



## ANNEX II

### **Kompatibilitätsprüfung von Euro-5 und Euro-6 Komponenten mit Diesel- und OME-haltigen Blends**

im Rahmen der Fact Sheets  
Normkonformität und Materialverträglichkeit  
alternativer Kraftstoffe



Erstellt durch  
 TEC4FUELS GmbH  
 Kaiserstraße 100  
 52134 Herzogenrath  
 www.tec4fuels.com

TEC4FUELS-Project-No.: 19-028  
 Autor\*innen: Dr.-Ing. Klaus Lucka,  
 Simon Eiden M.Sc., Ashrith Arun M.Sc.

Beauftragt durch DECHEMA  
 Gesellschaft für Chemische Technik  
 und Biotechnologie e.V.



Begleitforschung Energiewende im Verkehr

Durchgeführt im Rahmen der Begleitforschung  
 zur Förderinitiative »Energiewende im  
 Verkehr« (BEniVer)

- › Arbeitspaket 3:  
 Kraftstoffnutzung
- › Unterarbeitspaket 3.4:  
 Normkonformität alternativer Kraftstoffe  
 (NormAKraft)
- › gefördert durch das Bundesministerium  
 für Wirtschaft und Klimaschutz
- › betreut durch Projektträger Jülich

FKZ: 03EIV241

Als Teil der Studie:  
 DECHEMA e.V., Hrsg.:  
 »Fact Sheets zur Normkonformität und  
 Materialverträglichkeit alternativer Kraftstoffe«  
 Frankfurt am Main, 2023

Gefördert durch:



Bundesministerium  
 für Wirtschaft  
 und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
 des Deutschen Bundestages

# Inhalt

1. Fazit	4
2. Beschreibung	5
3. Prozedur	7
4. Ergebnisse	8
4.1 Hardware-in-the-loop Tests	8
4.2 Hochdruckpumpe	8
4.3 Injektor	11
4.4 Rail	13
4.5 Kraftstofffilter	15

# 1. Fazit

Innerhalb der von der Begleitforschung Energiewende im Verkehr (BEniVer) und Teilprojekt NormAKraft »Normkonformität alternativer Kraftstoffe« begleiteten Forschungsvorhaben, wurden u.a. Systemverträglichkeitsuntersuchungen zu Oxymethylenethern (OME) durchgeführt.<sup>1,2,3,4</sup> Dabei zeigte sich, dass eine Markteinführung von 100 Vol.% OME im marktrelevanten Motorsystem mit technischen Herausforderungen behaftet ist. Demnach war ein sicherer Betrieb mit 100 Vol.% OME in herkömmlichen Dieselaggregaten nicht sichergestellt. Dem gegenüber wurde festgestellt, dass niedrige Beimischungsquoten von ca. 5 bis 15 Vol.% OME in Dieselmotoren grundsätzlich den Parametern der DIN EN 590 entsprechen können.

Innerhalb des BEniVer-Teilprojektes NormAKraft wurden daher weitere Untersuchungen mit OME-Zumischungen von 5 Vol.-% bzw. 15 Vol.-% mittels so genannter Hardware-in-the-Loop (HiL) Testreihen in Prüfständen der TEC4FUELS GmbH durchgeführt, um eine Systemverträglichkeit bei niedrigen OME-Anteilen zu verifizieren. Getestet wurde die Beimischung von OME zu Bo-Diesel (rein fossiler Diesel) und einem B7-Diesel (Beimischung von 7 Vol.% Biodiesel). Alle Versuche liefen über eine Dauer von 200 Stunden ohne Betriebsunterbrechung und störungsfrei. Die Komponenten des EURO-5- und EURO-6-Kraftstoffversorgungssystems sind mit den gewählten Kraftstoffmischungen kompatibel. Die O-Ringe der EURO-5-Hochdruckpumpen sind durch die Wechselwirkung mit dem Kraftstoff gequollen. Dies führte jedoch während der 200 Stunden Laufzeit nicht zu Betriebsproblemen.

**Tabelle 1**  
Zusammenfassung der Testergebnisse unterschiedlicher Kraftstoffmischungen

Versuch	System	Kraftstoff	Befund
V1	EURO-6	Bo+15%OME	Keine Auffälligkeiten
V2	EURO-5	Bo+15%OME	HDP O-Ringe gequollen
V3	EURO-6	B7+15%OME	Keine Auffälligkeiten
V4	EURO-5	B7+15%OME	HDP O-Ringe gequollen
V5	EURO-6	Bo+5%OME	Keine Auffälligkeiten
V6	EURO-5	Bo+5%OME	Keine Auffälligkeiten
V7	EURO-6	B7+5%OME	Keine Auffälligkeiten
V8	EURO-5	B7+5%OME	HDP O-Ringe gequollen

<sup>1</sup> Website der Initiative »Energiewende im Verkehr«, [www.energiesystemforschung.de/foerdern/energiewende\\_im\\_verkehr](http://www.energiesystemforschung.de/foerdern/energiewende_im_verkehr) (zuletzt aufgerufen am 8.12.2022)

<sup>2</sup> NAMOSYN: Nachhaltige Mobilität durch synthetische Kraftstoffe, [www.namosyn.de](http://www.namosyn.de) (zuletzt aufgerufen am 8.12.2022)

<sup>3</sup> NAMOSYN Abschlussbroschüre: [www.dechema.de/namosyn\\_abschluss-path-123211](http://www.dechema.de/namosyn_abschluss-path-123211)

<sup>4</sup> BEniVer: Roadmap der Begleitforschung Energiewende im Verkehr (Publikation in Arbeit), [www.energiesystemforschung.de/beniver](http://www.energiesystemforschung.de/beniver) (zuletzt aufgerufen am 7.3.2023)

## 2. Beschreibung

Das komplette Common-Rail-System (CoCoS) zur Kompatibilitätsbewertung der am Kraftstoffversorgungssystem beteiligten Komponenten ist in Abbildung 1 dargestellt: Der Prüfstand bietet die Möglichkeit, die Komponenten von zwei unterschiedlichen Kraftstoffversorgungssystemen (bzw. EURO-5 und EURO-6) gleichzeitig und unter ähnlichen oder unterschiedlichen Betriebsbedingungen zu testen. Zu diesem Zweck besteht der Prüfstand aus zwei separaten Strängen. Zur einfacheren Beschreibung kann der Prüfstand in vier Untersysteme unterteilt werden:

### › Kraftstoffversorgungssystem

Das Kraftstoffversorgungssystem besteht aus den zu prüfenden Komponenten Hochdruck-Kraftstoffpumpe, Rail und Einspritzdüse. Die elektrische Pumpe im Tank fördert den geprüften Kraftstoff zur Hochdruckpumpe, wo er mit 1.300 bar unter Druck gesetzt und zum Rail geleitet wird. Die Heizelemente in Verbindung mit dem Block erhitzen die Düsenspitze des Injektors auf 230 °C. Die Einspritzdüse spritzt den Kraftstoff in den Reaktor ein, der dann auf unter 50 °C abgekühlt wird, bevor er in den Tank zurückkehrt.

### › Antriebssystem

Das Antriebssystem besteht aus einem Motor, der die Hochdruckpumpe antreibt.

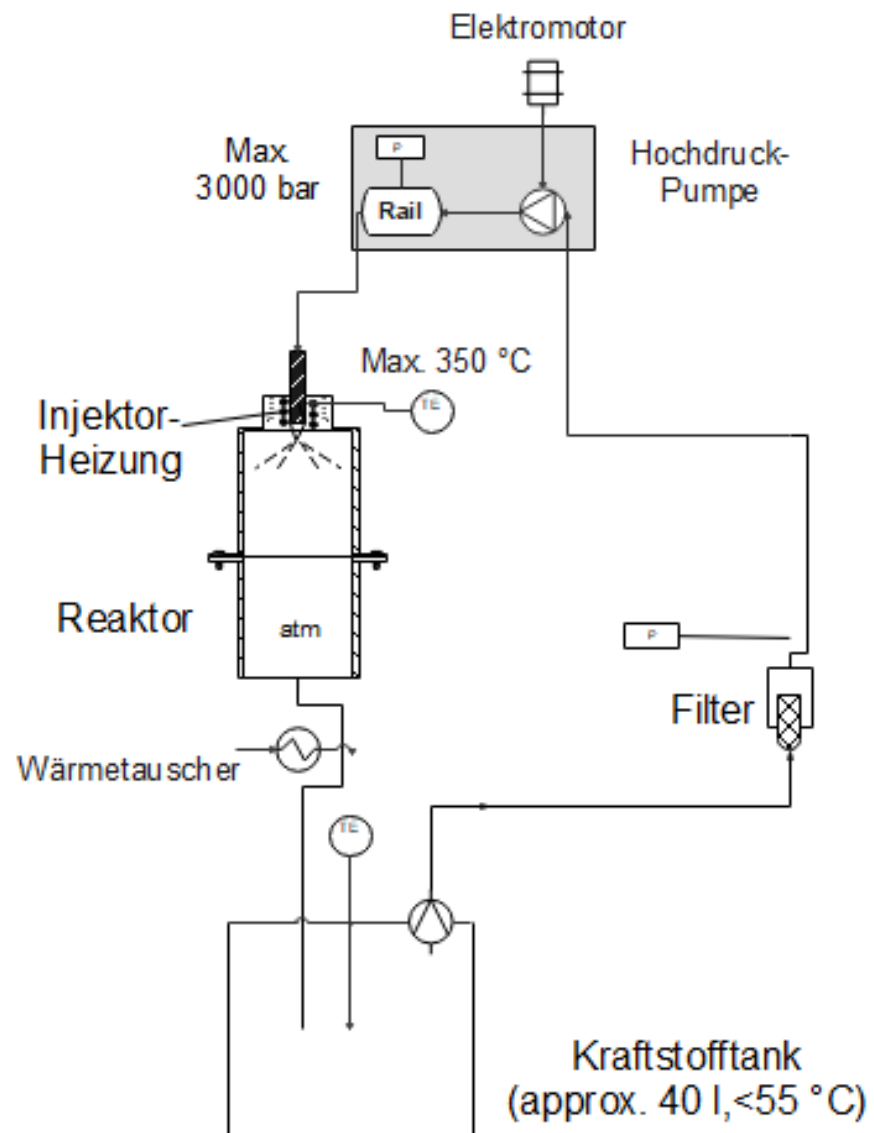
### › Kühlsystem

Das Kühlsystem sorgt für die Abkühlung des aus der Hochdruckpumpe austretenden Kraftstoffs mit hoher Temperatur. Der aus der Pumpe kommende Kraftstoff hat eine Temperatur von etwa 70 °C und muss auf mindestens 50 °C abgekühlt werden, bevor er in den Tank zurückfließt.

### › Mess- und Kontrollsystem

Dieses System ist für die Messung, Aufzeichnung und Steuerung bestimmter Systemparameter zuständig. Zu den gemessenen physikalischen Größen gehören Temperatur und Druck. Die Datenerfassung erfolgt über ein Siemens LOGO-Modul. Ein Temperatursignalwandler verarbeitet das Signal des Thermoelementes vom Typ K, bevor es von Siemens LOGO erfasst wird. Auf dem Siemens-Steuermodul sind Regelsysteme implementiert, um die Temperatur der Einspritzdüsenspitze auf 230 °C und den Raildruck auf 1.300 bar zu halten. Der Zyklus und die Parameter der Einspritzdüse, wie Frequenz und Pulsbreite, können über Steuereinheit eingestellt und überwacht werden.

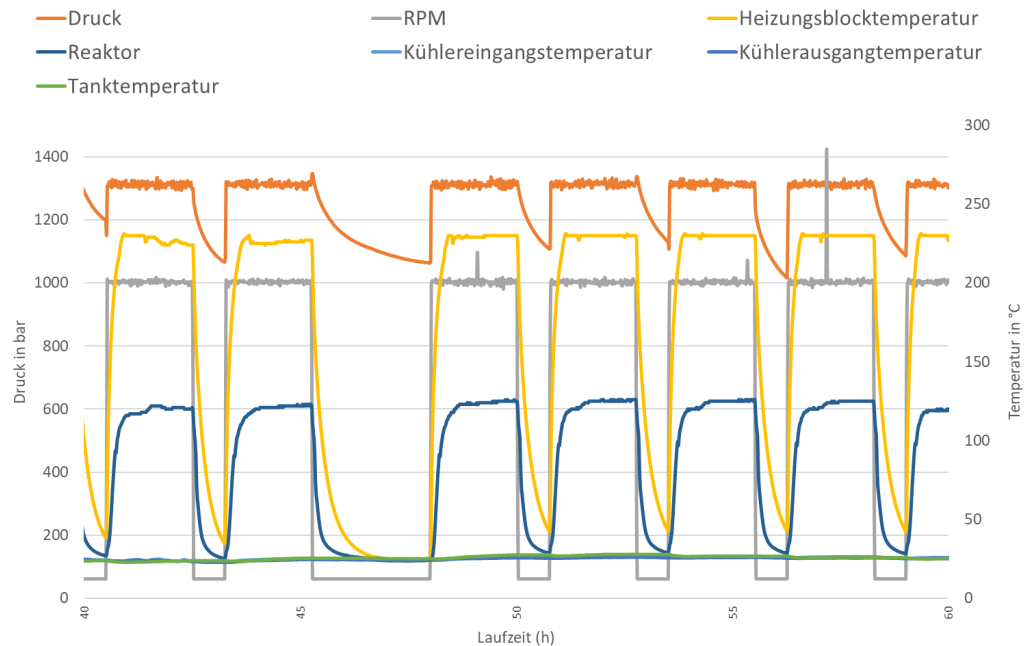
**Abbildung 1**  
Common-Rail-System (CoCoS)  
zur Kompatibilitätsbewertung  
der am Kraftstoffversorgungs-  
system beteiligten Komponente



### 3. Prozedur

Der Tank ist mit 30 Litern Prüfkraftstoff gefüllt, der von einer Niederdruckpumpe im Tank in einem Kreislauf gepumpt wird. Die Niederdruckpumpe fördert den Kraftstoff mit etwa 10 bar zur Hochdruckpumpe. Die Hochdruckpumpe wird von einem Motor angetrieben und fördert Kraftstoff mit einem Druck von 1.300 bar in das Common-Rail-System. Ein Ausgang des Common Rails ist mit einer Einspritzdüse ausgestattet. Die anderen Ausgänge des Common Rails sind mit einer Metallkugel verschlossen. Die Spitze der Einspritzdüse wird mit Hilfe von Heizelementen auf 230 °C erhitzt. Die Einspritzdüse spritzt Hochdruck- und Hochtemperatur-Prüfkraftstoff in einen Reaktor. Bei Bedarf wird der Hochtemperaturkraftstoff durch einen Wärmetauscher auf unter 5 °C abgekühlt und in den Tank zurückgeführt. Der Test wird 200 Stunden lang betrieben, wobei der Prüfstand abwechselnd 120 Minuten bzw. 45 Minuten ein- und ausgeschaltet wird (siehe Abbildung 2). Nach jedem Versuch werden die Bauteile optisch befundet. Die Injektoren werden vor und nach den Versuchen an einem Injektordiagnosegerät getestet.

**Abbildung 2**  
Versuchsparameter



**Tabelle 2**  
Zusammensetzung  
des OME 3-5

	Anteil in %
OME 1	<1
OME 2	<1
OME 3	58
OME 4	29
OME 5	10
OME 6	2

Getestet wurde die Beimischung von OME zu Bo-Diesel (rein fossiler Diesel) und einem B7-Diesel (Beimischung von 7 Vol.% Biodiesel). Die Zusammensetzung des eingesetzten OME 3-5 ist in Tabelle 2 dargestellt.

## 4. Ergebnisse

In Tabelle 3 sind die durchgeführten Versuchsfahrten inkl. der ausgewählten Betriebsbedingungen dargestellt.

Versuch	System	Kraftstoff	Injektor-Temperatur	Druck	Frequenz des Injektors	Rücklauf-Temperatur
V1	EURO-6	B0+15%OME	230 °C	1.300 bar	17 Hz	< 50°C
V2	EURO-5	B0+15%OME	230 °C	1.300 bar	17 Hz	< 50°C
V3	EURO-6	B7+15%OME	230 °C	1.300 bar	17 Hz	< 50°C
V4	EURO-5	B7+15%OME	230 °C	1.300 bar	17 Hz	< 50°C
V5	EURO-6	B0+5%OME	230 °C	1.300 bar	17 Hz	< 50°C
V6	EURO-5	B0+5%OME	230 °C	1.300 bar	17 Hz	< 50°C
V7	EURO-6	B7+5%OME	230 °C	1.300 bar	17 Hz	< 50°C
V8	EURO-5	B7+5%OME	230 °C	1.300 bar	17 Hz	< 50°C

**Tabelle 3**  
Versuchsfahrten und  
ausgewählte Betriebs-  
bedingungen

### 4.1 Hardware-in-the-loop Tests

Die Komponenten des Kraftstoffversorgungssystems, wie Hochdruckpumpe, Filter, Einspritzdüse und Rail, wurden in einer Hardware-in-the-Loop-Umgebung auf ihre Kompatibilität mit Diesel und OME Blends getestet. Im Folgenden werden der Reihe nach, die Komponenten und die optische Befundung nach Versuchsende vorgestellt und bewertet.

### 4.2 Hochdruckpumpe

Tabelle 4 und Tabelle 5 zeigen jeweils die Zusammenfassung der Ergebnisse von EURO-6 und EURO-5 Einspritzpumpen. Es wurden keine Betriebsunterbrechungen aufgrund der Pumpen beobachtet. Bestimmte O-Ringe in der EURO-5-Pumpe quellen jedoch durch die Wechselwirkung mit dem Kraftstoff.



**Tabelle 4**  
Euro-6-Hochdruckpumpe

**Versuch**

**Visuelle Inspektion**

**Befund**

**V1**  
Bo +15% OME



› keine Auffälligkeiten  
› 200h-Lauf  
ohne Unterbrechung

**V2**  
B7 +15% OME



› keine Auffälligkeiten  
› 200h-Lauf  
ohne Unterbrechung

**V3**  
Bo +5% OME



› keine Auffälligkeiten  
› 200h-Lauf  
ohne Unterbrechung

**V4**  
B7 +5% OME



› keine Auffälligkeiten  
› 200h-Lauf  
ohne Unterbrechung

**Tabelle 5**  
Euro-5-Hochdruckpumpe

**Versuch**

**Visuelle Inspektion**

**Befund**

V1  
B0 +15% OME



> O-Ringe gequollen ●  
> 200h-Lauf  
ohne Unterbrechung

V2  
B7 +15% OME



> O-Ringe gequollen ●  
> 200h-Lauf  
ohne Unterbrechung

V3  
B0 +5% OME



> O-Ring in Ordnung ●  
> 200h-Lauf  
ohne Unterbrechung

V4  
B7 +5% OME



> O-Ringe gequollen ●  
> 200h-Lauf  
ohne Unterbrechung


## 4.3 Injektor

Tabelle 6 und Tabelle 7 zeigen jeweils die Zusammenfassung der Ergebnisse von EURO-6 und EURO-5 Injektoren. Es wurden keine Betriebsunterbrechungen aufgrund des Injektors beobachtet.

**Tabelle 6**  
EURO-6-Injektor

Versuch	Visuelle Inspektion	Befund
<b>V1</b> B0 +15% OME		<ul style="list-style-type: none"> <li>› Keine Testunterbrechung durch den Injektor</li> <li>› Keine Ablagerungen an der Spitze</li> </ul>
<b>V2</b> B7 +15% OME		<ul style="list-style-type: none"> <li>› Keine Testunterbrechung durch den Injektor</li> <li>› Keine Ablagerungen an der Spitze</li> </ul>
<b>V3</b> B0 +5% OME		<ul style="list-style-type: none"> <li>› Keine Testunterbrechung durch den Injektor</li> <li>› Keine Ablagerungen an der Spitze</li> </ul>
<b>V4</b> B7 +5% OME		<ul style="list-style-type: none"> <li>› Keine Testunterbrechung durch den Injektor</li> <li>› Keine Ablagerungen an der Spitze</li> </ul>

**Tabelle 7**  
EURO-5-Injektor

Versuch	Visuelle Inspektion	Befund
<b>V1</b> Bo +15% OME		<ul style="list-style-type: none"> <li>› Keine Testunterbrechung durch den Injektor</li> <li>› Keine Ablagerungen an der Spitze</li> </ul>
<b>V2</b> B7 +15% OME		<ul style="list-style-type: none"> <li>› Keine Testunterbrechung durch den Injektor</li> <li>› Keine Ablagerungen an der Spitze</li> </ul>
<b>V3</b> Bo +5% OME		<ul style="list-style-type: none"> <li>› Keine Testunterbrechung durch den Injektor</li> <li>› Keine Ablagerungen an der Spitze</li> </ul>
<b>V4</b> B7 +5% OME		<ul style="list-style-type: none"> <li>› Keine Testunterbrechung durch den Injektor</li> <li>› Keine Ablagerungen an der Spitze</li> </ul>

## 4.4 Rail

Tabelle 8 und Tabelle 9 zeigen jeweils die Zusammenfassung der Ergebnisse von EURO-6 und EURO-5 Rails. Es wurden keine Unterbrechungen aufgrund des Rails beobachtet.

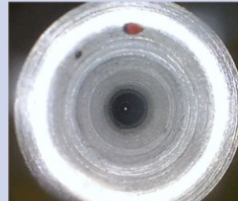
**Tabelle 8**  
EURO-6-Rail

### Versuch

### Visuelle Inspektion

### Befund

**V1**  
B0 +15% OME



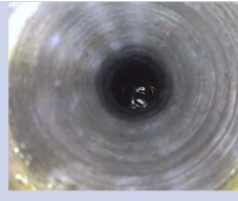
› Keine Auswirkungen auf das Rail beobachtet

**V2**  
B7 +15% OME



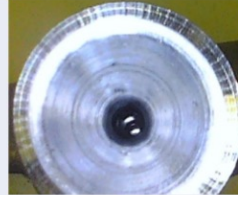
› Keine Auswirkungen auf das Rail beobachtet

**V3**  
B0 +5% OME



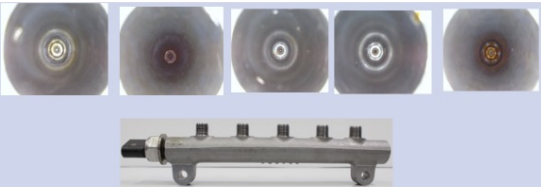



› Keine Auswirkungen auf das Rail beobachtet

**V4**  
B7 +5% OME



› Keine Auswirkungen auf das Rail beobachtet

**Tabelle 9**  
EURO-5-Rail

Versuch	Visuelle Inspektion	Befund
<b>V1</b> B0 +15% OME	 <p>The image shows five individual rail ends in a row, each with a different colored center (white, red, white, white, brown). Below them is a full rail section with five corresponding colored spots on its top surface.</p>	› Keine Auswirkungen auf das Rail beobachtet
<b>V2</b> B7 +15% OME	 <p>The image shows five individual rail ends in a row, all with a blue center. Below them is a full rail section with five corresponding blue spots on its top surface.</p>	› Keine Auswirkungen auf das Rail beobachtet
<b>V3</b> B0 +5% OME	 <p>The image shows five individual rail ends in a row, all with a blue center. Below them is a full rail section with five corresponding blue spots on its top surface.</p>	› Keine Auswirkungen auf das Rail beobachtet
<b>V4</b> B7 +5% OME	 <p>The image shows five individual rail ends in a row, all with a blue center. Below them is a full rail section with five corresponding blue spots on its top surface.</p>	› Keine Auswirkungen auf das Rail beobachtet

## 4.5 Kraftstofffilter

Tabelle 10 und Tabelle 11 zeigen jeweils die Zusammenfassung der Ergebnisse von EURO-6 und EURO-5 Filtern. Es wurde keine Auswirkung auf die Filter beobachtet.

**Tabelle 10**  
EURO-6-Filter

### Versuch

### Visuelle Inspektion

### Befund

**V1**  
B0 +15% OME



› Keine Auswirkungen auf Filter beobachtet

**V2**  
B7 +15% OME



› Keine Auswirkungen auf Filter beobachtet

**V3**  
B0 +5% OME



› Keine Auswirkungen auf Filter beobachtet

**V4**  
B7 +5% OME



› Keine Auswirkungen auf Filter beobachtet

**Tabelle 11**  
EURO-5-Filter

**Versuch**

**Visuelle Inspektion**

**Befund**

**V1**  
B0 +15% OME



› Keine Auswirkungen  
auf Filter beobachtet

**V2**  
B7 +15% OME



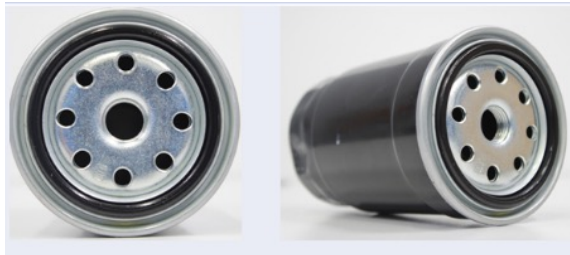
› Keine Auswirkungen  
auf Filter beobachtet

**V3**  
B0 +5% OME



› Keine Auswirkungen  
auf Filter beobachtet

**V4**  
B7 +5% OME



› Keine Auswirkungen  
auf Filter beobachtet





## IMPRESSUM

### Herausgebende

Dr. Jens Artz

Dr. Philip Ruff

DECHEMA

Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.

Theodor-Heuss-Allee 25

60486 Frankfurt am Main

### Verantwortlicher im Sinne des Presserechts

Dr. Jens Artz

### Gestaltung und Satz

Lindner & Steffen GmbH,

[www.lindner-steffen.de](http://www.lindner-steffen.de)

### Bildnachweis

AdobeStock: QuietWord

Die Projektpartner danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) für die finanzielle Unterstützung des Vorhabens (FKZ 03EIV241).

Darüber hinaus gilt ein besonderer Dank der Mabanaft GmbH & Co.KG für die Finanzierung des Layouts dieser Veröffentlichung.

Betreut wurde das Projekt durch den Projektträger Jülich.

Erschienen im Juni 2023 in Frankfurt am Main

1. Auflage

KOORDINIERT VON



# DECHEMA

Gesellschaft für Chemische Technik  
und Biotechnologie e.V.