 26.2.2009.
- [KOH08] • Kohmäscher, Th.: Modellbildung, Analyse und Auslegung hydrostatischer Antriebsstrangkonzepete, Dissertation am IFAS der RWTH Aachen, 2008.
- [KUR06] • Kurek, R.: Nutzfahrzeug-Dieselmotoren, 1. Auflage, Carl Hanser Verlag, 2006, ISBN 978-3-446-40590-5.
- [MAA97] • Maaßen, F.: Pleuellagerbetrieb bei verschäumten Schmieröl, RWTH Aachen, Dissertation, 1997.
- [MUR07] • Murrenhoff, H.: Grundlagen der Fluidtechnik, Band 1: Hydraulik, 5. Auflage 2007, Shaker Verlag, Aachen.
- [REN07] Renius, K.-Th. und M. Geimer: Motoren und Getriebe bei Traktoren. In: Jahrbuch Agrartechnik 2007, S. 57-64.
- [SCH03] • Schmidt , M.: Maßnahmen zur Reduktion des Energieverbrauchs von Nebenaggregaten im Kraftfahrzeug, VDI Nr. 537 Reihe 12, 2003.
- [SCH85] Schlotthauer, M.: Alternativantriebe für Nebenaggregate von Personenkraftwagen, In: Antriebstechnik 24, Nr. 8, 1985.
- [STE08] Steindorf, K., Ventilgesteuerter hydraulischer Antrieb mit Regenerierfunktion, laufendes DFG-Projekt am IFD der TU-Braunschweig, Internet: <http://www.tu-braunschweig.de/ilf/forschung/projekte/profahr3>, Stand 17.5.2008.
- [STR0x] Stroh, Ch., J. Hager und Ch. Damböck: Optimiertes Management von Nebenaggregaten hinsichtlich Komfort und Verbrauch mit Hilfe numerischer Simulation, Internet: [http://www.kuli.at/ftp/papers/2004/02\\_Essen2004.pdf](http://www.kuli.at/ftp/papers/2004/02_Essen2004.pdf), Stand 13.3.2009.
- [THI07] Thiebes, Ph. und M. Geimer. Hybridantriebe für Mobile Arbeitsmaschinen, O+P Zeitschrift für Fluidtechnik - Aktorik, Steuer-elektronik und Sensorik 51 (2007) Nr. 11-12, S. 630-635.

- [THI08] Thiebes, Ph. und M. Geimer: Potentiale von Hybridantrieben, Mobile Maschinen, 1 (2008) Nr. 4, S. 14-17.
- [THI09] Thiebes, Ph.: Hybridantriebe abseits der Straße - methodisches Vorgehen zur Bestimmung von Potentialen, Tagung Hybridantriebe für mobile Arbeitsmaschinen, 18.2.2009 in Karlsruhe. In: Tagungsband, S. 125-135.
- [VOS91] • Voß, B.: Wirkungsgradverbesserung von Fahrzeugantrieben durch eine bedarfsorientierte Auslegung der Nebenaggregate und ihrer Antriebe, VDI Nr. 159 Reihe 12, 1991.
- [WAB05] WABCO Fahrzeugsysteme GmbH: Technisches Datenblatt Einzylinderkompressor; Typ 912 126 000 0 ; Hannover; 2005.
- [WEL92] • Welschhof, B.: Analytische Untersuchungen über die Einsatzmöglichkeit einer sauggedrosselten Hydraulikpumpe zur Leistungssteigerung, Dissertation an der RWTH Aachen, 1992.