

Das Beru Dieselkaltstartsystem (ISS) der zweiten Generation mit Ansaugluft-Vorwärmung

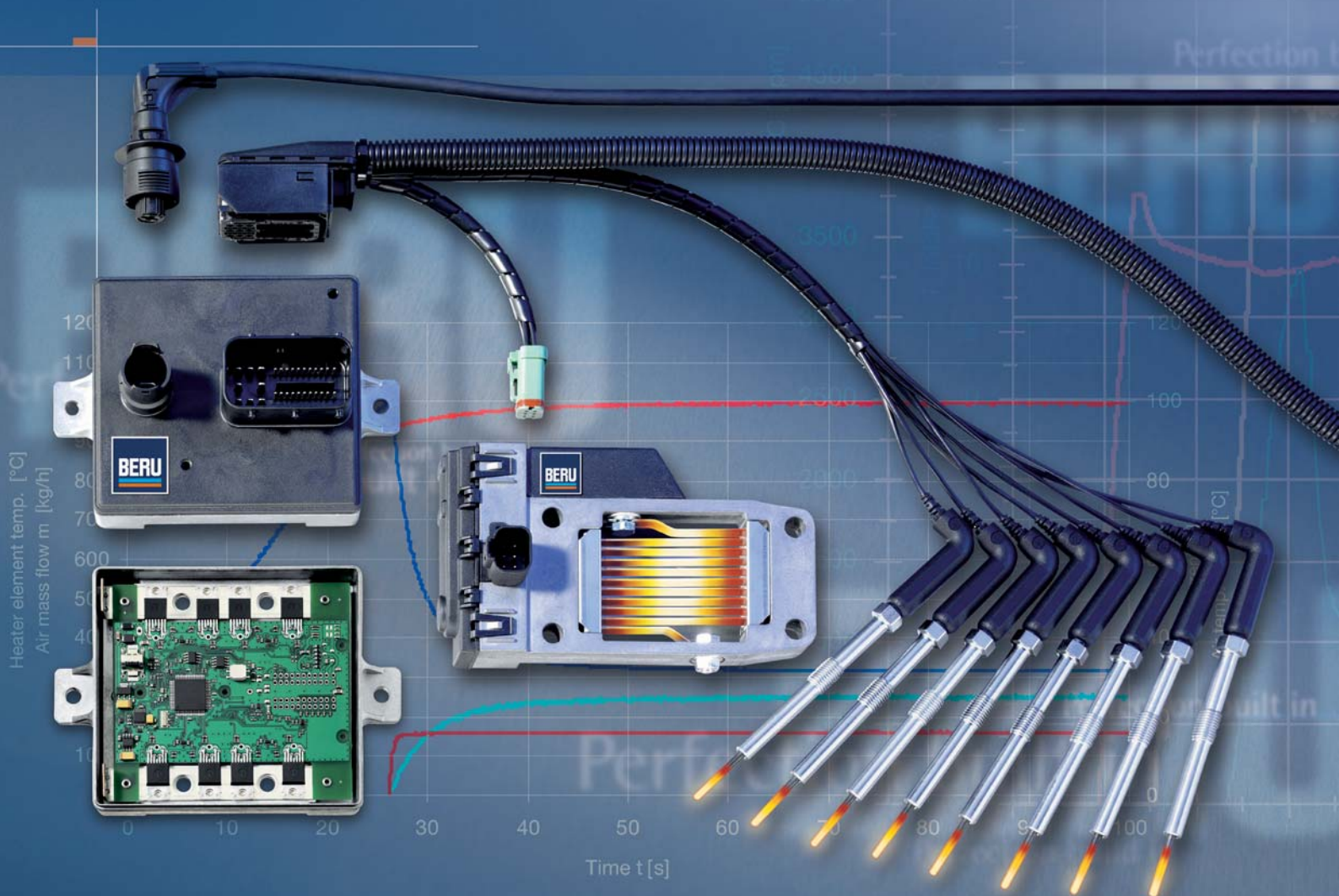
Sonderdruck aus der
Motortechnischen Zeitschrift (MTZ)

Der Spezialist für
Zündung, Dieselkaltstart,
Elektronik und Sensorik



Diesel-Kaltstartsystem ISS der zweiten Generation mit Ansaugluft-Vorwärmung

Der Marktanteil an Dieselmotoren hat in Europa annähernd die 50-Prozent-Marke erreicht und steigt auch in den USA weitaus deutlicher an als der von Otto-Hybrid-Fahrzeugen. Die immer strengeren Emissionsgrenzwerte sowie die Bemühungen um weiter reduzierten Kraftstoffverbrauch zeigen bereits heute deutliche Auswirkungen auf künftige Dieselmotor-Konzepte. Die Beru AG trägt dem mit ihrem weiterentwickelten Instant Start System (ISS) Rechnung.



1 Einleitung

Der Dieselmotor als Luft verdichtendes, qualitätsgeregeltes, selbstzündendes Aggregat benötigt für seinen Arbeitsprozess einige grundlegende physikalische Voraussetzungen. So ist die Temperatur der Luft zum Zeitpunkt der Einspritzung für die Selbstzündung von besonderer Bedeutung. Die Verdichtungsendtemperatur ist von zahlreichen Einflussgrößen abhängig, die wesentlichen sind Kompressionsverhältnis und Arbeitsverfahren.

Vor- und Wirbelkammermotoren erreichen aufgrund der Wärmeverluste beim Durchströmen der Schusskanäle nur eine Gastemperatur, die selbst bei normaler Umgebungstemperatur eine Starthilfe erfordert. Bei Dieselmotoren mit direkter Einspritzung liegt die Startgrenztemperatur ohne Starthilfe deutlich niedriger und hängt stärker von der Starterdrehzahl, dem Blow-by und der Einspritzapplikation ab [2].

Die über Jahre dominierende Kaltstarthilfe stellt die Glühkerze dar, die bis zu Hubräumen von etwa 1 dm³ pro Zylinder eine sichere Entzündung des Kraftstoff-Luftgemisches bewirkt [1]. Für größere Hubräume wird eine Aufheizung der Ansaugluft durch Flammglühkerzen und in Zukunft vermehrt durch elektrische Heizflansche angewendet.

Im Kampf um Verbrauchs- und Emissionsreduktion von Diesel-Motoren sind derzeit zahlreiche innermotorische Maßnahmen in der Entwicklung: kleinerer Hubraum, abgesenktes Verdichtungsverhältnis, höherer Aufladegrad, höhere und kühlere AGR-Rate, höherer Druck, Flexibilität des Einspritzsystems sowie alternative Brennverfahren zur NO_x-Reduktion.

Aus diesen in puncto Emissionsreduktion Erfolg versprechenden Konzepten ergeben sich jedoch eine Reihe neuer Aufgaben:

- Der Trend, das Verdichtungsverhältnis abzusenken, wird die Problematik der Kaltstartfähigkeit verstärken.
- Zusatzfunktionen wie Zwischen- und Diesel-Partikelfilter-Regenerationsglühen sowie erweiterte OBD-Anforderungen führen zu höherer Lebensdauerforderung der Glühkerzen.
- Mögliche künftige Testzyklen bei -7 °C erfordern zum Beispiel höhere Glühkerzentemperaturen, längere Nachglühzeiten und den Einsatz von einem Heizflansch.

2 Kaltstartsystem ISS

Die Beru AG hat bereits im Jahr 2000 (siehe MTZ 61, 10/2000) mit dem elektronisch ge-

steuerten Instant Start System ISS ein Kaltstartsystem zur Serienreife gebracht, das auch bei extremen Temperaturen von -25 °C einen „ottomotorischen Schlüsselstart“, stabilen Leerlauf, saubere Lastannahme und geringe Emissionen gewährleistet [3]. Seit 2001 wird ISS serienmäßig bei BMW [4] verbaut; inzwischen rüsten auch AMG, Audi, Chevrolet, GM, Isuzu, Jeep, Mercedes, Seat, Skoda und VW Diesel-Pkw mit ISS aus. Der US-Hersteller General Motors setzt seit 2004 ISS bei seinen Light-Trucks ein.

2.1 System Generation 1

Das Instant Start System ISS, **Bild 1**, besteht aus einer Leistungselektronik sowie mehreren Schnellstart-Glühkerzen. Diese speziellen ISS-Glühkerzen wurden von Beru auf Basis der selbst regelnden metallischen Glühkerzen entwickelt.

Die Leistungselektronik ist ein als Baukasten konzipiertes motoranbaufähiges Steuergerät für Aggregate mit bis zu acht Zylindern (Glühkerzen). Konstruktion und Elektronik sind auf die am Motorblock herrschenden thermischen und mechanischen Umstände ausgelegt.

2.2 Funktion des Steuergeräts

Die Glühkerzen werden mit Strömen von bis zu 35 A pro Lastkreis bestromt und gemäß im Steuergerät hinterlegter Leistungsvorgaben betrieben. Die beim Betrieb der Leistungselektronik entstehende Verlustwärme wird mit Hilfe des Keramik-Schaltungsträgers gespreizt und für die Dauer der benötigten Glühvorgänge von einem Aluminium-Sockel aufgenommen. Auf diese Weise ist ein Betrieb bis zu Umgebungstemperaturen von +125 °C gesichert, ohne dass das Steuergerät auf eine thermische Außenanbindung angewiesen ist.

2.3 Die Steuerung der Glühfunktion

Das schnelle Aufheizen der Niedervolt-Glühkerzen sowie der gesteuerte Betrieb derselben erfolgt durch einen programmierten Mikrokontroller. Er berücksichtigt nicht nur Abkühlung im Brennraum – beispielsweise durch die Motordrehzahl –, sondern auch Wärmeeinträge aus Verbrennungen unter hoher Last sowie die Kühlmitteltemperatur als wesentliche Parameter. Dazu werden bei der Applikation unter Zuhilfenahme von Temperatur-Messglühkerzen die relevanten Betriebsbedingungen sowohl auf dem Motorprüfstand als auch mobil im Fahrzeug ermittelt und die entsprechenden Daten im Steuergerät hinterlegt.

Das Steuergerät hat je nach Ausführung eine PWM-, LIN- oder CAN-Schnittstelle zur Motorsteuerung. Die zur Ansteuerung nöti-

Die Autoren



Dipl.-Ing. (FH)
Martin Blanc
ist Leiter des Fachbereichs Hardware in der Entwicklung ISS Glühsysteme, bei der Beru Electronics GmbH in Bretten.



Dipl.-Ing. (FH)
Steffen Geiger
ist Leiter des Fachbereichs Medienheizung in der Entwicklung Kaltstarttechnik, bei der Beru AG in Ludwigsburg.



Dipl.-Ing.
Hans Houben
ist Leiter der Entwicklung bei der Beru AG in Ludwigsburg.



Dipl.-Phys.
Thomas Hovestadt
ist Leiter des Fachbereichs Anwendungstechnik Motor in der Entwicklung Kaltstarttechnik bei der Beru AG in Ludwigsburg.



Dr. Ing. **Olaf Toedter**
ist Leiter der Entwicklung Glühsysteme, bei der Beru Electronics GmbH in Bretten.

gen Motordaten werden auf diese Weise übertragen und in der Berechnung berücksichtigt. Dazu sind im Steuergerät mehrere Modelle hinterlegt, die das Aufheiz- und Abkühlverhalten der Glühkerzen widerspiegeln.

3 Kaltstartsystem ISS Generation 2

Als konsequente Weiterentwicklung des bewährten ISS entstand die Generation 2 mit einer integrierten Ansaugluft-Vorwärmung, **Bild 2**. Denn anders als die Glühkerze, die lediglich lokale Zündbedingungen für das Luft-Kraftstoffgemisch schafft, erhöht ein Heizflansch die in den Zylinder einströmende



Bild 1: Das Beru Diesel-Kaltstarts-System ISS der ersten Generation sorgt seit 2001 serienmäßig für einen „ottomotorischen Schlüsselstart“ – auch bei extremen Temperaturen von -25 °C

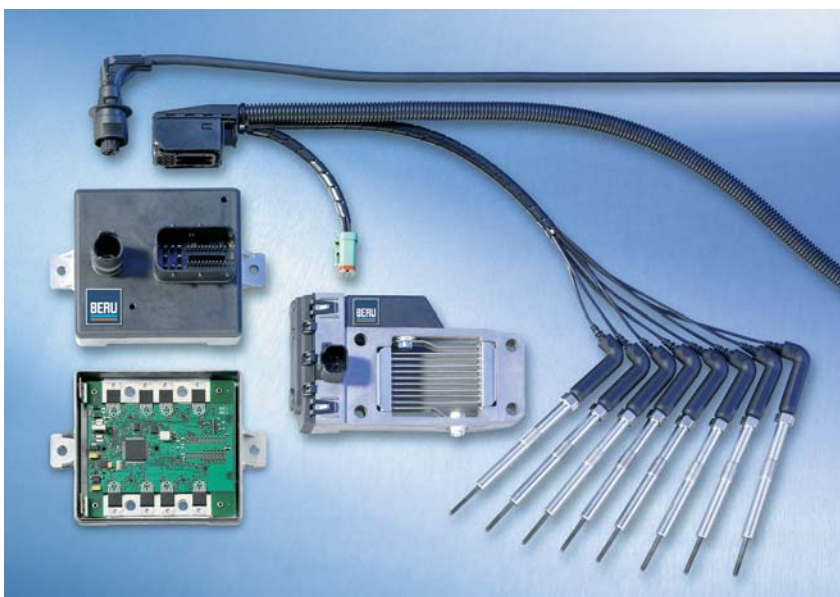


Bild 2: Das Beru Diesel-Kaltstarts-System ISS der zweiten Generation mit neuem Steuergerät und zusätzlichem Heizflansch sorgt für weitere Verbrauchs- und Emissionsreduktion

Lufttemperatur und erzeugt damit global bessere Voraussetzung für die Kraftstoffentzündung. Die konzeptionellen Veränderungen erforderten ein neues Gehäuse-Layout des Steuergeräts und brachten Erweiterungen der bisherigen Funktionen. Diese Technik wird derzeit überwiegend in Heavy-Duty- und Light-Duty-Trucks eingesetzt [5]. Die bereits erwähnten künftigen Anforderungen an Diesel-Motoren lassen jedoch eine Penetration dieser Methode auch in den Pkw erwarten.

Im ISS der zweiten Generation kontrolliert das Steuergerät sowohl die Schnellstartfunktion der Glühkerzen als auch die optimale Ansteuerung des Heizflansches in Kommunikation mit dem Motorsteuergerät. Die zusätzliche Erwärmung der Ansaugluft verändert die Wirkung des Systems in folgenden Punkten:

- Verbesserung der Startfähigkeit bei tiefen Temperaturen
- Verbesserung des Motorhochlaufs

- Stabilisierung des Leerlaufes in der Warmlaufphase
- Reduzierung des Schadstoffausstoßes und Kraftstoffverbrauchs in der Warmlaufphase
- Erhöhung der elektrischen Last am Motor und somit bessere Unterstützung der Diesel-Partikelfilter-Regeneration im Niedriglastbereich.

3.1 Aufbau des Heizelements

Das Herzstück eines Heizflansches ist das Heizband. Durch die Auswahl der Heizleiter-Legierung (spezifischer elektrischer Widerstand) und der Dimensionierung (L x B x H) des Heizbandes lässt sich die benötigte Leistung darstellen. Grenzen der Auslegung sind meist durch den Bauraum sowie die Materialstärke (maximale Oberflächenbelastung) gegeben. Die gewählte Heizbandauslegung zeigt einen Widerstandsgang von circa 20 Prozent (Verhältnis von Einschaltleistung bei T_{umg} zu Beharrungsleistung bei circa 1.000 °C).

Das Heizelement wird durch keramische Isolatoren, Blattfedern und Fassungen in einem Aluminiumrahmen gehalten. Die Blattfedern sorgen für die Vorspannung des Heizbandes zwischen den Isolatoren und nehmen gleichzeitig die Längenausdehnung des Heizelementes im Betrieb auf **Bild 3**.

Der Heizflansch ist je nach Anforderung entweder einpolig oder zweipolig. Er wird je nach Kundenwunsch als Zwischenflansch oder Einschublösung appliziert.

3.2 Integration der Elektronik

Um die Leistungsabgabe der jeweiligen Motor- respektive Fahrsituation anzupassen, ist zusätzlich ein elektronischer Schalter integriert. Dieser sorgt dafür, dass das Steuergerät den Heizflansch bestromt, sobald aufgrund der ermittelten Motorparameter ein Bedarf für zusätzliche Lufterwärmung erkannt wird.

Zur Ansteuerung dient ein Leistungs-Halbleiterschalter (MOSFET) mit entsprechender Schutzbeschaltung. Der Heizflansch ist über Signal- und Steuerleitungen mit dem Steuergerät verbunden, die folgende Eingangssignale an den Heizer übertragen:

- Eingangssignal 1 – Pulsweitenmodulation (PWM):
Durch die Ansteuerung über eine PWM-Modulation wird die Heizleistung stufenlos entsprechend der Anforderung vom Steuergerät eingestellt.
- Eingangssignal 2 – Heartbeat
Hierbei handelt es sich um ein Wechselsignal. Sollte es nicht am Heizflansch anliegen, unterbleibt die Durchschaltung des PWM-Signals und der Heizflansch bleibt außer Betrieb.

Die Funktionsparameter Spannung, Strom, Temperatur auf der Platine sowie eine digitale Rückmeldung, ob der Heizflansch taktet oder nicht, meldet der Heizflansch an das Steuergerät.

3.3 Steuergerät Generation 2

Für einen amerikanischen Kunden war von Beru ein Starthilfe-System zu entwickeln, das den erweiterten Diagnose-Anforderungen (OBD2) des California Air Research Board (CARB) entspricht. Dabei ist außer einem Ausfall auch die reduzierte Funktion einer Komponente des Starthilfe-Systems anzuzeigen. Diese Ausführung ist seit 2005 in Serie.

Dem Kundenauftrag entsprechend konzipierten die Beru-Entwickler ein motoranbaufähiges Starthilfe-Steuergerät, welches über eine vom Kunden spezifizierte CAN-Schnittstelle mit den Komponenten des Triebstrangs kommuniziert und acht Glühkerzen sowie einen diagnostizierbaren Heizflansch ansteuert.

Das zu dieser Aufgabenstellung entwickelte Steuergerät, **Bild 4**, basiert auf einem Aluminium-Sockel sowie einem Deckel mit integriertem Hochstromstecker für die Versorgung der acht Glühkerzen und einem 30-poligen Stecker, der neben den acht Glühkerzen-Ausgängen alle Signalleitungen enthält. Der Stecker entspricht dem verbreiteten 54-poligen „kleinen“ Stecker, der bei Motorsteuerungen eingesetzt wird, wobei hier nur zwei Reihen Signalpins eingesetzt werden.

Die Entscheidung, als Schaltungsträger eine Hochtemperatur-FR4-Platine zu verwenden, macht es nötig, die Leistungshalbleiter auf separaten Stromschienen zu montieren. Mit der bei Beru bewährten Widerstandsschweißtechnik werden die Leistungshalbleiter direkt an die Strom zuführenden Elemente angeschweißt. Die Temperatur-Spreizung erfolgt mit Hilfe der metallischen Stromschiene.

3.4 Funktion des Starthilfe-Systems

Der Mikrokontroller steuert auch in dieser modifizierten Version die Glühkerzen an, überwacht während des laufenden Betriebs kontinuierlich deren Funktion und meldet auftretende Fehler an den Triebstrang CAN-BUS weiter.

Die integrierte abgeglichene Spannungs- und Strommessung erlaubt außer den Aussagen bezüglich Überstromung und offener Lastkreise auch eine detaillierte Diagnose der Glühkerzen zur Bestimmung einer Aussage über deren Betriebszustand. Das Steuergerät berücksichtigt hierzu sowohl die Glühkerzen beschreibenden Modelle als auch die dem Steuergerät bekannten Daten der bisher erfolgten Ansteuerung.

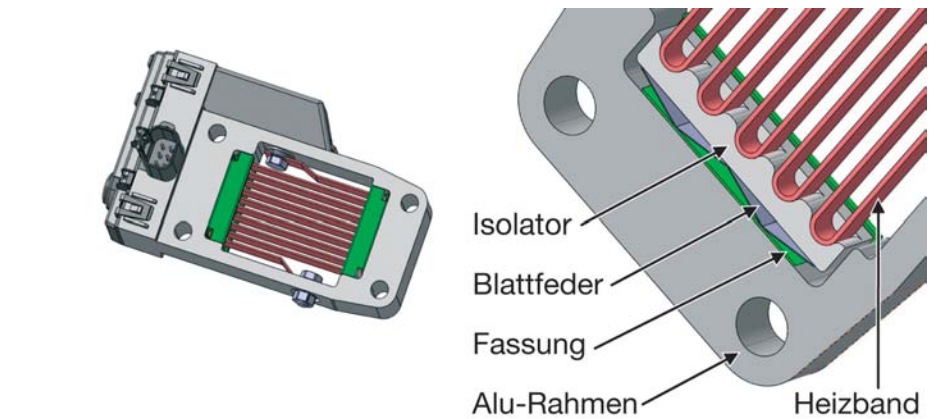


Bild 3: Der in der zweiten Generation des ISS zusätzliche Heizflansch verbessert die Startfähigkeit und den Motorhochlauf bei tiefen Temperaturen

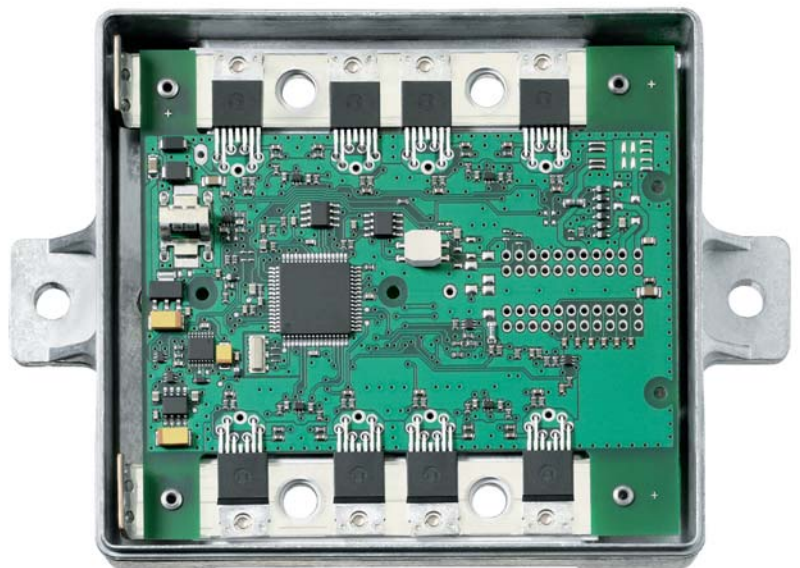


Bild 4: Einblick in das neue motoranbaufähige ISS Steuergerät. Es kommuniziert über eine Kunden spezifische CAN-Schnittstelle mit den Komponenten des Triebstrangs und steuert die Glühkerzen sowie den Heizflansch

Aus den vom Datenbus empfangenen Informationen (Motordrehzahl, Einspritzmenge und Kühlmittel-Temperatur) wird die nötige Leistung für die korrekte Glühkerzen-Temperatur berechnet und mittels separater Leistungsschalter zugeführt. Dazu wird der Strom durch die Glühkerze kontinuierlich überwacht und auch der Spannungsabfall über die Zuleitung korrigiert.

Eine weitere implementierte Funktion des Schnellstart-Systems sorgt für einen Schutz gegen die thermische Überlastung der Glühkerzen bei wiederholten, kurzzei-

tig nacheinander durchgeführten Betätigungen des Zündschlüssels (Wiederholstart). Hier kann auf Basis des implementierten Glühkerzen-Modells und der im Steuergerät bekannten Historie der Glühfunktionalität die jeweils notwendige Aufheizenergie ermittelt und an die Glühkerzen appliziert werden. Diese „dynamische Wiederholglühfunktion“ sorgt auch in diesem Fall für eine korrekte Temperatur der Glühkerzen beim Starten des Motors.

Der im Ansaugtrakt eingebaute Heizflansch wird vom Steuergerät angesteuert

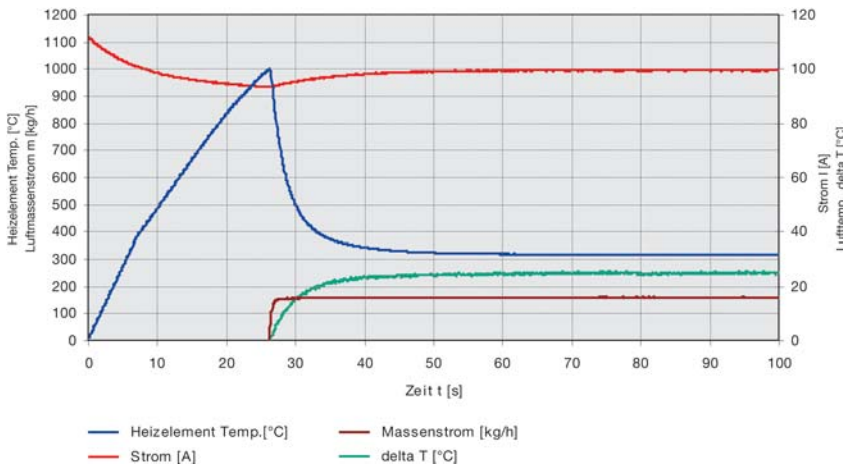


Bild 5: Labormessung an einem Heizflansch zur Darstellung des Transfers von elektrischer in thermische Energie

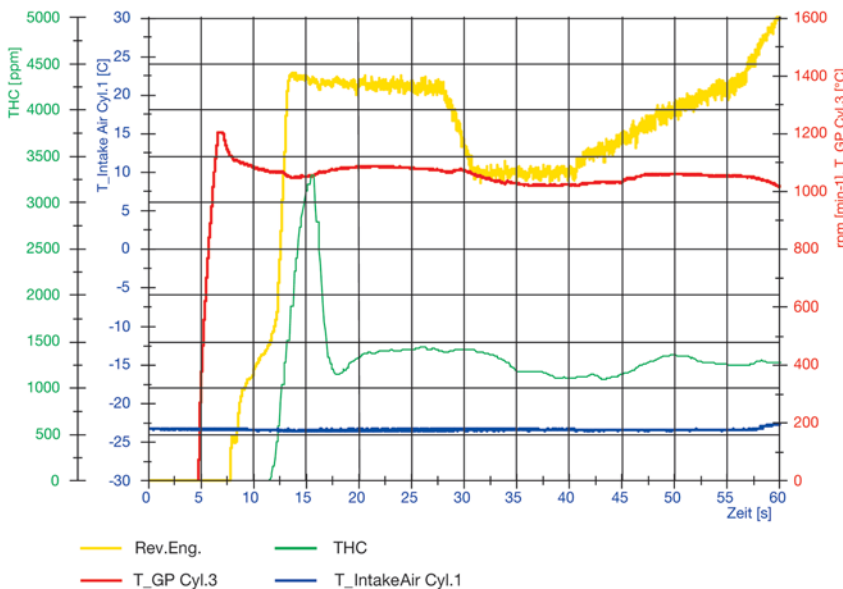


Bild 6: Messungen der HC-Emissionen bei -24 °C am Motorprüfstand mit einem FID (Flame Ionisation Detector) – ohne zugeschalteten Heizflansch

und überwacht. Die erwärmte Luft unterstützt damit einen emissionsarmen Motorstart und Hochlauf. Speziell Motoren mit reduzierter Verdichtung neigen zu erhöhten sichtbaren Emissionen, was eine derart gezielte Energiezufuhr wirksam unterbindet.

Die Schnittstelle zwischen Starthilfe-Steuergerät und Heizflansch übermittelt Informationen und erlaubt eine sichere Diagnose der Heizflansch-Funktionen mit einer Abschaltung im Fehlerfall.

Die Induktivität der Versorgungsleitungen bedingt bei den hohen Strömen (von

bis zu 320 A der Glühkerzen sowie mehr als 120 A des Heizflansches) Maßnahmen, um einen rückwirkungsarmen Betrieb bezüglich des Bordnetzes zu gewährleisten. Deshalb werden die Glühkerzen sowie der Heizflansch bei der Aktivierung durch einen patentgeschützten Prozess so ineinander verschachtelt angesteuert, dass ein möglichst konstanter Strom aus der Fahrzeugversorgung entnommen wird. So wird zum Beispiel beim Abschalten der hohen Ströme des Ansaugluft-Vorwärmers die Pulsweitenmodulation der Glühkerzen so synchronisiert, dass der negative Stromgra-

dient minimiert wird und induktive Störeinflüsse auf das Bordnetz entfallen.

3.5 Programmierung des Steuergeräts

Da das Starthilfe-Steuergerät ein Subsystem des Motors ist, wird es in der Motorenfertigung inklusive des nötigen Motor-Kabelbaums montiert. Zu diesem Zeitpunkt ist die Motorsteuerung des Zielfahrzeugs noch nicht als Teil des Fahrzeugchassis im System integriert. Diese wird erst im Fahrzeugwerk mit dem Schnellstart-System verbunden. Somit lässt sich die Anwesenheit des im Motorenwerk schon aktiven Starthilfe-Systems nutzen, um motorrelevante Daten im EEPROM zu speichern. Zum Beispiel sind die Kennlinien der Injektoren der Common Rail Dieseleinspritzung an jedem Motor individuell zu bestimmen. Diese im Motorenwerk ermittelten Parameter werden im nichtflüchtigen Speicher des Starthilfe-Systems zwischengespeichert.

Im Fahrzeugwerk stehen diese Daten dann der Einspritzelektronik zur Verfügung und können via Service-Funktion über den CAN-Bus abgerufen und anschließend in der Motorsteuerung verwendet werden.

4 Messergebnisse des neuen ISS

Das typische Aufheizverhalten eines Heizflansches mit rund 1,1 kW Leistungsaufnahme ist anhand einer Labormessung dargestellt; das deutliche Absinken der Heizelement-Temperatur nach Zuschalten eines Luftmassenstroms von rund 160 kg/h zeigt bei dieser Heizflansch-Auslegung den erfolgreichen Transfer elektrischer in thermische Energie, **Bild 5**.

Zur Prüfung des HC-Emissionsverhaltens wurden Kaltstart-Untersuchungen an verschiedenen Diesel-Motoren – vom 4-Zylinder mit 0,5 dm³ Zylindervolumen bis hin zu 6- und 8-Zylinder-Aggregaten mit rund 1 dm³ Zylindervolumen – durchgeführt.

Im Folgenden sind exemplarisch Kaltstartmessungen bei -24 °C an einem 2,2-Liter 4-Zylinder-Serienmotor mit einem Kompressionsverhältnis von $\epsilon = 17$ dargestellt **Bild 6**. Mit einem FID (Flame Ionisation Detector) wurden die HC-Emissionen gemessen. Zum Vergleich sind Messreihen nur mit eingeschalteten Glühkerzen anderen Messreihen mit zusätzlich eingeschaltetem Heizflansch gegenübergestellt **Bild 7**.

Im Betrieb des Motors mit dem Instant Start System nur mit eingeschalteten Glühkerzen ergibt sich ein spontaner Start und ein sauberer Hochlauf, gefolgt von einem erhöhten Leerlauf. Rund 20 Sekunden nach dem Start wird der Motor auf normale Leerlaufdrehzahl zurückgenommen. Kurz nach

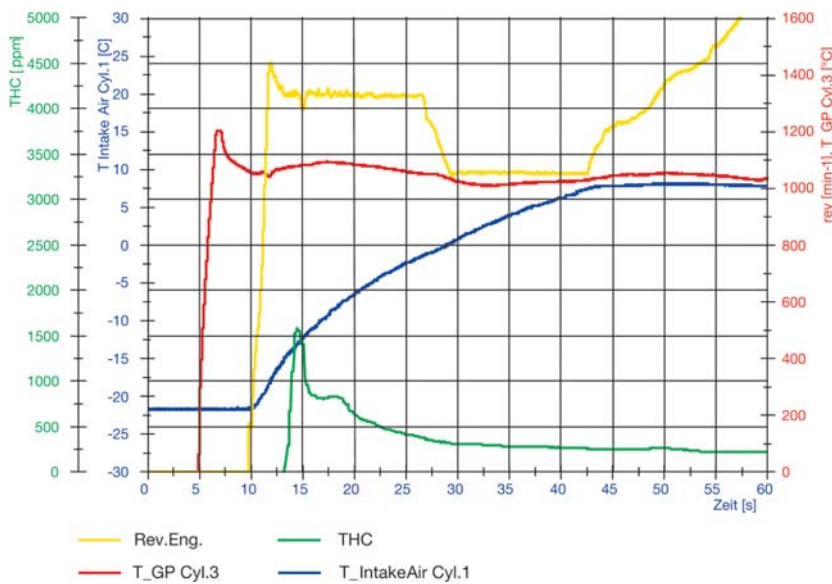


Bild 7: Messungen der HC-Emissionen bei $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$ am Motorprüfstand mit einem FID (Flame Ionisation Detector) – mit zugeschalteten Heizflansch. Der Motorhochlauf verkürzt sich und wird dynamischer; die HC-Abgasemissionen sinken um mehr als die Hälfte

dem Start wird für die HC-Emissionen ein Maximalwert von knapp 3.500 ppm gemessen, der anschließend in einen Bereich von 1.000 bis 1.500 ppm zurückgeht.

Mit zusätzlich eingeschaltetem Heizflansch ist der Motorhochlauf aus dem Starterbetrieb heraus verkürzt und stellt sich subjektiv weitaus dynamischer dar. Der Maximalwert der HC-Abgasemissionen nach dem Start sinkt um mehr als die Hälfte. Im weiteren Verlauf des Warmlaufs nimmt diese Tendenz zur Emissionsreduzierung sogar noch zu.

Die Arbeitsspiele mit unvollständiger Verbrennung oder erhöhtem Zündverzug und die dadurch entstehenden Drehzahl-

schwankungen nehmen stark ab. Damit sind die für den Fahrer spürbaren Komforteinbußen durch Schütteln im Antriebsstrang bei eingeschaltetem Heizflansch drastisch reduziert.

Diese Messungen veranschaulichen das wirksame Zusammenspiel der Kaltstart-Komponenten Glühkerzen, Glühsteuergerät und Heizflansch im Beru ISS-Systems der zweiten Generation.

5 Fazit und Ausblick

Künftige Emissionsanforderungen an Diesel-Motoren haben spürbare Auswirkung

auf Design und Prozessführung der nächsten Motorgeneration. So zeichnen sich ein deutlich niedrigeres Verdichtungsverhältnis und optimierte Verbrennungsverfahren bei niedrigerer NO_x -Rohemission ab. Gleichzeitig erhöhen sich die Komfortansprüche an den Kaltstart und zusätzliche Funktionen wie Zwischenglühen und DPF-Regenerationsglühen steigern die Lebensdaueranforderung.

Für diese Marktbedürfnisse hat die Beru AG bereits die passenden Lösungen entwickelt. Das hier vorgestellte Schnellstartsystem ISS der zweiten Generation mit elektronischer Kontrolle erfordert auch bei sehr tiefen Temperaturen keine Vorglühzeit und stellt die erforderliche Glühkerzentemperatur entsprechend dem Motorbetriebspunkt ein. Gleichzeitig wird es den erhöhten OBD-Anforderungen, insbesondere in den USA, gerecht.

Der im NFZ heute schon vielfach verwendete Heizflansch zur Ansaugluft-Vorwärmung wird über den Light-Duty-Bereich auch in den Pkw vordringen. In Verbindung mit ISS-Glühkerzen ist damit ein Schnellstart mit sehr geringen Emissionen und einem sehr komfortablen Motorrundlauf darstellbar. Dazu ist ein System in Serie, das mit einem Steuergerät die ISS-Glühkerzen und den Heizflansch ansteuert.

Literaturhinweise

- [1] Beru AG, Alles über Glühkerzen, Technische Information 04, Nr.: 5 100 006 001
- [2] Barroso, G. et al., FVV-Vorhaben: Homogene Dieselverbrennung, 3. Arbeitskreissitzung, 21. und 22. April 2004, Dresden
- [3] Houben, H. et al., Instant Start System (ISS), Das elektronisch gesteuerte Glühsystem für Dieselmotoren, MTZ 61 (10) 2000
- [4] Steinparzer, F., Neuer BMW Vierzylinder-Dieselmotor mit Common-Rail-Einspritzung, MTZ 62 (11) 2001
- [5] Beru AG, Kaltstarthilfen für Nutzfahrzeuge, Technische Information 01, Nr.: 5 100 006 006



BERU Aktiengesellschaft
Mörikestrasse 155,
D-71636 Ludwigsburg
Postfach 229,
D-71602 Ludwigsburg
Telefon: ++49/7141/132-693
Telefax: ++49/7141/132-220
info@beru.de
www.beru.com