



# Betriebsstoffvorschrift

Gasmotoren und Gasgeneratoraggregate

Gasmotor BR4000 – Marineanwendung

Gasmotor BR4000 – Generatoranwendung und Generatoraggregat

Gasmotor BR400 – Generatoraggregat

Gasmotor BR500 – Generatoraggregat

A001072/03D



A Rolls-Royce  
solution

© Copyright MTU

Diese Veröffentlichung einschließlich aller ihrer Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung oder Nutzung bedarf der vorherigen schriftlichen Zustimmung der MTU. Das gilt insbesondere für Vervielfältigung, Verbreitung, Bearbeitung, Übersetzung, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und/oder Verarbeitung in elektronischen Systemen, einschließlich Datenbanken und Online-Diensten.

Alle Informationen dieser Veröffentlichung stellen den zum Zeitpunkt des Erscheinens jeweils neuesten Stand dar. MTU behält sich das Recht vor, bei Bedarf Änderungen, Löschungen oder Ergänzungen der bereitgestellten Informationen oder Daten durchzuführen.

# Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort			
1.1	Allgemeines	5		
2	Schmierstoffe			
2.1	Allgemeines	7		
2.1.1	Motoröl	7		
2.1.2	Motorölgrenzwerte für BR4000, BR400	8		
2.1.3	Motorölgrenzwerte BR500	10		
2.1.4	Siliziumverbindungen im Brenngas	11		
2.1.5	Fluoreszierende Farbstoffe zur Erkennung von Leckagen im Schmierölkreislauf	12		
2.1.6	Schmierfette	13		
2.1.7	Schmierfette für allgemeine Anwendungen	14		
2.2	Gasmotor BR4000 - Generatoranwendung und Generatoraggregat - Marineanwendung	15		
2.2.1	Freigegebene Motoröle	15		
2.2.2	Schmierfette für Generatoren	17		
2.2.3	Getriebeöle	18		
2.3	Gasmotor BR400 - Generatoraggregat	19		
2.3.1	Freigegebene Motoröle	19		
2.3.2	Motorölwechselintervalle	22		
2.3.3	Schmierfette für Generatoren	24		
2.4	Gasmotor BR500 - Generatoraggregat	25		
2.4.1	Freigegebene Motoröle	25		
2.4.2	Motorölwechselintervalle	26		
2.4.3	Ölvolumen	27		
2.4.4	Schmierfette für Generatoren	28		
3	Kühlmittel			
3.1	Allgemeines	29		
3.1.1	Definition Kühlmittel	29		
3.1.2	Betriebsüberwachung / Kühlmittelaufbereitung für BR4000 und BR400	31		
3.1.3	Lagerstabilität der Kühlmittelkonzentrate	35		
3.1.4	Farbzusätze zur Erkennung von Leckagen im Kühlmittelkreislauf	36		
3.1.5	Vermeidung von Schäden im Kühlsystem	37		
3.1.6	Ungeeignete Werkstoffe im Kühlmittelkreislauf	38		
3.1.7	Frischwasseranforderungen BR4000	39		
3.1.8	Frischwasseranforderungen BR400	40		
3.1.9	Frischwasseranforderungen BR500	41		
3.2	Gasmotor BR4000 - Marineanwendung	42		
3.2.1	Kühlmittel - Allgemeines	42		
3.2.2	Kühlmittel ohne Frostschutz - Konzentrate für leichtmetallfreie Kühlsysteme	43		
3.2.3	Kühlmittel ohne Frostschutz - Fertigmischungen für leichtmetallfreie Kühlsysteme	45		
3.2.4	Frostschutzmittel - Konzentrate für leichtmetallfreie Kühlsysteme	46		
3.2.5	Frostschutzmittel - Konzentrate für besondere Anwendungen	49		
3.2.6	Frostschutzmittel - Fertigmischungen für leichtmetallfreie Kühlsysteme	50		
3.3	Gasmotor BR4000 - Generatoranwendung und Generatoraggregat	52		
3.3.1	Kühlmittel - Allgemeines	52		
3.3.2	Kühlmittel ohne Frostschutz - Konzentrate für leichtmetallhaltige Kühlsysteme	53		
3.3.3	Kühlmittel ohne Frostschutz - Fertigmischungen für leichtmetallhaltige Kühlsysteme	54		
3.3.4	Frostschutzmittel - Konzentrate für leichtmetallhaltige Kühlsysteme	55		
3.3.5	Frostschutzmittel - Konzentrate für besondere Anwendungen	58		
3.3.6	Frostschutzmittel - Fertigmischungen für leichtmetallhaltige Kühlsysteme	59		
3.4	Gasmotor BR400 - Generatoraggregat	62		
3.4.1	Freigegebene Kühlmittel	62		
3.5	Gasmotor BR500 - Generatoraggregat	63		
3.5.1	Kühlmittel - Allgemeines	63		
3.5.2	Kühlmittel - Kontrolle und Erneuerung	64		
3.5.3	Freigegebene Kühlmittel	65		
4	Kraft-/Brennstoffe			
4.1	Allgemeines	66		
4.1.1	Verwendung von Kraft-/Brennstoffen	66		
4.1.2	Anforderung an das Brenngas	67		
4.1.3	Hauptbestandteile von Erdgas und Brenngasen biogenen Ursprungs	68		
4.1.4	Liquid Natural Gas (LNG)	69		
4.1.5	Silizium- und Schwefelverbindungen im Brenngas	70		
4.2	Gasmotor BR4000 - Marineanwendung	71		
4.2.1	Allgemeines	71		
4.2.2	Anforderungen an das Brenngas für Marineanwendungen	72		
4.2.3	Vorschrift für das Medium im Hüllraum der Gasleitung in der Marineanwendung	75		
4.3	Gasmotor BR4000 - Generatoranwendung und Generatoraggregat	77		
4.3.1	Allgemeines	77		
4.3.2	Erdgas - Anforderungen an das Brenngas	78		
4.3.3	Biogas - Anforderungen an das Brenngas	81		

4.4 Gasmotor BR400 - Generatoraggregat	85	6.2.3 Motorkühlsystem reinigen	108
4.4.1 Erdgas - Kraftstoffwerte	85		
4.4.2 Biogas - Kraftstoffwerte	86		
4.4.3 Störende Verunreinigungen	87	7 Zuluft und Verbrennungsluft	
4.5 Gasmotor BR500 - Generatoraggregat	89	7.1 Allgemeines	109
4.5.1 Gasarten	89	7.2 Luftfeuchtigkeit	110
4.5.2 Mindestanforderung an die Gaszusammensetzung	90	7.3 Staubbelastung	111
4.5.3 Gasbetriebsdaten	91	8 Heizwasser	
4.5.4 Umrechnung Grenzwerte aus Gasanalyse	92	8.1 Allgemeines	112
4.5.5 Sondergrenzwerte	93	8.2 Informationen zu Heizwasser für BR4000 und BR400	113
4.5.6 Betriebsstörungen durch Kondensat im Brenngas	95	8.3 Informationen zu Heizwasser für BR500	115
5 Abgasnachbehandlungssystem		8.3.1 Wasserbeschaffenheit für Heizwasserkreislauf BR500	115
5.1 Allgemeines	96	8.3.2 Heizwasser - Wasserqualität BR500	116
5.2 NO <sub>x</sub> -Reduktionsmittel AUS 32 für SCR- Abgasnachbehandlungsanlagen	97	9 Bestätigung Betriebsstoffe	
5.3 Abgaskondensat	99	9.1 Bestätigung durch den Betreiber von Generatoraggregaten	117
6 Spül- und Reinigungsvorschrift für Motorkühlmittelkreisläufe		10 Änderungsübersicht	
6.1 Spül- und Reinigungsvorschrift für BR400 und BR4000	100	10.1 Änderungsübersicht von Version A001072/02 zu Version A001072/03	118
6.1.1 Allgemeines	100	11 Anhang A	
6.1.2 Freigegebene Reinigungsmittel	101	11.1 Abkürzungsverzeichnis	120
6.1.3 Motorkühlmittelkreisläufe spülen	102	11.2 Umrechnungstabelle von SI-Einheiten	121
6.1.4 Motorkühlmittelkreisläufe reinigen	103	11.3 Ansprechpartner/Service-Partner	122
6.1.5 Motorkühlkreislauf - Baugruppen reinigen	104	12 Anhang B	
6.1.6 Kühlkreisläufe mit Bakterien-, Hefen-, Pilzbefall	105	12.1 Index	123
6.2 Spül- und Reinigungsvorschrift für BR500	106		
6.2.1 Allgemeines	106		
6.2.2 Freigegebene Reinigungsmittel	107		

# 1 Vorwort

## 1.1 Allgemeines

Diese Betriebsstoffvorschrift enthält allgemeine Anweisungen für den ordnungsgemäßen und sicheren Betrieb Ihres Produkts vom Hersteller MTU.

### Begriffsdefinition MTU

Als MTU bezeichnet man die Rolls-Royce Power Systems AG und die MTU Friedrichshafen GmbH oder ein mit ihr verbundenes Unternehmen im Sinne von § 15 AktG oder ein von ihr beherrschtes Unternehmen (Joint Venture).

### Verwendete Symbole und Darstellungsmittel

Folgende, im Text hervorgehobene Anweisungen sind zu beachten:

#### Wichtig

Dieses Feld enthält wichtige oder nützliche Informationen zum Produkt für den Benutzer. Es weist auf Anweisungen, Arbeiten und Tätigkeiten hin, die einzuhalten sind, um die Beschädigung oder Zerstörung des Materials zu vermeiden.

#### Hinweis:

Ein Hinweis informiert darüber, wenn bei der Durchführung einer Arbeit etwas Besonderes zu beachten ist.

### Betriebsstoffe

Lebensdauer, Betriebssicherheit und Funktion der Antriebsanlagen sind in starkem Maße von den verwendeten Betriebsstoffen abhängig. Die richtige Auswahl und Pflege der Betriebsstoffe sind deshalb außerordentlich wichtig. Sie sind in diesen Betriebsstoffvorschriften festgelegt.

Prüfnorm	Bezeichnung
DIN	Deutsches Institut für Normung
EN	Europäische Normung
ISO	Internationale Norm
ASTM	American Society for Testing and Materials
IP	Institute of Petroleum
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.

Tabelle 1: Prüfnormen für Betriebsstoffe

#### Wichtig

Freigegebene Betriebsstoffe dürfen nicht gemischt werden.

#### Wichtig

Der Kunde muss die Sicherheitsdatenblätter der jeweiligen Hersteller beachten.

### Aktualität der vorliegenden Druckschrift

Die Betriebsstoffvorschriften werden bei Bedarf geändert oder ergänzt. Vor Gebrauch sicherstellen, dass die aktuellste Version vorliegt. Die aktuellste Version ist aufrufbar unter:

<http://www.mtu-solutions.com>

Bei Fragen hilft Ihnen Ihr Ansprechpartner gerne weiter.

## Gewährleistung

Die Verwendung der freigegebenen Betriebsstoffe, entweder nach der namentlichen Nennung oder entsprechend der aufgeführten Spezifikation, ist Bestandteil der Gewährleistungsbedingungen.

Der Lieferant der Betriebsstoffe ist verantwortlich für die weltweit gleichbleibende Qualität der genannten Produkte.

### Wichtig

Betriebsstoffe für Antriebsanlagen können Gefahrenstoffe sein. Beim Umgang mit diesen Stoffen sowie bei deren Lagerung und Entsorgung sind gewisse Regeln zu beachten.

Diese Regeln ergeben sich aus den Herstellerangaben, gesetzlichen Bestimmungen und technischen Regelwerken, die in dem jeweiligen Land gültig sind. Da von Land zu Land große Unterschiede bestehen können, ist eine allgemeingültige Aussage über die zu beachtenden Regeln im Rahmen dieser Betriebsstoffvorschriften nicht möglich.

Der Anwender der hierin genannten Produkte ist daher verpflichtet, sich über die geltenden Bestimmungen selbst zu informieren. MTU übernimmt keine Haftung bei unsachgemäßer oder gesetzwidriger Verwendung der von ihr freigegebenen Betriebsstoffe.

Im Umgang mit Betriebsstoffen sind die „Regeln zum Umweltschutz“ zu beachten (siehe Betriebsanleitung, Sicherheitskapitel, Demontage und Entsorgung), da diese gesundheitsgefährdend und feuergefährlich sind.

Unsachgemäße Verwendung der Betriebsstoffe führt zur Belastung der Umwelt:

- Betriebsstoffe dürfen nicht in Erdboden oder Kanalisation gelangen.
- Gebrauchte Betriebsstoffe müssen der Altölverwertung oder Sondermüllentsorgung zugeführt werden.
- Gebrauchte Filtereinsätze und -patronen müssen der Sondermüllentsorgung zugeführt werden.

### Wichtig

Der Besteller / Betreiber trägt die Verantwortung für die Einhaltung der Kraft-/Brennstoffwerte.

## Konservierung

Alle Informationen zur Konservierung, Nach- und Entkonservierung inklusive der zugelassenen Konservierungsstoffe ist zu finden in den Konservierungs- und Nachkonservierungsvorschriften (Publikationsnummer A001070/...). Die aktuellste Version ist aufrufbar unter:

<http://www.mtu-solutions.com>

## 2 Schmierstoffe

### 2.1 Allgemeines

#### 2.1.1 Motoröl

Bei der Auswahl eines Motoröls für Gasmotoren ist die Gasart, mit der der Motor betrieben wird, von entscheidender Bedeutung. Der Gasmotor darf nur mit freigegebenem Motoröl betrieben werden.

Freigegebene Motoröle sind in folgenden Kapiteln angegeben:

- Für BR4000 (→ Seite 15)
- Für BR400 (→ Seite 19)
- Für BR500 (→ Seite 25)

Ein wesentlicher Faktor ist der Anteil störender Verunreinigungen im Brenngas. Dies setzt vom Betreiber regelmäßige Gaskontrollen voraus. Die zu verwendenden Gasmotoröle zeichnen sich durch geringste mögliche Aschegehalte aus. Dadurch werden erhöhte Ascheablagerungen, die zur Leistungsminderung des Katalysators bzw. zu klopfender Verbrennung führen können, vermieden.

Beim Betrieb mit Biogas wird das Motoröl unter Umständen durch korrosive Verunreinigungen belastet, die bei der Verbrennung der enthaltenen Schadstoffe (Chlor-, Fluor- und Schwefelverbindungen) entstehen. Diese korrosiven Bestandteile können auch durch spezielle Additive im Motoröl nur begrenzt neutralisiert werden.

Korrosionsschäden an den ölgeschmierten Bauteilen des Motors können nur durch häufigeren Ölwechsel vermieden werden. Um Konzentrationsspitzen bei der Belastung durch korrosive Verunreinigungen besser puffern zu können, wird ein vergrößertes Motorölvolumen dringend empfohlen.

#### Wichtig

Verbrauchte Betriebsstoffe entsprechend den am Einsatzort geltenden Vorschriften entsorgen.

#### Wichtig

Für Gasmotoren ist die Viskositätsklasse SAE 40 vorgeschrieben.  
Mehrbereichsöle sind nicht zulässig.

#### Wichtig

Mischen von Motorölen ist grundsätzlich nicht zulässig.

#### Wichtig

Im Rahmen eines Motorölwechsels ist das Umölen unter gewissen Bedingungen bei jedem Ölwechsel möglich. Hierfür Service von MTU kontaktieren.

#### Wichtig

Bei Anwendungen mit Biogas, Klärgas oder Deponiegas ist die Ölmenge in der Motorölwanne nicht ausreichend. Ein größeres Ölvolumen ist erforderlich.

## 2.1.2 Motorölgrenzwerte für BR4000, BR400

### Ölbetriebszeit für Gasmotoren

Die Ölbetriebszeit wird von der Qualität des Motoröls, seiner Pflege sowie von den Betriebsbedingungen und dem verwendeten Brennstoff beeinflusst.

Aus diesem Grund muss, abhängig vom Motorölvolumen, Gasart und der Baureihe, regelmäßig eine Ölprobe gezogen und die Ölanalyse mit den Grenzwerten aus (→ Tabelle 2) verglichen werden. Die Ölproben müssen immer unter den gleichen Randbedingungen (betriebswarmer Motor) und an der dafür vorgesehenen Stelle (Entnahmestutzen am Ölfiltergehäuse) entnommen werden.

Wenn die Grenzwerte gemäß (→ Tabelle 2) erreicht oder überschritten werden, muss sofort ein Ölwechsel durchgeführt werden.

Wenn ein erweitertes Ölvolumen verwendet wird, müssen die Grenzwerte für Verschleißelemente umgekehrt proportional zur Volumenvergrößerung reduziert werden. Die maximal zulässige Reduzierung der Grenzwerte für die Verschleißelemente beträgt 50 % vom Grenzwert aus (→ Tabelle 2).

Feste Wechselintervalle ohne Ölanalysen sind nach Rücksprache mit MTU zulässig.

### Grenzwerte für gebrauchte Gasmotoröle SAE 40

	Prüfmethode	Grenzwerte BR4000	Grenzwerte BR400
Viskosität bei 100 °C (mm <sup>2</sup> /s)	ASTM D445 DIN 51562	max. 17,5 min. 11,5	Neuölwert +30 % **
Gesamtbasenzahl TBN (mgKOH/g)	ASTM D2896 ISO 3771	min. 2,5 und TBN > TAN	Neuölwert -60 % **
Säurezahl, TAN (mgKOH/g)	ASTM D664	max. Neuölwert +2,5	Auf Werksanfrage
iph-Wert	ASTM D7946	min. 4	min. 4
Wasser (Vol.-%)	ASTM D6304 EN 12937 ISO 6296	max. 0,2	max. 0,2
Glykol (mg/kg)	ASTM D2982	max. 100	Auf Werksanfrage
Oxidation (A/cm)	DIN 51453	max. 20	max. 30
Nitration (A/cm)	DIN 51453	max. 20	max. 30
Verschleißelemente (mg/kg):	DIN 51399-1/-2		
Eisen (Fe)		max. 30	max. 50
Blei (Pb)		max. 20	max. 30
Aluminium (Al)		max. 10	max. 20
Kupfer (Cu)		max. 20 ***	max. 50
Zinn (Sn)		max. 5	max. 15
Silicium (Si)		max. 15 *	max. 10 *

\* Der Grenzwert für das Verschleißelement Si bezieht sich nur auf Erdgasbetrieb.

\*\* Neuölwert auf Werksanfrage

\*\*\* Während des 1. Ölwechsels (max. 3000 Bh) liegt der Grenzwert bei 50 ppm.

Tabelle 2: Grenzwerte für gebrauchte Gasmotoröle SAE 40

### Gebrauchtölanalyse

Die Ergebnisse der Ölanalysen müssen archiviert werden.

Aus den angegebenen Prüfmethoden und Grenzwerten (→ Tabelle 2) geht hervor, wann das Ergebnis einer einzelnen Ölprobeanalyse als anormal anzusehen ist. Ein anomales Ergebnis (z. B. erhöhter Ölverschleiß) erfordert eine unverzügliche Untersuchung und Behebung des festgestellten irregulären Betriebszustandes (z. B. Überprüfung der Gasaufbereitung bzw. Gasproben analysieren).

Die Grenzwerte beziehen sich auf einzelne Ölproben. Wenn die Grenzwerte erreicht oder überschritten werden, muss sofort ein Ölwechsel durchgeführt werden. Die Ergebnisse der Ölanalyse lassen nicht unbedingt einen Rückschluss auf den Verschleiß bestimmter Bauteile und Komponenten zu.

Neben den analytischen Grenzwerten sind für einen Ölwechsel auch Zustand, Betriebszustand und eventuelle Betriebsstörungen des Motors und der Anlagenperipherie maßgebend.

## 2.1.3 Motorölgrenzwerte BR500

### Grenzwerte für gebrauchte Gasmotoröle

Die nachfolgenden Grenzwerte sind bei der Bestimmung der Ölwechselintervalle für die entsprechenden Bau-  
reihen und Module zu beachten.

Wichtig		
Bei einer installierten Schmierölvolumenerweiterung müssen die nachfolgenden Grenzwerte für Eisen, Blei, Aluminium, Zinn, Chrom, Kupfer und Silizium jeweils halbiert werden. Die Grenzwertanpassung begründet sich in der größeren Durchmischung der Partikel in der Gesamtölfüllmenge. Ohne eine Anpassung der Grenzwerte wären Maßnahmen zur Schadensverhinderung nicht einleitbar.		
Eigenschaften	Prüfmethode	Grenzwerte BR500
Viskosität bei 100 °C (mm <sup>2</sup> / s)	ASTM D445 DIN 51562	max. 17,5
Gesamtbasenzahl TBN (mgKOH/ g)	ASTM D2896 ISO 3771	min. 2,5
Säurezahl, TAN (mgKOH/ g)	ASTM D664	Frischölwert +2,5
iph-Wert	ASTM D7946	min. 4
Wasser (Vol.-%)	ASTM D6304 EN 12937 ISO 6296	max. 0,2
Glykol (Vol.-%)	ASTM D2982 DIN 51375	max 0,02
Oxidation (A/ cm)	DIN 51453	max. 20
Nitration (A/ cm)	DIN 51453	max. 20
Verschleißelemente	DIN 51399-1/-2 DIN 51396	
Eisen (Fe), ppm pro 1000h		max. 20
Blei (Pb), ppm pro 1000h		max. 35
Aluminium (Al), ppm pro 1000h		max. 15
Kupfer (Cu), ppm pro 1000h		max. 15
Zinn (Sn), ppm pro 1000h		max. 10
Silizium (Si), ppm		max. 15*
Chrom (Cr), ppm pro 1000h		max. 5
Natrium (Na), ppm		max. 20
* Im Klärgaseinsatz erhöht sich der Grenzwert auf 100 mg/kg		

Tabelle 3: Grenzwerte für gebrauchte Gasmotoröle

## 2.1.4 Siliziumverbindungen im Brenngas

Siliziumverbindungen im Gas führen zu Belägen und fördern den Verschleiß. Auch Katalysatoren werden hierdurch deaktiviert. Es wird keine Gewährleistung für Schäden übernommen, die durch Siliziumverbindungen verursacht wurden.

### Siliziumbetriebswert $Si_B$

Bei Betrieb mit siliziumhaltigen Gasen muss explizit auf den Anstieg des Siliziumgehaltes im Öl geachtet werden. Hierfür den Siliziumbetriebswert  $Si_B$  mit Hilfe der nachfolgenden Formel berechnen.

$$Si_B = \text{Delta Si Ölanalyse B - A [ppm]} \quad \times \quad \frac{(\text{Ölfüllmenge} + \text{Nachfüllmenge}) [\text{Liter}]}{\text{erzeugte elektrische Arbeit [kWh]}}$$

Die Einhaltung des  $Si_B$  ist vom Betreiber mit Hilfe von Ölanalysen lückenlos nachzuweisen.

### Siliziumbetriebsgrenzwert $Si_{BG}$

Bei den Siliziumbetriebsgrenzwerten  $Si_{BG}$  wird der Betrieb mit oder ohne katalytische Abgasreinigung unterschieden.

Betrieb	$Si_{BG}$
Mit katalytischer Abgasreinigung	0
Ohne katalytische Abgasreinigung	< 0,01 (BR4000)
Ohne katalytische Abgasreinigung	< 0,02 (BR400)

Für den erforderlichen Einsatz von Oxydationskatalysatoren ist erfahrungsgemäß die Nichtnachweisbarkeit zu fordern ( $Si_B = 0$ ).

Dennoch kann es aufgrund der hohen Empfindlichkeit des Katalysators zu vorzeitigem Aktivitätsverlust vor allem beim Formaldehydumsatz kommen.

#### Wichtig

MTU schließt siliziumbedingte Schäden am Motor und Katalysator von der Gewährleistung aus.

### Beispiel zur Berechnung des Siliziumbetriebswerts $Si_B$

#### Beispieldaten zur Berechnung des Siliziumbetriebswerts $Si_B$

Delta Si zwischen Ölanalyse A und B	20	ppm (mg/kg)
Ölfüllmenge im Umlauf	800	dm <sup>3</sup>
Nachgefüllte Ölmenge	200	dm <sup>3</sup>
Erzeugte elektrische Arbeit zwischen Ölanalyse A und B	2000000	kWh

$$Si_B = 20 \text{ [ppm]} \quad \times \quad \frac{(800 + 200) \text{ [dm}^3\text{]}}{2000000 \text{ [kWh]}} = 0,01$$

## 2.1.5 Fluoreszierende Farbstoffe zur Erkennung von Leckagen im Schmierölkreislauf

Die nachfolgend aufgelisteten fluoreszierenden Farbstoffe sind freigegeben zur Erkennung von Leckagen im Schmierölkreislauf.

Hersteller	Produktbezeichnung	Anwendungskonzentration	Materialnummer	Gebindegröße	Lagerstabilität <sup>1)</sup>
Chromatech Europe B.V.	D5 1000A Chromatint Fluorescent Yellow 175	0,04 % - 0,07 %	X00067084	16 kg	2 Jahre
Cimcool, Cincinnati	Producto YFD-100	0,5 % - 1,0 %		5 Gallonen (Kanister) 55 Gallonen (Fass)	6 Monate

Tabelle 4:

<sup>1)</sup> = Ab Werksauslieferung, bezogen auf original und luftdicht verschlossene Gebinde bei frostfreier Lagerung (> 5 °C).

Die Fluoreszenz ( hellgelber Farbton) beider Farbstoffe wird mit einer UV-Lampe (365 nm) sichtbar.

## 2.1.6 Schmierfette

### **Anforderungen**

Die MTU-Bedingungen für die Freigabe von Schmierfetten sind in der Liefernorm MTL 5050 festgelegt und unter dieser Nummer erhältlich.

Die Freigabe eines Schmierfettes wird dem Hersteller schriftlich bestätigt.

### **Schmierfette für allgemeine Anwendungen**

Für alle Fettschmierstellen lithiumverseifte Fette verwenden.

Ausnahmen sind:

- Verdichterbypass, eingebaut zwischen Abgasturbolader und Ladeluftkühler
- Innenzentrierungen von Kupplungen

### **Schmierfette für Anwendungen bei höheren Temperaturen**

Für Verdichterbypass, die zwischen Abgasturbolader und Ladeluftkühler eingebaut sind, muss hochtemperaturbeständiges Fett (bis 250 °C) verwendet werden:

- Aero Shell Grease 15
- Optimol Inertox Medium

Für Verdichterbypass, die vor dem Abgasturbolader oder nach dem Ladeluftkühler angeordnet sind, genügen die Schmierfette für allgemeine Anwendungen.

### **Schmierfette für Innenzentrierungen von Kupplungen**

Schmierfette für die Innenzentrierungen:

- Esso Unirex N 3 (temperaturbeständig bis ca. 160 °C)

### **Schmierstoffe für Sonderanwendungen (nur BR4000)**

#### **Öle für Abgasturbolader**

Im allgemeinen sind Abgasturbolader mit integrierter Ölversorgung am Motorschmieröl-Kreislauf angeschlossen.

Für ABB-Abgasturbolader, die nicht am Motorschmieröl-Kreislauf angeschlossen sind, sind Turbinenöle auf Mineralölbasis der Viskositätsklasse ISO-VG 68 zu verwenden.

#### **Schmierstoffe für Bogenzahnkupplungen**

Für Bogenzahnkupplungen sind zur Schmierung je nach Einsatzfall folgende Schmierstoffe freigegeben:

- Fa. Klüber: Structovis BHD MF (strukturviskoses Schmieröl)
- Fa. Klüber: Klüberplex GE 11-680 (Getriebehaftschmierstoff)

Die Anwendung des jeweiligen Schmierstoffes bzw. dessen Betriebszeiten sind in den einschlägigen Betriebsanleitungen bzw. Wartungsplänen festgelegt.

## 2.1.7 Schmierfette für allgemeine Anwendungen

Einzelheiten und Besonderheiten siehe Kapitel "Schmierfette" (→ Seite 7)

Hersteller	Markenname	Anmerkungen
Aral AG	Mehrzweckfett Arallub HL2	
BP p.l.c.	Energrease LS2	
Castrol Ltd.	Spheerol AP2	
Chevron	Multifak EP2	
SRS Schmierstoff Vertrieb GmbH	SRS Wiolub LFK2	
Shell Deutschland GmbH	Shell Gadus S2 V220 2	
Total	Total Multis EP2	
Veedol International	Multipurpose	

*Tabelle 5:*

## 2.2 Gasmotor BR4000 - Generatoranwendung und Generatoraggregat - Marineanwendung

### 2.2.1 Freigegebene Motoröle

Einzelheiten und Besonderheiten siehe Kapitel "Allgemeines" (→ Seite 7).

#### Motoröle für Gasmotoren BR4000

Hersteller	Markenname	SAE Viskositätsklasse	Baumuster						Bemerkung / Materialnummer
			4000L61 / L62 / L63	4000L64 / L64FNER	4000L32 / L33 / L32FNER	4000L32FB	4000L62FB *	4000Mx5xN	
MTU Friedrichshafen	GEO BG Power B2L	40				X	X		20 l Gebinde: X00072870 205 l Gebinde: X00072871 IBC: X00072872
	GEO NG Power X2L	40	X						20 l Gebinde: X00072874 205 l Gebinde: X00072875 IBC: X00072876
	GEO NG Power X3L	40	X	X	X			X	20 l Gebinde: X00072877 205 l Gebinde: X00072878 IBC: X00072879

X = Freigabe für Baumuster

\* = Bei diesem Baumuster ist der zusätzliche Hinweis in der Technischen Beschreibung beim Punkt Schmierölsystem zur Auswahl des freigegebenen Motoröls zu beachten.

Tabelle 6: Motoröle für Gasmotoren BR4000

#### Wichtig

Zur Ermittlung der Motorölwechselintervalle müssen alle 250 Bh Ölproben entnommen und analysiert werden. Die Grenzwerte müssen eingehalten werden (→ Seite 8).

## Alternative Motoröle für Gasmotoren BR4000

Hersteller	Markenname	SAE Viskositätsklasse	Baumuster					
			4000L61 / L62 / L63	4000L64 / L64FNER	4000L32 / L33 / L32FNER	4000L32FB	4000L62FB **	4000Mx5xN
Addinol	MG 40 Extra LA	40				X	X	
	MG 40 Extra Plus	40					X	
BayWa AG	Tectrol MethaFlexx HC Premium	40				X	X	
Castrol Ltd.	Castrol Duratec L	40	X		X *			
Exxon Mobil Corporation	Mobil Pegasus 705	40	X		X *			
	Mobil Pegasus 805 (55 Gallonen: 23538056)	40	X		X *			
	Mobil Pegasus 1005 (55 Gallonen drum: 800019)	40	X	X				X
Fuchs Europe Schmierstoffe GmbH	Titan Ganymet Ultra	40				X	X	
	Titan Ganymet LA	40	X					
NILS S.p.A.	Burian	40					X	
Schnell Motoren GmbH	Schnell Protect Oil	40				X	X	
Shell International Petroleum Company	Shell Mysella S3 N 40	40	X		X *			
	Shell Mysella S5 N 40	40	X	X	X			
SRS Schmierstoff Vertrieb GmbH	SRS Mihagrun LA 40	40	X		X *			
Total Deutschland	Nateria MH40	40	X		X *			
	Nateria MJ40	40					X	
	Nateria MP40	40	X	X	X	X	X	X
Petro-Canada Europe Lubricants Ltd.	Sentron CG 40 (205 L Drum: 800262)	40				X	X	
	Sentron LD 5000	40	X					
	Sentron LD 8000 (205 L Drum: 800315)	40	X	X	X			X

X = Freigabe für Baumuster  
 \* Bei der Verwendung dieser Motoröle verkürzt sich die Standzeit.  
 \*\* = Bei diesem Baumuster ist der zusätzliche Hinweis in der Technischen Beschreibung beim Punkt Schmierölsystem zur Auswahl des freigegebenen Motoröls zu beachten.

Tabelle 7: Alternative Motoröle für Gasmotoren BR4000

Wichtig
Zur Ermittlung der Motorölwechselintervalle müssen alle 250 Bh Ölproben entnommen und analysiert werden. Die Grenzwerte müssen eingehalten werden (→ Seite 8).

## 2.2.2 Schmierfette für Generatoren

Die Lager werden werkseitig bei den Generatorherstellern vorgeschmiert.

Bei der Inbetriebnahme muss ein weiteres Schmiermittel eingebracht werden.

### Wichtig

Die Angabe direkt am Generator ist immer maßgebend.  
Herstellerangabe auf dem Generatortypenschild beachten.

Folgende Informationen werden herstellerseitig an den Generatoren angebracht:

- Zu verwendendes Schmierfett
- Schmiermenge
- Schmierintervall

Der gültige Wartungsplan muss beachtet werden.

Weitere Informationen sind den Herstellerunterlagen zu entnehmen.

### Wichtig

Während der ersten Betriebsstunden des Generators sollte die Temperatur der Lager überwacht werden.

### Wichtig

Eine nicht ausreichende Schmierung kann zur Übertemperatur und Schädigung der Lager führen.

## Schmierfette für Generatoren bei BR4000 Gas

Generatorhersteller	Schmierfett (MTU-Materialnummer)
Leroy-Somer	Shell Gadus S3 V220C2 (X00067217) *
	Mobil Polyrex™ EM: grade NLGI 2 (X00071899) *
Cummins	KLUEBER ASONIC GHY72 (09110145007)
Hitzinger	LUKOIL SIGNUM EPX2 (X00071900)

\* Ein Mischbetrieb der beiden Schmierfette ist gemäß Hersteller nicht möglich und somit nicht erlaubt. Herstellerangabe auf dem Generatortypenschild beachten.

## 2.2.3 Getriebeöle

### Freigegebene Schmieröle

Gilt nur bei 60 Hz Anwendungen.

Hersteller / Lieferant	Bezeichnung	SAE Viskositätsklasse	Bemerkung
Mobil	Mobilgear SHC XMP320 (5 Gallonen: 800233 / (55 Gallonen: 800232)	40	S
Mobil	SHC 632 (5 Gallonen: 800235 / (55 Gallonen: 800234)	40	S
Klüber	GEM4-320N	40	S
Total	Carter SH320	40	S

**S = Synthetisches Schmieröl**

Tabelle 8: Freigegebene Schmieröle

Wichtig
Es sind nur synthetische Getriebeölsorten zulässig.

### Füllmengen

Getriebetyp	Motor	Liter
GU 320	8V4000Lx 12V4000Lx	65
GU 395	16V4000Lx 20V4000Lx	92

Tabelle 9: Füllmengen

Der Prüflauf erfolgt bei MTU mit Mobil SHC 632.

MTU-Materialnummer:

- 09110149525 – Getriebeöl MOBIL SHC 632 (Fass)
- 09110149555 – Getriebeöl MOBIL SHC 632(Kanister)

Ölwechselintervalle:

- Siehe auch Wartungsplan von MTU und Bedienungsanleitung des Getriebeherstellers
- Erster Ölwechsel nach 500 Betriebsstunden, dann alle 6000 Betriebsstunden
- Regelmäßige Ölanalyse gemäß Wartungsplan

Das Getriebeöl im kalte Zustand genau bis zur Mitte des Schauglases auffüllen. Während des Betriebs sinkt der Ölstand am Schauglas zunächst ab, kann dann aber durch Temperaturexpansion über dieses ansteigen. Die Entlüftung erfolgt über die Labyrinthdichtung an den Wellen.

## 2.3 Gasmotor BR400 - Generatoraggregat

### 2.3.1 Freigegebene Motoröle

#### Motoröle für Saugmotoren BR400

Hersteller / Lieferant	Markenname	SAE Viskositätsklasse	Bemerkung	
MTU Friedrichshafen	GEO NG POWER X2L <sup>2)</sup>	40 <sup>1)</sup>	M	E, P

Tabelle 10: Motoröle für Saugmotoren BR400

- 1) Zulassung begrenzt auf Motorumgebungstemperatur > +10 °C  
 2) 20 l Gebinde: X00072874 / 205 l Gebinde: X00072875 / IBC: X00072876  
 M Mineralisches Motoröl  
 E Erdgas  
 P Propangas

#### Alternativ Motoröle für Saugmotoren BR400

Hersteller / Lieferant	Markenname	SAE Viskositätsklasse	Bemerkung	
Addinol Lube Oil GmbH	ECO GAS 4000 XD	40 <sup>1)</sup>	M	E, P
	MG 40 Extra LA	40 <sup>1)</sup>	M	E, P
AUTOL	ELA 40	40 <sup>1)</sup>	M	E, P
AVIA AG	LA 40	40 <sup>1)</sup>	M	E, P
	LA Plus 40	40 <sup>1)</sup>	M	E, P
Castrol	Duratec HPL	40 <sup>1)</sup>	M	E, P
	Duratec XPL	40 <sup>1)</sup>	S	E, P
BayWa AG	TECTROL Methaflexx HC Premium	40 <sup>1)</sup>	M	E, P
	TECTROL Methaflexx NG	40 <sup>1)</sup>	M	E, P
Eni Schmiertechnik GmbH	Eni Geum 40	40 <sup>1)</sup>	M	E, P
ExxonMobil	SHC Pegasus 40	40 <sup>1)</sup>	S	E, P
	Pegasus 605	40 <sup>1)</sup>	M	E, P
	Pegasus 705	40 <sup>1)</sup>	M	E, P
	Pegasus 805	40 <sup>1)</sup>	M	E, P
	Pegasus 1005	40 <sup>1)</sup>	M	E, P
	Pegasus 1107	40 <sup>1)</sup>	M	E, P
Fuchs Europe Schmierstoffe GmbH	Titan Ganymet LA	40 <sup>1)</sup>	M	E, P
	Titan Ganymet Ultra	40 <sup>1)</sup>	M	E, P
Kuwait Petroleum	Q8 Mahler MA	40 <sup>1)</sup>	M	E, P
Petro-Canada Europe Lubricants Ltd.	Sentron LD 5000	40 <sup>1)</sup>	M	E, P
	Sentron LD 8000	40 <sup>1)</sup>	M	E, P
Shell International Petroleum Company	Shell Mysella S5 N 40	40 <sup>1)</sup>	M	E, P

Hersteller / Lieferant	Markenname	SAE Viskositätsklasse	Bemerkung	
			M	E, P
Shell International Petroleum Company	Shell Mysella S5 S 40	40 <sup>1)</sup>	M	E, P
Total Deutschland	Total Nateria MP40	40 <sup>1)</sup>	M	E, P

Tabelle 11: Alternativ Motoröle für Saugmotoren BR400

- 1) Zulassung begrenzt auf Motorumgebungstemperatur > +10 °C  
S Synthetisches Motoröl  
M Mineralisches Motoröl  
E Erdgas  
P Propangas

## Motoröle für Turbomotoren BR400

Hersteller / Lieferant	Markenname	SAE Viskositätsklasse	Bemerkung		
			M	E, P	K
MTU Friedrichshafen	GEO NG POWER X2L <sup>2)</sup>	40 <sup>1)</sup>	M	E, P	K
	GEO BG POWER B2L <sup>3)</sup>	40 <sup>1)</sup>	M	B	K

Tabelle 12: Motoröle für Turbomotoren BR400

- 1) Zulassung begrenzt auf Motorumgebungstemperatur > +10 °C  
2) 20 l Gebinde: X00072874 / 205 l Gebinde: X00072876 / IBC: X00072875  
3) 20 l Gebinde: X00072870 / 205 l Gebinde: X00072872 / IBC: X00072871  
M Mineralisches Motoröl  
E Erdgas  
P Propangas  
B Biogas  
K für Katalysator geeignet

## Alternative Motoröle für Turbomotoren BR400

Hersteller / Lieferant	Markenname	SAE Viskositätsklasse	Bemerkung		
			M	B	K
AUTOL	BGJ 40	40 <sup>1)</sup>	M	B	K
	ELA 40	40 <sup>1)</sup>	M	E, P	K
AVIA AG	HA 40	40 <sup>1)</sup>	M	B	K
	LA 40	40 <sup>1)</sup>	M	E, P	K
	LA Plus 40	40 <sup>1)</sup>	M	E, P	K
Addinol Lube Oil GmbH	ECO GAS 4000 XD	40 <sup>1)</sup>	M	E, P	K
	MG 40 Extra Plus	40 <sup>1)</sup>	M	B	K
	MG 40 Extra LA	40 <sup>1)</sup>	M	E, P	K
NILS	Burian	40 <sup>1)</sup>	M	B	K
BayWA AG	TECTROL Methaflexx D	40 <sup>1)</sup>	M	B	K
	TECTROL Methaflexx HC Plus	40 <sup>1)</sup>	M	B	K
	TECTROL Methaflexx HC Premium	40 <sup>1)</sup>	M	E, P	K
	TECTROL Methaflexx HC Premium	40	M	B	SRK
	TECTROL Methaflexx NG	40 <sup>1)</sup>	M	E, P	K

TIM-ID: 0000063541 - 007

Hersteller / Lieferant	Markenname	SAE Viskositätsklasse	Bemerkung		
Castrol	Duratec HPL	40 <sup>1)</sup>	M	E, P	K
	Duratec XPL	40 <sup>1)</sup>	S	E, P	K
Chevron Texaco	Geotex LF 40	40 <sup>1)</sup>	M	B	K
Eni Schmiertechnik GmbH	Eni Geum 40	40 <sup>1)</sup>	M	E, P	K
ExxonMobil	SHC Pegasus 40	40 <sup>1)</sup>	S	E, P	K
	Pegasus 605	40 <sup>1)</sup>	M	E, P	K
	Pegasus 610	40 <sup>1)</sup>	M	B	K
	Pegasus 705	40 <sup>1)</sup>	M	E, P	K
	Pegasus 710	40 <sup>1)</sup>	M	B	K
	Pegasus 805	40 <sup>1)</sup>	M	E, P	K
	Pegasus 1107	40 <sup>1)</sup>	M	E, P	K;
Fuchs Europe Schmierstoffe GmbH	Titan Ganymet	40 <sup>1)</sup>	M	B	K
	Titan Ganymet LA	40 <sup>1)</sup>	M	E, P	K
	Titan Ganymet Plus	40 <sup>1)</sup>	M	B	K
	Titan Ganymet Ultra	40 <sup>1)</sup>	M	E, P	K
	Titan Ganymet Ultra	40 <sup>1)</sup>	M	B	SRK
Hessol Lubrication GmbH	Hessol Gasmotorenöl	40 <sup>1)</sup>	M	B	K
Kuwait Petroleum	Q8 Mahler HA	40 <sup>1)</sup>	M	B	K
	Q8 Mahler MA	40 <sup>1)</sup>	M	E, P	K
Petro-Canada Europe Lubricants Ltd.	Sentron CG 40	40 <sup>1)</sup>	M	B	K
	Sentron LD 5000	40 <sup>1)</sup>	M	E, P	K
	Sentron LD 8000	40 <sup>1)</sup>	M	E, P	K
Shell International Petroleum Company	Shell Mysella S5 N 40	40 <sup>1)</sup>	M	E, P	K
Shell International Petroleum Company	Shell Mysella S5 S 40	40 <sup>1)</sup>	M	E, P, B	K
Total Deutschland	Total Nateria MJ40	40 <sup>1)</sup>	M	B	K
Total Deutschland	Total Nateria MP40	40 <sup>1)</sup>	M	E, P	K

Tabella 13: Alternative Motoröle für Turbomotoren BR400

1) Zulassung begrenzt auf Motorumgebungstemperatur > +10 °C

S Synthetisches Motoröl

M Mineralisches Motoröl

E Erdgas

P Propangas

B Biogas

K für Katalysator geeignet

SRK Schwefelresistenter Katalysator

## 2.3.2 Motorölwechselintervalle

### Mineralöl – Motorölsystem mit Ölabspritzung und Zusatzvolumen

Wenn das Zusatzvolumen wie z. B. 800 l für E3066Dx vergrößert wird, erhöht sich auch das Ölwechselintervall auf das 4-fache der Angabe für das Zusatzvolumen von 200 l.

Auch in diesen Fällen sind regelmäßige Ölanalysen erforderlich.

Bezeichnung Module / Aggregate mit Motor- typ	Motorölsystem mit Ölabspritzung und Zusatzvolumen	
	Ölwechsel nach Betriebsstun- den	Min. Größe des Zusatzvolumens
E3066D1-D3	2500	200 l
E3066D4	3000	200 l
E3066Lx/Zx	1000	120 l
E3042D1-D3	1250	200 l
E3042D4	1500	200 l
E3042Lx/Zx	1000	200 l
E3042Lx/Zx	5000 (oder Ölanalyse)	1000 l
B3066Lx/Zx	1000	200 l
B3042Lx/Zx	1000	300 l

Tabelle 14: Mineralöl – Motorölsystem mit Ölabspritzung und Zusatzvolumen

### Mineralöl – Motorölsystem nur mit Frischölnachfüllung (ohne Ölabspritzung)

Bezeichnung Module / Aggregate mit Motor- typ	Motorölsystem nur mit Frischölnachfüllung (ohne Ölabspritzung)	
	Ölwechsel nach Betriebsstun- den	Empfohlene Größe Frischölbe- hälter
E3066D1-D3	600	60 l
E3066Lx/Zx	300	60 l
E3042D1-D3	600	60 l
E3042Lx/Zx	300	60 l

Tabelle 15: Mineralöl – Motorölsystem nur mit Frischölnachfüllung (ohne Ölabspritzung)

### Synthetiköl – Motorölsystem mit Ölabspritzung und Zusatzvolumen

Wenn das Zusatzvolumen wie z. B. 800 l für E3066Dx vergrößert wird, erhöht sich auch das Ölwechselintervall auf das 4-fache der Angabe für das Zusatzvolumen von 200 l.

Auch in diesen Fällen sind regelmäßige Ölanalysen erforderlich.

Bezeichnung Module / Aggregate mit Motor- typ	Motorölsystem mit Ölabspritzung und Zusatzvolumen	
	Ölwechsel nach Betriebsstun- den	Min. Größe des Zusatzvolumens
E3066Lx/Zx	2000	200 l
E3042Lx/Zx	1000	160 l
E3042Lx/Zx	8000 (oder Ölanalyse)	1000 l

Tabelle 16: Synthetiköl – Motorölsystem mit Ölabspritzung und Zusatzvolumen

## Synthetiköl – Motorölsystem nur mit Frischölnachfüllung (ohne Ölabspritzung)

Bezeichnung Module / Aggregate mit Motor- typ	Motorölsystem nur mit Frischölnachfüllung (ohne Ölabspritzung)	
	Ölwechsel nach Betriebsstun- den	Empfohlene Größe Frischölbe- hälter
E3066D1-D3	1250	50 l
E3066D4	1500	50 l
E3066Lx/Zx	600	50 l
E3042D1-D3	1250	100 l
E3042D4	1500	100 l
E3042Lx/Zx	600	100 l

Tabella 17: Synthetiköl – Motorölsystem nur mit Frischölnachfüllung (ohne Ölabspritzung)

### 2.3.3 Schmierfette für Generatoren

#### Schmierfette für Generatoren BR400

Generatorhersteller	Schmierfett
Leroy-Somer	Lebensdauer geschmiert

  

Wichtig
Herstellerangabe auf dem Generatortypenschild beachten.

## 2.4 Gasmotor BR500 - Generatoraggregat

### 2.4.1 Freigegebene Motoröle

Für die Gasmotoren müssen spezielle Gasmotoröle verwendet und nach beschriebenen Kriterien bewertet werden.

Zugelassene Produkte für alle Baureihen sowie die entsprechenden Probensets können direkt über MTU bezogen werden.

#### Wichtig

Die Verwendung von Ölzusatzmitteln ist untersagt.

Bei Überschreitung der Schadstoffgrenzwerte, die den Ölzustand negativ beeinflussen (insbesondere Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S)), müssen die Ölwechselintervalle in Absprache mit der MTU verkürzt werden.

Hersteller / Lieferant	Markenname
Shell	Mysella S5 S40
Mobil	Pegasus 1005
Addinol	Eco Gas 4000 XD

Tabelle 18: Freigegebene Öle für Erdgas/Schwachgas (Biogas, Klärgas, Syngas,...)

Das Ölvolument setzt sich wie folgt zusammen:

Motor	Motorölwanne	Zusatztank im Grundrahmen (Option)	Summe
12V500	90 l	190 l	280 l
8V500	60 l	140 l	200 l
6R500	40 l	100 l	140 l

Tabelle 19: Zusammensetzung des Ölolumens

## 2.4.2 Motorölwechselintervalle

Die Motorölstandzeiten sind anhand von regelmäßigen Ölanalysen in Abhängigkeit von den Betriebsbedingungen zu bestimmen.

Der Ölwechsel muss stets in Abhängigkeit des Motorölzustandes erfolgen.

### Ölprobenintervalle

Während des ersten Ölintervalls sind Probenintervalle von 250 Bh, beginnend bei 250 Bh einzuhalten. Nach der dritten Probenentnahme, folglich nach 750 Bh, ist in jedem Fall ein Ölwechsel durchzuführen.

Anhand der letzten Probe kann eine Standzeitprognose für das nächste Ölintervall abgegeben werden. MTU empfiehlt bei den ersten drei Ölfüllungen eines Motors stets bei spätestens 500 Bh mit der Beprobung im 250-Bh-Takt zu beginnen, da sich in der Einlaufphase eines Motors noch größere Änderungen in der Ölbeanspruchung ergeben können.

#### Wichtig

MTU empfiehlt eine kontinuierliche Überwachung der Gasqualität. Nur bei Einhaltung der geforderten Gasqualität und geringen Schwankungen können die Probenintervalle gewährleistet werden. Bei nicht ausreichender Überwachung der Gasqualität sind kürzere Ölprobenintervalle nötig.

Der Ölwechsel muss zustandsabhängig erfolgen. Der Betreiber muss sicherstellen, dass der aus den Analysen resultierende Trend nicht zu einer Überschreitung der genannten Grenzwerte führt (→ Seite 10).

Insbesondere beim Schwachgaseinsatz wird empfohlen, einen Puffer zu den maximalen Ölgrenzwerten einzuhalten. MTU empfiehlt den Wechsel bei Erreichen von 80 % der Verschleißwerte.

Nach größeren Instandhaltungsmaßnahmen (z. B. einer Revision) oder dem Wechsel der Ölsorte ist das Vorgehen zur Bestimmung der Ölwechselintervalle gemäß obiger Anleitung erneut durchzuführen.

Je Motor einer Anlage ist nach Austesten der anlagenspezifischen Öllebensdauer jede weitere Ölfüllung ebenfalls wieder zu analysieren. Für die weitere laufende analytische Betriebsüberwachung bzw. für die risikoarme Maximierung der Öleinsatzzeit wird vorgeschrieben,

- bei ca. 60 %,
- bei ca. 80 % und
- bei ca. 100 %

der ausgetesteten bzw. statistisch erwartbaren Öllebensdauer Gebrauchtölanalysen durchzuführen.

Unabhängig vom Ölwechselintervall ist in jeden Fall sicherzustellen, dass das Ölanalysenintervall 500 Bh nicht überschreitet. Bei Schwachgasanwendung mit stark schwankender Brenngasqualität ist mit einem deutlich reduzierten maximalen Ölanalyseintervall von 100 Betriebsstunden zu rechnen.

Vor Durchführung eines jeden Ölwechsels ist zuvor eine Probe zu entnehmen und zur Analyse zu schicken.

### Schwachgasbetrieb

Im Schwachgasbetrieb ist damit zu rechnen, dass je nach gegebener Treibgasgüte eine Reduzierung der Ölstandzeit erforderlich wird.

Eine Reduzierung der Ölwechselintervalle ist erforderlich, wenn eine konstante Gasqualität nicht gewährleistet werden kann bzw. die Gasqualität größeren Schwankungen unterliegt (z. B. im Einsatz von Synthesegasen).

### Ölfilter

Der oder die Ölfilter sind bei jedem Ölwechsel auszutauschen.

Bei langen Ölstandzeiten (> 1000 h) oder bei einer geringen jährlichen Auslastung des Motors ist der Ölfilter unabhängig vom Ölwechsel mindestens einmal im Jahr oder bei jeder planmäßigen Regelwartung auszutauschen.

## 2.4.3 Ölvolumen

### Ölvolumenerweiterung und Leitungssysteme

Wenn sich eine nicht voll zufriedenstellende Öllebensdauer ergibt, so kann durch Vergrößerung des Motorölinhaltes mit der Option „Ölvolumenerweiterung“ die Öllebensdauer verlängert werden.

#### Umölvorgang

Um die beschriebenen Einflüsse auf ein Minimum zu beschränken empfiehlt MTU die folgende Umölprozedur:

1. Das Öl der ursprünglichen Marke weitestgehend vollständig ablassen.
2. Die neue Ölsorte bis zur Minimalmarkierung des Motors auffüllen.
3. Den Motor für 2 Stunden bei Volllast betreiben.
4. Öl- und Filterwechsel durchführen.

Die erreichbare Ölstandzeit ist mittels des beschriebenen Vorgehens erneut zu überprüfen, siehe (→ Seite 26).

#### Wichtig

Der Ölvorratsstank sowie alle Leitungen sind entsprechend mit dem neuen Öl zu spülen, um auch hier die Einflüsse gering zu halten.

## 2.4.4 Schmierfette für Generatoren

### Schmierfette für Generatoren BR500

Generator	Schmierfett
LSAH 44.3 LSA 49.1 / 49.3 optional LSA 46.3 / 46.1 / 47.2	Esso Unirex N3
Wichtig	
Herstellerangabe auf dem Generatortypenschild beachten.	

# 3 Kühlmittel

## 3.1 Allgemeines

### 3.1.1 Definition Kühlmittel

#### Wichtig

Sicherstellen, dass Betriebsstoffe in entsprechend großen Auffangbehältern aufgefangen werden. Sicherheitsdatenblätter beachten und Betriebsstoffe nach länderspezifischen Vorgaben entsorgen.

Kühlmittel =

Kühlmittelzusatz (Konzentrat) + Frischwasser in vorgegebenem Mischungsverhältnis

- Einsatzfertig für die Anwendung im Motor

Frostschutzmittel =

Korrosionsinhibitor + Glykol + Additive + Wasser

- In den Vorgängerversionen der Betriebsstoffvorschriften wurde der Begriff "Korrosionsgefrierschutzmittel" verwendet. Zum besseren Verständnis wird der Begriff "Frostschutzmittel" verwendet.

Frostschutz ist erforderlich bei Motoren in Einsatzgebieten, in denen Temperaturen unter dem Gefrierpunkt auftreten können.

Der jeweilige Anwendungskonzentrationsbereich ist im Abschnitt Betriebsüberwachung angegeben.

Kühlmittel ohne Frostschutz =

Korrosionsinhibitor + Additive + Wasser

- In den Vorgängerversionen der Betriebsstoffvorschriften wurde der Begriff "wasserlösliche Korrosionsschutzmittel" verwendet. Diese Bezeichnung wird ab sofort durch die Bezeichnung "Kühlmittel ohne Frostschutz" ersetzt.

Von MTU freigegebene Kühlmittel haben gute Korrosionsschutzwirkung unter der Voraussetzung, dass sie in ausreichender Konzentration eingesetzt werden. Der jeweilige Anwendungskonzentrationsbereich ist im Abschnitt Betriebsüberwachung angegeben.

Freigegebene Kühlmittelzusätze sind in folgenden Kapiteln angegeben:

- Für BR4000 Gasmotor – Marineanwendung (→ Seite 43)
- Für BR4000 Gasmotor – Generatoranwendung und Generatoraggregat (→ Seite 53)
- Für BR400 Gasmotor – Generatoraggregat (→ Seite 62)
- Für BR500 Gasmotor – Generatoraggregat (→ Seite 65)

Bestehende Sondervereinbarungen bleiben weiterhin gültig.

#### Wichtig

In Verbindung mit messinghaltigen Kühlern dürfen keine nitrithaltigen Kühlmittelzusätze verwendet werden.

#### Wichtig

Bei jedem Kühlmittelwechsel auf ein anderes Produkt muss ein Spüllauf mit Wasser durchgeführt werden. Für Spül- und Reinigungsvorschriften für Motorkühlmittelkreisläufe, siehe (→ Seite 100).

## Hinweis

- In manchen Anwendungsgebieten ist die Verwendung von Frostschutzmitteln auf Propylenglykolbasis vorgeschrieben. Diese Produkte besitzen eine geringere Wärmeleitfähigkeit als die gebräuchlichen Ethylenglykolprodukte. Dadurch tritt im Motor ein erhöhtes Temperaturniveau auf.
- Für den Einsatz bei sehr niedrigen Temperaturen (-65°C/ arktische Regionen) steht das Produkt BASF G206 zur Verfügung. Dieses Produkt wird zukünftig nicht mehr zur Verfügung stehen. Lagerbestände innerhalb der Haltbarkeit können aufgebraucht werden. Bitte wenden Sie sich an Ihren MTU-Ansprechpartner.

Eine korrosionsschützende Wirkung der Kühlmittel wird nur durch einen voll gefüllten Kühlkreislauf gewährleistet.

Nur die zugelassenen Korrosionsschutzmittel zur Innenkonservierung des Kühlkreislaufs bieten auch bei abgelassenem Medium einen ausreichenden Korrosionsschutz. Das heißt, dass nach Ablassen des Kühlmittels eine Konservierung des Kühlkreislaufs erfolgen muss wenn keine Kühlmittelneubefüllung erfolgt. Die Vorgehensweise ist in der Konservierungsvorschrift A001070/... beschrieben.

Die Kühlmittelfüllung muss aus geeignetem Frischwasser und einem von MTU freigegebenem, Kühlmittelzusatz aufbereitet werden. Die Aufbereitung des Kühlmittels muss außerhalb des Motors vorgenommen werden.

### Wichtig

Mischungen verschiedener Kühlmittelzusätze sowie Zusatzadditive (auch in Kühlwasserfiltern und Filtern nach Anlagenkomponenten) sind nicht zugelassen.

### Wichtig

Bei Fertigmischungen wird der Anteil an Kühlmittelzusatz (Konzentrat) immer zuerst genannt.  
Beispiel: Coolant AH 40/60 Antifreeze Premix = 40 Vol.-% Kühlmittelzusatz / 60 Vol.-% Frischwasser

### 3.1.2 Betriebsüberwachung / Kühlmittelaufbereitung für BR4000 und BR400

Die Überprüfung des Frischwassers und laufende Überwachung des Kühlmittels sind für einen störungsfreien Motorbetrieb sehr wichtig. Die Überprüfung des Frischwassers und des Kühlmittels muss mindestens einmal jährlich bzw. bei jeder Befüllung erfolgen und kann mit Hilfe des MTU-Prüfkoffers oder durch ein beauftragtes Labor durchgeführt werden. Der MTU-Prüfkoffer enthält alle erforderlichen Geräte, Chemikalien und eine Gebrauchsanweisung.

Untersuchung	Methode vor Ort (MTU Prüfkoffer)	Labormethode
Bestimmung der Wasserhärte	Titration	Bestimmung der Ca und Mg Werte mittels ICP und Berechnung der Härte in °dH bzw. mmol/l
pH-Wert Bestimmung	pH-Stäbchen mit geeignetem Messbereich	ASTM D 1287
Bestimmung des Chloridgehalts	Titration	IC
Bestimmung des Sulphatgehalts	-	IC
Bestimmung des Siliziumgehalts	-	ICP
Konzentrationsermittlung wässrige Kühlmittel	Brix Refraktometer, Brixzahl mit Tabelle (→ Tabelle 22) vergleichen und Vol.-% ablesen	Refraktometermethode DIN 5 1423, Brix-Wert mit Tabelle (→ Tabelle 22) vergleichen und Vol.-% ablesen
Konzentrationsermittlung Frostschutzmittel	Glykol-Refraktometer, Vol.-% direkt ablesbar	Refraktometermethode DIN 5 1423, Berechnung über Berechnungsindex oder produktspezifischen Faktor
Keimzahlbestimmung für wässrige Medien	-	Dipslides (Röhrchen mit Nährbodenträger z.B. von VWR Prolabo Nr. 535 112D oder vergleichbare) Inkubationszeit: 4 Tage 30 °C

Tabelle 20: Minimalanforderung und Methodik Betriebsüberwachung Kühlmittel

Die Untersuchung des Frischwassers und der Kühlmittel können bei MTU in Auftrag gegeben werden. Eine Betriebsüberwachung kann in spezifischen Fällen über den Umfang der in Tabelle (→ Tabelle 20) gemachten Angaben hinausgehen. Bei Bedarf kontaktieren Sie hierzu bitte ihren MTU-Ansprechpartner.

#### Zulässige Konzentrationen von Frostschutzmitteln

	Minimum			Maximum
Frostschutzmittel auf Ethylenglykolbasis	35 Vol.-%	40 Vol.-%	45 Vol.-%	50 Vol.-%
Mit Frostschutz bis*	-20 °C	-25 °C	-31 °C	-37 °C
BASF G206	65 Vol.-% zur Anwendung bei Außentemperaturen bis zu -65 °C in arktischen Regionen			
* = Frostschutzangaben ermittelt nach ASTM D 1177				

Tabelle 21: Zulässige Konzentrationen von Frostschutzmitteln

#### Wichtig

Nach Spülung des Motorkühlwasserkreislaufs darf die Konzentration des Frostschutzmittels 35 Vol.-% nicht unterschreiten.

Frostschutzmittel werden dem Frischwasser in einer Konzentration von mindestens 35 Vol.-% beigemischt, wenn ein Frostschutz bis - 20 °C ausreichend ist. Wenn niedrigere Umgebungstemperaturen erwartet werden, muss die Konzentration entsprechend erhöht werden. Es darf keine Konzentration über 50 Vol.-% entstehen.

Gemische, in denen der Anteil des Frostschutzmittels unter 35 Vol.-% liegt, gewährleisten keinen ausreichenden Korrosionsschutz

Das aufbereitete Wasser im Sommer- und Winterbetrieb verwenden. Kühlmittelverluste so ausgleichen, dass die Frostschutzmittelkonzentration erhalten bleibt.

### Zulässige Konzentrationen – Kühlmittel ohne Frostschutz für alle Anwendungen

Zulässiger Konzentrationsbereich	Hersteller	Markenname	Ablesewert am Handrefraktometer <sup>1)</sup> bei 20 °C (= Brixzahl) Vol.-%					
			7	8	9	10	11	12
			9 bis 11 Vol.-%	MTU Friedrichshafen	Coolant CS 100 Corrosion Inhibitor Concentrate	3,5	4,0	4,5
		Coolant CS 10/90 Corrosion Inhibitor Premix	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
	MTU America	Power Cool® Plus 6000	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
	Arteco	Freecor NBI	Bitte Testkit des Herstellers verwenden					
	BASF SE	Glyscorr G93 green	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
	CCI Corporation	A 216	4,9	5,6	6,3	7,0	7,7	8,4
	CCI Manufacturing IL Corporation	A 216	4,9	5,6	6,3	7,0	7,7	8,4
	Chevron	Texcool A-200	Bitte Testkit des Herstellers verwenden					
	Detroit Diesel Corporation	Power Cool Plus 6000	4,9	5,6	6,3	7,0	7,7	8,4
	Drew Marine	Drewgard XTA	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
	ExxonMobil	Mobil Delvac Extended Life Corrosion Inhibitor	4,9	5,6	6,3	7,0	7,7	8,4
	Ginouvés	York 719	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
	Old World Industries Inc.	Final Charge Extended Life Corrosion Inhibitor (A 216)	4,9	5,6	6,3	7,0	7,7	8,4
	Valvoline	Zerex G-93	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0

<sup>1)</sup> = Konzentrationsermittlung mittels geeignetem Handrefraktometer

Tabelle 22: Zulässige Konzentrationen – Kühlmittel ohne Frostschutz für alle Anwendungen

Das Handrefraktometer mit klarem Wasser bei Kühlmitteltemperatur kalibrieren. Die Kühlmitteltemperatur sollte 20 °C betragen. Die Angaben des Herstellers beachten.

**Wichtig**  
Nach Spülung des Motorkühlwasserkreislaufs darf die Konzentration des Korrosionsmittels 9 Vol.-% nicht unterschreiten.

## Zulässige Konzentrationen – zusätzliche Kühlmittel ohne Frostschutz ausschließlich für Marine (leichtmetallfrei)

Zulässiger Konzentrationsbereich	Hersteller	Markenname	Ablesewert am Handrefraktometer <sup>1)</sup> bei 20 °C (= Brixzahl) Vol.-%					
			7	8	9	10	11	12
7 bis 11 Vol.-%	Arteco	Havoline Extended Life Corrosion Inhibitor XLI [EU 32765]	2,6	3,0	3,4	3,7	4,1	4,4
	Chevron Lubricants	Delo XLI Corrosion Inhibitor- Concentrate	2,6	3,0	3,4	3,7	4,1	4,4
	Nalco Water An Ecolab Company	Alfloc™ 3443	1,75	2,0	2,25	2,5	2,75	3,0
		Alfloc™ 3477	1,75	2,0	2,25	2,5	2,75	3,0
	PrixMax Australia Pty. Ltd.	PrixMax RCP	2,6	3,0	3,4	3,7	4,1	4,4
Total	WT Supra	2,6	3,0	3,4	3,7	4,1	4,4	
5 bis 6 Vol.-%	Fleetguard	DCA-4L	Bitte Testkit des Herstellers verwenden					
3 bis 4 Vol.-%	Detroit Diesel Corporation	Power Cool 2000	Bitte Testkit des Herstellers verwenden					
	Nalco Water An Ecolab Company	Nalcool® 2000						
	Penray	Pencool 2000						

<sup>1)</sup> = Konzentrationsermittlung mittels geeignetem Handrefraktometer

Tabelle 23: Zulässige Konzentrationen – zusätzliche Kühlmittel ohne Frostschutz ausschließlich für Marine (leichtmetallfrei)

Das Handrefraktometer mit klarem Wasser bei Kühlmitteltemperatur kalibrieren. Die Kühlmitteltemperatur sollte 20 °C betragen. Die Angaben des Herstellers beachten.

## Zulässige Konzentrationen – Frostschutzmittel auf Ethylenglykolbasis

Die Konzentrationsermittlung erfolgt mittels geeignetem Glykolrefraktometer und direktem Ablesen des Skalenwerts in Vol.-%.

### Eichtabelle für Frostschutzmittel für besondere Anwendungen

Ablesewert am Handrefraktometer bei 20 °C (=Brixzahl)		Entspricht einer Konzentration von
I. Propylenglycol Frostschutzmittel	II. BASF G206	
26,3	24,8	35 Vol.-%
26,9	25,5	36 Vol.-%
27,5	26,1	37 Vol.-%
28,2	26,7	38 Vol.-%
28,8	27,4	39 Vol.-%
29,5	28,0	40 Vol.-%
30,1	28,6	41 Vol.-%

Ablesewert am Handrefraktometer bei 20 °C (=Brixzahl)		Entspricht einer Konzentration von
I. Propylenglycol Frostschutzmittel	II. BASF G206	
30,8	29,2	42 Vol.-%
31,3	29,8	43 Vol.-%
31,9	30,4	44 Vol.-%
32,5	30,9	45 Vol.-%
33,1	31,5	46 Vol.-%
33,7	32,1	47 Vol.-%
34,2	32,6	48 Vol.-%
34,8	33,2	49 Vol.-%
35,3	33,8	50 Vol.-%
	34,4	51 Vol.-%
	34,9	52 Vol.-%
	35,5	53 Vol.-%
	36,1	54 Vol.-%
	36,7	55 Vol.-%
	37,2	56 Vol.-%
	37,8	57 Vol.-%
	38,3	58 Vol.-%
	38,9	59 Vol.-%
	39,4	60 Vol.-%
	39,9	61 Vol.-%
	40,5	62 Vol.-%
	41,0	63 Vol.-%
	41,5	64 Vol.-%
	42,0	65 Vol.-%

Tabelle 24: Eich Tabelle für Frostschutzmittel für besondere Anwendungen

### Grenzwerte für Kühlmittel

pH-Wert bei Verwendung von		
- Frostschutzmittel	min. 7,5	max. 9,0
- Kühlmittel ohne Frostschutz für Motoren mit Leichtmetallanteilen	min. 7,5	max. 9,0
- Kühlmittel ohne Frostschutz für Motoren ohne Leichtmetallanteile	min. 7,5	max. 11,0
- Silicium (gültig für Si-haltige Kühlmittel)	min. 25 mg/l	

**Wichtig**  
 Zur ganzheitlichen Beurteilung einer Kühlmittelfunktionalität sind neben den oben genannten Grenzwerten auch die jeweils kühlmittelspezifischen Kenndaten sowie die verwendete Frischwasserqualität zu berücksichtigen.

### 3.1.3 Lagerstabilität der Kühlmittelkonzentrate

Die Angabe der Lagerstabilität basiert auf original verschlossenen und luftdichten Gebinden bei einer Lager-temperatur bis max. 30 °C.

Herstellerangaben beachten.

Kühlmittelkonzentrat	Grenzwert	Markenname / Bemerkungen
Frostschutzmittel	ca. 3 Jahre	Herstellerangaben beachten
Propylenglykohlhaltige Produkte	3 Jahre	BASF G206
Kühlmittel ohne Frostschutz	2 Jahre	Arteco Freecor NBI Chevron Texcool A-200 Detroit Diesel Corp. Power Cool 2000 ImproChem Cool-C18 Nalco Nalcool® 2000 Penray Pencool 2000 PrixMax RCP
	3 Jahre	BASF Glyscorr G93 green Drew Marine Drewgard XTA Ginouves York 719 MTU Friedrichshafen Coolant CS100 MTU America Power Cool® Plus 6000 Nalco Alfloc™ 3477 Valvoline ZEREX G-93
	5 Jahre	Arteco Havoline Extended Life Corrosion Inhibitor XLI [EU 032765] CCI Corporation A216 CCI Manufacturing IL A216 Chevron Delo XLI Corrosion Inhibitor Concentrate Detroit Diesel Corp. Power Cool Plus 6000 ExxonMobil Mobil Delvac Extended Life Corrosion Inhibitor Fleetguard DCA-4L Old World Industries Final Charge Extended Life Corrosion Inhibitor (A216) Total WT Supra

Tabelle 25: Lagerstabilität der Kühlmittelkonzentrate

#### Hinweis

- Das Produkt BASF G206 wird zukünftig nicht mehr zur Verfügung stehen. Lagerbestände innerhalb der Haltbarkeit können aufgebraucht werden. Bitte wenden Sie sich an Ihren MTU-Ansprechpartner.
- Eine Lagerung darf aus Korrosionsschutzgründen nicht in verzinkten Behältern erfolgen. Dies ist bei etwaigen Umfüllerfordernissen zu berücksichtigen.
- Behälter dicht verschlossen an einem kühlen, trockenen Ort lagern. Im Winter auf Frostschutz achten.
- Weitere Informationen sind den Produkt- und Sicherheitsdatenblättern der einzelnen Kühlmittel zu entnehmen.

### 3.1.4 Farbzusätze zur Erkennung von Leckagen im Kühlmittelkreislauf

Der nachfolgend aufgelistete fluoreszierende Farbstoff ist freigegeben als Zusatz für Kühlmittel ohne Frostschutz und Frostschutzmittel zur Erkennung von Leckagen.

Hersteller	Produktbezeichnung	Materialnummer	Gebindegröße	Lagerstabilität <sup>1)</sup>
Chromatech Inc. Chromatech Europe B.V.	D11014 Chromatint Uranine Conc	X00066947	20 kg	2 Jahre

Tabelle 26: Freigegebene Farbzusätze

<sup>1)</sup> = Bezogen auf original und luftdicht verschlossene Gebinde bei frostfreier Lagerung (> 5 °C)

#### **Anwendung:**

Es sind ca. 40 g Farbstoff auf 180 l Kühlmittel zuzugeben.

Diese Farbstoffmenge ist großzügig ausgelegt und nicht zu überschreiten.

Die Fluoreszenz (gelber Farbton) ist bei Tageslicht gut erkennbar. In dunklen Räumen kann UV-Licht mit einer Wellenlänge von 365 nm verwendet werden.

### 3.1.5 Vermeidung von Schäden im Kühlsystem

- Beim Nachfüllen (nach Kühlmittelverlust) ist darauf zu achten, dass nicht nur mit Wasser sondern auch mit Konzentrat nachgefüllt wird. Der vorgeschriebene Frostschutz bzw. Korrosionsschutz muss erreicht sein.
- Nicht mehr als 50 Vol.-% Frostschutzmittel verwenden. Die Gefrierschutzeigenschaft wird sonst verringert und die Wärmeabfuhr verschlechtert. Einzige Ausnahme: BASF G206 (besondere Anwendung)
- Das Kühlmittel darf keine Öl- oder Kupferrückstände (in fester oder gelöster Form) aufweisen.
- Derzeit zugelassene Korrosionsschutzmittel zur Innenkonservierung des Kühlkreislaufs sind überwiegend auf wässriger Basis und bieten keinen Frostschutz. Da nach Ablassen des Mediums noch eine Restmenge im Motor verbleibt, ist darauf zu achten, dass konservierte Motoren frostsicher gelagert werden.
- Ein Kühlmittelkreislauf kann i. d. R. nicht vollständig entleert werden, d. h. Restmengen an gebrauchtem Kühlmittel bzw. Frischwasser eines Spülvorgangs bleiben im Motor zurück. Diese Restmengen können bei einem einzufüllenden Kühlmittel (angemischt aus Konzentrat bzw. Verwendung einer Fertigmischung) einen Verdünnungseffekt hervorrufen. Dieser Verdünnungseffekt wird umso größer sein je mehr Anbauteile sich am Motor befinden. Auf eine Überprüfung und ggf. Anpassung der Kühlmittelkonzentration im Kühlmittelkreislauf ist zu achten.

#### Wichtig

Alle in dieser Betriebsstoffvorschrift freigegebenen Kühlmittel beziehen sich generell nur auf Kühlmittelkreise von MTU-Motoren / Systemen. Bei kompletten Antriebsanlagen ist zusätzlich die Betriebsstofffreigabe der Komponentenhersteller zu beachten.

#### Wichtig

Aus Korrosionsschutzgründen ist es nicht zulässig, einen Motor mit reinem Wasser, ohne Zusatz eines freigegebenen Korrosionsschutzinhibitors, in Betrieb zu nehmen.

### 3.1.6 Ungeeignete Werkstoffe im Kühlmittelkreislauf

#### **Bauteile aus Kupfer-, Zink- und Messingwerkstoffen**

Bauteile aus Kupfer-, Zink- und Messingwerkstoffen oder mit verzinkten Oberflächen im Kühlmittelkreislauf (inkl. Zu- und Ableitungen) können, wenn verschiedene Voraussetzungen nicht beachtet werden, in Verbindung mit unedleren Metallen (z. B. Aluminium), eine elektrochemische Reaktion bewirken. Infolge werden Bauteile aus unedleren Metallen von Korrosion oder gar Lochfraß befallen. Der Kühlmittelkreislauf wird an diesen Stellen undicht.

#### **Nichtmetallische Werkstoffe**

- Kein EPDM- und keine Silikonelastomere verwenden, wenn emulgierbare Korrosionsschutzöle verwendet werden bzw. sonstige Öle in den Kühlmittelkreislauf eingetragen werden.

#### **Kühlwasserfilter / Filter nach Anlagenkomponenten**

- Wenn derartige Filter verwendet werden dürfen nur Produkte eingesetzt werden, die keine Zusätze enthalten. Zusatzadditive wie Silikate, Nitrite usw. können die Schutzwirkung bzw. Lebensdauer eines Kühlmittels herabsetzen und ggf. zu einem Angriff der im Kühlwasserkreislauf verbauten Werkstoffe führen.

#### **Information:**

Bei Unklarheiten zur Werkstoffverwendung an Motor und Anbauteilen / Bauteilen in Kühlmittelkreisläufen, ist Rücksprache mit der jeweiligen Fachabteilung von MTU zu halten.

### 3.1.7 Frischwasseranforderungen BR4000

Zur Aufbereitung von Kühlmittel mit und ohne Frostschutz darf nur sauberes und klares Wasser mit Werten aus nachfolgenden Tabellen verwendet werden. Wenn die Grenzwerte für das Wasser überschritten werden, kann entsalztes Wasser zugemischt werden, um die Härte bzw. den Salzgehalt herabzusetzen.

Parameter	Minimum	Maximum
Summe der Erdalkalien *) (Wasserhärte)	0 mmol/l 0°d	2,7 mmol/l 15°d
pH-Wert bei 20 °C	5,5	8,0
Chlorid-Ionen		100 mg/l
Sulphat-Ionen		100 mg/l
Summe Anionen		200 mg/l
Bakterien		10 <sup>3</sup> KBE (Kolonie bildende Einheit)/ml
Pilze, Hefen	sind unzulässig	

*Tabelle 27: Frischwasseranforderungen BR4000*

\*) Gebräuchliche Bezeichnungen für die Wasserhärte in verschiedenen Ländern:

- 1 mmol/l = 5,6°d = 100 mg/kg CaCO<sub>3</sub>
- 1°d = 17,9 mg/kg CaCO<sub>3</sub>, USA-Härte
- 1°d = 1,79° französische Härte
- 1°d = 1,25° englische Härte

### 3.1.8 Frischwasseranforderungen BR400

Zur Aufbereitung des Kühlmittels darf nur sauberes und klares Wasser mit Werten aus nachfolgenden Tabellen verwendet werden. Wenn die Grenzwerte für das Wasser überschritten werden, kann entsalztes Wasser zugemischt werden, um die Härte bzw. den Salzgehalt herabzusetzen.

Allgemeine Anforderungen	Klar, farblos und frei von ungelösten Stoffen	
pH-Wert (25 °C)	7,4 bis 8,5	
Elektrische Leitfähigkeit (25 °C)	< 300	µS/cm
Summe Erdalkalien	0,9 bis 1,3 5 bis 7	mmol/l °dH
Chloride	< 80	mg/l
Sulfate	< 70	mg/l
Eisen	< 0,2	mg/l
Bakterien	< 10 <sup>3</sup>	KBE (Kolonie bildende Einheit)/ml
Pilze, Hefen	sind unzulässig	

Table 28: Frischwasseranforderungen BR400

### 3.1.9 Frischwasseranforderungen BR500

Geeignet zur Gemischherstellung mit Konzentrat ist trinkbares Leitungswasser mit den in nachfolgender Tabelle einschränkenden Analysenwerten.

Eigenschaft	Einheit	Grenzwert
Aussehen	-	Farblos, klar, frei von mechanischen Verunreinigungen
pH-Wert bei 25 °C	-	8,2 bis 8,5
Geruch	-	Neutral
Erdalkalien (Härte)	mmol/l	max. 0,02
	°dH	max. 0,1
Leitfähigkeit bei 25 °C	µS/cm	max. 250
Chloride	mg/l	max. 10
Sulfate	ppm	max. 150
Phosphat (PO <sub>4</sub> )	mg/l	5 bis 10

Table 29: Grenzwerte Mischwasser

#### Wichtig

Genannte Grenzwerte für das Mischwasser dienen der technischen Orientierung, aus denen keine Rechtsansprüche geltend gemacht werden können, da die Wasserverhältnisse in Abhängigkeit des Standorts zu verschieden sind.

Das Wasser kann dadurch zahlreiche unbekannte Kombinationen der Begleitstoffe aufweisen. Die Verantwortung für den sicheren Betrieb liegt beim Kunden.

MTU empfiehlt den Einsatz eines vorgemischten Wasser-Frostschutz-Gemisches.

## 3.2 Gasmotor BR4000 - Marineanwendung

### 3.2.1 Kühlmittel - Allgemeines

#### Wichtig

Der Kühlmittelwechsel hängt von der Betriebszeit (Stunden/Jahr) des Motors ab, je nachdem welche Betriebszeit zuerst erreicht wird.

Betriebsstunden = Vorwärmzeit + Betriebszeit Motor

#### Wichtig

Alle Angaben beziehen sich auf den motorseitigen Kühlmittelkreislauf, externe Anbauteile bleiben unberücksichtigt.

#### Wichtig

Bei leichtmetallfreiem Motorkühlmittelkreislauf aber leichtmetallhaltigen Anbauteilen (z. B. externe Kühlanlage) werden die Kühlmittelfreigaben für leichtmetallhaltige Kühlsysteme empfohlen. Bei Unklarheiten zur Kühlmittelverwendung ist Rücksprache mit ihrem Ansprechpartner zu halten.

#### Wichtig

Bei Einsatz abweichender Produkte erlischt die Gewährleistung.

Einzelheiten und Besonderheiten siehe Kapitel "Allgemeines" (→ Seite 29) und "Ungeeignete Werkstoffe im Kühlmittelkreislauf" (→ Seite 38).

Gegebenenfalls abweichende Sondervereinbarungen zwischen dem Kunden und MTU bleiben weiterhin gültig.

### 3.2.2 Kühlmittel ohne Frostschutz – Konzentrate für leichtmetallfreie Kühlsysteme

Einzelheiten und Besonderheiten siehe Kapitel “Kühlmittel” (→ Seite 29)

#### Kühlmittel ohne Frostschutz – Konzentrate

Hersteller	Markenname	Inhibitoren					Betriebszeit Stunde / Jahr	Bemerkungen / Materialnummer
		Organisch	Silizium	Nitrit	Phosphat	Molybdat		
MTU Friedrichshafen GmbH	Coolant CS100 Corrosion Inhibitor Concentrate		X				6000 / 2	X00057233 (20 l) X00057232 (210 l) X00070455 (1000 l) Auch erhältlich über MTU Asia
MTU America Inc.	Power Cool® Plus 6000 Concentrate		X				6000 / 2	Grün eingefärbt 23533526 (1 Gallone) 23533527 (5 Gallonen) Erhältlich über MTU America Inc.
Arteco NV	Freecor NBI		X				6000 / 2	
	Havoline Extended Life Corrosion Inhibitor [EU Code 32765] (XLI)	X					6000 / 2	
BASF SE	Glysacorr G93 green		X				6000 / 2	X00054105 (Fass) X00058062 (Kanister)
CCI Corporation	A 216	X				X	6000 / 2	
CCI Manufacturing IL Corporation	A 216	X				X	6000 / 2	X00051509 (208 l)
Chevron Corp.	Texcool A - 200		X				6000 / 2	
Chevron Lubricants	Delo XLI Corrosion Inhibitor - Concentrate	X					6000 / 2	
Detroit Diesel Corp.	Power Cool Plus 2000		X	X			6000 / 2	
	Power Cool Plus 6000	X				X	6000 / 2	Rot eingefärbt
Drew Marine	Drewgard XTA		X				6000 / 2	
ExxonMobil	Mobil Delvac Extended Life Corrosion Inhibitor	X				X	6000 / 2	
Fleetguard	DCA-4L		X	X	X		2000 / 1	
ImproChem	COOL-18		X	X			6000 / 2	
Nalco Water An Ecolab Company	Alfloc™ 3477	X					6000 / 2	
	Nalcool® 2000		X	X			6000 / 2	
Old World Industries Inc.	Final Charge Extended Life Corrosion Inhibitor (A 216)	X				X	6000 / 2	
Penray	Pencool 2000		X	X			6000 / 2	
PrixMax Australia Pty. Ltd.	PrixMax RCP	X					6000 / 2	
Total Lubrifiants	Total WT Supra	X					6000 / 2	

TIM-ID: 0000019146 - 008

Hersteller	Markenname	Inhibitoren					Betriebszeit Stunde / Jahr	Bemerkungen / Materialnummer
		Organisch	Silizium	Nitrit	Phosphat	Molybdat		
Valvoline	Zerex G-93		X				6000 / 2	
YORK SAS	York 719		X				6000 / 2	

Tabelle 30:

### 3.2.3 Kühlmittel ohne Frostschutz – Fertigmischungen für leichtmetallfreie Kühlsysteme

Einzelheiten und Besonderheiten siehe Kapitel “Kühlmittel” (→ Seite 29)

#### Kühlmittel ohne Frostschutz – Fertigmischungen

Hersteller	Markenname	Inhibitoren					Betriebszeit Stunde / Jahr	Bemerkungen / Materialnummer
		Organisch	Silizium	Nitrit	Phosphat	Molybdat		
MTU-Friedrichshafen GmbH	Coolant CS 10/90 Corrosion Inhibitor Premix		X				6000 / 2	X00069385 (20 l) X00069386 (210 l) X00069387 (1000 l) (Vertriebsregion: Italien)
Nalco Water An Ecolab Company	Alfloc™ 3443 (7 %)	X					6000 / 2	
PrixMax Australia Pty Ltd	PrixMax RCP Premix	X					6000 / 2	

Tabelle 31:

### 3.2.4 Frostschutzmittel – Konzentrate für leichtmetallfreie Kühlsysteme

Einzelheiten und Besonderheiten siehe Kapitel "Kühlmittel" (→ Seite 29).

#### Frostschutzmittel – Konzentrate

Hersteller	Markenname	Inhibitoren					Betriebszeit Stunde / Jahr	Bemerkungen / Materialnummer
		Organisch	Silizium	Nitrit	Phosphat	Molybdat		
MTU Friedrichshafen GmbH	Coolant AH100 Antifreeze Concentrate	X	X				9000 / 5	X00057231 (20 l) X00057230 (210 l) X00068202 (1000 l) Auch erhältlich über MTU Asia
AVIA AG	Antifreeze APN	X	X				9000 / 5	
	Antifreeze APN-S	X					9000 / 3	
BASF SE	Glystantin® G48® blue green	X	X				9000 / 5	X00058054 (25 l) X00058053 (210 l)
	Glystantin® G30® pink	X					9000 / 3	X00058072 (Kanister) X00058071 (Fass)
BayWa AG	Tectrol Coolprotect	X	X				9000 / 5	
BP Lubricants	ARAL Antifreeze Extra	X	X				9000 / 5	
Bucher AG Langenthal	Motorex Coolant G48	X	X				9000 / 5	
Castrol	Castrol Radicool NF	X	X				9000 / 5	
CCI Corporation	L415	X				X	9000 / 3	
Classic Schmierstoff GmbH + Co. KG	Classic Kolda UE G48	X	X				9000 / 5	
Comma Oil & Chemicals Ltd.	Comma Xstream® G30® Antifreeze Coolant Concentrate	X					9000 / 3	
	Comma Xstream® G48® Antifreeze Coolant Concentrate	X	X				9000 / 5	
COPARTS Autoteile GmbH	CAR1 Premium Longlife Kühlerschutz C48	X	X				9000 / 5	
Daimler Trucks North America	Alliance OAT Extended Life Coolant	X				X	9000 / 3	
Detroit Diesel Corp.	Power Cool Plus Coolant	X				X	9000 / 3	
ExxonMobil	Mobil Delvac Extended Life Coolant	X				X	9000 / 3	
	Mobil Antifreeze Advanced	X					9000 / 3	
	Mobil Antifreeze Extra	X	X				9000 / 5	
	Esso Antifreeze Advanced	X					9000 / 3	
	Esso Antifreeze Extra	X	X				9000 / 5	
Finke Mineralölwerk GmbH	AVIATICON Finkofreeze F30	X					9000 / 3	
	AVIATICON Finkofreeze F48	X	X				9000 / 5	

TIM-ID: 0000080984 - 005

Hersteller	Markenname	Inhibitoren					Betriebszeit Stunde / Jahr	Bemerkungen / Materialnummer
		Organisch	Silizium	Nitrit	Phosphat	Molybdat		
Fuchs Petrolub SE	Maintain Fricofin	X	X				9000 / 5	
	Maintain Fricofin G12 Plus	X					9000 / 3	X00058074 (Kanister) X00058073 (Fass)
Gaszpromneft Lubri- cants Ltd.	BELAZ G-Profi Antifreeze Red	X					9000 / 3	X00058075 (Fass)
Kuttenkeuler	Kuttenkeuler Antifreeze ANF KK48	X	X				9000 / 5	
	Glyostar® ST48	X	X				9000 / 5	
INA Maziva Ltd.	INA Antifriz AI Super	X	X				9000 / 5	
LLK-International (Lukoil Lubricants Co	Lukoil Antifreeze HD G12 K	X					9000 / 3	
Lukoil Lubricants Europe GmbH	Lukoil Coolant Plus	X	X				9000 / 5	
	Lukoil Coolant SF	X					9000 / 3	
Mitan Mineralöl GmbH	Alpine C30	X					9000 / 3	
	Alpine C48	X	X				9000 / 5	
MOFIN Deutschland GmbH & Co KG	MOFIN Kühlerschutz M48 Premium Protect	X	X				9000 / 5	
MJL Bangladesh Limited Lube Oil Blending Plant East Patenga	Omera Premium Coolant	X					9000 / 3	
Nalco Water An Ecolab Company	Nalcool NF 48 C	X	X				9000 / 5	
Navistar Inc.	Fleetrite Nitrite-Free Exten- ded Life Coolant	X				X	9000 / 3	
Old World Industries Inc.	Blue Mountain Heavy Duty Extended Life Coolant	X				X	9000 / 3	
	Final Charge Global Exten- ded Life Coolant Antifreeze	X				X	9000 / 3	
Panolin AG	Panolin Anti-Frost MT-325	X	X				9000 / 5	
Raloy Lubricantes	Antifreeze Long Life NF-300 Concentrate	X	X				9000 / 5	
SMB - Sotragal / Mont Blanc	Antigel Power Cooling Con- centrate	X	X				9000 / 5	
Total	Glacelf MDX	X	X				9000 / 5	
Valvoline	Zerex G-48	X	X				9000 / 3	
	Zerex G-30	X					9000 / 5	
	OEM Advanced G30	X					9000 / 3	
	OEM Advanced G48	X	X				9000 / 5	
Volvo Trucks	Road Choice Nitrite-Free OAT Extended Life Coolant	X				X	9000 / 3	
YORK SAS	York 716	X	X				9000 / 5	

Tabelle 32: Frostschutzmittel - Konzentrate



### 3.2.5 Frostschutzmittel – Konzentrate für besondere Anwendungen

Einzelheiten und Besonderheiten siehe Kapitel “Kühlmittel” (→ Seite 29)

#### Konzentrate für besondere Anwendungen

Hersteller	Markenname	Inhibitoren					Betriebszeit Stunde / Jahr	Bemerkungen / Materialnummer
		Organisch	Silizium	Nitrit	Phosphat	Molybdat		
BASF SE	G206	X	X				9000 / 3	Für Einsätze in arktischen Regionen (< -40 °C)

Tabelle 33:

### 3.2.6 Frostschutzmittel – Fertigmischungen für leichtmetallfreie Kühlsysteme

#### Frostschutzmittel – Fertigmischungen

Einzelheiten und Besonderheiten siehe Kapitel "Kühlmittel" (→ Seite 29).

Hersteller	Markenname	Inhibitoren					Betriebszeit Stunde / Jahr	Bemerkungen / Materialnummer
		Organisch	Silizium	Nitrit	Phosphat	Molybdat		
MTU Friedrichshafen GmbH	Coolant AH 35/65 Antifreeze Premix	X	X				9000 / 5	X00069382 (20 l) X00069383 (210 l) X00069384 (1000 l) (Vertriebsgebiet: Italien)
	Coolant AH 40/60 Antifreeze Premix	X	X				9000 / 5	X00070533 (20 l) X00070531 (210 l) X00070532 (1000 l) (Vertriebsgebiet: England, Spanien)
	Coolant AH 50/50 Antifreeze Premix	X	X				9000 / 5	X00070528 (20 l) X00070530 (210 l) X00070527 (1000 l) (Vertriebsgebiet: England)
	Coolant RM 30 (40 %)	X					9000 / 3	X00073922 (20 l) X00073916 (205 l) X00073923 (1000 l)
MTU America Inc.	Power Cool® Universal 35/65 mix	X	X				9000 / 5	800085 (5 Gallonen) 800086 (55 Gallonen)
	Power Cool® Universal 50/50 mix	X	X				9000 / 5	800071 (5 Gallonen) 800084 (55 Gallonen)
Bantleon	Avilub Antifreeze Mix (50 %)	X	X				9000 / 5	X00049213 (210 l)
BayWa AG	Tectrol Coolprotect Mix 3000	X					9000 / 3	Frostschutz bis -24 °C
Bucher AG Langenthal	Motorex Coolant G48 ready to use (50/50)	X	X				9000 / 5	
Castrol	Castrol Radicool NF Premix (45 %)	X	X				9000 / 5	
CCI Corporation	L 415 (50 %)	X				X	9000 / 3	
Cepsa Comercial Petróleo S.A.U	Xtar Super Coolant Hybrid NF 50 %	X	X				9000 / 5	
Daimler Trucks North America	Alliance 50/50 Prediluted OAT Extended Life Coolant	X				X	9000 / 3	
Detroit Diesel Corp.	Power Cool Plus Prediluted Coolant (50/50)	X				X	9000 / 3	
ExxonMobil	Mobil Delvac Extended Life Prediluted Coolant (50/50)	X				X	9000 / 3	
Finke Mineralölwerk GmbH	AVIATICON Finkofreeze F30 RM 40:60 +	X					9000 / 3	
	AVIATICON Finkofreeze F48 RM 50:50	X	X				9000 / 5	

Hersteller	Markenname	Inhibitoren					Betriebszeit Stunde / Jahr	Bemerkungen / Materialnummer
		Organisch	Silizium	Nitrit	Phosphat	Molybdat		
LLK-International (Lukoil Lubricabts Co)	Lukoil Antifreeze HD G12 (50%)	X					9000 / 3	
Navistar Inc.	Fleetrite 50/50 Prediluted Nitrite-Free Extended Life Coolant	X				X	9000 / 3	
Old World Industries Inc.	Blue Mountain Heavy Duty Extended Life Prediluted Coolant (50/50)	X				X	9000 / 3	
	Final Charge Global Extended Life Prediluted Coolant / Antifreeze (50/50)	X				X	9000 / 3	
Raloy Lubricantes	Antifreeze Long Life NF-300 Ready-to-Use (50/50)	X	X				9000 / 5	
SMB - Sotragal / Mont Blanc	L.R.-30 Power Cooling (44 %)	X	X				9000 / 5	
	L.R.-38 Power Cooling (52 %)	X	X				9000 / 5	
Total	Coolelf MDX (-26 °C)	X	X				9000 / 5	
Tosol-Sinzez	Glysantin Alu Protect/G30 Ready Mix	X					9000 / 3	
	Glysantin Protect Plus/G48 Ready Mix	X	X				9000 / 5	
Valentin Energie GmbH	Valentin Coolant Plus -25 °C Ready	X					9000 / 3	
Valvoline	Zerex G-48 premix 50%	X	X				9000 / 5	
	OEM Advanced 48 premix 50%	X	X				9000 / 5	
Volvo Trucks	Road Choice 50/50 Prediluted Nitrite-Free OAT Extended Life Coolant	X				X	9000 / 3	
YPF S.A. Argentina	Kriox MTL50	X				X	9000 / 3	

Tabelle 34: Frostschutzmittel - Fertigmischungen

## 3.3 Gasmotor BR4000 – Generatoranwendung und Generatoraggregat

### 3.3.1 Kühlmittel – Allgemeines

#### Wichtig

Der Kühlmittelwechsel hängt von der Betriebszeit (Stunden/Jahr) des Motors ab, je nachdem welche Betriebszeit zuerst erreicht wird.

Betriebsstunden = Vorwärmzeit + Betriebszeit Motor

#### Wichtig

Alle Angaben beziehen sich auf den motorseitigen Kühlmittelkreislauf, externe Anbauteile bleiben unberücksichtigt.

#### Wichtig

Bei leichtmetallfreiem Motorkühlmittelkreislauf aber leichtmetallhaltigen Anbauteilen (z. B. externe Kühlanlage) werden die Kühlmittelfreigaben für leichtmetallhaltige Kühlsysteme empfohlen. Bei Unklarheiten zur Kühlmittelverwendung ist Rücksprache mit ihrem Ansprechpartner zu halten.

#### Wichtig

Bei Einsatz abweichender Produkte erlischt die Gewährleistung.

Einzelheiten und Besonderheiten siehe Kapitel "Allgemeines" (→ Seite 29) und "Ungeeignete Werkstoffe im Kühlmittelkreislauf" (→ Seite 38).

Gegebenenfalls abweichende Sondervereinbarungen zwischen dem Kunden und MTU bleiben weiterhin gültig.

### 3.3.2 Kühlmittel ohne Frostschutz – Konzentrate für leichtmetallhaltige Kühlsysteme

Einzelheiten und Besonderheiten siehe Kapitel "Kühlmittel" (→ Seite 29).

#### Kühlmittel ohne Frostschutz – Konzentrate

Hersteller	Markenname	Inhibitoren					Betriebszeit Stunde / Jahr	Bemerkungen / Materialnummer
		Organisch	Silizium	Nitrit	Phosphat	Molybdat		
MTU-Friedrichshafen GmbH	Coolant CS100 Corrosion Inhibitor Concentrate		X				6000 / 2	X00057233 (20 l) X00057232 (210 l) X00070455 (1000 l) Auch erhältlich über MTU Asia
MTU America Inc.	Power Cool® Plus 6000 Concentrate		X				6000 / 2	Grün eingefärbt 23533526 (1 Gallone) 23533527 (5 Gallonen) Erhältlich über MTU America Inc.
Arteco NV	Freecor NBI		X				6000 / 2	
BASF SE	Glysacorr G93 green		X				6000 / 2	X00054105 (Fass) X00058062 (Kanister)
CCI Corporation	A 216	X				X	6000 / 2	
CCI Manufacturing IL Corporation	A 216	X				X	6000 / 2	X00051509 (208 l)
Chevron Corp.	Texcool A - 200		X				6000 / 2	
Detroit Diesel Corp.	Power Cool Plus 6000	X				X	6000 / 2	Rot eingefärbt
Drew Marine	Drewgard XTA		X				6000 / 2	
ExxonMobil	Mobil Delvac Extended Life Corrosion Inhibitor	X				X	6000 / 2	
Old World Industries Inc.	Final Charge Extended Life Corrosion Inhibitor (A 216)	X				X	6000 / 2	
Valvoline	Zerex G-93		X				6000 / 2	
YORK SAS	York 719		X				6000 / 2	

Tabelle 35:

### 3.3.3 Kühlmittel ohne Frostschutz – Fertigmischungen für leichtmetallhaltige Kühlsysteme

Einzelheiten und Besonderheiten siehe Kapitel "Kühlmittel" (→ Seite 29).

#### Kühlmittel ohne Frostschutz – Fertigmischungen

Hersteller	Markenname	Inhibitoren					Betriebszeit Stunde / Jahr	Bemerkungen / Materialnummer
		Organisch	Silizium	Nitrit	Phosphat	Molybdat		
MTU Friedrichshafen GmbH	Coolant CS10/90 Corrosion Inhibitor Premix		X				6000 / 2	X00069385 (20 l) X00069386 (210 l) X00069387 (1000 l) (Vertriebsgebiet: Italien)

Tabelle 36:

### 3.3.4 Frostschutzmittel – Konzentrate für leichtmetallhaltige Kühlsysteme

Einzelheiten und Besonderheiten siehe Kapitel "Kühlmittel" (→ Seite 29).

#### Frostschutzmittel – Konzentrate

Hersteller	Markenname	Inhibitoren					Betriebszeit Stunde / Jahr	Bemerkungen / Materialnummer
		Organisch	Silizium	Nitrit	Phosphat	Molybdat		
MTU Friedrichshafen GmbH	Coolant AH100 Antifreeze Concentrate	X	X				9000 / 5	X00057231 (20 l) X00057230 (210 l) X00068202 (1000 l) Auch erhältlich über MTU Asia
AVIA AG	Antifreeze APN	X	X				9000 / 5	
	Antifreeze APN-S	X					9000 / 3	
BASF SE	GLYSANTIN® G05®		X	X			9000 / 5	
	GLYSANTIN® G48® blue green	X	X				9000 / 5	X00058054 (25 l) X00058053 (210 l)
	GLYSANTIN® G30® pink	X					9000 / 3	X00058072 (Kanister) X00058071 (Fass)
	GLYSANTIN® G40® pink (Konzentrat)	X	X				9000 / 3	X00066724 (20 l) X00066725 (210 l) Anwendungskonzentration: 40 bis 50 Vol.-%
BayWa AG	Tectrol Coolprotect	X	X				9000 / 5	
BP Lubricants	ARAL Antifreeze Extra	X	X				9000 / 5	
Bucher AG Langenthal	Motorex Coolant G48	X	X				9000 / 5	
	Motorex Coolant M 4,0 Concentrate	X	X				9000 / 3	Anwendungskonzentration: 40 bis 50 Vol.-%
Castrol	Castrol Radicool NF	X	X				9000 / 5	
CCI Corporation	L415	X				X	9000 / 3	
Clariant	Genantin Super		X	X			9000 / 3	
Classic Schmierstoff GmbH + Co. KG	Classic Kolda UE G48	X	X				9000 / 5	
Comma Oil & Chemicals Ltd.	Comma Xstream® G30® Antifreeze Coolant Concentrate	X					9000 / 3	
	Comma Xstream® G48® Antifreeze Coolant Concentrate	X	X				9000 / 5	
COPARTS Autoteile GmbH	CAR 1 Premium Longlife Kühlerschutz C48	X	X				9000 / 5	
Daimler Trucks North America	Alliance OAT Extended Life Coolant	X				X	9000 / 3	

TIM-ID: 000.000.00987 - 004

Hersteller	Markenname	Inhibitoren					Betriebszeit Stunde / Jahr	Bemerkungen / Materialnummer
		Organisch	Silizium	Nitrit	Phosphat	Molybdat		
Detroit Diesel Corp.	Power Cool Antifreeze		X	X			9000 / 3	
	Power Cool Plus Coolant	X				X	9000 / 3	
	Power Cool Diesel Engine Coolant		X	X			9000 / 3	
ExxonMobil	Mobil Delvac Extended Life Coolant	X				X	9000 / 3	
	Mobil Antifreeze Advanced	X					9000 / 3	
	Mobil Antifreeze Extra	X	X				9000 / 5	
	Mobil Antifreeze Special		X	X			9000 / 5	
	Mobil Heavy Duty Coolant		X	X			9000 / 3	
	Mobil Mining Coolant		X	X			9000 / 3	
	Esso Antifreeze Advanced	X					9000 / 3	
	Esso Antifreeze Extra	X	X				9000 / 5	
Finke Mineralölwerke GmbH	AVIATICON Finkofreeze F30	X					9000 / 3	
	AVIATICON Finkofreeze F40	X	X				9000 / 3	Anwendungskonzentration: 40 bis 50 Vol.-%
	AVIATICON Finkofreeze F48	X	X				9000 / 5	
Fuchs Petrolub SE	Maintain Fricofin	X	X				9000 / 5	
	Maintain Fricofin G12 Plus	X					9000 / 3	X00058074 (Kanister) X00058073 (Fass)
Gazpromneft Lubricants Ltd.	Belaz G-Profi Antifreeze Red	X					9000 / 3	
Krafft S.L.U	Refrigerante ACU 2300		X	X			9000 / 3	X00058075 (Fass)
Kuttenkeuler	Kuttenkeuler Antifreeze ANF KK48	X	X				9000 / 5	
	Glyostar® ST48	X	X				9000 / 5	
INA Maziva Ltd.	INA Antifriz AI Super	X	X				9000 / 5	
LLK-International (Lukoil Lubricants Co)	Lukoil Antifreeze HD G 12 K	X					9000 / 3	
Lukoil Lubricants Europe GmbH	Lukoil Coolant Plus	X	X				9000 / 5	
	Lukoil Coolant SF	X					9000 / 3	
	Lukoil Coolant SOT	X	X				9000 / 3	Anwendungskonzentration: 40 bis 50 Vol.-%
Mitan Mineralöl GmbH	Alpine C30	X					9000 / 3	
	Alpine C48	X	X				9000 / 5	
MJL Bangladesh Limited Lube Oil Blending Plant East Patenga	Omera Premium Coolant	X					9000 / 3	

Hersteller	Markenname	Inhibitoren					Betriebszeit Stunde / Jahr	Bemerkungen / Materialnummer
		Organisch	Silizium	Nitrit	Phosphat	Molybdat		
MOFIN Deutschland GmbH & Co KG	MOFIN Kühlerschutz M48 Premium Protect	X	X				9000 / 5	
	MOFIN Kühlerschutz M40 Extra	X	X				9000 / 3	Anwendungskonzentration: 40 bis 50 Vol.-%
Nalco Water An Ecolab Company	Nalcoool NF 48 C	X	X				9000 / 5	
Navistar Inc.	Fleetrite Nitrite-Free Extended Life Coolant	X				X	9000 / 3	
Old World Industries Inc.	Blue Mountain Heavy Duty Extended Life Coolant	X				X	9000 / 3	
	Fleetcharge SCA Precharged Coolant/ Antifreeze		X	X			9000 / 3	
	Final Charge Global Extended Life Coolant Antifreeze	X				X	9000 / 3	
	Peak Heavy Duty Coolant		X	X			9000 / 3	
Panolin AG	Panolin Anti-Frost MT-325	X	X				9000 / 5	
Penske Power Systems	Power Cool - HB500 Coolant Concentrate	X	X				9000 / 3	
Raloy Lubricantes	Antifreeze Long Life NF-300 Concentrate	X	X				9000 / 3	
Recochem Inc.	R542	X	X				9000 / 3	
SMB - Sotragal / Mont Blanc	Antigel Power Cooling Concentrate	X	X				9000 / 5	
Total	Glacelf MDX	X	X				9000 / 5	
Valvoline	Zerex G-05		X	X			9000 / 5	
	Zerex G-48	X	X				9000 / 3	
	Zerex G-30	X					9000 / 5	
	ZEREX G40 (Konzentrat)	X	X				9000 / 3	Anwendungskonzentration: 40 bis 50 Vol.-% Materialnummer (USA): 800180 (Drum)
	OEM Advanced 30	X					9000 / 3	
	OEM Advanced 48	X	X				9000 / 5	
	OEM Advanced 40	X	X				9000 / 3	Anwendungskonzentration: 40 bis 50 Vol.-%
Volvo Trucks	Road Choice Nitrite-Free OAT Extended Life Coolant	X				X	9000 / 3	
YORK SAS	York 716	X	X				9000 / 5	

Tabelle 37: Frostschutzmittel – Konzentrate

TIM-ID: 000.000.00987 - 004

### 3.3.5 Frostschutzmittel – Konzentrate für besondere Anwendungen

Einzelheiten und Besonderheiten siehe Kapitel “Kühlmittel” (→ Seite 29)

#### Konzentrate für besondere Anwendungen

Hersteller	Markenname	Inhibitoren					Betriebszeit Stunde / Jahr	Bemerkungen / Materialnummer
		Organisch	Silizium	Nitrit	Phosphat	Molybdat		
BASF SE	G206	X	X				9000 / 3	Für Einsätze in arktischen Regionen (< -40 °C)

Table 38:

### 3.3.6 Frostschutzmittel – Fertigmischungen für leichtmetallhaltige Kühlsysteme

Einzelheiten und Besonderheiten siehe Kapitel "Kühlmittel" (→ Seite 29).

#### Frostschutzmittel – Fertigmischungen

Hersteller	Markenname	Inhibitoren					Betriebszeit Stunde / Jahr	Bemerkungen / Materialnummer
		Organisch	Silizium	Nitrit	Phosphat	Molybdat		
MTU Friedrichshafen GmbH	Coolant AH 35/65 Antifreeze Premix	X	X				9000 / 5	X00069382 (20 l) X00069383 (210 l) X00069384 (1000 l) (Vertriebsgebiet: Italien)
	Coolant AH 40/60 Antifreeze Premix	X	X				9000 / 5	X00070533 (20 l) X00070531 (210 l) X00070532 (1000 l) (Vertriebsgebiet: England, Spanien)
	Coolant AH 50/50 Antifreeze Premix	X	X				9000 / 5	X00070528 (20 l) X00070530 (210 l) X00070527 (1000 l) (Vertriebsgebiet: England)
	Coolant RM30 (40%)	X					9000 / 3	X00073922 (20 l) X00073916 (205 l) X00073923 (1000 l)
MTU America Inc.	Power Cool® Universal 35/65 mix	X	X				9000 / 5	800085 (5 Gallonen) 800086 (55 Gallonen)
	Power Cool® Universal 50/50 mix	X	X				9000 / 5	800071 (5 Gallonen) 800084 (55 Gallonen)
	Power Cool® Off-Highway Coolant 50/50 Premix		X	X			9000 / 5	23533531 (5 Gallonen) 23533532 (55 Gallonen)
Bantleon	Avilub Antifreeze Mix (50 %)	X	X				9000 / 5	X00049213 (210 l)
BayWa AG	Tectrol Coolprotect Mix 3000	X					9000 / 3	Frostschutz bis -24 °C
Bucher AG Langenthal	Motorex Coolant G48 ready to use (50/50)	X	X				9000 / 5	
	Motorex Coolant M 4,0 ready to use	X	X				9000 / 3	Frostschutz bis -38 °C
Castrol	Castrol Radicool NF Premix (45 %)	X	X				9000 / 5	
CCI Corporation	L 415 (50 %)	X				X	9000 / 3	
Cespa Comercial Petróleo S.A.U.	Xtar Super Coolant Hybrid NF 50%	X	X				9000 / 5	
Detroit Diesel Corp.	Power Cool Plus Prediluted Coolant (50/50)	X				X	9000 / 3	
	Power Cool Prediluted (50/50) Diesel Engine Coolant		X	X			9000 / 3	

TIM-ID: 0000078607 - 005

Hersteller	Markenname	Inhibitoren					Betriebszeit Stunde / Jahr	Bemerkungen / Materialnummer
		Organisch	Silizium	Nitrit	Phosphat	Molybdat		
ExxonMobil	Mobil Delvac Extended Life Prediluted Coolant (50/50)	X				X	9000 / 3	
	Mobile Heavy Duty 50/50 Prediluted Coolant		X	X			9000 / 3	
	Mobile Mining 50/50 Prediluted Coolant		X	X			9000 / 3	
Finke Mineralölwerk GmbH	AVIATICON Finkofreeze F30 RM 40:60 +	X					9000 / 3	
	AVIATICON Finkofreeze F48 RM 50:50	X	X				9000 / 5	
LLK-International (Lukoil Lubricants Co)	Lukoil Antifreeze HD G 12 (50%)	X					9000 / 3	
Navistar Inc.	Fleetrite 50/50 Prediluted Nitrite-Free Life Coolant	X				X	9000 / 3	
Old World Industries Inc.	Blue Mountain Heavy Duty Extended Life Prediluted Coolant (50/50)	X				X	9000 / 3	
	Final Charge Global Extended Life Prediluted Coolant / Antifreeze (50/50)	X				X	9000 / 3	
	Fleet Charge SCA Precharged 50/50 Prediluted Coolant		X	X			9000 / 3	
Penske Power Systems	Power Cool - HB500 Premix 50/50	X	X				9000 / 3	
Raloy Lubricantes	Antifreeze Long Life NF-300 Ready-to-Use (50/50)	X	X				9000 / 5	
SMB - Sotragal / Mont Blanc	L.R.-30 Power Cooling (44 %)	X	X				9000 / 5	
	L.R.-38 Power Cooling (52 %)	X	X				9000 / 5	
Tosol-Sintez	Glysantin Alu Protect/G30 Ready Mix	X					9000 / 3	
	Glysantin Protect Plus/G48 Ready Mix	X	X				9000 / 5	
Total	Coolelf MDX (-26 °C)	X	X				9000 / 5	
Valentin Energie GmbH	Valentin Coolant Plus -25 °C Ready	X					9000 / 3	
Valvoline	Zerex G-05 50/50 Mix		X	X			9000 / 5	
	Zerex G-48 premix 50%	X	X				9000 / 5	
	OEM Advanced 48 premix 50%	X	X				9000 / 5	

TIM-ID: 0000078607 - 005

Hersteller	Markenname	Inhibitoren					Betriebszeit Stunde / Jahr	Bemerkungen / Materialnummer
		Organisch	Silizium	Nitrit	Phosphat	Molybdat		
Volvo Trucks	Road Choice 50/50 Prediluted Nitrite-Free OAT Extended Life Coolant	X				X	9000 / 3	
YPF S.A. Argentina	Kriox MTL50	X				X	9000 / 3	

Tabelle 39: Frostschutzmittel – Fertigmischungen für leichtmetallhaltige Kühlsysteme

## 3.4 Gasmotor BR400 - Generatoraggregat

### 3.4.1 Freigegebene Kühlmittel

Wichtig
Bei Einsatz abweichender Produkte erlischt die Gewährleistung.

#### Frostschutzmittel – Fertigmischungen (silikatfrei)

Hersteller / Lieferant	Bezeichnung
MTU Friedrichshafen GmbH	Coolant RM 30*
BayWa AG	Tectrol Coolprotect MIX3000*
Montana	Kühlerfrostschutz BHKW -25°*
Valentin Energie GmbH	Coolant Plus -25° Ready*
* Verlängerte Standzeit möglich	

Tabelle 40:

#### Frostschutzmittel – Konzentrate

Hersteller / Lieferant	Bezeichnung
BASF	Glysantin G30
Aral	Antifreeze Silikatfrei

Tabelle 41:

#### Hinweis zur Gewährleistung

Es wird dringend angeraten Frostschutzmittel-Fertigmischungen für den Motorkühlkreislauf zu verwenden.

Wenn derartige Fertigmischungen verwendet werden, ist Folgendes gewährleistet:

- Das Verhältnis Wasser zu Frostschutzmittel ist korrekt eingestellt
- Das verwendete (Frisch-) Wasser liegt innerhalb der Spezifikationen der „Anforderungen an das Motorkühlwasser“.

Nur wenn Wasser gemäß Spezifikation verwendet wird, können die Bauteilstandzeiten eingehalten werden. Andernfalls besteht bei vielen Bauteilen die Gefahr von Ablagerungen, die zu reduzierter Wärmeübertragung und somit zu geringerer Funktionalität (Wärmetauscher) bzw. zu Überhitzung von Bauteilen führen können.

Bei „Selbstmischung“ des Kühlmittels beachten:

- Nur die zugelassenen, silikatfreien Frostschutzmittel im angegebenen Verhältnis zu Wasser verwenden
- Ein Bestätigungsformular muss unterzeichnet werden, dass das verwendete Wasser die Anforderungen gemäß Betriebsstoffvorschriften erfüllt.

Die Konzentration ist gemäß dem Wartungsplan in regelmäßigen Abständen zu prüfen. Die Überprüfung des Kühlmittels sollte mindestens einmal jährlich bzw. bei jeder Befüllung erfolgen. Die Kühlmittelfüllung muss aufgrund von Alterung nach 25.000 Betriebsstunden oder spätestens nach 3 Jahren ausgetauscht werden.

## 3.5 Gasmotor BR500 - Generatoraggregat

### 3.5.1 Kühlmittel - Allgemeines

Von MTU geprüfte und freigegebene Frostschutzmittel gewährleisten ausreichenden Frost-, Korrosions- und Kavitationsschutz, greifen Dichtungen und Schläuche nicht an und schäumen nicht, siehe (→ Seite 65).

Für einen dauerhaft störungsfreien Betrieb von Generatoraggregaten, muss als Kühlfüssigkeit grundsätzlich ganzjährig eine geeignete Zusammensetzung eingesetzt werden, welche den Frost- und Korrosionsschutz gewährleistet.

## 3.5.2 Kühlmittel – Kontrolle und Erneuerung

Die von MTU eingesetzten Kühlmittel unterliegen einer natürlichen Alterung und müssen daher hinsichtlich ihres Zustandes regelmäßig überprüft werden.

Kühflüssigkeitsverluste sind immer mit einer Mischung aus Wasser und Frostschutz zu ergänzen. Das Mischmengenverhältnis ist abhängig von Motor und gewähltem Frostschutz.

MTU weist ausdrücklich darauf hin, dass die Wasserqualität beim Nachfüllen von Ergänzungswasser zu überprüfen ist und die Werte eingehalten werden, siehe (→ Seite 41).

MTU empfiehlt zum Nachfüllen den Einsatz von vorgemischtem Wasser-Frostschutz-Gemisch.

Um die Kühlleistung des Motors zu erhalten, muss im Abstand von 2.000 Betriebsstunden die Kühlmittelqualität zu überprüft werden. Hierbei sind folgende Punkte zu beachten:

- Kühlmittelkonzentration vierteljährlich mittels Dichtespindel oder Refraktometer überprüfen
- Frostschutzmittelkonzentration nie unter 40 Vol.-% absinken lassen
- Spätestens bei dem im Wartungsplan der jeweiligen Anlage vorgegebenen Intervall muss das Kühlmittel vollständig getauscht werden.
- Grenzwerte beachten (→ Tabelle 41)
- Kühlsystem entlüften, ggf. Kühlwasserdruck einstellen

### Wichtig

Kühflüssigkeiten dürfen nicht vermischt werden. Andernfalls besteht die Gefahr eines Maschinenschadens. Kühlsysteme arbeiten nur dann zuverlässig, wenn sie unter genügend Vordruck betrieben werden und fachgerecht entlüftet werden. Bei MTU-Anlagen ist der jeweilige Mindestdruck als Warnwert in der Steuerung hinterlegt. Dieser kann jedoch aufgrund örtlicher Gegebenheiten abweichen. Es wird empfohlen, den Druck grundsätzlich am oberen Limit einzustellen.

Um eine Probe zur Kontrolle des Kühlwassers zu ziehen, ein sauberes Gefäß mit Hilfe eines geeigneten Schlauchs befüllen. Bereits 100 ml sind ausreichend. Als Entnahmestelle eine geeignete Stelle wählen, z. B. die Entlüftungspunkte des Kühlmittelkreislaufs. Da die Anlagen unter Druck stehen, muss die Probenentnahme aus Sicherheitsgründen bei niedrigeren Temperaturen unterhalb 60 °C erfolgen. Andernfalls kann das Kühlmittel explosionsartig verdampfen. Den jeweiligen Sicherheitshinweisen unbedingt Folge leisten!

### Grenzwerte Kühlmittel

Eigenschaft	Einheit	Grenzwert
Aussehen	-	Wechsel bei brauner Verfärbung
pH-Wert bei 25 °C	-	min. 7,5
Geruch	-	Wechsel bei Geruch nach Lösungsmitteln
Gefrierschutz	°C	min.-20

### 3.5.3 Freigegebene Kühlmittel

Ausschließlich zugelassene Frostschutzmittel bieten für die Motorkühlsysteme den notwendigen Schutz nach MTU-Anforderungen. Die Konzentrate sowie die vorgemischten Wasser-Frostschutz-Gemische beinhalten außerdem den notwendigen Korrosionsschutz.

#### Freigegebene Kühlmittel

Kühlmittelhersteller	Produkt	Mischmengenverhältnis	Betriebszeit Stunde/Jahr	Bemerkung
BASF	Glysantin Protect Plus G48	Konzentrat/Wasser zu 50/50 oder vorgemischt	16000/2	
Caltex, Chevron, Texaco	Havoline® ELC Dex-Cool®	Konzentrat/Wasser zu 50/50 oder vorgemischt	16000/2	Alternativ, nur für Amerika Ethylen-Glykol basiert
Caltex, Chevron, Texaco	Delo® ELC PG	Konzentrat/Wasser zu 50/50 oder vorgemischt	16000/2	Alternativ, nur für Amerika Propylen-Glykol basiert
Vavoline	Zerex G48	Konzentrat/Wasser zu 50/50 oder vorgemischt	16000/2	Alternativ, nur für Amerika Ethylen-Glykol basiert

Tabelle 42: Freigegebene Kühlmittel

Kühlmittelkonzentrationen über 50 % vermeiden.

#### Wichtig

Der Kühlmittelwechsel hängt von der Betriebszeit (Stunden/Jahr) des Motors ab, je nachdem welche Betriebszeit zuerst erreicht wird.

#### Wichtig

Alle Angaben beziehen sich auf den motorseitigen Kühlmittelkreislauf, externe Anbauteile bleiben unberücksichtigt.

# 4 Kraft-/Brennstoffe

## 4.1 Allgemeines

### 4.1.1 Verwendung von Kraft-/Brennstoffen

#### Wichtig

Die angegebenen Grenzwerte zur Feuchte im Kraftstoff müssen eingehalten werden, da sonst die Gewährleistung erlischt.

#### Wichtig

Es dürfen keine korrosiven Verbindungen (z. B. Siloxane, Phosphor-, Arsen-, Schwermetall-, Schwefel-, Ammoniak-, Chlor-, Fluor-, Brom-, Jodverbindungen) im Kraftstoff enthalten sein.  
Die angegebenen Grenzwerte müssen eingehalten werden, da sonst die Gewährleistung erlischt.

Gasmotoren dürfen ausschließlich mit den, für den jeweiligen Gasmotortyp freigegebenen Gasen betrieben werden.

Bei Erdgasbetrieb aus dem öffentlichen Netz muss spätestens vor Inbetriebnahme des Motors folgendes durch das zuständige Gasversorgungsunternehmen bestätigt werden:

- Ob die im jeweiligen Datenblatt angegebene Mindestmethanzahl und der Heizwertbereich eingehalten werden
- Ob Butan- oder Propanluftgemisch zeitweise zugemischt wird
- Ob auch Biogaseinspeisung in das Erdgasnetz möglich ist (Abstimmung über Werksabfrage). Gasanalyse muss vorliegen.

Die Verwendungsmöglichkeit der freigegebenen Gasarten muss mindestens halbjährlich durch Gasanalyse kontrolliert werden. Folgende Änderungen können dadurch erkannt und Maßnahmen eingeleitet werden:

- Gaszusammensetzung
- Schädliche Bestandteile im Gas

Die Verwendung von Kraftstoffen beschränkt sich im gesamten Anwendungs- und Betriebsbereich des Motors auf rein gasförmige Brennstoffe. Flüssige Brennstoffe sind nicht zulässig.

Der Kraftstoff muss technisch frei von Nebel, Staub und Flüssigkeit sein. Kondensation im Gassystem muss durch geeignete Maßnahmen verhindert werden (Entfeuchtung, Schutz vor Abkühlung, Anwärmen etc.). Korrosive Bestandteile dürfen nur in den nachstehend genannten Konzentrationen enthalten sein (→ Seite 68).

Bei einer Rohgasqualität oberhalb der angegebenen Schwefelgrenzwerte muss eine auf die Gasqualität der Anlage ausgelegte Gasentschwefelung installiert werden.

## 4.1.2 Anforderung an das Brenngas

### Anforderung für MTU-Gasmotoren

Bezeichnung	Einheit	Grenzwert	Bemerkung
Methanzahl MZ	–	≥70: Motorkonfiguration für Standardwassergehalt in der Ansaugluft ≥75: Motorkonfiguration für hohen Wassergehalt in der Ansaugluft	Je nach Baumuster, Leistung und Brennstoffverbrauch können Anpassungen notwendig werden. Die Betriebsanleitung (Techn.-Daten) beachten. Für niedrigere Werte sind eine Rücksprache mit dem Hersteller sowie eine Gasanalyse erforderlich. Reduzierung der Motorleistung durch Klopfüberwachung. Methanzahl nach DIN EN 16726 berechnet.

Tabelle 43: Anforderung an das Brenngas für MTU-Gasmotoren

### 4.1.3 Hauptbestandteile von Erdgas und Brenngasen biogenen Ursprungs

#### Allgemeingültige Grenzen für die Hauptbestandteile von Erdgas und Brenngasen biogenen Ursprungs

Die für Gasmotoren in Frage kommenden Komponenten sind in den nachfolgenden Tabellen aufgeführt:

- Allgemeingültige Grenzen für die Hauptbestandteile von Erdgas (→ Tabelle 44)
- Allgemeingültige Grenzen für die Hauptbestandteile von Brenngasen biogenen Ursprungs (→ Tabelle 45)

#### Hauptbestandteile von Erdgas

Komponente	Einheit	Wertebereich (Maximalwert)
CH <sub>4</sub>	Vol.-%	80 bis 100
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (bzw. Summe C <sub>2</sub> H <sub>x</sub> )	Vol.-%	< 12
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (bzw. Summe C <sub>3</sub> H <sub>x</sub> )	Vol.-%	< 9
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (bzw. Summe C <sub>4</sub> H <sub>x</sub> )	Vol.-%	< 2
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	Vol.-%	< 0,3
Kohlenwasserstoffe C5+	Vol.-%	< 0,1
CO <sub>2</sub>	Vol.-%	< 10
N <sub>2</sub>	Vol.-%	< 15
Summe CO <sub>2</sub> + N <sub>2</sub>	Vol.-%	< 15
O <sub>2</sub>	Vol.-%	< 3
H <sub>2</sub>	Vol.-%	< 2
CO	Vol.-%	< 0,2

Tabelle 44:

Die oben aufgelisteten Komponenten gelten für Erdgaszusammensetzungen. Andere Komponenten als die oben aufgeführten Komponenten sind (neben Spurenstoffen) für Erdgaszusammensetzungen nicht üblich.

Wenn die Komponenten des Erdgases die aufgeführten Maximalwerte überschreiten, muss vor Verwendung dieses Erdgases eine Anfrage bei MTU erfolgen.

#### Hauptbestandteile von Brenngasen biogenen Ursprungs, vornehmlich aus Fermentationsprozessen (Werte sind luftfrei angegeben)

Komponente	Einheit	Wertebereich (Maximalwert)
CH <sub>4</sub>	Vol.-%	40 bis 85
CO <sub>2</sub>	Vol.-%	20 bis 55
N <sub>2</sub>	Vol.-%	< 10
O <sub>2</sub>	Vol.-%	< 3
H <sub>2</sub>	Vol.-%	< 2
CO	Vol.-%	< 0,2

Tabelle 45:

Die oben aufgelisteten Komponenten gelten für Brenngase biogenen Ursprungs. Andere Komponenten als die oben aufgeführten Komponenten sind (neben Spurenstoffen) für derartige Brenngase nicht üblich.

Wenn die Komponenten des Brenngases die aufgeführten Maximalwerte überschreiten, muss vor Verwendung dieses Biogases eine Anfrage bei MTU erfolgen.

#### 4.1.4 Liquid Natural Gas (LNG)

##### **Anmerkungen zu Liquid Natural Gas (LNG)**

Es ist zu beachten, dass die LNG-Bunker-Delivery-Note im IGF-Code die Komponentenanteile in Massenprozent ausweist. Diese Darstellung weicht erheblich von den üblichen Darstellungen in Mol oder Volumenprozent ab.

LNG-Tankbehälter dürfen nur zu 90% des Tankvolumens mit LNG befüllt werden. Jede Wärmezufuhr im Tankbehälter führt zur Verdampfung kleiner Mengen an flüssigem LNG, das sich dann als Gas in der "Boil Off" Phase sammelt. Die Zusammensetzung des Boil-Off-Gases hängt von der Zusammensetzung der flüssigen Phase ab. Der N<sub>2</sub>-Anteil der Boil-Off-Phase kann 20 mal größer sein als der Stickstoffgehalt in der flüssigen Phase. Im allgemeinen kann Boil-Off-Gas 20 Vol.-% Stickstoff und 80 Vol.-% Methan sowie Spuren von Äthan enthalten.

LNG nach EN 1160 ist auf ein unteres Methanlimit von 75% Massenanteil und auf ein oberes Stickstofflimit von 5% Massenanteil begrenzt.

Zur Vermeidung von Rollover-Effekten wird die Verwendung von LNG mit Stickstoffgehalten <1 Ma.-% empfohlen.

Rollover bezeichnet die Dampfungwicklung und den infolge dessen entstehenden Druckanstieg aufgrund schneller Vermischung von Flüssigkeitsschichten, wenn Flüssigkeit unterer Schichten im Tank in Bezug auf den Druck im oberen Gasraum des Tanks überhitzt sind.

In LNG befinden sich keine bzw. nur Spuren von CO<sub>2</sub>, da CO<sub>2</sub> bei Temperaturen unterhalb von -56 °C und bei tanküblichen Drücken von 5,2 bar in fester Form vorliegt. Unter Normaldruckbedingungen sublimiert CO<sub>2</sub> bei -78,5 °C.

#### 4.1.5 Silizium- und Schwefelverbindungen im Brenngas

Siliziumverbindungen im Gas führen zu Belägen und fördern den Verschleiß. Auch Katalysatoren werden hierdurch deaktiviert. Es wird keine Gewährleistung für Schäden übernommen, die durch Silizium-Schwefelverbindungen verursacht wurden.

Zur Bestimmung der Si-Konzentration im Schmieröl und dessen Grenzwert, siehe Kapitel Schmierstoffe (→ Seite 11).

##### **Ermittlung des Siliziumanteils und des Schwefelgehalts im Brenngas aus der Gasanalyse**

Es werden die gemessenen Konzentrationen bzw. der Schwefelgehalt der einzelnen Verbindungen mit den Si-,S-Masseanteilen multipliziert und der Siliziumgehalt bzw. Schwefelgehalt ermittelt.

Das Ergebnis wird auf den Heizwert des Brenngases bezogen und auf 10 kWh Energiegehalt (entspricht 1 m<sup>3</sup> i.N. CH<sub>4</sub>) normiert.

##### **Gemessener Siliziumanteil aus der Gasanalyse (bzw. Schwefelkonzentration)**

Konzentration Silizium im Klärgas	K Si	5,1 mg/m <sup>3</sup> i.N.
CH <sub>4</sub> Gehalt des Klärgases	K CH <sub>4</sub>	65 Vol.-%
Heizwert Klärgas	Hi <sub>n</sub>	6,5 kWh/m <sup>3</sup> i.N.

##### **Beispiel: Berechnete Konzentration des Siliziums begrenzt auf Hi<sub>n</sub> = 10 kWh/m<sup>3</sup>i.N.**

$$K_{Si} \cdot 10 \text{ (kW/m}^3\text{i.N.)} = K_{Si \text{ gemessen}} \times \frac{Hi_{n \text{ gemessen}}}{10 \text{ (kWh/m}^3\text{i.N.)}} =$$

$$5,1 \text{ (mg Si/m}^3\text{ i.N.)} \times \frac{6,5}{10} = 3,3 \text{ (mg Si/m}^3\text{ i.N.)}$$

## 4.2 Gasmotor BR4000 - Marineanwendung

### 4.2.1 Allgemeines

#### Wichtig

Es werden keine Gewährleistungen für Beeinträchtigungen und/oder Schäden (Korrosion, Verunreinigungen etc.) übernommen, die durch Gase oder Stoffe entstanden sind, deren Vorhandensein bei Vertragsabschluss nicht bekannt und vereinbart waren.

## 4.2.2 Anforderungen an das Brenngas für Marineanwendungen

### Anforderungen und Randbedingungen für MTU-Gasmotoren im Marineeinsatz

Bezeichnung	Einheit	Grenzwert	Bemerkung
Gasart		Natural Gas	Gilt für Erdgas H, andere Gase sind derzeit nicht freigegeben.
Methanzahl MZ	–	≥70: Motorkonfiguration für Standardwassergehalt in der Ansaugluft ≥75: Motorkonfiguration für hohen Wassergehalt in der Ansaugluft	Je nach Baumuster, Leistung und Brennstoffverbrauch können Anpassungen notwendig werden. Die Betriebsanleitung (Techn.-Daten) beachten. Für niedrigere Werte sind eine Rücksprache mit dem Hersteller sowie eine Gasanalyse erforderlich. Reduzierung der Motorleistung durch Klopfüberwachung. Methanzahl nach DIN EN 16726 berechnet.
Heizwert $H_{i,n}$	kWh/m <sup>3</sup> <sub>n</sub>	9,2 < $H_{i,n}$ < 11,5	Bei niedrigeren und höheren Grenzwerten ist eine Rücksprache mit dem Hersteller erforderlich.
Wobbeindex $W_{i,n}^{1), 2)}$	kWh/m <sup>3</sup> <sub>n</sub>	11,77 < $W_{i,n}$ < 14,18	Der Wobbeindex steht mit dem Heizwert in Zusammenhang. Der Wobbeindex darf weder überschritten noch unterschritten werden.
Zulässige Änderungsgeschwindigkeit des Heizwerts <sup>1)</sup>	kWh/m <sup>3</sup> <sub>n</sub> /min	0,067	Lineare, stetige Änderung erforderlich mit einer Änderungshäufigkeit von 1/h
Gasdichte <sup>2)</sup>	kg/m <sup>3</sup> <sub>n</sub>	0,73 bis 0,84	Die Gasdichte kann je nach Zusammensetzung schwanken, für eine bestimmte Gasart ist sie konstant. Bei Verwendung von Gasen aus unterschiedlichen Gasversorgungsbereichen können sich Änderungen der Dichte ergeben.
Mindestwert für Gasdruck vor Gasregelstrecke	bar(g)	1	Relevant für Leerlauf und Schwachlast. Spezifikation für Gasregelstrecke des jeweiligen Projekts / Motortyps beachten.
Zulässiger Bereich für Gasdruck vor Gasregelstrecke für volle Motorleistung und Beschleunigungsvermögen.	bar(g)	6,0... 10,0	Spezifikation für Gasregelstrecke des jeweiligen Projekts / Motortyps beachten.
Gasdruckabweichung vom Einstellwert	bar	±0,5	Der Einstellwert für Gasdruck vor Gasregelstrecke darf nicht unterschritten werden.
Zulässige Änderungsgeschwindigkeit des Gasdrucks vor Gasregelstrecke	bar/s	0,3	Stetige Änderung erforderlich, gilt für dynamischen und Beharrungszustand des Motors.

Bezeichnung	Einheit	Grenzwert	Bemerkung
Gastemperatur	°C	10...40	Kondensation von Wasserdampf bei <10 °C, thermische Alterung von NBR-Werkstoffen (Dichtungen, Membranen) und Einfluss auf Elastizitätsverhalten bei höheren Temperaturen. Für den Startvorgang gelten die Mindesttemperaturen ebenfalls. Spezifikation für Gasregelstrecke des jeweiligen Projekts / Motortyps beachten. Für niedrigere und höhere Temperaturen ist eine Rücksprache mit dem Hersteller erforderlich.
Zulässige Änderungsgeschwindigkeit der Gastemperatur	K/min	10	
Wasser: Taupunkttemperatur	°C	0	Bei Betriebsdruck. Keine Wasserdampfkondensation im Druck- und Temperaturbereich. Bei höheren Werten ist eine Gastrocknung vorzusehen. Gültig für den gesamten Gastemperaturbereich.
Öldämpfe (HC mit Kohlenstoffzahl >5)	mg/m <sup>3</sup> <sub>n</sub>	<10	Keine Kondensation in Brenngas und Brenngasluftgemisch führenden Leitungen. Keine Bildung von kondensierbaren Ölnebeln.
HC-Lösungsmitteldämpfe	mg/m <sup>3</sup> <sub>n</sub>	0	Rücksprache mit Hersteller und Analyse erforderlich
Organisch gebundenes Silicium (z. B. Silane, Siloxane, Silikone)	mg/m <sup>3</sup> <sub>n</sub> CH <sub>4</sub>	<1,0	Rücksprache mit Hersteller und Analyse erforderlich
Anorganisch gebundenes Silicium	mg/m <sup>3</sup> <sub>n</sub>	<5	Bei Si >5 mg/m <sup>3</sup> <sub>n</sub> bezogen auf 100% CH <sub>4</sub> Brenngasgehalt sind Verschleißprodukte in der Ölanalyse zu beachten.
Staub 3- 10 µm	mg/m <sup>3</sup> <sub>n</sub>	<5	DVGW Arbeitsblatt G260
Staub <3 µm	mg/m <sup>3</sup> <sub>n</sub>	Analyse	Analyse erforderlich
Schwefelwasserstoff	mg/kg	7	DIN 51624
Gesamtschwefel	mg/kg	10	DIN 51624
Chlor	mg/m <sup>3</sup> <sub>n</sub>	10 <sup>3</sup> )	Bei höheren Werten Rücksprache mit Hersteller und Analyse erforderlich
Fluor	mg/m <sup>3</sup> <sub>n</sub>	5 <sup>3</sup> )	Bei höheren Werten Rücksprache mit Hersteller und Analyse erforderlich

Bezeichnung	Einheit	Grenzwert	Bemerkung
Chlor + Fluor	mg/m <sup>3</sup> <sub>n</sub>	10 <sup>3)</sup>	Bei höheren Werten Rücksprache mit Hersteller und Analyse erforderlich
NH <sub>3</sub>	ppm	70 <sup>3)</sup>	Bei höheren Werten Rücksprache mit Hersteller und Analyse erforderlich

Tabelle 46:

1) = Heizwert

Die Wärmemenge, die bei vollständiger Verbrennung einer gegebenen Gasmenge in Luft frei werden würde, wobei der Druck p bei dem die Reaktion abläuft konstant bleibt und alle Verbrennungsprodukte auf die gleiche Temperatur t wie die der Reaktionspartner zurückgeführt werden. Dabei liegen alle diese Verbrennungsprodukte gasförmig vor.

Die Standardenthalpie von Heizwert und Wobbeindex sind bezogen auf eine Temperatur von 25 °C. Es ist zu beachten, dass in der amerikanischen Literatur auf Referenztemperaturen von 15 °C bezogen wird.

Umrechnungen auf andere Referenztemperaturen können mit EN ISO 6976 oder mit EN ISO 14912 durchgeführt werden.

2) = Volumetrische Größen sind auf Normzustand nach DIN 1343 bezogen. Normzustand ist derjenige Referenzzustand, der durch die Normtemperatur  $T_n = 273,15 \text{ K}$  bzw.  $t_n = 0 \text{ °C}$  und den Normdruck  $p_n = 101325 \text{ Pa} = 1,01325 \text{ bar}$  festgelegt ist.

Es ist zu beachten, dass in der amerikanischen Literatur und neuere Standards wie DIN EN 16726 der Standardenthalpiebezug für Heiz- und Brennwerte, Wobbeindex auf 15 °C bezogen sind und volumetrische Größen durch die Normtemperatur  $T_0 = 288,15 \text{ K}$  bzw.  $t_0 = 15 \text{ °C}$  und den Normdruck  $p_n = 101325 \text{ Pa} = 1,01325 \text{ bar}$  festgelegt sind.

3) = Ein nicht bindender Richtwert bei Verwendung von Oxidationskatalysatoren. Analyse und Rücksprache mit MTU erforderlich.

Die Grenzwerte sind auf einen Heizwert von 10 kWh/m<sup>3</sup><sub>n</sub> bezogen. Dies entspricht einem Bezug auf Brennstoffe mit 100 Vol.-% Methan, bzw. bei Vorhandensein anderer brennbarer Bestandteile im Brennstoff einem gleichwertigen Energieäquivalent und damit einem gleichwertigen Schadstoffeintrag.

## 4.2.3 Vorschrift für das Medium im Hüllraum der Gasleitung in der Marineanwendung

### Grundsätzliches

Entsprechend der IGF 5.5.2 sind alle brenngasführenden Leitungen, die in einem "safe machinery concept"-konformen Maschinenraum geführt werden, doppelwandig auszuführen. Dieser Hüllraum um die Brennstoffleitung soll mit Hilfe eines Mediums und entsprechender Messtechnik die Detektion einer Brenngasleckage ermöglichen. Der IGF-Code sieht hierfür grundsätzlich zwei Möglichkeiten vor:

1. Spülung/Lüftung des Hüllraums mit Luft
2. Herstellung eines höheren Druckniveaus - als das des Brenngases, in der Hülle um die Brennstoffleitung mit einem inerten Gas.

Das Gassystem des MTU-Marinemotors ist ausgelegt in beiden Varianten betrieben zu werden. Die Gasregelstrecke kann nur mit dem Luftspülkonzept genutzt werden. Dabei sind die Medien im Hüllraum um die Gasleitung wie folgt spezifiziert:

#### 1. Luftspülkonzept

Bezeichnung	Einheit	Grenzwert	Bemerkung
Mediumtyp		Luft	Ansaugung über separate Luftführung von außerhalb des Schiffes
Mediumtemperatur Eintritt Motor	°C	0-50	
Luftfeuchtigkeit (abs)	g <sub>Wasser</sub> /kg <sub>Trockene Luft</sub>	37,7	
Salzgehalt der angesaugten Luft	ppm	50	
Volumenstrom	m <sup>3</sup> /h	11,5 - 30	Unterer Grenzwert orientiert sich an max. Volumen samt Gasregelstrecke und Zuleitungen. Unterer Grenzwert stellt den Mindestluftwechsel/Stunde sicher. Oberer Grenzwert sollte nicht überschritten werden um hohe Druckverluste zu vermeiden.

Tabelle 47:

#### 2. Inertgas-Überdruck-Konzept

Bezeichnung	Einheit	Grenzwert	Bemerkung
Mediumtyp		Stickstoff	Stickstoff aus einem Generator oder aus Flaschen
Mediumtemperatur Eintritt Motor	°C	0-80	
Wassergehalt	Vol.-%	≤ 50	Wert für Stickstoff 2,8
Reinheit des Stickstoffs	Vol.-%	≥ 99,8	Wert für Stickstoff 2,8
Sauerstoffgehalt	Vol.-%	≤ 100	Wert für Stickstoff 2,8
Druckbereich des Mediums	bar (abs)	< 11	

Bezeichnung	Einheit	Grenzwert	Bemerkung
Volumen der Hülle am Motor (ohne Gasregelstrecke) (Doppelwandigkeit)	m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	0,079 - 0,095	
Leckage	gStickstoff/h	3 - 5	Dient zur Auslegung der Nachfüllmenge/Intervalle

*Tabelle 48:*

Details zur Einbindung in das Gassystem und Ausführungsvorschläge für Überwachung und Anordnung der einzelnen Komponenten sind im Safety-Concept, -Schemazeichnungen und Einbauvorschriften dokumentiert.

## 4.3 Gasmotor BR4000 – Generatoranwendung und Generatoraggregat

### 4.3.1 Allgemeines

#### Wichtig

Es werden keine Gewährleistungen für Beeinträchtigungen und/oder Schäden (Korrosion, Verunreinigungen etc.) übernommen, die durch Gase oder Stoffe entstanden sind, deren Vorhandensein bei Vertragsabschluss nicht bekannt und vereinbart waren.

## 4.3.2 Erdgas - Anforderungen an das Brenngas

### Anforderungen an das Brenngas

Bezeichnung	Einheit	Grenzwert	Bemerkung
Gasart		Erdgas	Gilt für Erdgas H, L und Flözgas aus nicht erschlossenen Lagerstätten (pre mining Coal Bed Methane). Andere Gase sind derzeit nicht freigegeben.
Methanzahländerung	-/min.	5	Lineare stetige Änderung mit einer Häufigkeit von maximal 1/h
Heizwert $H_{i,n}$	kWh/m <sup>3</sup> i.N.	$8,0 < H_{i,n} < 11,0$	Für niedrigere und höhere Werte ist Werksanfrage notwendig
Heizwertschwankung zum Einstellwert	%	$\pm 5^{**}$	Für höhere Werte ist Werksanfrage notwendig
Zulässige Änderungsgeschwindigkeit des Heizwerts zum Einstellwert	%/min.	1,0	Lineare stetige Änderung erforderlich mit einer maximalen Häufigkeit von 1/h
Dichte des Gases	kg/m <sup>3</sup> i.N.	0,73 bis 0,84	Die Dichte des Gases kann entsprechend der Zusammensetzung schwanken, für eine bestimmte Gasart ist sie konstant. Bei Verwendung von Gasen aus unterschiedlichen Gasversorgungsbereichen können sich Änderungen der Dichte ergeben. Bei Wechsel des Gaszulieferers ist eine Gasanalyse, bei Bedarf eine Anpassung der Gemischregelung notwendig.
Gasdruckschwankungen zum Einstellwert	%	$\pm 5$	
Zulässige Änderungsgeschwindigkeit des Gasdrucks	mbar/min.	1	Stetige Änderung erforderlich
<p>* = Für Motoren mit Abgasnachbehandlung und / oder Abgaswärmenutzung können niedrigere Grenzwerte gelten. Bei Einsatz von Oxidationskatalysatoren, Analyse und Rücksprache mit MTU erforderlich.</p> <p>** = Für die optionale Betriebsart "Regelenergie mit Schnellstartfähigkeit 120 Sekunden" gilt ein Grenzwert von <math>\pm 3</math> % zum Einstellwert.</p>			

Bezeichnung	Einheit	Grenzwert	Bemerkung
Gastemperatur Erdgas aus öffentlicher Gasnetzversorgung	°C	5 < T < 45	Bei Gefahr von Taupunktunterschreitung muss die Gastemperatur erhöht werden. Bei abweichenden Temperaturen besteht Gefahr thermischer Alterung von NBR-Werkstoffen (Dichtungen, Membranen) sowie Beeinflussung des Elastizitätsverhaltens.
Erdgas aus örtlichen LNG-Verdampferanlagen		15 < T < 45	Gegebene Druck- und Heizwertkombinationen können den T-Bereich einschränken. Dies kann über eine Druckanpassung kompensiert werden, damit ein Betrieb in Nennlast für den gesamten T-Bereich gewährleistet ist. Bei Anlagen mit LNG-Betrieb muss der zulässige Temperaturbereich projektspezifisch abgestimmt werden. Die Ausführung der Gasverdampfung muss dazu seitens MTU bewertet werden.
Gastemperaturschwankung zum Einstellwert	°C	± 9	
Zulässige Änderungsgeschwindigkeit der Gastemperatur	K/min.	0,3	
Relative Gasfeuchte im Gas bei zulässigem Temperatur- und Druckbereich	%	< 80	Keine Betauung im gesamten Gas- und Gemischsystem zulässig. Keine Wasserdampfkondensation im Druck- und Temperaturbereich.
Max. Gasfeuchte, absolut	g/kg	< 20	Keine Kondensation in brenngas- und brenngasluftgemisch-führenden Leitungen und Behältern zulässig.
Öle / Öldämpfe (HC mit Kohlenstoffzahl >8)	mg/m³ i.N.	< 0,4	Keine Kondensation in brenngas- und brenngasluftgemisch-führenden Leitungen, sowie Bildung von kondensierbaren Ölnebeln
Langkettige Kohlenwasserstoffe (C <sub>6</sub> - C <sub>n</sub> )	mol %	K.A.	Rücksprache mit MTU erforderlich
HC- Lösungsmitteldämpfe	mg/m³ i.N.	0	Werksanfrage und Analyse notwendig
Organisch gebundenes Silicium	mg/m³ i.N.	<1,0	
<p>* = Für Motoren mit Abgasnachbehandlung und / oder Abgaswärmenutzung können niedrigere Grenzwerte gelten. Bei Einsatz von Oxidationskatalysatoren, Analyse und Rücksprache mit MTU erforderlich.</p> <p>** = Für die optionale Betriebsart "Regelenergie mit Schnellstartfähigkeit 120 Sekunden" gilt ein Grenzwert von ± 3 % zum Einstellwert.</p>			

TIM-ID: 0000051849 - 005

Bezeichnung	Einheit	Grenzwert	Bemerkung
Anorganisches gebundenes Silicium	mg/m <sup>3</sup> i.N.	< 6	Bei Si > 5 mg/m <sup>3</sup> i.N. bezogen auf 100 % CH <sub>4</sub> Brenngasgehalt sind Verschleißprodukte in der Ölanalyse zu beachten
Staub 3 bis 10 µm	mg/m <sup>3</sup> i.N.	5	DVGW Arbeitsblatt G260 Staub ist derartig zu entfernen, dass der Betrieb von Gasgeräten und gas-technischen Einrichtungen normgerechter oder üblicher Konstruktion störungsfrei gewährleistet ist.
Staub < 3 µm	mg/m <sup>3</sup> i.N.	Technisch frei	Staub < 3 µm ist durch eine technische Analyse zu bewerten, gegebenenfalls sind entsprechende Spezialfilter zu verwenden.
Gesamtschwefel	mg/m <sup>3</sup> i.N.	30	DVGW Arbeitsblatt G260
Mercaptanschwefel	mg/m <sup>3</sup> i.N.	6	DVGW Arbeitsblatt G260
Schwefelwasserstoff H <sub>2</sub> S	mg/m <sup>3</sup> i.N.	5	DVGW Arbeitsblatt G260
Chlor	mg/m <sup>3</sup> i.N.	10*	Bei höheren Werten ist eine Werksanfrage und Analyse notwendig
Fluor	mg/m <sup>3</sup> i.N.	5*	Bei höheren Werten ist eine Werksanfrage und Analyse notwendig
Chlor + Fluor	mg/m <sup>3</sup> i.N.	10*	Bei höheren Werten ist eine Werksanfrage und Analyse notwendig
NH <sub>3</sub>	ppm	70*	Bei höheren Werten ist eine Werksanfrage und Analyse notwendig

\* = Für Motoren mit Abgasnachbehandlung und / oder Abgaswärmenutzung können niedrigere Grenzwerte gelten. Bei Einsatz von Oxidationskatalysatoren, Analyse und Rücksprache mit MTU erforderlich.  
\*\* = Für die optionale Betriebsart "Regelenergie mit Schnellstartfähigkeit 120 Sekunden" gilt ein Grenzwert von ± 3 % zum Einstellwert.

Tabelle 49: Anforderungen und Randbedingungen für den Brennstoff Erdgas und die entsprechende Brennstoffversorgung

Alle aufgeführten Grenzwerte von Schadstoffen (in ppm und mg/m<sup>3</sup>) sind auf einen Heizwert von 10 kWh/m<sup>3</sup> i.N. bezogen. Dies entspricht einem Bezug auf Brennstoffe mit 100 Vol.-% Methan, bzw. bei Vorhandensein anderer brennbarer Bestandteile im Brennstoff einem gleichwertigen Energieäquivalent und damit einem gleichwertigen Schadstoffeintrag.

#### Beispiel:

- Es wird russisches Erdgas mit einem Heizwert von 10 kWh/m<sup>3</sup> i.N. verwendet. Damit entspricht der zulässige Wert für Gesamtschwefel im Gas exakt dem in der Tabelle angegebenen Grenzwert.
- Bei Verwendung eines Gases (Beispiel Osthannover) mit  $H_{i,n} = 8,15 \text{ kWh/m}^3 \text{ i.N.}$  berechnet sich der zulässige Maximalwert für Gesamtschwefel folgendermaßen:  
Zulässiger Gesamtschwefelgehalt =  $30 \text{ mg/m}^3 \text{ i.N.} \cdot (8,15 \text{ kWh/m}^3 \text{ i.N.} : 10,0 \text{ kWh/m}^3 \text{ i.N.}) = 24,5 \text{ mg/m}^3 \text{ i.N.}$

### 4.3.3 Biogas - Anforderungen an das Brenngas

#### Anforderungen an den Brennstoff Biogas

Bezeichnung	Einheit	Grenzwert	Bemerkung
Gasart		Biogene Gase aus Fermentationsprozessen	
Methanzahl MZ	–	≥ 115	Bei Unterschreitung, Gefahr klopfender Verbrennung. Gasanalyse und Werksanfrage erforderlich
Heizwert $H_{i,n}$	kWh/m <sup>3</sup> i.N.	4,5 < $H_{i,n}$ < 8,0	Für niedrigere und höhere Werte ist Werksanfrage notwendig
Heizwertschwankung zum Einstellwert	%	± 20	Für höhere Werte ist Werksanfrage notwendig
Maximale Änderungsgeschwindigkeit des Heizwerts zu Einstellwert im Betrieb	%/min.	1	<1/ h zulässig Im Normalbetrieb
Schnelle Änderung des Heizwerts bei Start - und Anfahrvorgängen	%/min.	<10,0	Mit einer Häufigkeit von <1/ h zulässig
Dichte des Gases	kg/m <sup>3</sup> i.N.	0,93 bis 1,40	Die Dichte des Gases kann entsprechend der Zusammensetzung schwanken. Bei Änderungen des Hauptsubstrats und/ oder signifikanten Änderungen im Mischungsverhältnis der Substrate ist eine Gasanalyse, bei Bedarf eine Anpassung der Gemischregelung notwendig.
Gasdruckschwankung zum Einstellwert	%	± 10	Gilt für den Gaseintritt am motorseitigen Gasdosierventil
Zulässige Änderungsgeschwindigkeit des Gasdrucks	mbar/min.	1	Gilt für den Gaseintritt am motorseitigen Gasdosierventil
Gastemperatur	°C	5 < t < 45	Es sind keine Phasenübergänge im Biogas-Luft-Gemisch während des Motorbetriebs zulässig. Bei Gefahr von Taupunktunterschreitung muss die Gastemperatur erhöht werden. Bei abweichenden Temperaturen besteht Gefahr thermischer Alterung von NBR-Werkstoffen (Dichtungen, Membranen) sowie Beeinflussung des Elastizitätsverhaltens bei höheren Temperaturen. Grenzwerte gelten für den Gaseintritt am motorseitigen Gasdosierventil

\* = bei diesen Werten handelt es sich um unverbindliche Richtwerte für Motoren der Baureihe 4000, für Aggregate mit Abgasnachbehandlung können niedrigere Grenzwerte gelten.

\*\* = beim Motor 20V4000L32FB sind geringere Werte gültig. Eine Werksanfrage ist erforderlich.

Bezeichnung	Einheit	Grenzwert	Bemerkung
Gastemperaturschwankung zum Einstellwert	°C	± 15	Gilt für den Gaseintritt am motorseitigen Gasdosierventil
Zulässige Änderungsgeschwindigkeit der Gastemperatur	K/min.	0,3	Gilt für den Gaseintritt am motorseitigen Gasdosierventil
Relative Gasfeuchte im Gas im zulässigen Temperatur- und Druckbereich	%	< 80	Keine Betauung im gesamten Gas- und Gemischsystem zulässig Keine Wasserdampfkondensation im Druck- und Temperaturbereich.
Max. Gasfeuchte, absolut	g/kg	< 28	Keine Kondensation in Brenngas und Brenngasluftgemisch führenden Leitungen und Behältern zulässig. Bei höheren Werten oder Gefahr der Kondensation im Betriebsbereich von Druck und Temperatur ist eine Gastrocknung vorzusehen. Keine Phasenübergänge im Brenngas-Luftgemisch während des Motorbetriebs im Druck- und Temperaturbereich, bei höheren Werten ist eine Gastrocknung vorzusehen.
Öle / Öldämpfe	mg/m <sup>3</sup> i.N.	< 0,4	Keine Kondensation in Brenngas- und Brenngasluftgemisch führenden Leitungen, sowie Bildung von kondensierbaren Ölnebeln.
HC-Lösungsmitteldämpfe	mg/m <sup>3</sup> i.N.	0	
Silicium aus organischen Verbindungen	mg/m <sup>3</sup> i.N.	< 4*	Bei Si > 2 mg/m <sup>3</sup> i.N. bezogen auf 100 % CH <sub>4</sub> Brenngasgehalt sind Verschleißprodukte in der Ölanalyse zu beachten.
Anorganisch gebundenes Silicium	mg/m <sup>3</sup> i.N.	< 2*	
Staub 3 bis 10 µm	mg/m <sup>3</sup> i.N.	5	DVGW Arbeitsblatt G260
Staub < 3 µm	mg/m <sup>3</sup> i.N.	Technisch frei	Staub ist derartig zu entfernen, dass der Betrieb von Gasgeräten und gastechnischen Einrichtungen normgerechter oder üblicher Konstruktion störungsfrei gewährleistet ist. Staub < 3 µm ist durch eine technische Analyse zu bewerten, gegebenenfalls sind entsprechende Spezialfilter zu verwenden.
Silicium aus organischen und anorganischen Verbindungen	mg/m <sup>3</sup> i.N.	6*	
Gesamtschwefel	mg/m <sup>3</sup> i.N.	800* / **	
Mercaptanschwefel	mg/m <sup>3</sup> i.N.	4*	
Schwefelwasserstoff H <sub>2</sub> S	mg/m <sup>3</sup> i.N.	850*	

\* = bei diesen Werten handelt es sich um unverbindliche Richtwerte für Motoren der Baureihe 4000, für Aggregate mit Abgasnachbehandlung können niedrigere Grenzwerte gelten.

\*\* = beim Motor 20V4000L32FB sind geringere Werte gültig. Eine Werksanfrage ist erforderlich.

Bezeichnung	Einheit	Grenzwert	Bemerkung
Summe aller Chlor- und Fluorverbindungen	mg/m <sup>3</sup> i.N.	≤ 40*	
Chlor	mg/m <sup>3</sup> i.N.	≤ 40*	Bei höheren Werten ist eine Werksanfrage und Analyse notwendig
Fluor		≤ 20*	Bei höheren Werten ist eine Werksanfrage und Analyse notwendig
NH <sub>3</sub>	ppm	70*	Bei höheren Werten ist eine Werksanfrage und Analyse notwendig

\* = bei diesen Werten handelt es sich um unverbindliche Richtwerte für Motoren der Baureihe 4000, für Aggregate mit Abgasnachbehandlung können niedrigere Grenzwerte gelten.  
 \*\* = beim Motor 20V4000L32FB sind geringere Werte gültig. Eine Werksanfrage ist erforderlich.

Tabelle 50: Anforderungen und Randbedingungen für den Brennstoff Biogas und die entsprechende Brennstoffversorgung

Bei Verwendung der Baureihe 4000 in Aggregaten, mit und ohne Abgaswärmekopplung und/oder Abgasnachbehandlungssystemen, sind die jeweiligen Angaben des Aggregateherstellers zu beachten.

### Anforderungen an den Brennstoff "gering belastetes Biogas"

Nachfolgende Grenzwerte definieren "gering belastetes Biogas". Alle übrigen Grenzwerte für gering belastetes Biogas entsprechen den allgemeinen Grenzwerten für Biogas (→ Tabelle 50).

Bezeichnung	Einheit	Grenzwert	Bemerkung
Silicium aus organischen Verbindungen	mg/m <sup>3</sup> i.N.	< 1*	Bei Si > 2 mg/m <sup>3</sup> i.N. bezogen auf 100 % CH <sub>4</sub> Brenngasgehalt sind Verschleißprodukte in der Ölanalyse zu beachten.
Anorganisch gebundenes Silizium	mg/m <sup>3</sup> i.N.	< 0,5*	
Silicium aus organischen und anorganischen Verbindungen	mg/m <sup>3</sup> i.N.	1,5*	
Gesamtschwefel	mg/m <sup>3</sup> i.N.	140*	
Mercaptanschwefel	mg/m <sup>3</sup> i.N.	1*	
Schwefelwasserstoff H <sub>2</sub> S	mg/m <sup>3</sup> i.N.	150*	
Summe aller Chlor- und Fluorverbindungen	mg/m <sup>3</sup> i.N.	≤ 8*	
Chlor	mg/m <sup>3</sup> i.N.	≤ 8*	Bei höheren Werten ist eine Werksanfrage und Analyse notwendig
Fluor		≤ 4*	Bei höheren Werten ist eine Werksanfrage und Analyse notwendig
NH <sub>3</sub>	ppm	14*	Bei höheren Werten ist eine Werksanfrage und Analyse notwendig

\* = bei diesen Werten handelt es sich um unverbindliche Richtwerte für Motoren der Baureihe 4000, für Aggregate mit Abgasnachbehandlung können niedrigere Grenzwerte gelten (→ Tabelle 52).

Tabelle 51: Anforderungen und Randbedingungen für den Brennstoff "gering belastetes Biogas" und die entsprechende Brennstoffversorgung

Alle aufgeführten Grenzwerte von Schadstoffen (in ppm und mg/m<sup>3</sup>) sind auf einen Heizwert von 10 kWh/m<sup>3</sup> i.N. bezogen. Dies entspricht einem Bezug auf Brennstoffe mit 100 Vol.-% Methan, bzw. bei Vorhandensein anderer brennbarer Bestandteile im Brennstoff einem gleichwertigen Energieäquivalent und damit einem gleichwertigen Schadstoffeintrag.

**Beispiel:**

- Es wird russisches Erdgas mit einem Heizwert von 10 kWh/m<sup>3</sup> i.N. verwendet. Damit entspricht der zulässige Wert für Gesamtschwefel im Gas exakt dem in der Tabelle angegebenen Grenzwert.
- Bei Verwendung eines Gases (Beispiel Osthannover) mit  $H_{i,n} = 8,15 \text{ kWh/m}^3 \text{ i.N.}$  berechnet sich der zulässige Maximalwert für Gesamtschwefel folgendermaßen:  

$$\text{Zulässiger Gesamtschwefelgehalt} = 30 \text{ mg/m}^3 \text{ i.N.} \cdot (8,15 \text{ kWh/m}^3 \text{ i.N.} : 10,0 \text{ kWh/m}^3 \text{ i.N.}) = 24,5 \text{ mg/m}^3 \text{ i.N.}$$

**Schadstoffkonzentrationen im Kraftstoff (bei Abgasnachbehandlung / Abgaswärmenutzung)**

Je nach Anwendung sind folgende maximal zulässigen Schadstoffkonzentrationen im Kraftstoff einzuhalten:

Bezeichnung	Einheit	Oxidationskatalysator / Abgaswärmenutzung		
		Ohne* / Ohne	Mit / 120 °C bis 180 °C	Mit / Ohne
Summe aller Schwefelverbindungen (gerechnet als S)	mg/m <sup>3</sup> i.N.	800	20	200
Schwefelwasserstoff (H <sub>2</sub> S)	ppm	550	7	70
Summe aller Chlorverbindungen (gerechnet als Cl)	mg /m <sup>3</sup> i.N.	40	0,5	0,5
Summe aller Fluorverbindungen (gerechnet als F)	mg /m <sup>3</sup> i.N.	40	0,5	0,5
Summe aller Siliziumverbindungen (gerechnet als Si)	mg /m <sup>3</sup> i.N.	5	0	0
Ammoniak (NH <sub>3</sub> )	ppm	30	30	30
Schwermetalle (Pb, Hg, As, Sb, Cd)	µg/m <sup>3</sup> i.N.	Auf Nachfrage	10	10

\*= für "gering belastetes Biogas" gelten entsprechend geringere Werte (→ Tabelle 51).

Tabelle 52: Schadstoffkonzentrationen im Kraftstoff

## 4.4 Gasmotor BR400 - Generatoraggregat

### 4.4.1 Erdgas - Kraftstoffwerte

#### **Einzuhaltende Kraftstoffwerte**

Folgende Kraftstoffwerte sind am Eintritt in die Gasregelstrecke (Lieferumfang MTU) einzuhalten:

Bezeichnung	Einheit	Grenzwert
Mindestmethanzahl	Siehe Technische Beschreibung	
Mindestheizwert		
Änderungsgeschwindigkeit Heizwert	% je min	<1
Änderungsgeschwindigkeit Methanzahl	MZ je min	<5
Mindestgasfließdruck (Überdruck)	mbar	<20
Maximaler Gasfließdruck (Überdruck)	mbar	<50
Max. Gasdruckschwankungen (Regelschwankung kurzzeitig)	mbar	±5
Max. Änderungsgeschwindigkeit des Gasdrucks	mbar/s	<1
Gastemperatur	°C	5 bis 45
Max. Wasserdampfanteil	Vol.-%	<0,5
Staubpartikel > 3 µm	mg/m <sup>3</sup> i.N	<5
Ölige Bestandteile	mg/m <sup>3</sup> i.N	<0,4

*Tabelle 53: Einzuhaltende Kraftstoffwerte*

Korrosive Bestandteile, mit Ausnahme eines max. Gesamtschwefelgehalts von 30 mg/m<sup>3</sup>i.N., kurzzeitig 150 mg/m<sup>3</sup>i.N., dürfen nicht enthalten sein (analog DVGW Blatt G 260).

Achtung: Der gelieferte Gasfilter (50 µm) am Eintritt der Gasregelstrecke stellt obigen Staubgrenzwert nicht sicher und dient lediglich zum Schutz der Gasarmaturen.

## 4.4.2 Biogas – Kraftstoffwerte

Schwankungen in der Gasqualität sind bei Bio-, Klär- und Deponiegas nicht zu vermeiden, ebenfalls die Anwesenheit von störenden Verunreinigungen.

Um einen störungsfreien Betrieb zu ermöglichen und Schäden zu vermeiden, müssen jedoch bestimmte Grenzwerte eingehalten werden.

Wenn sich bei der Inbetriebnahme herausstellt, dass die erforderliche Kraftstoffqualität nicht vorhanden ist, behält sich MTU eine Berechnung der abgebrochenen Inbetriebnahme vor.

Die Einhaltung der im Datenblatt genannten Emissions- und Verbrauchsangaben gelten nur für die angegebenen Referenzgaszusammensetzungen für Bio-, Klär- und Deponiegas. Hierbei ist das Volumenverhältnis  $\text{CO}_2 / \text{CH}_4$  von Bedeutung.

### Wichtig

Die aufgelisteten Komponenten / Grenzwerte sind für Biogasmotoren relevant. Andere Komponenten / Grenzwerte sind nicht zulässig.

### Einzuhaltende Kraftstoffwerte

Folgende Kraftstoffwerte sind am Eintritt in die Gasregelstrecke (Lieferumfang MTU) einzuhalten:

Bezeichnung	Einheit	Grenzwert
Mindestmethanzahl	Siehe Technische Beschreibung	
Mindestheizwert		
Änderungsgeschwindigkeit Heizwert	% je min	1
Änderungsgeschwindigkeit Methanzahl	MZ je min	5
$\text{CO}_2 / \text{CH}_4$ Volumenverhältnis	-	$\leq 0,65$
Methangehalt, feucht	Vol.-%	Siehe techn. Daten
Mindestgasfließdruck (Überdruck)	mbar	30
Maximaler Gasfließdruck (Überdruck)	mbar	50
Max. Gasdruckschwankungen (Regelschwankung kurzzeitig)	mbar	$\pm 5$
Max. Änderungsgeschwindigkeit des Gasdrucks	mbar/s	1
Max. Gastemperatur (ohne Derating)	$^{\circ}\text{C}$	35
Max. Sauerstoffgehalt	Vol.-%	2
Max. Wasserdampfanteil	Vol.-%	3,1
Gasabkühlung auf mindestens	$^{\circ}\text{C}$	$< 25$
Staubpartikel $> 3 \mu\text{m}$	$\text{mg}/\text{m}^3\text{i.N}$	5
Ölige Bestandteile	$\text{mg}/\text{m}^3\text{i.N}$	0,4

Tabelle 54: Einzuhaltende Kraftstoffwerte

ACHTUNG: Der gelieferte Gasfilter ( $50 \mu\text{m}$ ) am Eintritt der Gasregelstrecke stellt obigen Staubgrenzwert nicht sicher und dient lediglich zum Schutz der Gasarmaturen.

### 4.4.3 Störende Verunreinigungen

Je nach Anwendung sind folgende maximal zulässige Verunreinigungen im Kraftstoff einzuhalten:

Bezeichnung	Einheit	Oxidationskatalysator / Abgaswärmenutzung					
		Ohne / 180 °C / Ohne		Mit EMK* / 120 °C / 180 °C	Mit EMK* / Ohne	Mit SRK** / 180 °C	Mit SRK** / Ohne
		Biogas	gering belastetes Biogas	20 mg/m <sup>3</sup> i.N. HCHO		30 mg/m <sup>3</sup> i.N. HCHO	
Summe aller Schwefelverbindungen (S)	mg/m <sup>3</sup> i.N.	1200	140	20	200	70	140
entspricht Schwefelwasserstoff (H <sub>2</sub> S)	ppm	840	50	14	140	50	100
Summe aller Chlorverbindungen (Cl)	mg/m <sup>3</sup> i.N.	100	8	0,5	0,5	0,5	0,5
Summe aller Fluorverbindungen (F)	mg/m <sup>3</sup> i.N.	50	8	0,5	0,5	0,5	0,5
Summe aller Siliziumverbindungen (Si)	mg/m <sup>3</sup> i.N.	5	4	0	0	0	0
Ammoniak (NH <sub>3</sub> )	ppm	60	14	60	60	60	60
Schwermetalle (Pb, Hg, As, Sb, Cd)	µg/m <sup>3</sup> i.N.	auf Anfrage	auf Anfrage	10	10	10	10
* EMK = Edelmetallkatalysator							
** SRK = schwefelresistenter Katalysator							

Tabelle 55: Schadstoffkonzentrationen im Kraftstoff

Alle aufgeführten Grenzwerte von Schadstoffen (in ppm und mg/m<sup>3</sup>) sind auf einen Heizwert von 10 kWh/m<sup>3</sup> i.N. bezogen. Dies entspricht einem Bezug auf Brennstoffe mit 100 Vol.-% Methan, bzw. bei Vorhandensein anderer brennbarer Bestandteile im Brennstoff einem gleichwertigen Energieäquivalent und damit einem gleichwertigen Schadstoffeintrag.

#### Beispiel:

- Es wird russisches Erdgas mit einem Heizwert von 10 kWh/m<sup>3</sup> i.N. verwendet. Damit entspricht der zulässige Wert für Gesamtschwefel im Gas exakt dem in der Tabelle angegebenen Grenzwert.
- Bei Verwendung eines Gases (Beispiel Osthannover) mit Hi,n = 8,15 kWh/m<sup>3</sup> i.N. berechnet sich der zulässige Maximalwert für Gesamtschwefel folgendermaßen:  
 Zulässiger Gesamtschwefelgehalt = 30 mg/m<sup>3</sup> i.N. · (8,15 kWh/m<sup>3</sup>i.N. : 10,0 kWh/m<sup>3</sup> i.N.) = 24,5 mg/m<sup>3</sup> i.N.

Bei einer Rohgasqualität oberhalb der Schwefelgrenzwerte muss eine, auf die Gasqualität der Anlage ausgelegte, Gasentschwefelung installiert werden.

Mit dem schwefelresistenten MTU-Spezial-Oxidationskatalysator ist, unter Einhaltung der angegebenen Schwefelgrenzwerte im Kraftstoff, ein Betrieb ohne Feinentschwefelung zulässig.

Werden diese Grenzwerte im Betrieb überschritten, kommt es bei Abgaswärmenutzung zu verstärkter Bildung von korrosiven Ablagerungen. Durch diese Ablagerungen können Schäden entstehen, die zum Totalausfall der Bauteile führen. Eine frühere Reinigung des Abgaswärmetauschers ist dadurch erforderlich.

Aufgrund der möglichen Schwankungsbreite des Schwefelgehalts in der Praxis kann MTU keine Garantien hinsichtlich der Reinigungsintervalle abgeben.

Im Betrieb mit Oxydationskatalysator ohne Abgaswärmenutzung muss die Abgastemperatur an der Schornsteinmündung sicher über 300 °C liegen. Gegebenenfalls ist die Abgasleitung zu isolieren.

## 4.5 Gasmotor BR500 - Generatoraggregat

### 4.5.1 Gasarten

Da sich Brenngase teils stark in ihren Bestandteilen unterscheiden, ist eine Einteilung der Gase anhand bestimmter Eigenschaften und Gaszusammensetzung notwendig. Eine Einteilung findet hier anhand ihres Heizwerts statt.

Parameter	Symbol	Grenzwert	Einheit	Bemerkungen
Heizwert	$H_{i,N}$	< 5	kWh / Nm <sup>3</sup>	Schwachgasbetrieb in
		< 483,1	BTU / ft <sup>3</sup>	Rücksprache mit MTU
		> 5	kWh / Nm <sup>3</sup>	Schwachgasbetrieb
		> 483,1	kWh / Nm <sup>3</sup>	
		> 10	kWh / Nm <sup>3</sup>	Erdgasbetrieb
		> 966,2	kWh / Nm <sup>3</sup>	

*Tabelle 56: Unterteilung Brenngase*

Die Einteilung anhand des Heizwertes gibt einen ersten Einblick, ob das Brenngas potentiell verwendet werden kann. Die nachfolgende (→ Tabelle 57) gibt einen Überblick, welche Hauptbestandteile in den jeweiligen Brenngasen enthalten sind, unabhängig von ihrem quantitativen Anteil.

Bestandteil	Symbol	Erdgas	Bio-/ Klär-/ Depo- negas
Methan	CH <sub>4</sub>	X	X
Ethan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	X	
Propan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	X	
Butan	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	X	
Pentan	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	X	
Hexan	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	X	
Kohlenmonoxid	CO		X
Kohlendioxid	CO <sub>2</sub>	X	X
Wasserstoff	H <sub>2</sub>	X	
Stickstoff	N <sub>2</sub>	X	X
Sauerstoff	O <sub>2</sub>		X

*Tabelle 57: Hauptbestandteile Brenngase*

Gasbegleitstoffe, die weder in dieser Tabelle noch in Tabelle (→ Seite 90) benannt sind, erfordern die Rücksprache mit MTU.

## 4.5.2 Mindestanforderung an die Gaszusammensetzung

Die folgende Tabelle gibt Auskunft über die Mindestanforderungen an die Gasqualität. Ebenso sind die Gasbetriebsdaten einzuhalten (→ Seite 91).

Zusätzlich erfordern spezielle Komponenten, beispielsweise ein Katalysator, unter Umständen abweichende Grenzwerte (→ Seite 93).

Wichtig				
Die kontinuierliche Einhaltung der Mindestgasanforderungen muss kundenseitig gewährleistet werden!				
Die Vielzahl an möglichen Brenngasen und die unterschiedlichen Zusammensetzungen erfordern eine gasabhängige Betrachtung der Grenzwerte zur Gasqualität. Hierzu fordert MTU eine Umrechnung der Gasanalysewerte in Abhängigkeit des Heizwertes, siehe (→ Seite 92).				
Parameter	Symbol	Grenzwert	Einheit	Bemerkungen
Methanzahl	MZ	> 135		Schwachgasbetrieb Niedrige Methanzahl nach Rücksprache mit MTU
		> 80		Erdgasbetrieb Niedrige Methanzahl nach Rücksprache mit MTU verfügbar
Chlor	Cl	< 8	mg / kWh	Chlor liegt als flüchtige Verbindung vor.
		< 5.169 x 10 <sup>-9</sup>	lb / BTU	
Fluor	F	< 4	mg / kWh	Fluor liegt als flüchtige Verbindung vor.
		< 2.584 x 10 <sup>-9</sup>	lb / BTU	
Gesamt- Chlor-Fluor	Σ (Cl, F)	< 8	mg / kWh	
		< 5.169 x 10 <sup>-9</sup>	lb / BTU	
Staubgehalt < 5 μm		< 1	mg / kWh	
		< 0.646 x 10 <sup>-9</sup>	lb / BTU	
Öldampf		< 0,02	mg / kWh	Im Ansaugtrakt darf keine Kondensation auftreten.
		< 12.9 x 10 <sup>-12</sup>	lb / BTU	
Lösungsmittel in Verbrennungsluft	VOC	< 2,5	mg / kWh	
		< 1.62 x 10 <sup>-9</sup>	lb / BTU	
Gesamtsilizium	Σ Si	< 0,2	mg / kWh	Stark schwankend im Gas. Genauere Auskunft gibt die Ölanalyse.
		< 0.129 x 10 <sup>-9</sup>	lb / BTU	
Gesamtschwefel	Σ S	< 40	mg / kWh	Schwefelanteil aus Schwefelwasserstoff muss über die Molmassen bei Gesamtschwefel berücksichtigt werden.
		< 25.83 x 10 <sup>-9</sup>	lb / BTU	
Schwefelwasserstoff	H <sub>2</sub> S	< 42,4	mg / kWh	
		< 27.38 x 10 <sup>-9</sup>	lb / BTU	
Ammoniak	NH <sub>3</sub>	< 3	mg / kWh	
		< 1.938 x 10 <sup>-9</sup>	lb / BTU	
Teer	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> R <sub>z</sub>	< 6,5	mg / kWh	Nur bei Syngas Es darf in gasführenden Bauteilen nicht auskondensieren. Ggf. muss eine Gasnacherwärmung installiert werden.
		< 4.2 x 10 <sup>-9</sup>	lb / BTU	

Tabelle 58: Zulässige Grenzwerte Gaskomponenten

Abweichungen zu den Grenzwerten bzw. weitere hier nicht aufgeführte Bestandteile nur nach Rücksprache mit MTU.

### 4.5.3 Gasbetriebsdaten

Parameter	Grenzwert	Einheit	Bemerkungen
Gasdruck Änderungsgeschwindigkeit	< 1	mbar / 2 sec	
	< 0,0145	psi / 2 sec	
Änderungsgeschwindigkeit Heizwert $H_i$	< 1	% / 30 sec.	
Änderungsgeschwindigkeit Methanzahl	< 10	MZ / min	
Gasfließdruck bei Nennlast	30 – 70	mbar	Am Eintritt in die Gasregelstrecke
	0,4351 – 1,015	psi	
Max. abgesicherter Gasdruck	350	mbar	
	5,076	psi	
Temperatur des Gasgemisches vor Gasmischer $T_G$	10 – 30	°C	
	50 – 86	°F	
Relative Feuchte $\varphi$	< 60	%	Im Ansaugtrakt und der Gasregelstrecke darf keine Kondensation auftreten.

Tabelle 59: Allgemeine Randbedingungen Brenngas

#### 4.5.4 Umrechnung Grenzwerte aus Gasanalyse

Die Vielzahl an möglichen Brenngasen und die damit eingehenden, teils unterschiedlichsten Zusammensetzungen erfordern eine dynamische Betrachtung der Grenzwerte der Gasqualität.

Hierzu fordert MTU eine Umrechnung der Gasanalysewerte in Abhängigkeit des Heizwertes auf eine Basis von kWh / Nm<sup>3</sup> (BTU / ft<sup>3</sup>).

Im Folgenden ist eine Beispielberechnung gezeigt.

Gegeben:	Heizwert aus Gasanalyse	Hi,N	1,5 kWh / m <sup>3</sup>
	Chlor aus Gasanalyse	Cl	10 mg / m <sup>3</sup>
	Fluor aus Gasanalyse	F	5 mg / m <sup>3</sup>
	Anlage ohne Katalysator		

Zunächst werden die Messwerte MW auf Grundlage des Heizwertes Hi,N zu einem Vergleichswert VG umgerechnet. Dieser wird im Anschluss mit dem passenden Grenzwert GW verglichen:

$$VG_{Cl} = \frac{MW_{Cl}}{Hi_N} = \frac{10 \text{ mg / m}^3}{1,5 \text{ kWh / m}^3} = 6,6 \text{ mg/kWh} < GW_{Cl} = 8 \text{ mg/kWh}$$

→ in Ordnung

$$VG_F = \frac{MW_F}{Hi_N} = \frac{5 \text{ mg / m}^3}{1,5 \text{ kWh / m}^3} = 3,3 \text{ mg/kWh} < GW_F = 4 \text{ mg/kWh}$$

→ in Ordnung

Das gleichzeitige Auftreten von Chlor und Fluor erfordert die Berücksichtigung eines weiteren Grenzwertes:

$$VG_{Cl,F} = VG_{Cl} + VG_F = 6,6 \text{ mg/kWh} + 3,3 \text{ mg/kWh} = 9,9 \text{ mg/kWh} > GW_{Cl} = 8 \text{ mg/kWh}$$

→ nicht in Ordnung

#### Wichtig

Die Angabe der Gaszusammensetzung aus der Gasanalyse erfolgt teilweise in ppm (parts per million). Um einen Vergleich mit den Grenzwerten zu ermöglichen, ist ein Zwischenschritt zur Umrechnung notwendig. Hierzu wird die jeweilige Dichte bei Normalbedingungen genutzt, gemäß folgender Formel:  
 Messwert [mg/m<sup>3</sup><sub>norm</sub>] = Gemessene Elementmenge [ppm] x Dichte<sub>norm</sub> [kg/m<sup>3</sup><sub>norm</sub>]

## 4.5.5 Sondergrenzwerte

Abweichungen zu den angegebenen Grenzwerten bzw. weitere hier nicht aufgeführte Bestandteile nur nach Rücksprache mit MTU.

### Zulässige Grenzwerte Gaskomponenten bei Katalysatoreinsatz

Bei Einsatz eines Katalysators verschärfen sich die Grenzwerte wie folgt:

Parameter/Katalysatorgift	Symbol	Grenzwert	Einheit
		< 1,52	mg / kWh
Schwefelwasserstoff	H <sub>2</sub> S	< 0.982 x10 <sup>-9</sup>	lb / BTU
		< 1	mg / kWh
Schwefel	S		lb / BTU
		< 6	mg / kWh
Ammoniak	NH <sub>3</sub>	< 3.877 x10 <sup>-9</sup>	lb / BTU
		50	mg / kWh
Arsen	As		lb / BTU
		< 0,2	mg / kWh
Quecksilber	Hg	< 0.129 x10 <sup>-12</sup>	lb / BTU
		< 0,4	mg / kWh
Blei	Pb	< 0.258 x10 <sup>-12</sup>	lb / BTU
		< 2	mg / kWh
Cadmium	Cd	1.292	lb / BTU
Zink	Zn		mg / kWh
			lb / BTU
Phosphorverbindungen und Halogene	P, F, Cl, Br, I, At, Ts		mg / kWh
			lb / BTU
Silicon		0	mg / kWh
		0	lb / BTU
Silizium	Si	0	mg / kWh
		0	lb / BTU
Natrium	Na	< 2	mg / kWh
		< 1.292 x10 <sup>-12</sup>	lb / BTU
Kalzium	Ca	< 2	mg / kWh
		< 1.292 x10 <sup>-12</sup>	lb / BTU
Wismut	Bi	< 0,2	mg / kWh
		< 0.129 x10 <sup>-12</sup>	lb / BTU
Mangan	Mn	< 2	mg / kWh
		< 1.29 x10 <sup>-12</sup>	lb / BTU
Kalium	K	< 2	mg / kWh
		< 1.29 x10 <sup>-12</sup>	lb / BTU
Antimon	Sb	< 0,2	mg / kWh
		< 0.129 x10 <sup>-12</sup>	lb / BTU
Chlor	Cl	< 2	mg / kWh
		< 1.29 x10 <sup>-12</sup>	lb / BTU

Parameter/Katalysatorgift	Symbol	Grenzwert	Einheit
Eisen	Fe	< 2	mg / kWh
		< 1.29 x10 <sup>-12</sup>	lb / BTU

*Tabelle 60: Zulässige Grenzwerte Gaskomponenten bei Katalysatoreinsatz*

Angaben, die in der Tabelle nicht aufgeführt sind, bleiben unverändert.

### **Zulässige Grenzwerte Gaskomponenten bei Aktivkohleeinsatz**

Bei Einsatz eines Aktivkohlefilters verschärfen sich die Grenzwerte wie folgt:

Parameter	Symbol	Grenzwert	Einheit	Bemerkungen
Sauerstoff max.	O <sub>2</sub>	< 3	%	Es darf sich kein explosionsfähiges Gemisch einstellen
Sauerstoff min.	O <sub>2</sub>	> 0,5	%	Herstellervorgabe beachten

*Tabelle 61: Zulässige Grenzwerte Gaskomponenten bei Aktivkohleeinsatz*

Angaben, die in der Tabelle nicht aufgeführt sind, bleiben unverändert.

## 4.5.6 Betriebsstörungen durch Kondensat im Brenngas

Betriebsstörungen, die auf unzureichende Kondensatfreiheit der zur Verfügung gestellten Brenngase zurückzuführen sind, sind von der Gewährleistung ausgeschlossen.

### **Folgen durch Kondensat im Brenngas**

Im Treibgas enthaltenes Kondensat kann (z. B. mit dem Schmieröl des Gasverdichters) eine saure Verbindung/Emulsion bilden. Dies kann u. a. zur Folge haben:

- Korrosion (Verschleiß)
- TAN-Anstieg bzw. TBN-/ipH-Absenkung im Schmieröl
- Kohlenstoffablagerungen an: Ventilen, Kolbenringnuten und Schlitzen

### **Vermeidung von Störungen durch Kondensat im Treibgas**

- Ausfallen des Dampfes durch Abkühlen und/oder Entspannen.
- Mechanisches Abscheiden (z. B. Zyklon oder Abscheidefilter) und Abführen des Kondensates darf nur bei außerhalb des Motorbetriebes stattfinden. Im Anschluss ist der Abscheidehahn unbedingt wieder gasdicht zu verschließen.
- Die weiterführende Gasleitung zum Motor ist so zu gestalten, dass das Gas nicht weiter abkühlt und praktisch nicht mehr durch Widerstände oder nachgeschaltete Druckreduzierer entspannt wird. Bei Bedarf Brenngasleitung isolieren oder eventuell mit Begleitheizung versehen.
- Da trotz Kondensatfreiheit bei den Prüfhähnen eine gewisse Kondensatmenge immer noch in den Motor gelangen kann, ist es wichtig, dass das Kondensat weitgehend frei von Säurebildnern ist. Um sich davon überzeugen zu können, ist der wässrige Auszug, der bei den Kondensatabscheidern anfällt, auf seinen pH-Wert zu überprüfen. Je stärker die Säure, umso wirkungsvoller die schädigende Wirkung, auch bei kaum mehr nachweisbar kleinen Kondensatmengen, die aber dennoch mit dem Gas in den Motor gelangen.
- Insbesondere bei einer Abgaskühlung unter 170 °C im Schwachgasbetrieb, ist eine kontinuierliche Überwachung der Gasqualität mit Auflegung auf die BHKW-Steuerung zwingend erforderlich.

# 5 Abgasnachbehandlungssystem

## 5.1 Allgemeines

Zur Verringerung von Abgasemissionen bei stöchiometrisch betriebenen Motoren ( $\lambda = 1$ , ohne Luftüberschuss) werden 3-Wegekatalysatoren verwendet.

Zur Verringerung der Abgasemissionen bzgl. unvollständig verbrannter Verbrennungsprodukte werden bei mager betriebenen Motoren (Betrieb mit Luftüberschuss) Oxidationskatalysatoren eingesetzt.

Zur zusätzlichen Verringerung der NO<sub>x</sub>-Emissionen bei Magermotoren können SCR-Katalysatoren (Selective Catalytic Reduktion) eingesetzt werden. Diese reduzieren mit Hilfe eines Reduktionsmittels (Harnstofflösung mit 32,5 % Harnstoffanteil) die Stickoxidemissionen.

Um die Funktionalität der Katalysatoren über eine bestimmte Laufzeit gewährleisten zu können, müssen sämtliche Vorgaben der Betriebsstoffvorschrift (bzgl. Kraftstoffe, Ansaugluft, Schmieröle) eingehalten werden.

## 5.2 NO<sub>x</sub>-Reduktionsmittel AUS 32 für SCR-Abgasnachbehandlungsanlagen

Zur Sicherung der Wirksamkeit der Abgasnachbehandlungsanlage ist es zwingend erforderlich, dass das Reduktionsmittel den Qualitätsanforderungen der DIN 70070 / ISO 222 41-1 entspricht.

In Europa wird dieses Reduktionsmittel häufig mit dem Markennamen "AdBlue" bezeichnet.

Die Prüfverfahren, um die Qualität und die Charakteristik des Reduktionsmittels zu bestimmen, werden in den Normen DIN 70071 / ISO 222 41-2 beschrieben. Die nachfolgende Tabelle (→ Tabelle 62) zeigt die Qualitätsmerkmale und die dazugehörigen Prüfverfahren des Reduktionsmittels (Auszug aus der Norm ISO 222 41-1).

### Wichtig

SCR-Systeme von MTU sind in der Regel auf eine Konzentration von 32,5 % Harnstoff ausgelegt. Die Verwendung von NO<sub>x</sub>-Reduktionsmitteln mit anderen Konzentrationen an Harnstoff (AUS 40, AUS 48) bedarf einer anderen Auslegung der Dosiersysteme. Systeme, die entsprechend ausgelegt sind, müssen mit der entsprechend angepassten Konzentration gefahren werden.

Die Reinheitsanforderungen an das Reduktionsmittel entsprechen dann denen der Normen für AUS 32

### Wichtig

Die Verwendung von Frostschutzadditiven für AUS 32, oder sogenanntem Winterharnstoff, ist generell nicht freigegeben.

### Qualitätsmerkmale und Prüfverfahren des Reduktionsmittels

	Einheit	Prüfverfahren ISO	Grenzwerte
Harnstoffgehalt	Gew.-%	22241-2 Annex B	31,8 bis 33,2
Dichte bei 20 °C	kg/m <sup>3</sup>	3675 12185	1087,0 bis 1092,0
Brechzahl bei 20 °C		22241-2 Annex C	1,3817 bis 1,3840
Alkalität als NH <sub>3</sub>	Gew.-%	22241-2 Annex D	max. 0,2
Biuretgehalt	Gew.-%	22241-2 Annex E	max. 0,3
Aldehydgehalt	mg/kg	22241-2 Annex F	max. 5
Unlösliche Bestandteile	mg/kg	22241-2 Annex G	max. 20
Phosphatgehalt als PO <sub>4</sub>	mg/kg	22241-2 Annex B	max. 0,5
Metallgehalte		22241-2 Annex I	
Calcium	mg/kg		max. 0,5
Eisen	mg/kg		max. 0,5
Kupfer	mg/kg		max. 0,2
Zink	mg/kg		max. 0,2
Chrom	mg/kg		max. 0,2
Nickel	mg/kg		max. 0,2
Aluminium	mg/kg		max. 0,5
Magnesium	mg/kg		max. 0,5
Natrium	mg/kg		max. 0,5
Kalium	mg/kg		max. 0,5
Identität			Identisch zum Vergleichsmuster

Tabelle 62: Qualitätsmerkmale und Prüfverfahren des Reduktionsmittels

## Lagerung von Reduktionsmittel

Hinweise zur Lagerung/Verpackung/Transport sowie geeigneter/ungeeigneter Werkstoffe im Reduktionsmittelkreislauf stehen in der Norm ISO 222 41-3. Hierzu auch die Herstellerangaben beachten.

Direkte Sonneneinstrahlung vermeiden, da diese das Aufkommen von Mikroorganismen und die Zersetzung des Reduktionsmittels begünstigt.

Das Reduktionsmittel AUS 32 möglichst zwischen -5 und +25 °C lagern und transportieren, um Qualitätseinbußen zu vermeiden. Längere Lagerung bei Temperaturen oberhalb von 25 °C kann zur Zersetzung des Reduktionsmittels führen.

Max. konstante Lagertemperatur [°C]	Min. Haltbarkeit [Monat]
≤ 10	36
≤ 25	18
≤ 30	12
≤ 35	6
> 35	Jede Charge vor Benutzung kontrollieren

*Tabelle 63: Lagertemperatur von Reduktionsmittel*

Wichtig
Bei -11 °C kristallisiert das Reduktionsmittel aus.

## 5.3 Abgaskondensat

### Wichtig

Sicherstellen, dass Betriebsstoffe in entsprechend großen Auffangbehältern aufgefangen werden. Betriebsstoffe nach länderspezifischen Vorgaben entsorgen. Altöl nicht verbrennen oder im Kraftstofftank entsorgen.

Bei der Verbrennung des Kraftstoffes im Motor entstehen neben Kohlendioxid und Wasserdampf auch Stickoxide NO<sub>x</sub>. Diese setzen sich in den nachgeschalteten Bauteilen in Gegenwart von kondensiertem Wasser in salpetrige Säure um. Andere anorganische und organische Säuren, z. B. Schwefelsäure oder schweflige Säure, können je nach Kraftstoffzusammensetzung ebenfalls entstehen. Kondensatproben weisen demzufolge einen leicht stechenden Geruch und gelöstes Eisen als Korrosionsprodukt auf. Die Wasserstoffionenkonzentration, d. h. der pH-Wert solcher Kondensatproben liegt in der Regel im stark bis schwach sauren Bereich bei pH = ca. 0,5 bis 4.

Der Wassertaupunkt des Abgases hängt von der Zusammensetzung des eingesetzten Brenngases ab, sowie vom Luftverhältnis mit dem der Motor betrieben wird. Der Wassertaupunkt liegt bei etwa 50 °C (Magermotoren) bis 80 °C (Lambda = 1). Die Kondensatbildung setzt, je nach säurebildender Komponente, allerdings bei Abgastemperaturen unter ca. 170 °C ein (Säuretaupunkt).

Theoretisch können aus 1 m<sup>3</sup> i.N. Erdgas 1,5 kg Kondensat entstehen. Bei Abkühlung des Abgases auf Temperaturen von ca. 100 °C fallen nur bei Anfahrvorgängen nennenswerte Mengen an Kondensat an. Bei weiterer Abkühlung der Abgastemperaturen (unterhalb T = ca. 80 °C) beginnt kontinuierlich Kondensat auszufallen.

Um den Kondensatanfall (im Abgaswärmetauscher bzw. im nachgeschalteten Abgasschalldämpfer) auf möglichst geringe Mengen begrenzt zu halten, sollte bei Aggregaten mit Abgaskühlung folgendes gewährleistet sein:

- Im Abgaswärmetauscher die Abgastemperaturen nicht unterhalb 110 °C gekühlt werden
- Die Abgasleitungen ordnungsgemäß isoliert sein
- Das Verhältnis der Anzahl der Maschinenstarts zu den Betriebsstunden möglichst gering sein (empfohlen werden Werte durchschnittlich kleiner „ein Start“ pro vier Betriebsstunden).

Kondensatleitungen aus verschiedenen Bauteilen vor dem Siphon (bzw. „Wasservorlage“) möglichst nicht zusammenführen, da sonst im Betrieb durch Zirkulation in der Kondensatleitung dauernd Kondensat ausfällt.

Für das Kondensat muss ein freier Ablauf über Siphon (bzw. „Wasservorlage“) mit einer Höhe von mindestens 400 mm vorgesehen werden. In jedem Fall muss sich der Ablauf aber mehr als 100 mm Wassersäule oberhalb des entsprechenden maximal zulässigen Abgasgedrucks der Maschine befinden. Damit wird verhindert, dass Abgas aus der Kondensatleitung austritt. Das Abgaskondensat soll in einer Neutralisationsanlage vor Einleitung in das Abwassernetz neutralisiert werden. Zusätzlich ist ein Ölabscheider erforderlich.

Der Kondensatablauf muss regelmäßig im Betrieb überprüft und gegen Einfrieren im Winter gesichert werden.

Abgaskondensat darf nur nach Rücksprache mit der örtlichen Abwasserbehörde ohne Aufbereitung in die Kanalisation abgeführt werden, keinesfalls jedoch ins Freie. Die Gemeinden in Deutschland, bzw. die von ihnen beauftragten Stellen sind verpflichtet, anfallende Abwässer abzunehmen, wozu auch das Kondensat gehört. Eine Einordnung des Kondensats in die Kategorie "Sonderabfall" ist möglich.

# 6 Spül- und Reinigungsvorschrift für Motorkühlmittelkreisläufe

## 6.1 Spül- und Reinigungsvorschrift für BR400 und BR4000

### 6.1.1 Allgemeines

In den Kühlmittelkreisläufen können im Laufe der Zeit durch Alterung des Kühlmittelzusatzes Schlammablagerungen entstehen. Die Folge können verminderte Kühlleistung, verstopfte Entlüftungsleitungen und Wasserablassstellen sowie verschmutzte Wasserstandsschaugläser sein.

Bei ungenügender Wasserqualität oder unzulänglicher Aufbereitung kann der Kühlkreislauf ebenfalls stark verunreinigt sein.

Wenn solche Störungen auftreten, ist der Kühlmittelkreislauf mit Frischwasser ggf. mehrmals zu spülen.

Bewirken diese Spülvorgänge zu wenig oder ist der Kühlmittelkreislauf zu stark verschmutzt, sind der Kühlmittelkreislauf und die betroffenen Baugruppen zu reinigen.

Zum Spülen ist ausschließlich sauberes Frischwasser zu verwenden (kein Fluss- oder Seewasser).

Zum Reinigen dürfen nur die von MTU freigegebenen oder entsprechenden Produkte in der vorgeschriebenen Anwendungskonzentration verwendet werden, siehe (→ Seite 101). Die vorgeschriebene Verfahrensweise ist einzuhalten.

Kühlmittelkreisläufe sind immer unmittelbar nach dem Spülen bzw. Reinigen mit aufbereitetem Motorkühlmittel entsprechend den aktuellen Betriebsstoffvorschriften zu befüllen. Ansonsten besteht Korrosionsgefahr!

#### Wichtig

Betriebsstoffe (aufbereitetes Motorkühlmittel), gebrauchtes Spülwasser, Reinigungsmittel und Reinigungslösungen können Gefahrstoffe sein. Beim Umgang mit diesen Stoffen sowie bei deren Lagerung und Entsorgung sind gewisse Regeln zu beachten.

Diese Regeln ergeben sich aus den Herstellerangaben, gesetzlichen Bestimmungen und technischen Regelwerken, die im Land gültig sind. Da von Land zu Land große Unterschiede bestehen können, ist eine allgemeingültige Aussage über die zu beachtenden Regeln im Rahmen dieser Spül- und Reinigungsvorschriften nicht möglich.

Der Anwender der hierin genannten Produkte ist daher verpflichtet, sich über die geltenden Bestimmungen selbst zu informieren. MTU übernimmt keinerlei Haftung bei unsachgemäßer oder gesetzwidriger Verwendung der von ihr freigegebenen Betriebsstoffe und Reinigungsmittel.

#### Wichtig

Ölwärmetauscher von Motoren mit Lagerfressern oder Kolbenfressern/-reibern sind zu verschrotten.

### Prüfgeräte, Hilfsmittel und Betriebsstoffe

MTU-Prüfkoffer oder elektrisches pH-Wert-Messgerät

Benötigte Hilfsmittel:

- Druckluft
- Heißdampf

Benötigte Betriebsstoffe:

- Frischwasser
- Aufbereitetes Motorkühlmittel

## 6.1.2 Freigegebene Reinigungsmittel

Hersteller	Produktbezeichnung	Anwendungskonzentration		Bestellnummer
<b>Für Kühlmittelkreisläufe:</b>				
Kluthe	Hakutex 111 <sup>1, 5)</sup>	2 Vol.-%	Flüssigkeit	X00065751
	Decorrdal 20-1 <sup>8)</sup>	10 Vol.-%	Flüssigkeit	<sup>7)</sup>
	Hakupur 50-706-3 <sup>4)</sup>	2 Vol.-%	Flüssigkeit	X00055629
<b>Für Baugruppen:</b>				
Henkel	Bonderite C-AK FD <sup>2)</sup>	1 bis 10 Gew.-%	Pulver	<sup>7)</sup>
	Bonderite C-MC 11120 <sup>3)</sup>	2 bis 10 Gew.-%	Pulver	<sup>7)</sup>
Kluthe	Hakutex 60 MTU	100 Vol.-%	Flüssigkeit	X00070585 (25 kg)
<b>Für Kühlkreisläufe mit Bakterien-, Hefen-, Pilzbefall (sogenannte Systemreiniger):</b>				
Schülke & Mayr GmbH	Grotan WS Plus <sup>5)</sup>	0,15 Vol.-%	Flüssigkeit	X00065326 (10 kg)
	Grotanol SR2 <sup>6)</sup>	0,5 Vol.-%	Flüssigkeit	X00069827 (10 kg)

Tabelle 64:

<sup>1)</sup> Bei leichtem Kalkbelag, leichter Korrosion

<sup>2)</sup> Bei Kalkbelag, der Öl und Fett enthält

<sup>3)</sup> Bei starkem Kalkbelag, vorzugsweise

<sup>4)</sup> Nicht geeignet für verzinkte Oberflächen

<sup>5)</sup> Bakterienbefall bis  $10^4$

<sup>6)</sup> Bakterienbefall  $> 10^4$ , Pilz- und Hefenbefall

<sup>7)</sup> Wird bei MTU nicht am Lager geführt

<sup>8)</sup> Bei starker Korrosion; für Aluminiumwerkstoffe nicht zugelassen

### Wichtig

Die technischen Datenblätter und die Sicherheitsdatenblätter der Produkte sind zu beachten!

Die Reiniger sind über Niederlassungen der Hersteller oder deren Handelspartner weltweit erhältlich.

### 6.1.3 Motorkühlmittelkreisläufe spülen

1. Motorkühlmittel ablassen.
2. pH-Wert des Frischwassers mittels MTU-Prüfkoffer oder elektrischem pH-Wert-Messgerät messen.
3. Frischwasser in den Kühlmittelkreislauf füllen.

#### Wichtig

Niemals kaltes Wasser in einen heißen Motor füllen!

4. Motor vorwärmen, anlassen und warmfahren.
5. Motor ca. 30 min. mit erhöhter Drehzahl fahren.
6. Spülwasserprobe an der Motorkühlmittelprobe-Entnahmestelle entnehmen.
7. Motor abstellen.
8. Spülwasser ablassen.
9. pH-Wert der Spülwasserprobe mittels MTU-Prüfkoffer oder elektrischem pH-Wert-Messgerät messen und mit dem pH-Wert des Frischwassers vergleichen.
  - a) pH-Wert-Differenz  $< 1$ : Aufbereitetes Motorkühlmittel einfüllen und Motor in Betrieb nehmen.
  - b) pH-Wert-Differenz  $> 1$ : Frisches Spülwasser einfüllen und Spüllauf wiederholen.
  - c) Ist die pH-Wert-Differenz auch nach 4- bis 5-maligem Spülen immer noch  $> 1$ : muss der Kühlmittelkreislauf gereinigt werden, siehe (→ Seite 103). Die Baugruppen müssen eventuell auch gereinigt werden, siehe (→ Seite 104).

#### Wichtig

Für ergänzende Hinweise siehe Motorbetriebsanleitung.

## 6.1.4 Motorkühlmittelkreisläufe reinigen

1. Reiniger in vorgegebener Konzentration mit Frischwasser ansetzen. Ist der Motor warm, muss vorgeheiztes Frischwasser (45 °C) verwendet werden.
2. Als konzentrierte Vorlösung im warmen Frischwasser werden Reinigungsmittel für Kühlmittelkreisläufe angesetzt, siehe (→ Seite 101).
3. Bei Pulverprodukten so lange rühren, bis sich das Reinigungsmittel vollkommen aufgelöst hat und kein Bodensatz mehr vorhanden ist.
4. Vorlösung zusammen mit Frischwasser in den Kühlmittelkreislauf füllen.
5. Motor anlassen und warmfahren.
6. Temperatur und Dauer der Einwirkzeit nach den Vorgaben der technischen Datenblätter des Herstellers wählen.
7. Motor abstellen.
8. Reinigungsmittel ablassen und Motorkühlmittelkreislauf mit Frischwasser spülen.
9. Spülwasserprobe an der Motorkühlmittelprobe-Entnahmestelle entnehmen.
10. pH-Wert der Spülwasserprobe mittels MTU-Prüfkoffer oder elektrischem pH-Wert-Messgerät messen und mit dem pH-Wert des Frischwassers vergleichen.
  - a) pH-Wert-Differenz < 1: Aufbereitetes Motorkühlmittel einfüllen und Motor in Betrieb nehmen.
  - b) pH-Wert-Differenz > 1: Baugruppen reinigen, siehe (→ Seite 104).

### Wichtig

Für ergänzende Hinweise siehe Motorbetriebsanleitung.

## 6.1.5 Motorkühlkreislauf - Baugruppen reinigen

1. Baugruppen im Motorkühlkreislauf, die stärkeren Schlammablagerungen ausgesetzt sind, z. B. Ausgleichbehälter, Vorwärmaggregate, Wärmetauscher (Wasserrückkühler, Ölwärmetauscher, Ladeluftkühler, Ladeluftvorwärmer, Kraftstoffvorwärmer, usw.) und tiefliegende Rohrleitungen, abbauen, demontieren und reinigen.
2. Vor dem Reinigen die Verschmutzung der Wasserseiten untersuchen.
3. Bei Kalkbelägen, die Fett und Öl enthalten, ist zuerst die Wasserseite zu entfetten.
4. Festhaftende, durch Ölnebel verursachte Niederschläge in Ladeluftkühlern können mit Kluthe Hakutex 60 entfernt werden.
5. Harte Kalkbeläge mit einem Kalklösemittel entfernen. Bei hartnäckigen Kalkbelägen ggf. eine 10-%ige inhihierte Salzsäurelösung verwenden.
6. Ablagerungen an und in Wärmetauschereinsätzen in einem aufgeheizten Reinigungsbad lösen. Herstellerangaben beachten und nur freigegebene Reinigungsmittel in zulässiger Anwendungskonzentration verwenden, siehe (→ Seite 101)

### Wichtig

Ablagerungen auf der Ölseite können auch in einem Petroleumbad gelöst werden.  
Die Verweildauer im Reinigungsbad hängt von Art und Stärke der Verschmutzung sowie der Temperatur und Aktivität des Bades ab.

7. Einzelne Bauteile, wie z. B. Gehäuse, Deckel, Leitungen, Schaugläser, Wärmetauschereinsätze, mit Heißdampf, Nylonbürste (weiche Bürste) und kräftigem Wasserstrahl reinigen.

### Wichtig

Um Beschädigungen zu vermeiden:  
Keine harten und scharfkantigen Werkzeuge (Stahlbürste, Schaber u.ä.) verwenden (Oxydschutzschicht).  
Der Druck des Wasserstrahls darf nicht höher als  $\leq 60$  bar sein (Beschädigung z. B. von Kühlerlamellen).

8. Wärmetauschereinsätze nach dem Reinigen entgegen der Betriebsdurchflussrichtung mit Niederdruckdampf durchblasen, mit klarem Wasser spülen (bis pH-Wert-Differenz  $< 1$ ) und mit Druckluft ausblasen und trocknen oder mit Warmluft trocknen.
9. Alle Bauteile auf einwandfreien Zustand prüfen, ggf. instandsetzen oder ersetzen.
10. Wärmetauscher ölseitig und motorkühlmittelseitig mit Korrosionsschutzöl spülen. Dieser Schritt kann entfallen, wenn der Wärmetauscher unmittelbar nach dem Reinigen angebaut und in Betrieb genommen wird.
11. Nach Anbau aller Baugruppen Motorkühlmittelkreislauf einmal spülen, siehe (→ Seite 28).
12. Bei Motorinbetriebnahme den Kühlmittelkreislauf auf Dichtheit prüfen.

### Wichtig

Für ergänzende Hinweise, siehe Handbuch für Wartung und Instandhaltung des Motors.

## 6.1.6 Kühlkreisläufe mit Bakterien-, Hefen-, Pilzbefall

### **Systemreinigung**

Grundlage für eine wirksame Reinigung und Desinfektion des Kühlmittelsystems ist, dass das komplette Kühlsystem ausreichend lange vom Systemreiniger durchströmt wird.

Vor Ablassen wird dem verunreinigten Kühlmittel die vorgegebene Menge des freigegebenen Systemreinigers zugesetzt, siehe (→ Seite 101). Es ist zu gewährleisten, dass die Mischung min. 24 Stunden, max. 48 Stunden umgepumpt wird.

### **Spülung**

Wenn das Kühlmittel und der Systemreiniger abgelassen wurde, muss der Kühlkreislauf mit Frischwasser gespült werden. Es muss so lange gespült werden, bis keine sichtbaren Verunreinigungen mehr vorhanden sind und das Spülwasser dem pH-Wert des verwendeten Frischwassers entspricht (max. pH-Wert-Differenz < 1).

### **Neubefüllung**

Vor Neubefüllung ist sicherzustellen, dass das Kühlsystem frei von Verunreinigungen ist.

Eine Neubefüllung muss unmittelbar nach dem Spülen erfolgen da ansonsten Korrosionsgefahr besteht!

## 6.2 Spül- und Reinigungsvorschrift für BR500

### 6.2.1 Allgemeines

Zum Spülen ist ausschließlich sauberes Frischwasser zu verwenden (kein Fluss- oder Seewasser).

Zum Reinigen dürfen nur die P3 Standard-Reinigungsmittel verwendet werden, siehe (→ Seite 107). Die vorgeschriebene Verfahrensweise ist einzuhalten.

Kühlmittelkreisläufe sind immer unmittelbar nach dem Spülen bzw. Reinigen mit aufbereitetem Motorkühlmittel entsprechend den aktuellen Betriebsstoffvorschriften zu befüllen. Ansonsten besteht Korrosionsgefahr!

#### Wichtig

Betriebsstoffe (aufbereitetes Motorkühlmittel), gebrauchtes Spülwasser, Reinigungsmittel und Reinigungslösungen können Gefahrstoffe sein. Beim Umgang mit diesen Stoffen sowie bei deren Lagerung und Entsorgung sind gewisse Regeln zu beachten.

Diese Regeln ergeben sich aus den Herstellerangaben, gesetzlichen Bestimmungen und technischen Regelwerken, die im Land gültig sind. Da von Land zu Land große Unterschiede bestehen können, ist eine allgemeingültige Aussage über die zu beachtenden Regeln im Rahmen dieser Spül- und Reinigungsvorschriften nicht möglich.

Der Anwender der hierin genannten Produkte ist daher verpflichtet, sich über die geltenden Bestimmungen selbst zu informieren. MTU übernimmt keinerlei Haftung bei unsachgemäßer oder gesetzwidriger Verwendung der von ihr freigegebenen Betriebsstoffe und Reinigungsmittel.

#### Wichtig

Ölwärmetauscher von Motoren mit Lagerfressern oder Kolbenfressern/-reibern sind zu verschrotten.

### Prüfgeräte, Hilfsmittel und Betriebsstoffe

MTU-Prüfkoffer oder elektrisches pH-Wert-Messgerät

Benötigte Hilfsmittel:

- 2 x 200 l Stahlfass
- Schlauch für Bypass als Plattenwärmetauscher
- Ersatz-Spülfass
- 1-10 oder 1-5 Enthärtungskartusche zur Wasseraufbereitung

Benötigte Betriebsstoffe:

- Frischwasser

## 6.2.2 Freigegebene Reinigungsmittel

### **Freigegebene Reinigungsmittel**

Reinigungsmittel Kühlsystem: P3-Standard, Pulver nicht schäumend.

25%-tige Phosphorsäure Patrone.

#### **Wichtig**

Die technischen Datenblätter und die Sicherheitsdatenblätter der Produkte sind zu beachten!

Die Reiniger sind über Niederlassungen der Hersteller oder deren Handelspartner erhältlich.

## 6.2.3 Motorkühlsystem reinigen

### Motorkühlmittel ablassen

1. Frischwasserschlauch auf der Druckseite der Motorkühlmittelpumpe anschließen und mit Motorkühlmittelpumpe verbinden.
2. Schlauch mit Abwasserschlauch auf Saugseite der Motorkühlmittelpumpe anschließen und in ein Fass legen.
3. Altes Wasser-Glykol-Gemisch ablassen und gemäß Herstellerangaben entsorgen.
4. Plattenwärmetauscher deinstallieren und durch Bypass ersetzen.
5. Bei starker Verschmutzung des Plattenwärmetauschers (Druckverlust > 500 mbar) den Plattenwärmetauscher deinstallieren (siehe Schritt 4). Den alten Plattenwärmetauscher gegen einen gereinigten oder neuen Plattenwärmetauscher ersetzen.

### Motorkühlmittelkreislauf vorspülen

- Hinweis:
- Motor ist nicht gestartet.
  - Niemals kaltes Wasser in einen heißen Motor (> 60 °C) füllen!
1. Motorkühlmittelkreislauf mit frischem Wasser vorspülen.
  2. Grobe Schmutzpartikel ausspülen.
  3. Wasser ablassen.

### Reinigungslösung anmischen

- Hinweis:
- Anlage ist mit demineralisiertem Wasser gefüllt.
  - Wasser muss enthärtet sein. Zum Enthärten muss eine Wasseraufbereitungskartusche zugeschaltet sein, durch die das Frischwasser geleitet wird.
  - Wird kalkhaltiges Wasser zum Spülen verwendet, besteht die Gefahr, dass ab einer Temperatur von < 60 °C Kalk ausfällt und dieser die Wärmetauscher unreparierbar verstopft.
1. Anmischfass halb voll machen.
  2. Spülfass bereitstellen.

- Hinweis:
- Kühlmitteldruck im Motor nicht über 1,5 bar ansteigen lassen.
  - Den Druck über Ein- und Zulaufmenge regulieren.
3. Wasser vom Plattenwärmetauscher im Motorkreis über Schlauch ins Fass laufen lassen.
  4. Wasser mit Elektropumpe aus dem Fass herausaugen und hinter dem Plattenwärmetauscher wieder in den Motorkreis einfügen.
  5. Motor starten und mit 60% Leistung auf Betriebstemperatur bringen.
  6. P3-Lösung schrittweise über das Spülfass hinzugeben bis ein pH-Wert von ca. 13 erreicht ist.
  7. BHKW mit 60% Leistung ca. eine Stunde laufen lassen.
  8. Motor abschalten.
  9. P3-Lösung ablassen und durch frisches, demineralisiertes Wasser ersetzen, bis sich ein pH-Wert von 10 einstellt.
  10. BHKW starten.
  11. Alle Hähne, die zum Spülfass führen, schließen.
  12. BHKW bei 60% Leistung über Nacht laufen lassen.
  13. P3-Lösung abpumpen.
  14. Im Spülfass schrittweise mit 25%-tiger Phosphorsäure neutralisieren, bis sich ein pH-Wert von 7 einstellt.

### Reinigungslösung ausspülen

1. Reinigungslösung im laufenden Anlagenbetrieb ausspülen.
2. Mit ca. 2 m<sup>3</sup> Wasser nachspülen.

### Neubefüllung

- Hinweis:
- Gegebenenfalls den Plattenwärmetauscher installieren.
1. Frisches Wasser-Glycol-Gemisch auffüllen.
  2. Druckverluste in Anlagenordner dokumentieren.

# 7 Zuluft und Verbrennungsluft

## 7.1 Allgemeines

### Wichtig

Es dürfen keine korrosiven Verbindungen in die Ansaugluft gelangen.  
Die angegebenen Grenzwerte müssen eingehalten werden, da sonst die Gewährleistung erlischt.

Bei Betrieb in Schwimmbädern oder in der Nähe von Kältemaschinen berücksichtigen, dass schon geringe Spuren von Halogenverbindungen in der Zuluft (Ansaugluft) zu Korrosion an folgenden Bauteilen führen können:

- Im Motor
- An peripheren Bauteilen, z. B. an Elektromotoren

Auch Reinigungsmittel können aggressive, korrosionsfördernde Stoffe enthalten.

Im Zweifelsfall muss Rückfrage bei MTU erfolgen.

Der Ansaugluft darf keine Desorptionsluft bzw. Off-Gase aus thermochemischen Prozessen zugeführt werden, ohne vorherige Rückfrage bei MTU.

Der zulässige Temperaturbereich mit Angabe der Minimal- und Maximaltemperatur ist im technischen Datenblatt des Motors / Aggregats angegeben.

### Grenzwerte im Gasgemisch

Das Gasgemisch besteht aus Luft und Kraftstoff. Die für den Kraftstoff angegebenen Grenzwerte dürfen im Gasgemisch nicht überschritten werden (→ Seite 66).

Die Grenzwerte im Gasgemisch sind (in ppm) deutlich geringer, als die Werte die für Kraftstoff angegeben werden (i. d. R. um ca. Faktor 20 geringer).

## 7.2 Luftfeuchtigkeit

Beim Betrieb von Gasmotoren besteht bei höherer Luftfeuchtigkeit die Gefahr von Kondensation im Gas-Luft-Gemisch. Diese Kondensation kann zu Schäden, z.B. Korrosion an Gemisch-berührten Teilen führen. Zur Beurteilung der zulässigen Luftfeuchtigkeit wird hierbei der Taupunkt [ $^{\circ}\text{C}$ ] der Ansaugluft herangezogen.

Alle Gasmotoren von MTU können mit einer Ansaugluft unterhalb eines Taupunkts von  $20^{\circ}\text{C}$  betrieben werden. Dabei sollte der Betrieb mit einer Ansaugluft oberhalb eines Taupunkts von  $17,5^{\circ}\text{C}$  auf  $< 200$  Betriebsstunden pro Jahr beschränkt bleiben. Eine Taupunkttemperatur der Ansaugluft oberhalb von  $21^{\circ}\text{C}$  ist nur für speziell ausgelegte Produkte oder mit projektspezifischen Anpassungen zulässig.

Schäden, die durch den Betrieb bei überhöhter Luftfeuchtigkeit verursacht werden, sind von der Gewährleistung ausgeschlossen.

## 7.3 Staubbelastung

Staubablagerungen reduzieren die Wärmeabgabe von Oberflächen und können deshalb zur thermischen Überlastung und verfrühten Ausfällen von Bauteilen führen. Das betrifft neben Motor und Generator auch alle weiteren elektrischen Betriebsmittel.

Um schädliche Auswirkungen durch Staub zu verhindern werden an unterschiedlichen Stellen Filter eingesetzt, die entsprechend festgelegter Wartungsintervalle oder zustandsorientiert gewechselt werden müssen.

Als Indikator für eine erhöhte Staubbelastung kann die Standzeit der Verbrennungsluftfilter herangezogen werden, da der Verschmutzungszustand dieses Filters über eine Messung erfasst wird.

Eine verkürzte Standzeit dieser Filter weist auf eine erhöhte, nicht zulässige Staubbelastung im Maschinenraum hin und es müssen technische Maßnahmen zur Konditionierung der Maschinenraumluft / Verbrennungsluft getroffen werden, um Schäden bei Bauteilen und elektrischen Betriebsmitteln zu vermeiden.

Schäden, die durch eine erhöhte Staubbelastung der Maschinenraumluft verursacht werden, sind von der Gewährleistung ausgeschlossen.

Auslegung der Verbrennungsluftfiltration als Feinstaubfilter gemäß ISO 16890 ePM<sub>1</sub> 50% (früher DIN EN 779 F7).

Bei Notwendigkeit einer Zuluft Filtration für den Maschinenraum empfehlen wir bei allgemeiner Staubbelastung Taschenfilter gemäß ISO 16890 ePM<sub>10</sub> 50% (früher DIN EN 779 M5), bei der alle Partikel der Partikelklasse PM<sub>10</sub> zu mindestens 50% abgeschieden werden. Bei besonderen projektspezifischen Staubbelastungen, z. B. durch eher groben Faserstaub, Sandbelastung in Wüstengebieten oder viel feinkörnigeren Staub aus Mühlen, Gießereien oder Zementfabriken, muss die Filtration auf die vorliegende Partikelbelastung ausgelegt werden.

# 8 Heizwasser

## 8.1 Allgemeines

### Wichtig

Die Vorgaben von MTU zur Aufbereitung / Entlüftung der Wasserkreisläufe müssen eingehalten werden. Die angegebenen Grenzwerte müssen eingehalten werden, da sonst die Gewährleistung erlischt.

### Wichtig

Anforderungen an die Beschaffenheit von Heizwasser über 100 °C gelten dann, wenn Abgaswärmetauscher im Motorkühlkreislauf oder Heizkreislauf eingebaut sind.

### Wichtig

Sulfitzudosierung ist verboten.  
Alternativ wird WBcon 2347 für den Heizwasserkreislauf empfohlen.  
Es ist zu beachten, dass das Produkt Borate und Natriumhydroxid enthält, welches Materialien wie Aluminium oder Messing angreift.

### Ergänzende Hinweise

Vorsorglich wird darauf hingewiesen, dass im allgemeinen auch Maschinenbruchversicherungen keine Kosten für vorhersehbare Schäden, z. B. durch ungeeignete Wasserbeschaffenheit übernehmen.

Unter dem Begriff „Summe Erdalkalien“ ist der Gehalt an Härte bildenden gelösten Calcium- und Magnesiumsalzen zu verstehen. Für die Umrechnung in die früher übliche Maßeinheit der „Gesamthärte“ gilt:

- $1 \text{ mol/m}^3 = 5,6 \text{ dH}$
- Der pH-Wert ist ein Maß für den Säuregrad oder die Alkalität einer Lösung.
- pH = 7 neutral, < 7 sauer, > 7 alkalisch.

### Wichtig

Max. zulässige Schwankung der Heizwassereintrittstemperatur: max. 3 K / min.

## 8.2 Informationen zu Heizwasser für BR4000 und BR400

### Wichtig

Die Zugabe von Natriumsulfit als Bindemittel für Sauerstoff ist nicht zulässig.

### Wichtig

Die Basisskalierung muss mit Trinatriumphosphat erfolgen.

### Anforderungen an das Heizwasser bis 100 °C

Maßgebend ist die VDI-Richtlinie 2035 Blatt 1 (Dezember 2005) und Blatt 2 (September 1998). „Verhütung von Schäden durch Korrosion und Steinbildung in Warmwasserheizungsanlagen“ mit folgenden Richtwerten (siehe auch die entsprechenden Erläuterungen im Original):

Allgemeine Anforderungen	Klar, farblos und frei von ungelösten Stoffen	
pH-Wert (25 °C)	8,0 bis 9,0	
Elektrische Leitfähigkeit (25 °C)	< 250	µS/cm
Summe Erdalkalien	Bis 1,5 Bis 8,4	mmol/l °dH
Chloride	< 50	mg/l
Sulfate	< 50	mg/l
Phosphate	< 10	
Sauerstoffgehalt bei Einsatz von Sauerstoffbindemitteln	< 0,1	mg/l
Eisen	< 0,2	mg/l

Tabelle 65: Anforderungen an das Heizwasser bis 100 °C

Wenn obige Grenzwerte nicht eingehalten werden, sind folgende Maßnahmen erforderlich:

- Gegen Steinbildung: Wasseraufbereitung (Enthärtung, Vollentsalzung, Umkehrosiose) oder Härtestabilisierung (ST-DOS-H-Produkte)
- Gegen Korrosionsvorgänge: Inhibierung oder Sauerstoffbindung (ST-DOS-H-Produkte)

### Anforderungen an das Heizwasser über 100 °C

Maßgebend ist die VdTÜV-Richtlinie TCh 1466 für die Beschaffenheit des Wassers in Heizungsanlagen, die mit Vorlauftemperatur über 100 °C betrieben werden. Danach gelten für salzarme Betriebsweise die folgenden Richtwerte:

Allgemeine Anforderungen	Klar, farblos und frei von ungelösten Stoffen	
pH-Wert (25 °C)	8,0 bis 9,0 *	
Elektrische Leitfähigkeit (25 °C)	10 bis < 250	µS/cm
Summe Erdalkalien	< 0,02 < 0,10	mmol/l °dH
Chloride	< 20	mg/l
Sulfate	< 5 bis 10	mg/l
Sauerstoffgehalt	< 0,05	mg/l
* Abweichung gegenüber TCh 1466 (TÜV)		

Allgemeine Anforderungen	Klar, farblos und frei von ungelösten Stoffen	
Phosphat	5 bis 10	mg/l
Eisen	< 0,2	mg/l
* Abweichung gegenüber TCh 1466 (TÜV)		

Table 66: Anforderungen an das Heizwasser über 100 °C

Maßnahmen gegen Steinbildung und Korrosionsvorgänge:

- Gegen Steinbildung: Wasseraufbereitung (Enthärtung, Vollentsalzung, Umkehrosmose) oder Härtestabilisierung (ST-DOS-H-Produkte)
- Gegen Korrosionsvorgänge: Inhibierung oder Sauerstoffbindung (ST-DOS-H-Produkte)

## 8.3 Informationen zu Heizwasser für BR500

### 8.3.1 Wasserbeschaffenheit für Heizwasserkreislauf BR500

Die Wasserbeschaffenheit ist beim Nachfüllen von größeren Mengen Ergänzungswasser, jedoch mindestens 1 x jährlich, mittels einer Wasseranalyse zu kontrollieren. Zur Wasserqualität siehe (→ Seite 116).

Sofern die Vorgaben dieser technischen Anweisung nicht eingehalten werden, ist betreiberseitig eine Fachfirma mit der Wasseraufbereitung zu beauftragen.

Eigenschaft	Einheit	Grenzwert
Aussehen	-	Klar und geruchsneutral, frei von Bodensatz und Schwebstoffen
pH-Wert bei 25 °C	-	8,2 bis 10,0
Elektr. Leitfähigkeit (bei 25 °C)	µS/cm	< 250
Sauerstoffgehalt O <sub>2</sub>	mg/l	< 0,05
Gesamthärte *	°dH	< 0,3 (=0,05 mmol/l)
Chloride	mg/l	< 10
Phosphat (PO <sub>4</sub> )	mg/l	5 bis 10

\* Wenn die Gesamtheizleistung des Heizungssystems weniger als 600 kW beträgt, können höhere Werte nach VDI 2035, Blatt 1 toleriert werden

Table 67: Grenzwerte für Heizwasserkreislauf

## 8.3.2 Heizwasser – Wasserqualität BR500

### Weiterführende Hinweise zur Einhaltung der Wasserqualität

- Grundsätzlich wird ein Betrieb mit entsalztem Wasser mit schwacher alkalischer Pufferung empfohlen. Insbesondere bei einem engen einzuhaltenden pH-Wert wird dadurch der Effekt der „Selbstalkalisierung“ vermieden. Weiterhin werden durch diese Art der Wasseraufbereitung weitere Bestandteile, die zu Korrosionseffekten führen, entfernt (z. B. Chloride).
- Allgemein werden Korrosionseffekte durch eine niedrige Leitfähigkeit des Heizwassers vermindert. Als salzarme Fahrweise gilt nach VDI 2035 ein Wert  $< 100 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Die Grenzwerte für Heizwasserkreislauf sollten unterschritten werden (→ Seite 115).

#### Wichtig

Einschlägiges Regelwerk bietet weiterführende Informationen (DIN EN 12828, VDI 2035, VD-TÜV, Merkblatt 1466,...).

# 9 Bestätigung Betriebsstoffe

## 9.1 Bestätigung durch den Betreiber von Generatoraggregaten

**Wichtig**

Ohne diese Bestätigung darf eine Inbetriebnahme der Anlage nicht durchgeführt werden.

**Anlagenbeschreibung:**

**Anlage besteht aus:**

**Werk / SAP-Nr.:**

**Besteller:**

**Betreiber:**

**Projektleiter von MTU:**

Hiermit bestätigen wir, dass die Beschaffenheit der Betriebsstoffe (Kühlwasser, Gas, Schmieröl, Heizwasser etc., soweit zutreffend) der Betriebsstoffspezifikation von MTU entspricht.

Für Schäden, die aufgrund abweichender Betriebsstoffqualität entstehen, übernimmt MTU keine Gewährleistung.

**Ort, Datum**

**Rechtsverbindliche Unterschrift (Auftraggeber)**

# 10 Änderungsübersicht

## 10.1 Änderungsübersicht von Version A001072/02 zu Version A001072/03

Lfd.-Nr.	Kapitel	Thema	Maßnahme
1	0	Gasmotoren und Gasgeneratoraggregate	BR500 eingefügt
2	2.1.1	Motoröl	Überarbeitet
3	2.1.2	Motorölgrenzwerte für BR4000, BR400	Überarbeitet
4	2.1.3	Motorölgrenzwerte BR500	Neu
5	2.2.1	Gasmotor BR4000 - Generatoranwendung und Generatoraggregat - Marineanwendung: Freigegebene Motoröle	Überarbeitet
6	2.3.1	Gasmotor BR400 - Generatoraggregat: Freigegebene Motoröle	Überarbeitet
7	2.4.1	Gasmotor BR500: Freigegebene Motoröle	Neu
8	2.4.2	Motorölwechselintervalle	Neu
9	2.4.3	Ölvolumen	Neu
10	2.4.4	Schmierfette für Generatoren	Neu
11	3.1.1	Definition Kühlmittel	Überarbeitet
12	3.1.2	Betriebsüberwachung / Kühlmittelaufbereitung für BR4000 und BR400	Überarbeitet
13	3.1.3	Lagerstabilität der Kühlmittelkonzentrate	Überarbeitet
14	3.1.9	Frischwasseranforderungen BR500	Neu
15	3.2.4	Gasmotor BR4000 - Marineanwendung: Frostschutzmittel - Konzentrate für leichtmetallfreie Kühlsysteme	Überarbeitet
16	3.2.6	Gasmotor BR4000 - Marineanwendung: Frostschutzmittel - Fertigmischungen für leichtmetallfreie Kühlsysteme	Überarbeitet
17	3.3.4	Gasmotor BR4000: Frostschutzmittel - Konzentrate für leichtmetallhaltige Kühlsysteme	Überarbeitet
18	3.3.6	Gasmotor BR4000: Frostschutzmittel - Fertigmischungen für leichtmetallhaltige Kühlsysteme	Überarbeitet
19	3.5.1	Gasmotor BR500 - Generatoraggregat: Kühlmittel - Allgemeines	Neu
20	3.5.2	Gasmotor BR500: Kühlmittel - Kontrolle und Erneuerung	Neu
21	3.5.3	Gasmotor BR500: Freigegebene Kühlmittel	Neu
22	4.1.2	Anforderung an das Brenngas	Überarbeitet
23	4.2.2	Anforderungen an das Brenngas für Marineanwendungen	Überarbeitet
24	4.5.1	Gasmotor BR500: Gasarten	Neu
25	4.5.2	Gasmotor BR500: Mindestanforderung an die Gaszusammensetzung	Neu
26	4.5.3	Gasmotor BR500: Gasbetriebsdaten	Neu
27	4.5.4	Gasmotor BR500: Umrechnung Grenzwerte aus Gasanalyse	Neu
28	4.5.5	Gasmotor BR500: Sondergrenzwerte	Neu

Lfd.-Nr.	Kapitel	Thema	Maßnahme
29	4.5.6	Gasmotor BR500: Betriebsstörungen durch Kondensat im Brenngas	Neu
30	6.2.1	Spül- und Reinigungsvorschrift für BR500: Allgemeines	Neu
31	6.2.2	Gasmotor BR500: Freigegebene Reinigungsmittel	Neu
32	6.2.3	Gasmotor BR500: Motorkühlsystem reinigen	Neu
33	7.1	Zuluft und Verbrennungsluft: Allgemeines	Überarbeitet
34	7.2	Luftfeuchtigkeit	Neu
35	7.3	Staubbelastung	Neu
36	8.2	Informationen zu Heizwasser für BR4000 und BR400	Überarbeitet
37	8.3.1	Wasserbeschaffenheit für Heizwasserkreislauf BR500	Neu
38	8.3.2	Heizwasser – Wasserqualität BR500	Neu

# 11 Anhang A

## 11.1 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung	Erläuterung
ASTM	American Society for Testing and Materials	-
Bh	Betriebsstunden	Betriebsstunden
BR	Baureihe	Baureihe
BV	Betriebsstoffvorschrift	Betriebsstoffvorschrift
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.	Zugleich Bezeichnung für Normen (Deutsche Industrie-Norm)
DVGW	Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V.	-
EN	Europäische Norm	Europäische Norm
IP	Institute of Petroleum	-
ISO	International Organization for Standardization	Internationale Dachorganisation aller nationalen Normungsinstitute
MZ	Methanzahl	Methanzahl
SAE	Society of Automotive Engineers	US-amerikanisches Normungsgremium
ST-DOS-H	Sicherheitsdatenblatt	Sicherheitsdatenblatt
VDI	Richtlinie, Normen Regeln und Standards	Richtlinie, Normen Regeln und Standards
VdTÜV	Technische Regeln	Technische Regeln
Vol.	Volumen	Volumen

## 11.2 Umrechnungstabelle von SI-Einheiten

SI-Einheit	US-Einheit	Umrechnung
°C	°F	$^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{C} \cdot 1,8 + 32$
kWh	BTU	1 BTU = 0,0002930711 kWh
kWh/m <sup>3</sup> i.N.	BTU/ft <sup>3</sup>	1 BTU/ft <sup>3</sup> = 00,010349707 kWh/m <sup>3</sup>
kW	kBTU/hr	1 kBTU/hr = 0,2928104 kW
kW	bhp	1 bhp = 0,7457 kW
l	gal	1 gal = 3,785412 liter
mm	inch	1 inch = 25,4 mm
m	ft	1 ft = 0,3048 m
m/s	ft/s	1 ft/s = 0,3048 m/s
m <sup>3</sup> i.N.	ft <sup>3</sup> i.N.	ft <sup>3</sup> = 0,02831685 m <sup>3</sup> i.N.
bar	psi	1 psi = 0,06894757 bar
kg	lb	1 lb = 0,4535924 kg

Tabelle 68: Umrechnungstabelle

## 11.3 Ansprechpartner/Service-Partner

### **Service**

Das weltweite Netz der Vertriebsorganisation mit Tochtergesellschaften, Vertriebsbüros, Vertretungen und Kundendienststützpunkten gewährleistet die schnelle und direkte Betreuung vor Ort und die hohe Verfügbarkeit unserer Produkte.

### **Betreuung vor Ort**

Erfahrene und kompetente Spezialisten stehen Ihnen zur Seite und geben ihre Kenntnisse und ihr Wissen an Sie weiter.

Unsere Betreuung vor Ort finden Sie im Internet unter: <http://www.mtu-solutions.com>

### **24 h Hotline**

Über unsere 24 h Hotline und durch unsere hohe Flexibilität sind wir rund um die Uhr Ihr Ansprechpartner, während jeder Betriebsphase, der vorbeugenden Wartung, der korrektiven Arbeiten im Störfall, bei veränderten Einsatzbedingungen und der Ersatzteilversorgung.

Ihr Ansprechpartner in unserem Customer Assistance Center:

E-Mail: [service.de@ps.rolls-royce.com](mailto:service.de@ps.rolls-royce.com)

### **Ersatzteilservice**

Das Ersatzteil für Ihre Anlage schnell, einfach und korrekt identifizieren. Das richtige Ersatzteil zur rechten Zeit am richtigen Ort.

Für diese Zielsetzung bieten wir eine weltweit vernetzte Teilelogistik.

Ihr Ansprechpartner in der Zentrale:

Deutschland:

- Tel.: +49 821 74800
- Fax: +49 821 74802289
- E-Mail: [spareparts-oeg@ps.rolls-royce.com](mailto:spareparts-oeg@ps.rolls-royce.com)

Weltweit:

- Tel.: +49 7541 9077777
- Fax: +49 7541 9077778
- E-Mail: [spareparts-oeg@ps.rolls-royce.com](mailto:spareparts-oeg@ps.rolls-royce.com)

# 12 Anhang B

## 12.1 Index

### A

- Abgaskondensat 99
- Abgasnachbehandlungssystem
  - Abgaskondensat 99
  - Allgemeines 96
  - NOx-Reduktionsmittel 97
- Abkürzungsverzeichnis 120
- Aktualität der Druckschrift 5
- Änderungsübersicht 118
- Anforderung
  - Kühlmittelkreislauf 38
- Anforderungen
  - Heizwasser für BR4000 und BR400 113
  - Heizwasser für BR500 115
- Ansprechpartner 122

### B

- Bestätigung
  - Betreiber 117
- Betreiber
  - Bestätigung 117
- Betriebsüberwachung
  - Kühlmittel 31, 64
- Biogas
  - Anforderungen
    - BR400 86
    - BR4000 81
  - Hauptbestandteile 68
- Brenngas
  - Anforderungen: Methanzahl 67
  - Gasanalyse bei BR500 92
  - Generatoranwendung und Generatoraggregat
    - BR400 85, 86
    - BR4000 78, 81
    - BR500 90
  - Hauptbestandteile, Unterteilung für BR500 89
  - Kondensat 95
  - Marineanwendung 72
  - Randbedingungen 91
  - Siliziumgehalt 11
  - Siliziumverbindungen 70
- Brennstoff
  - Verwendung 66

### Brennstoffe 71, 77

- Biogas
  - BR400 86
  - BR4000 81
- Erdgas
  - BR400 85
  - BR4000 78
  - BR500 90
  - Marineanwendung 72

### E

- Erdgas
  - Anforderungen
    - BR400 85
    - BR4000 78
    - BR500 90
    - Marineanwendung 72
  - Hauptbestandteile 68
- Ersatzteilservice 122

### F

- Farbzusatz
  - Kühlmittelkreislauf 36
  - Schmierölkreislauf 12
- Freigegebene Betriebsstoffe
  - Motoröle für BR400 19
  - Motoröle für BR4000 15
  - Motoröle für BR500 25
- Frischwasser
  - Grenzwerte
    - BR400 40
    - BR4000 39
    - BR500 41
- Frostschutzmittel
  - BR400 62
  - BR500 65
  - für leichtmetallfreie Kühlsysteme
    - Fertigmischungen 50
    - Konzentrate 46
  - für leichtmetallhaltige Kühlsysteme
    - Fertigmischungen 59
    - Konzentrate 55

### G

- Gas
  - Hauptbestandteile, Unterteilung für BR500 89
- Gasanalyse
  - Umrechnung bei BR500 92
- Gasbetriebsdaten 91
- Gasgemisch
  - Grenzwerte 109

Gebrauchtölanalyse 8  
Gebrauchtölanalyse BR500 10  
Getriebeöl 18  
Grenzwerte BR500  
- gebrauchte Gasmotoröle 10

## H

Heizwasser  
- Allgemeines 112  
- Wasserqualität 116  
Heizwasser für BR4000 und BR400  
- Anforderungen 113  
Heizwasser für BR500  
- Anforderungen 115  
Hinweise zur Benutzung 5  
Hotline 122

## K

Konservierung  
- Motor 5  
Kraftstoff  
- Kondensat 95  
- Siliziumgehalt 11  
- Verunreinigungen 93  
- Verwendung 66  
Kraftstoffe 71, 77  
- Biogas  
- BR400 86  
- BR4000 81  
- BR400  
- Verunreinigungen 87  
- Erdgas  
- BR400 85  
- BR4000 78  
- BR500 89, 90  
- Marineanwendung 72

Kühlmittel  
- Prüfkoffer 100, 106  
- Aufbereitung  
- BR400 40  
- BR4000 39  
- BR500 41  
- Betriebsüberwachung 31  
- BR400 62  
- BR4000  
- Frostschutzmittel für leichtmetallfreie Kühlsysteme 46, 50  
- Frostschutzmittel für leichtmetallhaltige Kühlsysteme 55, 59  
- Kühlmittel ohne Frostschutz für leichtmetallhaltige Kühlsysteme 53, 54  
- BR500 65  
- Definition 29  
- Erneuerung 64  
- Frischwasseranforderung  
- BR400 40  
- BR4000 39  
- BR500 41  
- Frostschutzmittel  
- Konzentrate für besondere Anwendungen 49, 58  
- Generatoraggregat  
- BR400 62  
- BR4000 42, 52  
- BR500 63, 65  
- Generatoranwendung 42, 52  
- Grenzwerte 31, 64  
- Kontrolle 64  
- Kühlmittel ohne Frostschutz  
- Fertigmischungen für leichtmetallfreie Kühlsysteme 45  
- Konzentrate für leichtmetallfreie Kühlsysteme 43  
- Lagerstabilität 35  
- Prüfkoffer 31  
- Zulässige Konzentrationen 31  
Kühlmittel ohne Frostschutz  
- für leichtmetallhaltige Kühlsysteme  
- Fertigmischungen 54  
- Konzentrate 53  
Kühlmittelkreislauf  
- Baugruppen reinigen 104  
- Leckage 36  
- reinigen 103  
- Reinigungsmittel 101  
- spülen 102  
- Verunreinigung 100  
- Werkstoffe 38  
Kühlmittelkreislauf BR500  
- reinigen 108  
- Reinigungsmittel BR500 107  
- Verunreinigung 106  
Kühlsystem  
- Vermeidung von Schäden 37

## L

- Lagerung
  - Kühlmittel 35
- Leckage
  - Kühlmittelkreislauf 36
  - Schmierölkreislauf 12
- Liquid Natural Gas (LNG) 69
- Luftfeuchtigkeit 110

## M

- Medium im Hüllraum der Gasleitung in der Marineanwendung
  - Brennstoffe für Gasmotoren 75
- Motor
  - Konservierung 5
- Motorkühlmittelkreislauf
  - Baugruppen reinigen 104
  - reinigen 103
  - Reinigungsmittel 101
  - spülen 102
  - Verunreinigung 100
- Motorkühlmittelkreislauf BR500
  - reinigen 108
  - Reinigungsmittel BR500 107
  - Verunreinigung 106
- Motoröl 7
  - BR400 19
  - BR4000 15
  - BR500 25
  - Lagerung und Entsorgung 27
- Motorölgrenzwerte
  - BR4000, BR400
    - gebrauchte Gasmotoröle 8
  - BR500 10
- Motorölwechselintervalle
  - Generatoraggregat BR400 22
  - Generatoraggregat BR500 26
  - Ölabspritzung 22
  - Ölanalyse
    - Auswertung 26
- Motorölwechselintervalle BR4000, BR400
  - Grenzwerte 8

## N

- NOx-Reduktionsmittel
  - Allgemeines 97

## O

- Ölabspritzung 22
- Ölproben 26
- Ölvolumenerweiterung 27
- Ölwirtschaft 27

## P

- Prüfkoffer
  - Kühlmittel 100, 106

## R

- Reinigungsmittel 101
  - Systemreiniger 105
- Reinigungsmittel BR500 107
- Reinigungsvorschrift
  - Baugruppen 104
  - Motorkühlmittelkreislauf 100, 103
  - Systemreiniger 105
- Reinigungsvorschrift BR500
  - Motorkühlmittelkreislauf BR500 106
  - Motorkühlmittelkreislauf BR5000 108

## S

- Schmierfett
  - Allgemeine Anwendung 13, 14
  - Anforderung 13
  - für Generatoren 17, 24, 28
  - Generatoraggregat BR400 24
  - Generatoraggregat BR4000 17
  - Generatoraggregat BR500 28
- Schmieröl
  - BR4000 15
- Schmierölkreislauf
  - Leckage 12
- Schmierstoff
  - Anforderung 13
  - Sonderanwendung 13
- Schwachgasbetrieb 26
- Service-Partner 122
- Siliziumbetriebsgrenzwert 11
- Siliziumbetriebswert 11
- Siliziumgehalt
  - Brenngas 11
  - Kraftstoff 11
- Siliziumverbindungen
  - Brenngas 70
- Sondergrenzwerte 93
- Spülvorschrift
  - Baugruppen 104
  - Kühlkreisläufe mit Bakterien-, Hefen-, Pilzbefall 105
  - Motorkühlmittelkreislauf 100, 102
- Spülvorschrift BR500
  - Motorkühlmittelkreislauf BR500 106
- Staubbelastung 111

## U

- Umölvorgang 27

## V

- Verbrennungsluft 109
- Verunreinigungen
  - Kraftstoff 93
  - Kraftstoffe
    - BR400 87

## W

- Werkstoffe
  - Kühlmittelkreislauf 38

Z

Zuluft 109