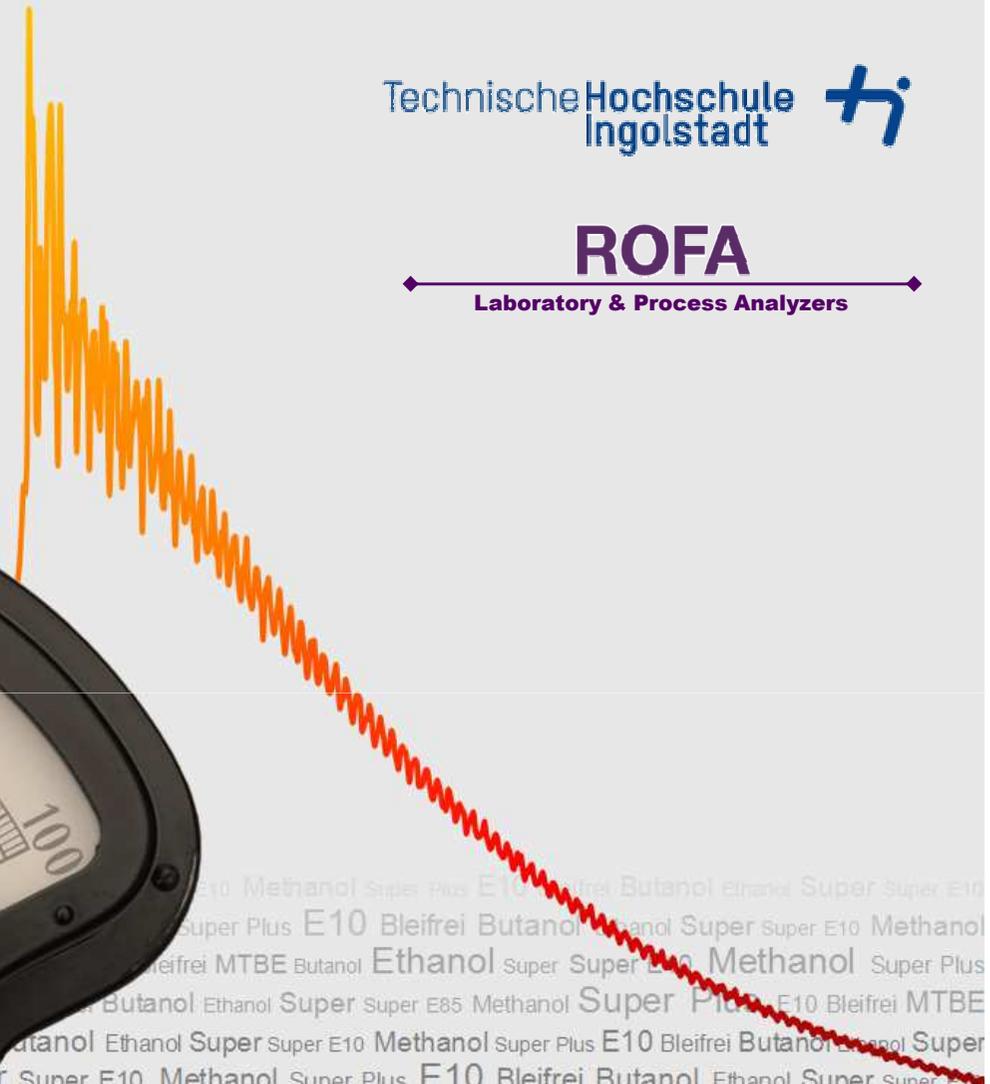


# GKI-Verfahren zur Bestimmung der Klopffestigkeit mit wesentlichen Funktionserweiterungen

**ROFA**

Laboratory & Process Analyzers



# GKI-Verfahren zur Bestimmung der Klopffestigkeit mit wesentlichen Funktionserweiterungen

## Gliederung

### 1. Einleitung: RON und MON

### 2. GKI-Verfahren als zeitgemäßer Verfahrensentwurf

- Ausstattung u. Aufbau des Forschungsmotors
- Vorstellung der Messprozedur
- detektierte kraftstoffspezifische Besonderheiten
- Kalibrationsmethode

### 3. Erweiterung zu einem bivalenten Prüfverfahren

- Anpassungen in der Motorprozessführung
- Erweiterungen der Signalverarbeitung

### 4. Zusammenfassung und Ausblick

# GKI-Verfahren zur Bestimmung der Klopfestigkeit mit wesentlichen Funktionserweiterungen

## Gliederung

### 1. Einleitung: RON und MON

### 2. GKI-Verfahren als zeitgemäßer Verfahrensentwurf

- Ausstattung u. Aufbau des Forschungsmotors
- Vorstellung der Messprozedur
- detektierte kraftstoffspezifische Besonderheiten
- Kalibrationsmethode

### 3. Erweiterung zu einem bivalenten Prüfverfahren

- Anpassungen in der Motorprozessführung
- Erweiterungen der Signalverarbeitung

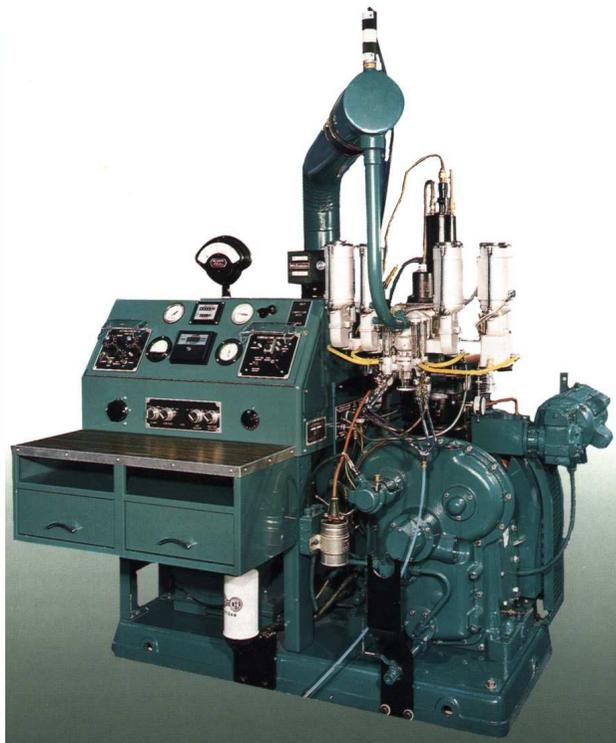
### 4. Zusammenfassung und Ausblick



# 1. RON und MON

Normierte Verfahren für die Klopfestigkeitsbestimmung

## Motorische Standardprüfverfahren



**CFR-Einzylindermotor:**  
**Cooperative Fuel Research**

	<b>RON (CFR F-1) ASTM D 2699</b>	<b>MON (CFR F-2) ASTM D 2700</b>
Drehzahl [ $\text{min}^{-1}$ ]	600±6	900±9
Zündwinkel [°]	13 (v. ZOT)	f( $\epsilon$ )
Bohrung / Hub [mm]	82,55 / 114,3	
Verdichtungsverhältnis [-]	im Betrieb kontinuierlich veränderbar	
Lastregelung	Luftrestriktor	
Gemischbildung	Vergaser	
Luftverhältnis	nicht explizit vorgegeben „max. KI“	
Ansauglufttemperatur [°C]	35...52,7; f(p <sub>umg</sub> )	37,8±2,8
Gemischtemperatur [°C]	nicht definiert	148,9±8,3
Kühlungsart -Medientemperatur [°C]	Thermosiphon 100±1,7	

# 1. RON und MON

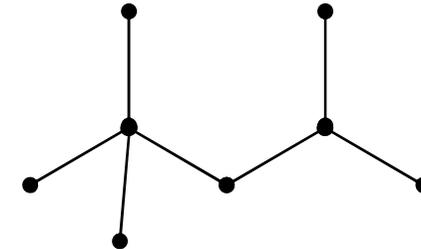
Interpolationsverfahren im Vergleich mit zert. Prüfkraftstoffen

„Eingabelung“, d.h. lineare Interpolation mit volumetrischen Mischungen aus Isooktan und n-Heptan (PRF) sowie Kontrollkraftstoffen (TSF)

Vorgehensweise bei Motor- (MON) und Research-Oktanzahl (RON) äquivalent



**Knockmeterwert**  
zur Interpolation („Eingabelung“)



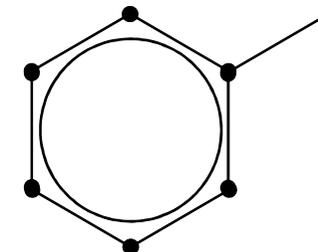
**Isooktan**

(2,2,4-Trimethylpentan; C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>; RON = MON = 100)



**n-Heptan**

(C<sub>7</sub>H<sub>16</sub>; RON = MON = 0)



**Toluol**

(Methylbenzol; C<sub>7</sub>H<sub>8</sub>; RON = 120; MON = 109)

# GKI-Verfahren zur Bestimmung der Klopffestigkeit mit wesentlichen Funktionserweiterungen

## Gliederung

### 1. Einleitung: RON und MON

### 2. GKI-Verfahren als zeitgemäßer Verfahrensentwurf

- Ausstattung u. Aufbau des Forschungsmotors
- Vorstellung der Messprozedur
- detektierte kraftstoffspezifische Besonderheiten
- Kalibrationsmethode

### 3. Erweiterung zu einem bivalenten Prüfverfahren

- Anpassungen in der Motorprozessführung
- Erweiterungen der Signalverarbeitung

### 4. Zusammenfassung und Ausblick

## 2. GKI-Verfahren

Kennzeichen eines zeitgemäßen Prüfverfahrens

### Verfahrenskennzeichen aus Voruntersuchungen (RON, MON, Vollmotormessungen)

- MON ungeeignet für eine Beschreibung des Kraftstoffverhaltens in aktuellen Brennverfahren (TGDI)
- Klopfdruckamplituden maßgebend für die Klopfintensitätsbewertung
- Keine Selbstbegrenzung des Messbereichs durch Referenzkraftstoffe
- Elimination der Querbeeinflussung durch das Luftverhältnis → stöchiometrische Gemischzusammensetzung (Verbrauch, Emissionen)
- Brennverhalten der PRFs weist signifikante Unterschiede zu handelsüblichen Treibstoffen auf
- Verbrennungsschwerpunkt sollte von der Brenngeschwindigkeit unabhängig sein (Bestpunkt)

## 2. GKI-Verfahren

### Ausstattung und Aufbau des Forschungsmotors

#### CFR Prüfmotor

(GKI-Ausstattung)

$n = 600 \text{ min}^{-1}$

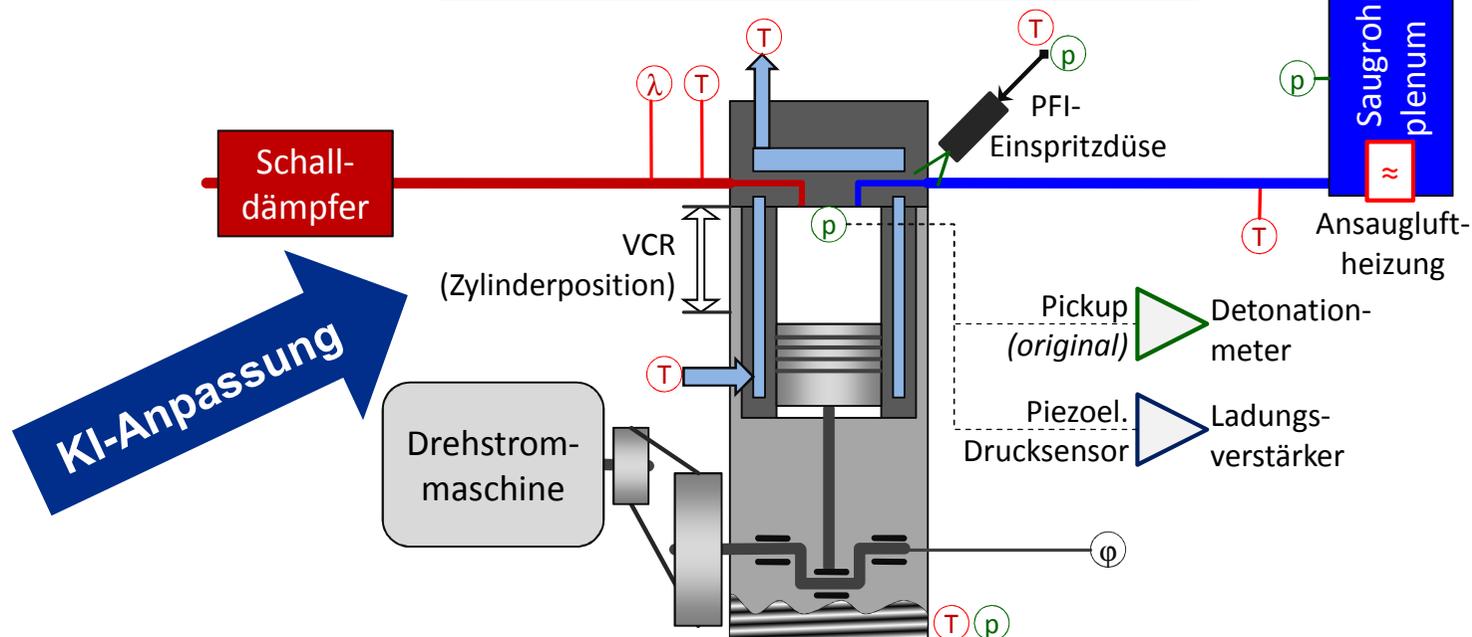
#### ECU (integriert):

Ansaugluftkonditionierung:  
930mbar / 50°C

Gemisch stöchiometrisch

Einspritzung saugsynchron (PFI)

Zündung ( $\phi_{50}$ -Regelung: 7,5° n. ZOT)

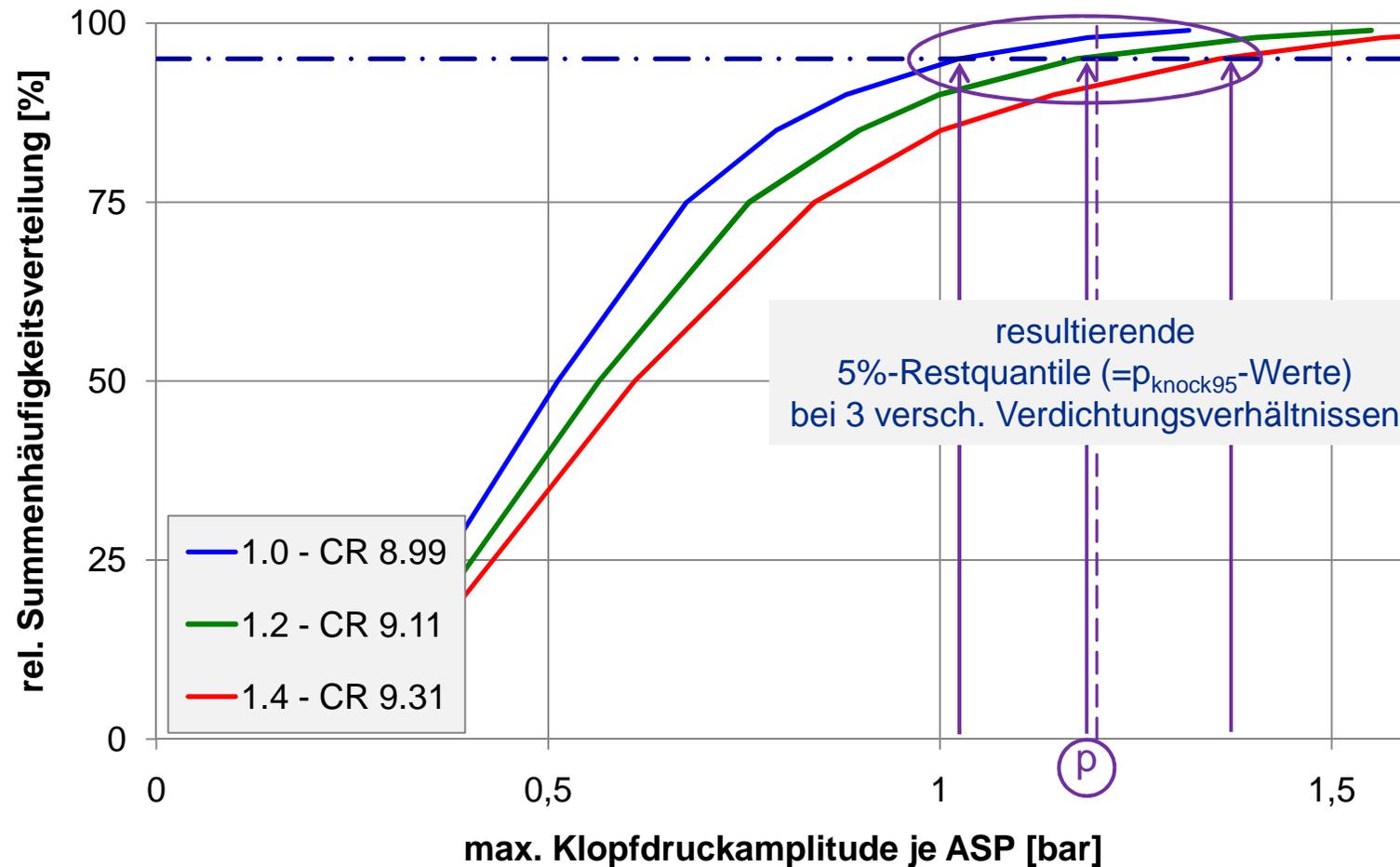


**KI-Anpassung**

## 2. GKI-Verfahren

Vorstellung der GKI-Messprozedur

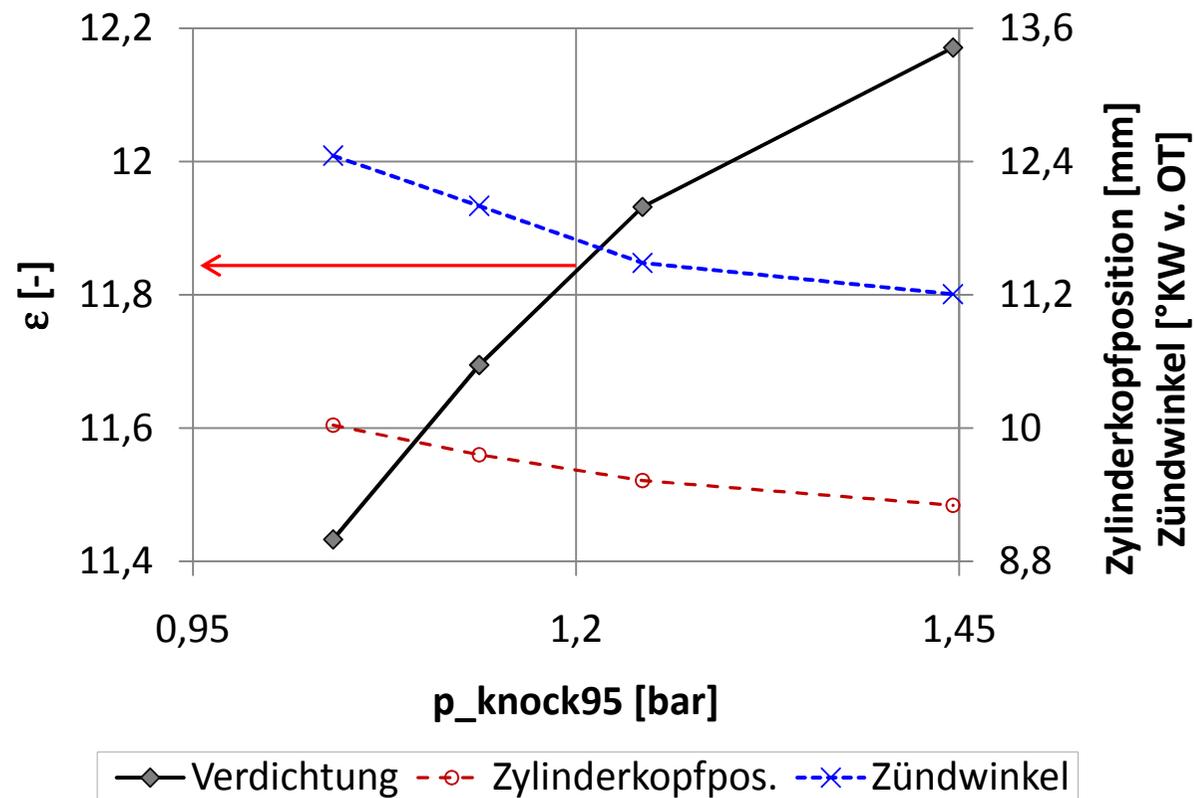
Erzielung der geforderten Klopfintensität:  
schrittweise  $\varepsilon$ -Variation



## 2. GKI-Verfahren

Vorstellung der GKI-Messprozedur

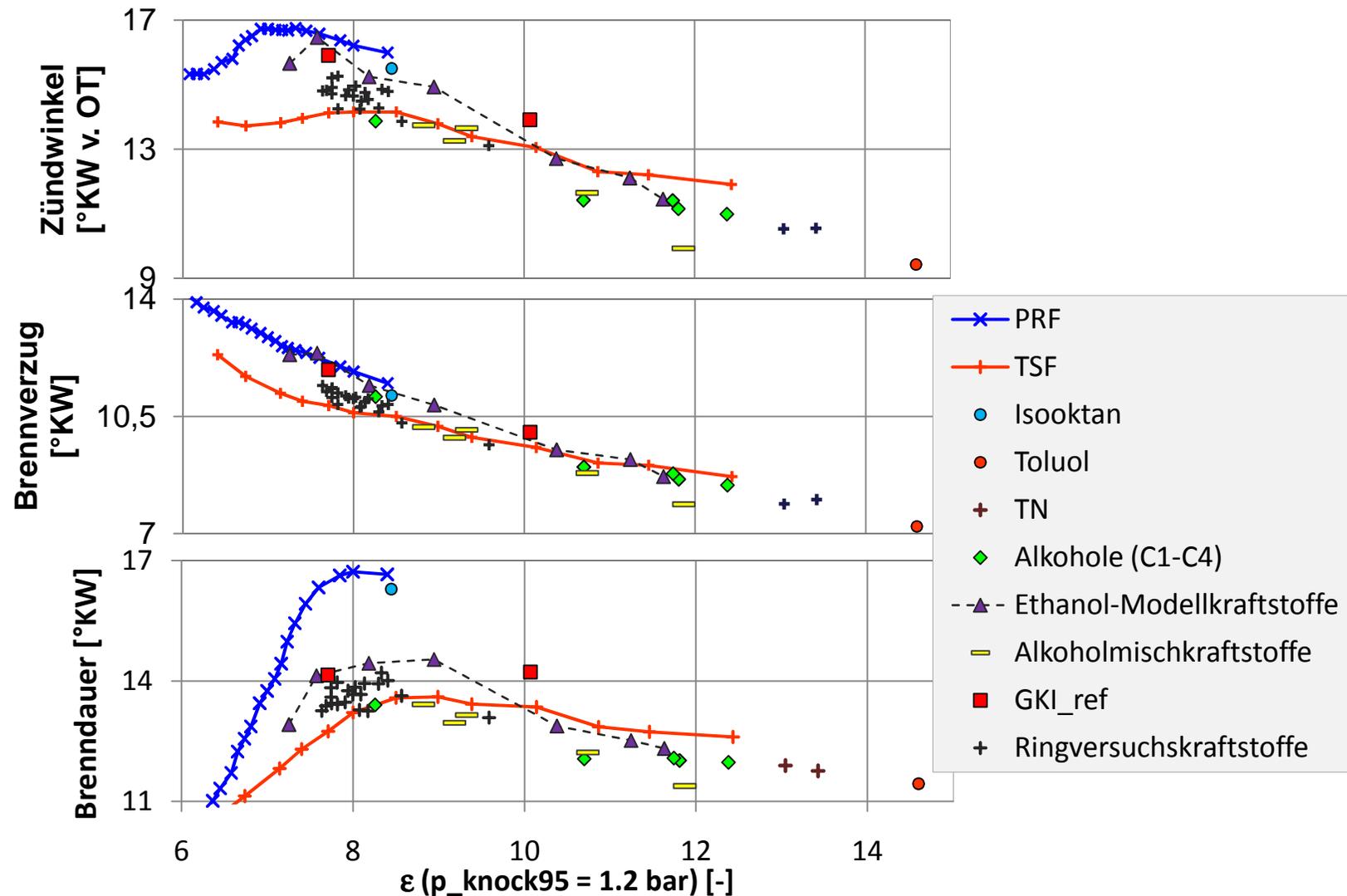
Erzielung der geforderten Klopfintensität:  
schrittweise  $\varepsilon$ -Variation



## 2. GKI-Verfahren

Hervorzuhebende kraftstoffspezifische Besonderheiten

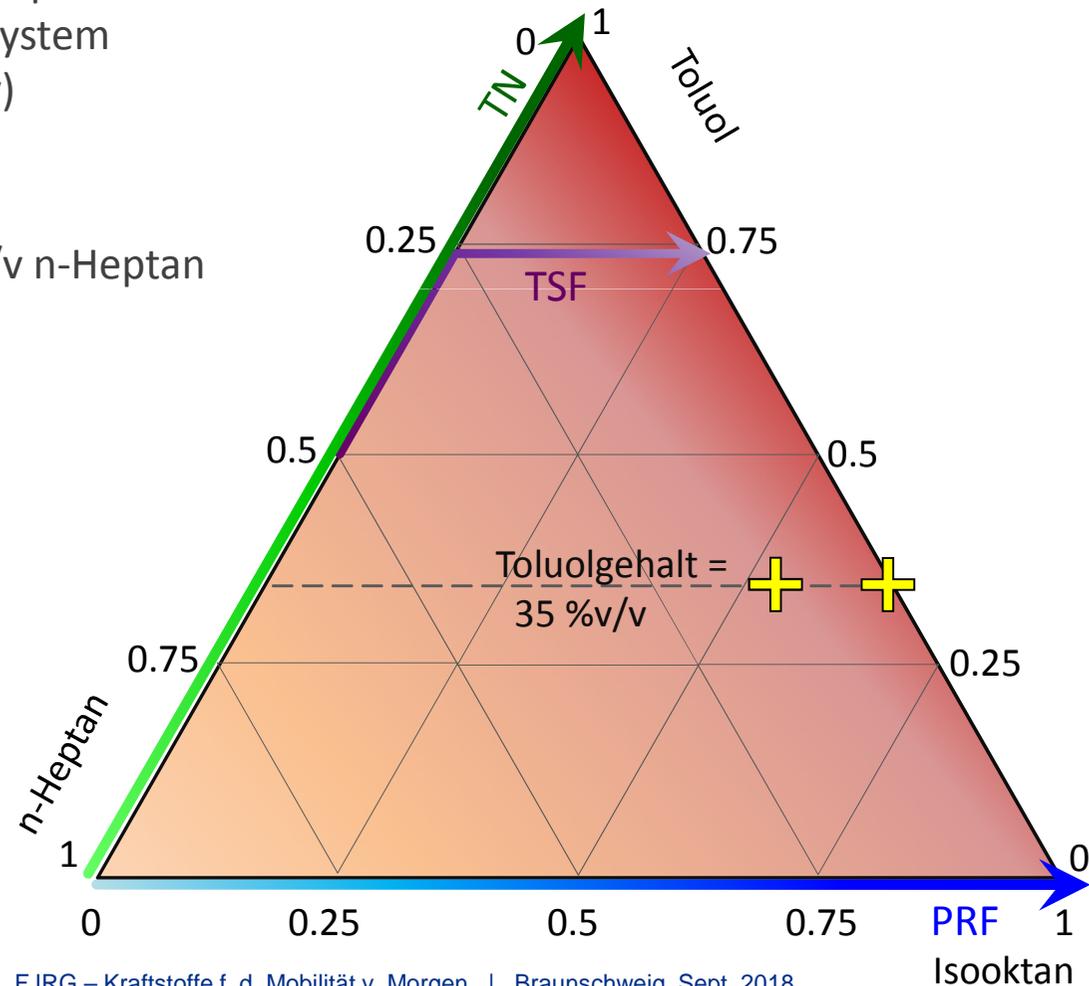
### Zündwinkel sowie Brennverzug und -dauer



## 2. GKI-Verfahren Kalibrationsmethode

### Kalibration mittels zweier Referenzpunkte

- Implementierung einer Zweipunktkalibration basierend auf einem Ternären Modellkraftstoffsystem (Aromatengehalt: 35 % v/v)
- unterer Referenzpunkt: 52% v/v Isooktan & 13% v/v n-Heptan
- oberer Referenzpunkt: 65% v/v Isooktan



## 2. GKI-Verfahren

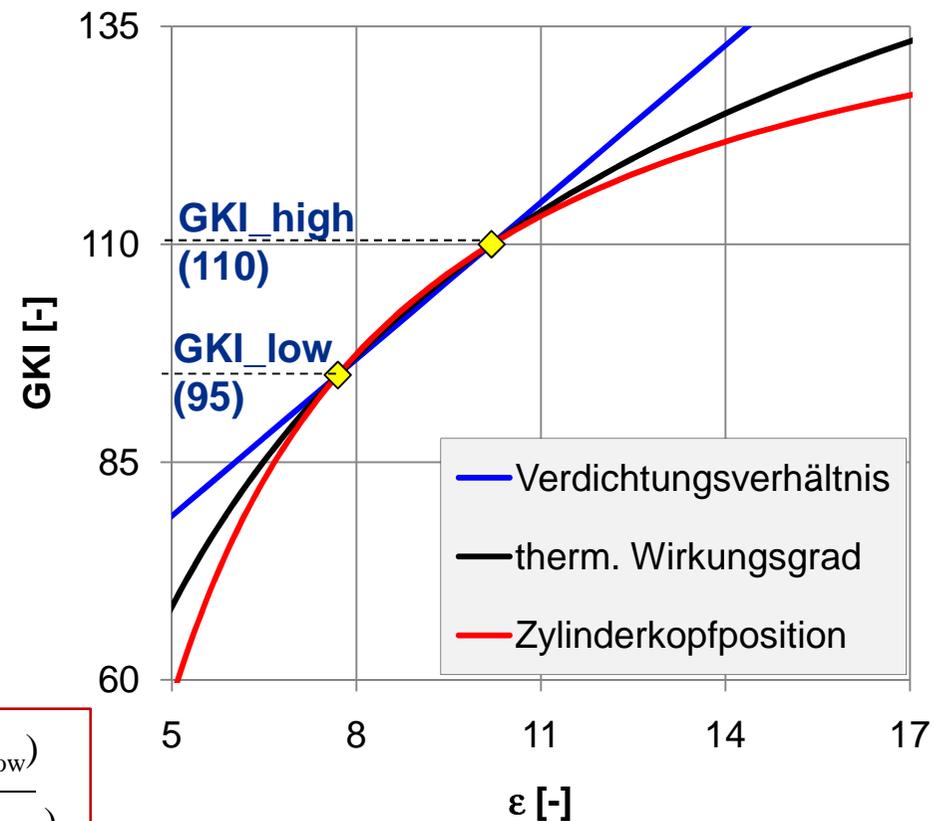
### Referenzpunktverfahren und Linearisierungsansätze

#### Kalibrationsmethode: $\varepsilon \rightarrow$ GKI

- Linearisierung über  $\varepsilon$   
(progressive Bewertung)
- Linearisierung über ZK-Position  
(degressive Bewertung,  
+ unmittelbarer Messwertbezug)
- **Linearisierung über  $\eta_{th}$**   
**(Gleichraumprozess)**

$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{(\kappa-1)}}$$

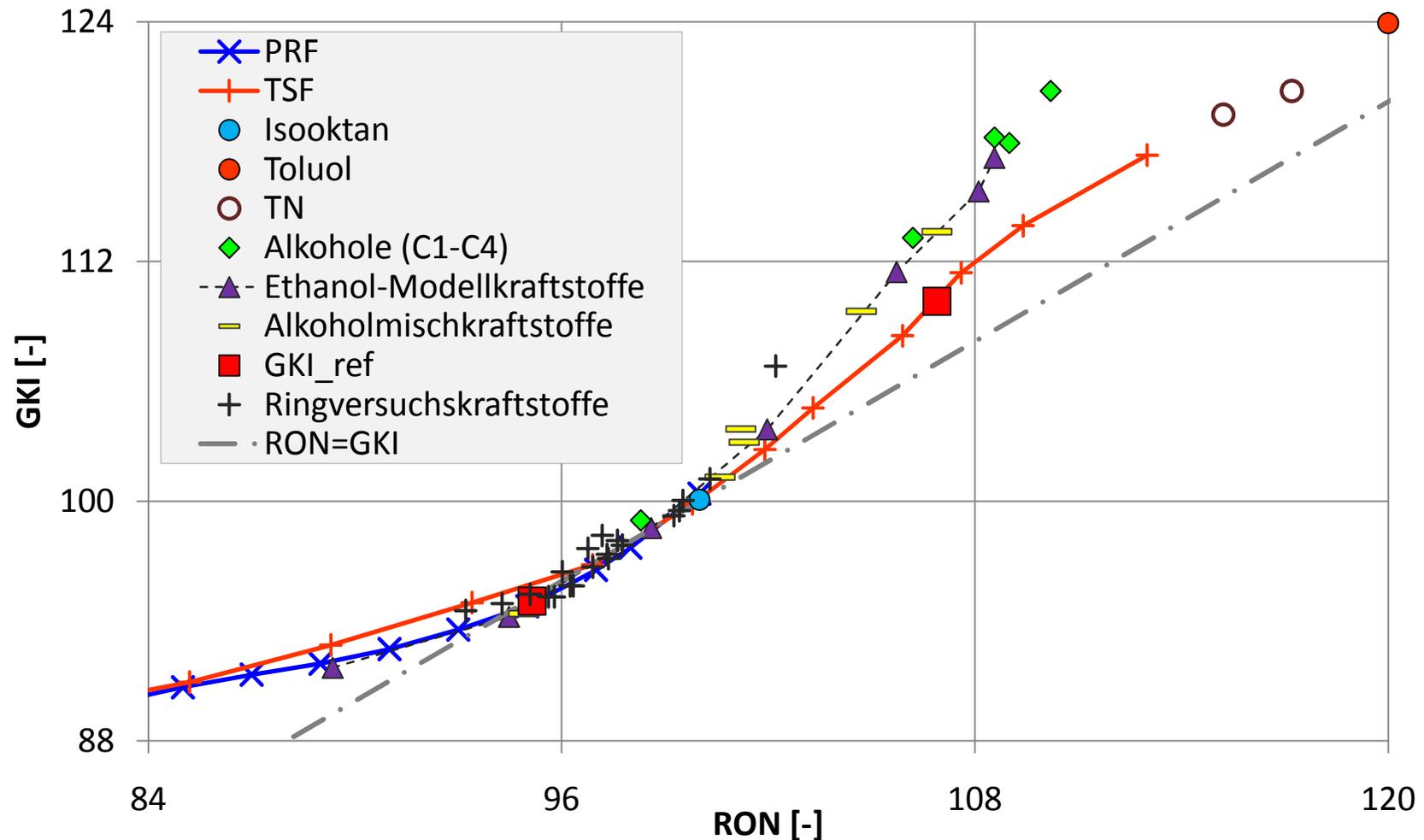
$$GKI = 95 + 15 * \frac{\eta_{th}(\varepsilon_{Probe}) - \eta_{th}(\varepsilon_{GKI\_low})}{\eta_{th}(\varepsilon_{GKI\_high}) - \eta_{th}(\varepsilon_{GKI\_low})}$$



## 2. GKI-Verfahren

Gegenüberstellung von RON und GKI

### Klopffestigkeitsbewertung mittels RON und GKI



# GKI-Verfahren zur Bestimmung der Klopffestigkeit mit wesentlichen Funktionserweiterungen

## Gliederung

### 1. Einleitung: RON und MON

### 2. GKI-Verfahren als zeitgemäßer Verfahrensentwurf

- Ausstattung u. Aufbau des Forschungsmotors
- Vorstellung der Messprozedur
- detektierte kraftstoffspezifische Besonderheiten
- Kalibrationsmethode

### 3. Erweiterung zu einem bivalenten Prüfverfahren

- Anpassungen in der Motorprozessführung
- Erweiterungen der Signalverarbeitung

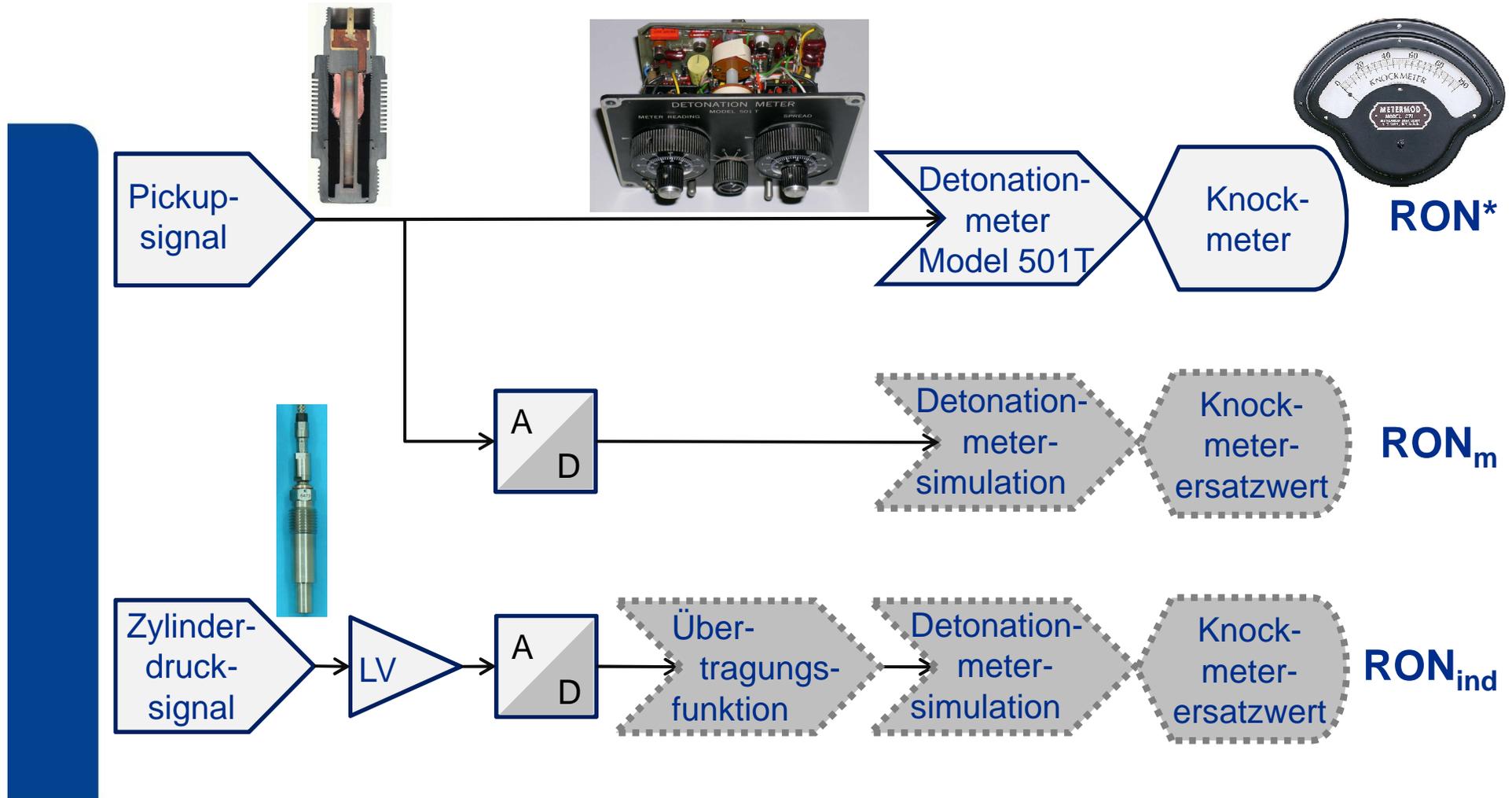
### 4. Zusammenfassung und Ausblick

### 3. Erweiterung zu einem bivalenten Prüfverfahren Vorüberlegungen und Bedingungen für eine RON-Adaption

	<b>RON (CFR F-1 Methode) ISO 5164 / ASTM D2699</b>	<b>RON* (angepasste F-1 Methode mittels PFI)</b>
Drehzahl [min <sup>-1</sup> ]	600±6	600±6
Zündwinkel [°KW v. OT]	13	13 (ECU)
Last / Füllungsregelung	Luftrichter (Vergaserquerschnitt)	100% DK (ECU)
Gemischbildung	Vergaser (z.T. gekühlt)	PFI (ECU, Zweifacheinspritzung zur Vergasersimulation)
Luftverhältnis	nicht explizit vorgegeben, „max. Klopfintensität“	λ-Variation (manuell o. automatisiert) „max. Klopfintensität“; keine verbleiten Kraftstoffe (Lambdasonde)
Ansauglufttemperatur [°C]	35...52,7; f(p_Umg)	35...52,7; f(p_Umg); Sensorposition u. SGR geändert
Kühlungsart, Kühlmitteltemperatur [°C]	Thermosiphon, 100±1,7	Thermosiphon, 100±1,7
Datenverarbeitung	Pickup – Detonationmeter – Knockmeter	Pickup – Detonationmeter – Knockmeter <b>+ 2 Alternativen (digitalisiert)</b>

Quelle:

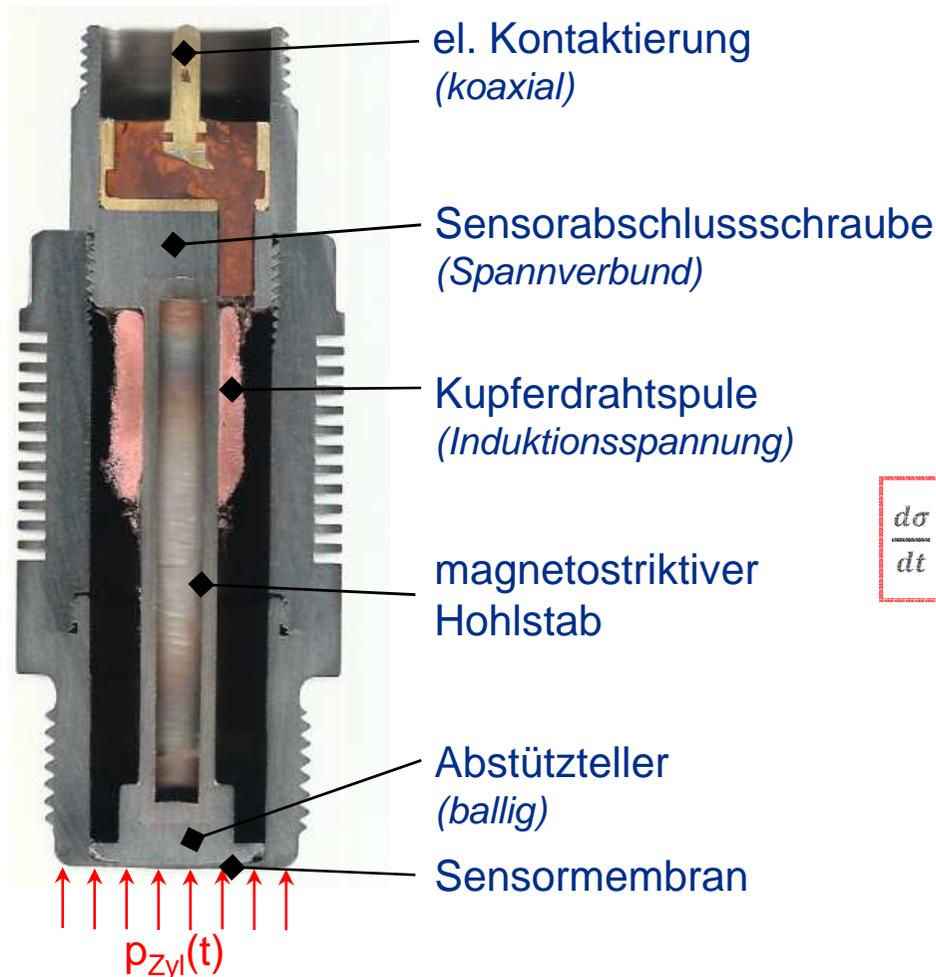
### 3. Erweiterung zu einem bivalenten Prüfverfahren Datenverarbeitungspfade für RON\*, RON<sub>m</sub> und RON<sub>ind</sub>



### 3. Erweiterung zu einem bivalenten Prüfverfahren

Datenverarbeitungspfade für  $RON^*$ ,  $RON_m$  und  $RON_{ind}$

Pickup  
(US Pat. 2,269,760)



#### Physikalische Modellierung

$$U_{ind} = -N \cdot \dot{\Phi} = -N \cdot A_{Spule} \cdot \dot{B}$$

$$\dot{B} = C_{Magnetostriktion} \cdot \frac{d\sigma}{dt}$$

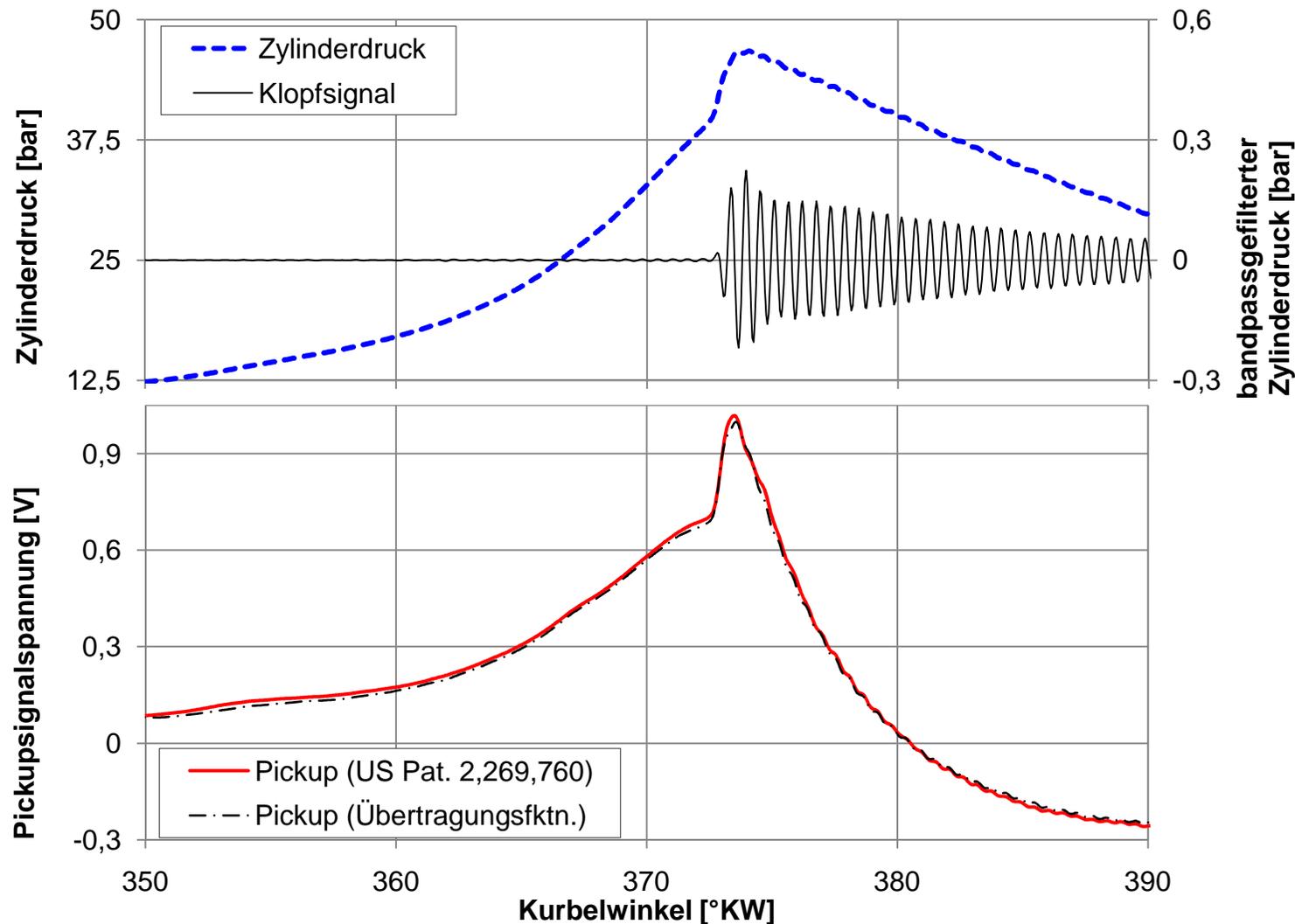
$$\frac{d\sigma}{dt} = C_{Magnetostriktion} \cdot \frac{A_{Sensor,aktiv}}{A_{Hohlstab}} \cdot \frac{dp}{dt}$$

#### Mathematisch-analytische Modellierung

$$G(s) = \frac{A_2 s^2 + A_1 s + A_0}{B_3 s^3 + B_2 s^2 + B_1 s + B_0}$$

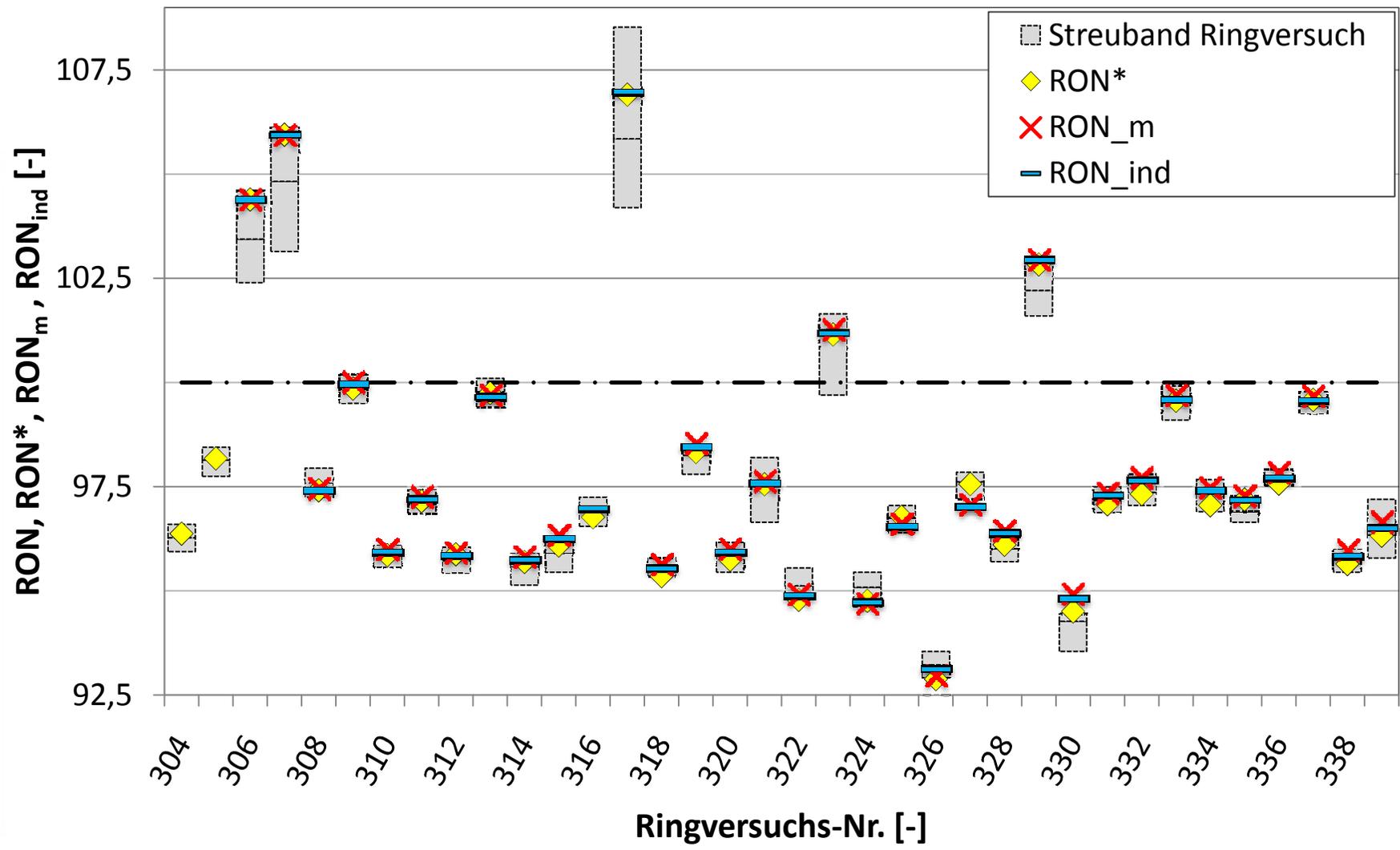
### 3. Erweiterung zu einem bivalenten Prüfverfahren Verlauf von Zylinderdruck und Pickup-Signal

Zylinderdruck – Pickup-Rohsignal – gefiltertes Klopfsignal





### 3. Erweiterung zu einem bivalenten Prüfverfahren Resultate aus Ringversuchsteilnahmen



# GKI-Verfahren zur Bestimmung der Klopfestigkeit mit wesentlichen Funktionserweiterungen

## Gliederung

### 1. Einleitung: RON und MON

### 2. GKI-Verfahren als zeitgemäßer Verfahrensentwurf

- Ausstattung u. Aufbau des Forschungsmotors
- Vorstellung der Messprozedur
- detektierte kraftstoffspezifische Besonderheiten
- Kalibrationsmethode

### 3. Erweiterung zu einem bivalenten Prüfverfahren

- Anpassungen in der Motorprozessführung
- Erweiterungen der Signalverarbeitung

### 4. Zusammenfassung und Ausblick

## 4. Zusammenfassung und Ausblick

### Zusammenfassung

### Zusammenfassung

- ❖ Klopfestigkeitsbewertung mittels GKI erfolgt ohne Messbereichsbeschränkungen
- ❖ KI-Bewertung erfolgt erstmalig auf Basis der auftretenden Klopfdruckamplituden
- ❖ 2 Referenzkraftstoffe hinsichtlich Verbrennungseigenschaften ausgewählt
- ❖ Einsatz zeitgemäßer EDV (Echtzeit, ECU-Funktionen interagierend)
- ❖ Motorumrüstungen als Retrofit-Kit denkbar
- ❖ Insbesondere alkoholische Kraftstoffe zeigen höhere GKI-Werte
- ❖ Abbildung der RON-Bestimmung ohne mechanische Umrüstmaßnahmen möglich (Doppelindizierung nicht erforderlich)

## 4. Zusammenfassung und Ausblick

### Ausblick

### Ausblick

- ❖ Teilnahme an Ringversuchen und laborübergreifenden Studien (Nachweis von Präzision und Zuverlässigkeit)
- ❖ Einführung der alternativen RON-Methoden in die einschlägigen Prüfnormen (Zulassung als Prüfverfahren)
- ❖ Technologieentwicklung zur integrierten GKI-Prüfung von gasförmigen Kraftstoffen

Dr.-Ing. Johann Hauber

Prof. Dr.-Ing. Karl Huber

TH Ingolstadt

Dr. Dipl.-Ing. Robert Nell

ROFA

Weitere Informationen:

*Huber, K.; Hauber, J.; Raba, A.; Nell, R.:*

„New Test Procedure to determine Fuel’s Knock Resistance“. MTZ intl., issue 7/8-2013

*Hauber, J; Huber, K; Nell, R.:*

„The New GKI Method for Engine-based Evaluation of Gasoline’s Knock Resistance“. EEK, issue 5-2015

*Hauber, J; Huber, K; Nell, R.:*

„New GKI – Gasoline Knock Index for rating of Fuel’s Knock Resistance on an upgraded CFR Test Engine“. SAE 2018-01-1743

Patente u. Erfindungsmeldungen: US 8,468,873 B2. 2013 & EP 2 269 058 B1. 2013 & EP 3 091 356 A1