

# Instant Start System (ISS)

## Das elektronisch gesteuerte Glühsystem für Dieselmotoren

Sonderdruck aus der  
Motortechnischen Zeitschrift (MTZ)

Perfektion eingebaut





# Das elektronisch gesteuerte Glühsystem ISS für Dieselmotoren

Die Beru AG hat zur Erfüllung neuer Kundenanforderungen an den Kaltstart das Glühsystem ISS (Instant Start System) entwickelt, das aus elektronisch gesteuerten Stahlglühkerzen und einem Steuergerät besteht. Die Spannung an der Glühkerze wird vom Microcontroller im Steuergerät zeit- und spannungsabhängig so geführt, dass eine extrem kurze Aufheizzeit und ein kontrolliertes Nachglühen erreicht werden. Damit sind auch bei Temperaturen bis minus 25 °C ein spontaner „ottomotorischer“ Schlüsselstart, stabiler Leerlauf, saubere Lastaufnahme und geringe Emissionen sichergestellt.

## 1 Einleitung

Die Entwicklung von Dieselmotoren für Pkw hat in den letzten Jahren stürmische Fortschritte gemacht. Bei Emissionen, Verbrauch, Drehmomentverlauf und Leistungsdichte wurden durch neu entwickelte Komponenten, Systeme und durch das

Motormanagement deutliche Verbesserungen erzielt. Der Einzug des Dieselmotors auch in die Oberklasse ist in vollem Gange, wie die Entwicklung von Motoren mit acht, zehn und zwölf Zylindern zeigt. Die Beru AG als größter Hersteller von Kaltstartsystemen für Dieselfahrzeuge ist weltweit bei fast allen Automobil- und Motorherstellern mit der Applikation moderner Glühsysteme

me in diese Entwicklung eingebunden [1]. Die nächste Generation von Glühsystemen muss folgende wesentliche Anforderungen erfüllen:

- Schlüsselstart, das heißt Starten ohne Vorglühen
- Systemlebensdauer gleich Motorlebensdauer
- geringer Bauraum
- reduzierte Bordnetzbelastung
- OBD-Fähigkeit.

Zur Erfüllung dieser Kundenforderungen wurde das neue elektronisch gesteuerte Glühsystem ISS entwickelt.

## 2 Systemkonzept

Das Glühsystem ISS besteht aus einem elektronischen Glühkerzen-Steuergerät und leistungsoptimierten Glühkerzen, **Bild 1**.

Diese Kerze, eine Weiterentwicklung der selbstregelnden Stahl-Glühkerze SR5, hat eine Aufheizzeit von nur 2 s, gegenüber 5 s bei der SR5, und benötigt deutlich weniger Energie sowohl in der Aufheiz- als auch der Beharrungsphase. Im Steuergerät werden als Schalter zur Ansteuerung der Glühkerzen Leistungshalbleiter eingesetzt, die das früher verwendete elektromechanische Relais ersetzen. Jede Glühkerze wird individuell angesteuert.

Temperaturverhalten und Leistungsaufnahme werden bei der elektronisch gesteuerten Glühkerze nicht wie bei der selbstregelnden SR5 durch den inneren Aufbau der Kerze festgelegt, sondern vom Steuergerät in einem weiten Bereich an den Glühbedarf des Motors angepasst. Die Leistungsaufnahme wird durch Takten (Pulsweiten-Modulation) des Glühkerzenstromes mithilfe eines Leistungshalbleiters verändert. Der Wirkungsgrad des Systems ist so hoch, dass dem Bordnetz kaum mehr als die von der Glühkerze benötigte Leistung entnommen wird. Da beim ISS jede Glühkerze durch einen separaten Leistungshalbleiter angesteuert wird, kann in jedem Glühstromkreis der Strom separat überwacht werden. Damit ist eine individuelle Diagnose an jeder Kerze möglich. Diagnostiefe oder -umfang werden nach den Anforderungen des Motorherstellers ausgelegt.

Diese neuen Anforderungen an das Glühsystem und die daraus resultierenden Funktionen erfordern eine Kommunikation des Glühsystems mit der Motorsteuerung, die weit über das bisherige Ein- und Ausschalten der Glühkerzen hinausgeht. Die verschiedenen Glühanforderungen sind zu übertragen, dazu Diagnose- und Statusinformationen. In manchen Applikationen wird die vom Glühsystem aufgenommene Leistung an ein Power-Management-System zurückgemeldet.

### 3 Komponenten

#### 3.1 ISS-Glühkerze

Bei der Entwicklung der neuen Glühkerze wurden gegenüber der selbstregelnden Kerze SR5 folgende Verbesserungen erzielt: schnellere Aufheizzeit – in zwei Sekunden werden 1000 °C erreicht; geringere Leistungsaufnahme sowie höhere Lebensdauer und Funktionssicherheit. Nach einer Analyse der Wärmekapazität und mechanischen Stabilität verschiedener Materialien wurde entschieden, bei Stahl als Glührohr-Werkstoff zu bleiben [2]. Der Einsatz von Stahl



Bild 1: Elektronisch gesteuertes Glühsystem ISS: Steuergerät und Glühkerzen

hat neben den technischen Vorteilen Einsparungen bei Kosten und Entwicklungszeit zur Folge. Außerdem können in der Großserie erprobte Fertigungstechnologien eingesetzt werden [3].

Die extrem kurze Aufheizzeit und die optimierte Leistungsaufnahme der Kerze wurden durch vier Entwicklungsschritte erreicht: 1. eine Konzentration des Energie-Einsatzes auf den vorderen Bereich des Glührohres, 2. eine gegenüber der Auslegungsspannung höhere Aufheizspannung; 3. eine neuartige Kombination der Strom führenden Wendel und 4. eine Verbesserung des Wärmeübergangs zwischen Heizwendel und Oberfläche des Glührohres.

Die Neuauslegung der Wendel führte zu einer kombinierten Sensor- und Heizwendel, die gegenüber der Regel-Heizwendel-Kombination, die bei der selbstregelnden Kerze SR5 eingesetzt wird, stark verkürzt ist, **Bild 2**. Parallel zur Konstruktion wurden FEM-Simulations-Rechnungen durchgeführt. **Bild 3** zeigt als Ergebnis dieser Berechnungen – nach 2 s Aufheizzeit – eine homogene Verteilung und eine Konzentration der Wärme im vorderen Bereich der Kerze, der für die Startunterstützung bei Dieselmotoren mit Direkteinspritzung allein wesentlich ist.

Für den verbesserten Wärmeübergang wurde der Abstand zwischen Heizwendel und Glührohr verringert und das Material

#### Die Verfasser

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



**Dr.-Ing. Günther Uhl** leitet die Elektronik-Entwicklung bei der Beru AG.



**Dipl.-Ing. Heinz-Georg Schmitz** ist Leiter der Anwendungstechnik bei der Entwicklung von Diesel-Kaltstartsystemen bei der Beru AG.



**Dipl.-Ing. (FH) Max Endler** ist bei der Beru AG in der Entwicklung von Kaltstartsystemen Leiter des Bereichs Stabglühkerzen.



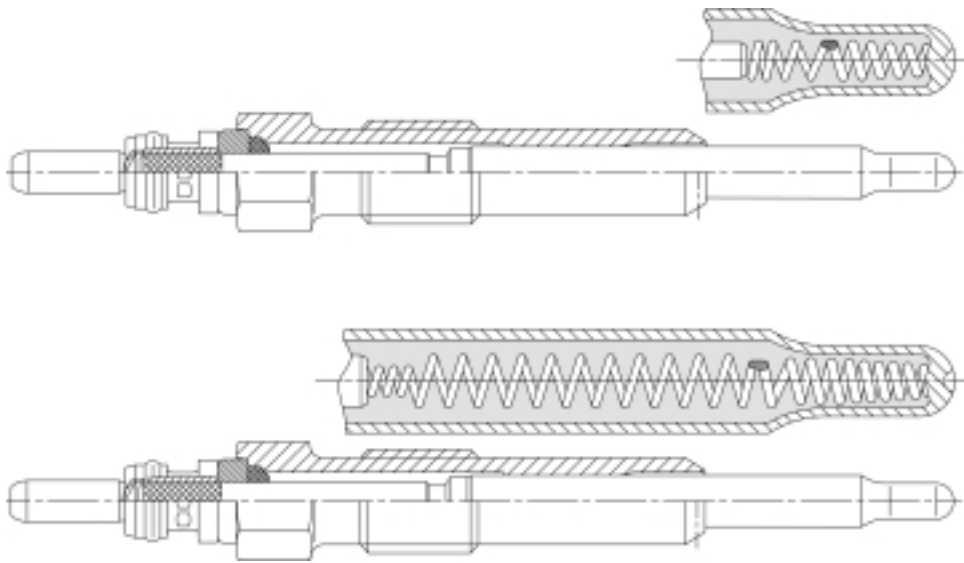


Bild 2: Vergleich SR5- mit ISS-Glühkerze: innerer Aufbau des Heizstabes: oben ISS-, unten SR5-Glühkerze

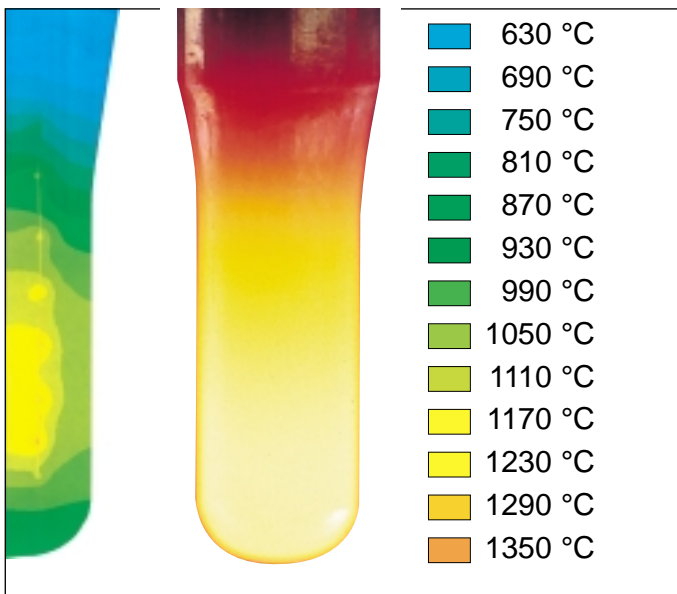


Bild 3: ISS-Glühkerze: Temperaturverteilung und Temperaturgradienten nach 2 s Aufheizzeit

für die elektrische Isolierung von Wendel und Glührohr dichter, homogener und somit besser wärmeleitend gepackt. Zur Reduzierung der thermischen Masse wurde zudem die Glührohr-Wandstärke von 1 mm auf 0,75 mm reduziert. Die Wendel wird für die elektrische Kontaktierung durch eine bewährte Technik mit dem Innenpol und dem Glührohr verschweißt. Durch eine Optimierung des dünnwandigen Glührohres ist die notwendige Festigkeit im Einspannbereich des Kerzengehäuses gewährleistet.

Um die höhere Lebensdauer und Funktionssicherheit zu erreichen, wurde der Kaltwiderstand der neuen Wendelkombi-

nation so ausgelegt, dass ein vorgegebener Einschaltstrom nicht überschritten wird. Die Widerstandsänderung beim Aufheizen ist exakt reproduzierbar und wird in einem engen Toleranzfeld gehalten. Der Widerstandswert, der auch Informationen über die Temperatur der Glühkerze enthält, wird vom Glühsteuergerät für Sicherheitsfunktionen verwendet. Dadurch wird verhindert, dass eine bereits heiße Glühkerze nochmals mit der gegenüber der Auslegungsspannung von 6 V höheren Aufheizspannung von 11 V angefahren wird. Mit der Auslegungsspannung wird die Behältertemperatur von 1000 °C erreicht und gehalten.

Zur Sicherstellung der Lebensdauer werden bei der Freigabe und der serienbegleitenden Qualitätssicherung Glühkerzen in einer Zylinderkopfnachbildung mit einem motor-spezifischen Spannungsprofil zyklisch im Dauerlauf getestet. Mit diesem Spannungsprofil wird ein Temperaturverlauf erzeugt, der Startglühen, Nachglühen und eventuell Zwischenglühen simuliert. Während des gesamten Dauerlauftests müssen die spezifizierten Kenngrößen der Glühkerzen immer erreicht werden.

## 3.2 Steuergerät

### 3.2.1 Aufbau

**Bild 4** zeigt das Blockschnittbild des Glühkerzen-Steuergerätes. Wesentliche Funktionsblöcke sind ein Mikroprozessor zur Steuerung aller Funktionen, MOSFET-Leistungshalbleiter zum Ein- und Ausschalten der einzelnen Glühkerzen, eine elektrische Schnittstelle zur Kommunikation mit der Motorsteuerung und eine interne Spannungsversorgung für den Mikroprozessor und die Schnittstelle. Der Mikroprozessor steuert die Leistungshalbleiter an, liest deren Statusinformationen und kommuniziert über die elektrische Schnittstelle mit der Motorsteuerung. Die Leistungshalbleiter sind so genannte High-Side-Schalter mit integrierten Ansteuer- und Schutzfunktionen wie etwa einer Ladungspumpe, einer Strombegrenzung und Übertemperatur-Abschaltung. Mit der Ladungspumpe wird die erforderliche Gate-Spannung zur Ansteuerung des eigentlichen Schalttransistors erzeugt. Statusinformationen, wie offener oder kurzgeschlossener Lastkreis und aktivierte Übertemperatur-Abschaltung, stehen als Ausgangssignal zur Verfügung. Um keine Störungen der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) [4] durch das Takten der hohen Glühkerzen-Ströme mit Frequenzen von 30 bis 100 Hz zu erzeugen, ist in den Leistungshalbleitern eine Flankenregelung implementiert. Dadurch werden zu schnelle Spannungs- oder Stromänderungen, die zu Störungen der EMV führen könnten, im Lastkreis verhindert. Die Schnittstelle nimmt die Anpassung der Signale vor, die zur Kommunikation zwischen Motorsteuerung und Mikroprozessor benötigt werden. Die Spannungsversorgung liefert eine stabile Spannung für den Mikroprozessor und die Schnittstelle.

Das Glühkerzen-Steuergerät wird vorzugsweise direkt am Motor angebaut. Vorteilhaft ist hierbei, dass die Hochstrom-Kabelverbindungen für die Anschlüsse an die Glühkerzen und das Bordnetz kurz sind;

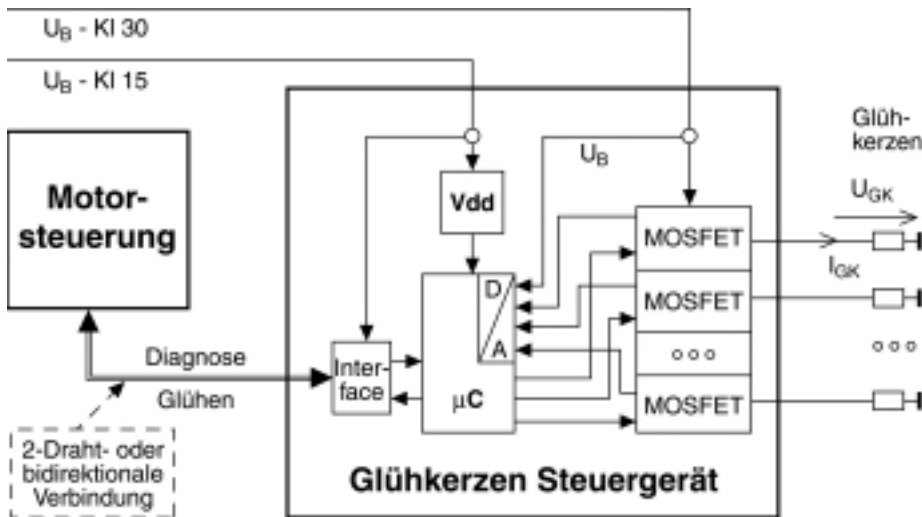


Bild 4: Blockschaltbild Glühkerzen-Steuergerät. µC-Mikroprozessor, MOSFET-Leistungshalbleiter, Vdd-Spannungsversorgung



Bild 5: Motoranbaufähiges Glühkerzen-Steuergerät für einen Sechszylindermotor

daraus ergeben sich allerdings sehr hohe Anforderungen an die mechanische Stabilität des Steuergerätes und die elektrische Aufbau- und Verbindungstechnik. Für den Anschluss des Steuergerätes hat Beru zusammen mit Kfz-Herstellern und Produzenten von Steckverbindern ein zweiteiliges Stecksystem für den Bordnetzanschluss (Klemme 30) und die anderen Anschlüsse entwickelt. **Bild 5** zeigt ein Glühkerzen-

Steuergerät für einen Sechszylindermotor. Das Gehäuse besteht aus einer metallischen Bodenplatte, einem Kunststoffrahmen mit zwei Steckern und einem Deckel. Auf die Bodenplatte ist der Schaltungsträger mit den elektronischen Bauteilen wärmeleitend geklebt und durch Dickdraht-Bondverbindungen mit den Steckern verbunden. Als Basismaterial für den Schaltungsträger wird eine Oxidkeramik verwendet, die die Schaltung elektrisch gegen die auf Massepotenzial liegende Bodenplatte isoliert und eine gute Wärmeabfuhr aus den Leistungshalbleitern in die Bodenplatte gewährleistet.

### 3.2.2 Funktionen

Das schnelle Aufheizen der Glühkerzen in der Vorglühphase erfolgt energiegesteuert. Damit wird sichergestellt, dass die Glühkerzen so schnell wie möglich ihre Solltemperatur erreichen, ohne überhitzt zu werden. In den folgenden Ansteuerintervallen wird die Spannung an den Glühkerzen schrittweise reduziert, wodurch gezielt ein an die Bedürfnisse des Motors angepasstes Temperatur-Zeit-Profil der Glühkerzen eingestellt wird. In **Bild 6** ist die Aufheizkurve einer elektronisch gesteuerten Glühkerze mit dem zugehörigen Spannungsprofil dargestellt. Man sieht, dass nach Erreichen der Vorglühtemperatur der Spannungsbedarf der Glühkerze deutlich unter der zur Verfügung stehenden Bordspannung liegt.

Hier wird ein weiterer Vorteil des Glühsystems ersichtlich. Der Einbruch der Bordspannung während des Startvorganges hat nur einen geringen Einfluss auf die Glühkerzen-Temperatur. Die Reduktion der Spannung an der Glühkerze durch die Pulsweiten-Modulation führt dazu, dass die Bordspannung nicht permanent an der Glühkerze anliegt, sondern periodisch für eine bestimmte Einschaltzeit angelegt wird. Um die Effektivspannung an den Glühkerzen innerhalb der einzelnen Ansteuerintervalle konstant zu halten, werden Schwankungen der Bordnetzspannung durch Verändern der Einschaltzeit ausgeregelt.

Das gleichzeitige periodische Ein- und Ausschalten aller Glühkerzen würde in Abhän-

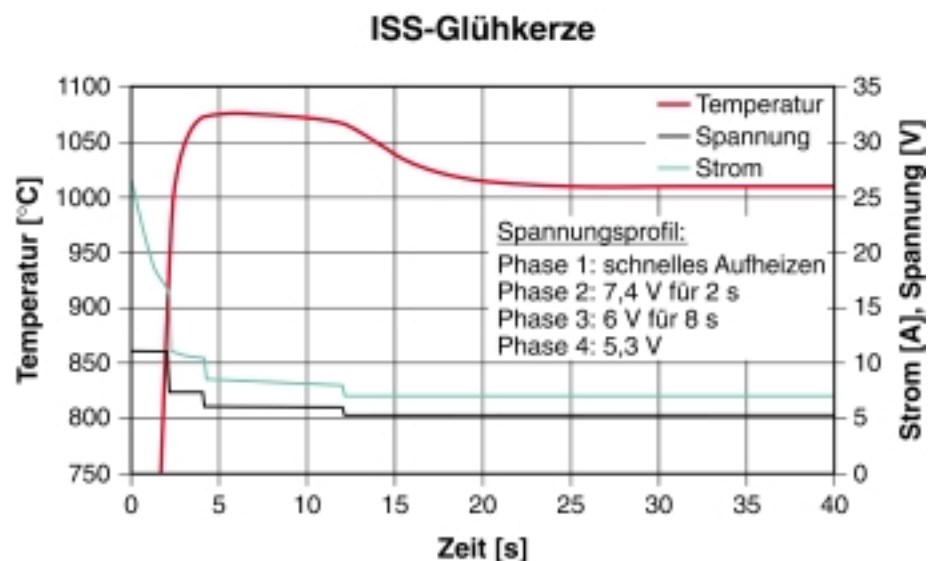


Bild 6: Aufheizkurve einer ISS-Glühkerze, mit Strom- und Spannungsverlauf

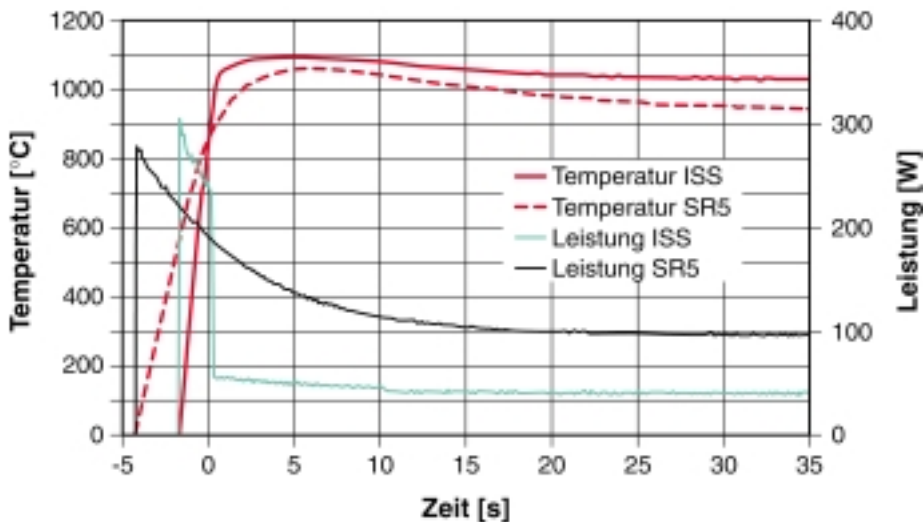


Bild 7: Vergleich SR5- mit ISS- Glühkerze. Aufheizzeit bis 850 °C: SR5 4,3 s; ISS 1,8s. Energieaufnahme bis 850 °C: SR5 992 J; ISS 480 J. Leistungsaufnahme bei 30 s: SR5 97 W; ISS 41 W

gigkeit von der Zylinderzahl des Motors zu einer mehr oder weniger großen periodischen, sprunghaftigen Strombelastung des Bordnetzes führen. Verhindert wird dies durch eine Stromoptimierung, das heißt durch ein sequentielles Einschalten der Glühkerzen, was die auftretenden Stromschwankungen minimiert. Der Algorithmus der Stromoptimierung versucht die Glühkerzen möglichst nacheinander einzuschalten. Im günstigsten Fall wird dann das Bordnetz durch den Strom einer Glühkerze gleichmäßig belastet. Im Normalfall wird die Strombelastung des Bordnetzes um den Strom einer Glühkerze schwanken.

Eine Wiederholstart-Erkennung verhindert eine Überhitzung der Glühkerze, wenn kurz hintereinander mehrere Vorglühaktionen ausgelöst werden sollten.

Je nach Motordrehzahl und Motorlast werden die Glühkerzen unterschiedlich stark abgekühlt. Um dennoch die Glühkerzen-Temperatur konstant zu halten, wird die den Glühkerzen zugeführte elektrische Leistung den sich ändernden Bedingungen angepasst. Dies geschieht entsprechend den Vorgaben aus dem Motorsteuergerät durch Anheben oder Absenken der Glühkerzen-Spannung.

Die Einzelansteuerung der Glühkerzen mit Leistungshalbleitern ermöglicht umfangreiche selektive Diagnose- und Schutzfunktionen. Eine Überstrom-Erkennung unterbricht den betroffenen Glühstromkreis bei zu hohen Lastströmen, etwa infolge eines Kurzschlusses.

Die in den Leistungshalbleitern implementierte Übertemperatur-Abschaltung verhindert eine Zerstörung des Halbleiterschalters, wenn durch Eigenerwärmung oder zu hohe Umgebungstemperaturen die Halbleitertemperatur unzulässig hohe Werte annimmt. Auch ein offener Lastkreis wird erkannt.

Alle diese Zustandsinformationen lassen sich ebenso wie die vom Glühsystem aufgenommene elektrische Leistung der Motorsteuerung übermitteln.

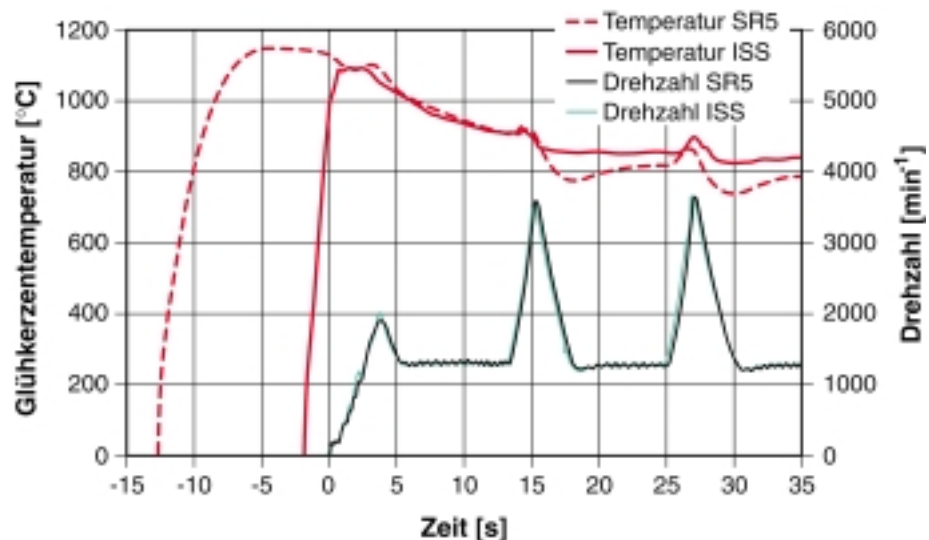


Bild 8: Vergleich SR5- mit ISS- Glühkerze: Startverlauf: 14 s Vorglühzeit mit der SR5-, 2 s mit der ISS- Glühkerze

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Motorspezifische Auslegung

Für die Bereitstellung der notwendigen Daten für die Software des ISS werden im Labor und auf den Motorprüfständen im Beru-Entwicklungszentrum Entwicklungsvarianten verglichen, Funktionen des Systems und der Komponenten geprüft und optimiert. An den Labormessplätzen werden Glühkerzen und Glühsysteme an einem Netzgerät als Batterie-Simulation betrieben. Erfasst werden Temperaturen, Spannung und Strom. Für Kaltstartuntersuchungen steht ein Motorprüfstand zur Verfügung, der den Motor bis auf minus 30 °C kühlen kann. Zusätzliche Kaltstartuntersuchungen finden auf Motorprüfständen der Auftraggeber sowie an Fahrzeugen in Kältezellen und bei Wintererprobungen statt. Zu den elementaren Daten, die bereitgestellt werden müssen, zählt die für ein motorspezifisches Temperaturprofil erforderliche Energieaufnahme der Glühkerze. Die in Abhängigkeit vom Motorbetriebszustand ermittelten Werte werden als Parameter in die Software des Steuergerätes implementiert.

### 4.2 Systemvergleich

Bild 7 zeigt den Vergleich von Temperatur und Leistungsaufnahme einer konventionellen, selbstregelnden SR5-Glühkerze mit der ISS-Glühkerze. Um die erhebliche Ver-

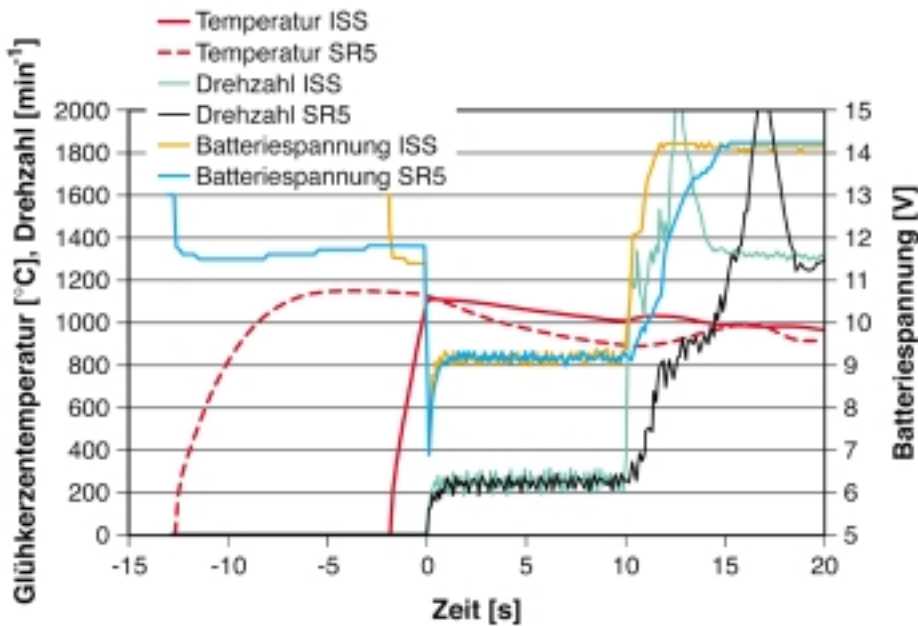


Bild 9: Vergleich SR5- mit ISS-Glühkerze: Startverlauf bei Motorstart mit extrem langer Anlasszeit von 10 s, Motortemperatur minus 22 °C

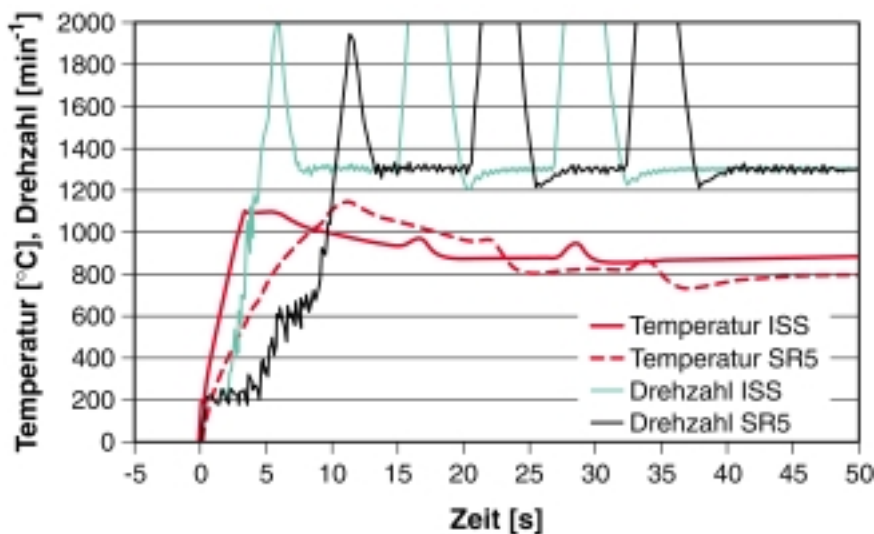


Bild 10: Vergleich SR5- mit ISS-Glühkerze: Schlüsselstart bei einer Motor temperatur von minus 22 °C; Zeit bis zum Erreichen von 850 °C: SR5 9,1 s; ISS 3,4 s

kürzung der Aufheizzeit und den verringerten Energiebedarf deutlich zu machen, wurde als Nullpunkt der Zeitachse der Moment gewählt, an dem die Temperatur 850 °C erreicht. Die ISS-Glühkerze benötigt für das Erreichen wie für das Halten der Zieltemperatur weniger als die Hälfte der für die SR5 benötigten Energiemenge.

### 4.3 Startverhalten

Durch die Software-Applikation des Steuergerätes werden äußere Einflüsse, zum Beispiel Drehzahl und Last, so kompensiert, dass die Glühkerzentemperatur eng an der Zieltemperatur gehalten wird. In **Bild 8** werden die Temperaturverläufe der SR5-

und der ISS-Glühkerze verglichen. Analog zu Bild 7 wurde der Zeitpunkt 0 auf den Moment des Startereingriffs gelegt. Die Kompensation äußerer Einflüsse ist möglich, weil die ISS-Glühkerze eine niedrige nominelle Spannung von 6 V gegenüber 11 V bei der SR5-Glühkerze hat und dadurch eine hohe Dynamik aufweist. Dieser Vorteil zeigt sich besonders bei langen Anlasszeiten. Während des Anlassereingriffs steht nur eine Bordnetzspannung von im Mittel etwa 8 V zur Verfügung, mit der die ISS-Glühkerze ihre Temperatur hält, wogegen die SR5-Glühkerze auskühlt. In **Bild 9** ist der Temperaturvergleich zwischen den beiden Kerzen bei extrem langer Anlasszeit dargestellt; der Zeitpunkt 0 liegt wieder auf dem Startereingriff.

Durch die Kompensation von Drehzahl und Last ist mit dem ISS auch ein Schlüsselstart möglich. Trotz der geringen Bordnetzspannung beim Anlassereingriff und der zusätzlichen Kühlung durch die Luftbewegung erreicht die ISS-Glühkerze in kürzester Zeit die für einen erfolgreichen Start notwendige Temperatur. **Bild 10** zeigt den Startverlauf der verglichenen Systeme. Weiterhin steht durch die geringere Leistungsaufnahme der ISS-Glühkerze mehr Energie für den Starter zur Verfügung. Daraus ergibt sich eine höhere Anlasserdrehzahl, was sich positiv auf den Start auswirkt. Mit dem ISS kann der Dieselmotor auch bei sehr tiefen Temperaturen durch unmittelbares Anlassen ohne Vorglühen gestartet werden.

### 4.4 Startbewertungskriterien

Der Energie-Eintrag der Glühkerze in den Brennraum hat neben der Startunterstützung Einfluss auf weitere Parameter, die die Startgüte des Motors beschreiben. Die wesentlichen Startgüte-Kriterien sind Komfort und Abgasemissionen. Der vom Fahrer empfundene Komfort, der durch das Glühsystem beeinflusst wird, beruht auch auf der Wahrnehmung von Geräuschemissionen, Vibrationen, Vorglühzeit und Gasannahme. Für eine Quantifizierung der Komfort-Kriterien wird bei Versuchen auf dem Motorprüfstand der Einfluss der Glühparameter auf Drehzahlschwankungen und Gasannahme im freien Hochlauf gemessen. Als Maß für die sichtbaren Abgasemissionen wird die Rauchgastrübung ermittelt.

Bei den Kaltstart-Emissionen gibt es zwar noch keine gesetzliche Regelung der sichtbaren Emission, dem Rauch wird bei der Applikation aber schon heute große Bedeutung beigemessen.

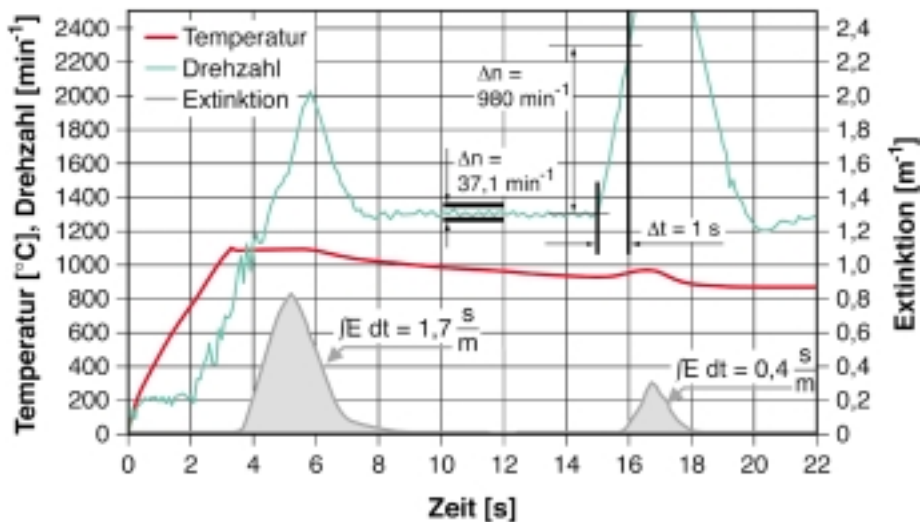


Bild 11: Schlüsselstart bei minus 22 °C mit den exemplarischen Bewertungskriterien Drehzahlschwankung, Gasannahme, Rauchtrübung im Abgas

In **Bild 11** sind die angesprochenen Parameter Drehzahlschwankung, Gasannahme und Rauchgastrübung bei einem typischen Schlüsselstart eingetragen. Beim Kaltstart entstehen Drehzahlschwankungen unter anderem durch unterschiedlich langen Zündverzug oder Zündaussetzer; sie sind begleitet von Vibrationen und Geräuschemissionen sowie erhöhten Emissionen von Ruß oder Kohlenwasserstoffen. Als Maß für die Drehzahlschwankungen in Abhängigkeit der Glühkerzentemperatur wurde die Differenz zwischen maximaler und minimaler Drehzahl ermittelt.

Bild 11 zeigt diese Differenz im Intervall von 10 bis 12 s nach Erreichen des Selbstlaufs. Die Gasannahme im freien Hochlauf charakterisiert das Antwortverhalten der Drehzahl auf spontanes Setzen des Pedalwertgebers auf 100 % – bei offener Prüfstandsbremse. Der freie Hochlauf wird in

Abständen nach Erreichen des Selbstlaufs mehrfach wiederholt. Bewertet wird der Gradient der Drehzahlzunahme.

Produkte unvollständiger Verbrennung, Kraftstofftröpfchen und Ruß, schlagen sich in der Rauchgastrübung nieder, die somit als Messgröße herangezogen werden kann. Diese Messgröße, die in Bild 11 als Extinktion dargestellt ist, hat eine ausreichende Dynamik, um den Zeitpunkt der Emission zu ermitteln, und ermöglicht durch den Integralwert qualitative Vergleiche über den insgesamt emittierten Rauch.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick


Mit dem elektronisch gesteuerten Glühssystem ISS hat die Beru AG ein Diesel-Schnellstartsystem entwickelt, das den zukünftigen

gen Anforderungen moderner Pkw-Dieselmotoren gerecht wird. Die Kombination von optimierten Stahlgühkerze mit einem elektronischen Steuergerät ermöglicht den Sofortstart des Dieselmotors, einen stabilen Leerlauf, geringe Emissionen und eine hervorragende Lastannahme.

Außerdem werden die OBD-Forderungen einschließlich erweiterter Diagnose erfüllt. Dieses Konzept ist bei der Beru AG die Basis für die Weiterentwicklung des Glühsystems zum Ionenstrom-Messsystem oder der Close-loop-geregelten Glühkerze mit Temperatur-Rückmeldung.

## Literaturhinweise

- [1] Das neue Entwicklungszentrum der Beru AG – Kompetenzzentrum für Zündungstechnik, Diesel-Startsysteme, Sensoren und Funk-Entstörung. In: MTZ 59 (1998) 7/8, Supplement, S. I – IX; Sonderdruck kann bei Beru angefordert werden
- [2] Lindl, B.: Vergleich des Kaltstartverhaltens eines Dieselmotors mit Stahl- und mit Keramikglühkerzen. In: MTZ 59 (1998) 3, S. 156 – 161
- [3] Endler, M.: Schlanke Glühkerzen für Dieselmotoren mit Direkteinspritzung. In: MTZ 59 (1989) 2, S. 98-99
- [4] Lindl, B.; Scheyhing, J.: EMV – die Entstörung von Kraftfahrzeugen. In: ATZ 101 (1999) 5, S. 292 – 302



You can read the English version of this article in MTZ worldwide.

Subscription Hotline:  
++49 / 6 11 / 78 78 151



**BERU** Aktiengesellschaft  
Mörikestrasse 155 · D-71636 Ludwigsburg  
Postfach 229 · D-71602 Ludwigsburg  
Telefon: ++49-7141-132-693  
Telefax: ++49-7141-132-220  
[www.beru.com](http://www.beru.com)