



Betriebsstoffvorschrift

Gasmotoren und Gasgeneratoraggregate

Gasmotor BR4000 – Marineanwendung

Gasmotor BR4000 – Generatoranwendung und Generatoraggregat

Gasmotor BR4000 – Generatoraggregat in Oil&Gas

Gasmotor BR400 – Generatoraggregat

Gasmotor BR500 – Generatoraggregat

A001072/08D



A Rolls-Royce
solution

Als Rolls-Royce Solutions bezeichnet man die Rolls-Royce Solutions GmbH oder ein mit ihr verbundenes Unternehmen im Sinne von §15 AktG oder ein von ihr beherrschtes Unternehmen (Joint Venture), sowie Rolls-Royce Solutions Ruhstorf GmbH.

© Copyright Rolls-Royce Solutions

Diese Veröffentlichung einschließlich aller ihrer Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung oder Nutzung bedarf der vorherigen schriftlichen Zustimmung der Rolls-Royce Solutions. 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. Rolls-Royce Solutions behält sich das Recht vor, bei Bedarf Änderungen, Löschungen oder Ergänzungen der bereitgestellten Informationen oder Daten durchzuführen.

Export Control Information table

Dieses Dokument unterliegt den folgenden Exportkontrollinformationen:

DE:	Unterliegt nicht der Ausfuhrkontrolle.
-----	--

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	15	
2.2.1 Freigegebene Motoröle	15	
2.2.2 Schmierfette für Generatoren	18	
2.2.3 Getriebeöle	19	
2.3 Gasmotor BR400 - Generatoraggregat	20	
2.3.1 Freigegebene Motoröle	20	
2.3.2 Motorölwechselintervalle	24	
2.3.3 Schmierfette für Generatoren	26	
2.4 Gasmotor BR500 - Generatoraggregat	27	
2.4.1 Freigegebene Motoröle	27	
2.4.2 Motorölwechselintervalle	28	
2.4.3 Ölvolumen	29	
2.4.4 Schmierfette für Generatoren	30	
3 Kühlmittel		
3.1 Allgemeines	31	
3.1.1 Definition Kühlmittel	31	
3.1.2 Betriebsüberwachung / Kühlmittelaufbereitung für BR4000 und BR400	35	
3.1.3 Lagerstabilität der Kühlmittelkonzentrate	39	
3.1.4 Farbzusätze zur Erkennung von Leckagen im Kühlmittelkreislauf	40	
3.1.5 Vermeidung von Schäden im Kühlsystem	41	
3.1.6 Ungeeignete Werkstoffe im Kühlmittelkreislauf	42	
3.1.7 Frischwasseranforderungen für BR4000 und BR400	43	
3.1.8 Frischwasseranforderungen BR500	44	
3.2 Gasmotor BR4000 - Marineanwendung	45	
3.2.1 Kühlmittel – Allgemeines	45	
3.2.2 Kühlmittel ohne Frostschutz – Konzentrate für leichtmetallfreie Kühlsysteme	46	
3.2.3 Kühlmittel ohne Frostschutz – Fertigmischungen für leichtmetallfreie Kühlsysteme	47	
3.2.4 Frostschutzmittel – Konzentrate für leichtmetallfreie Kühlsysteme	48	
3.2.5 Frostschutzmittel – Konzentrate für besondere Anwendungen	51	
3.2.6 Frostschutzmittel – Fertigmischungen für leichtmetallfreie Kühlsysteme	52	
3.3 Gasmotor BR4000 - Generatoranwendung, Generatoraggregat und Generatoraggregat in Oil&Gas	55	
3.3.1 Kühlmittel – Allgemeines	55	
3.3.2 Kühlmittel ohne Frostschutz – Konzentrate für leichtmetallhaltige Kühlsysteme	56	
3.3.3 Kühlmittel ohne Frostschutz – Fertigmischungen für leichtmetallhaltige Kühlsysteme	57	
3.3.4 Frostschutzmittel – Konzentrate für leichtmetallhaltige Kühlsysteme	58	
3.3.5 Frostschutzmittel – Konzentrate für besondere Anwendungen	61	
3.3.6 Frostschutzmittel – Fertigmischungen für leichtmetallhaltige Kühlsysteme	62	
3.4 Gasmotor BR400 - Generatoraggregat	65	
3.4.1 Freigegebene Kühlmittel	65	
3.5 Gasmotor BR500 - Generatoraggregat	66	
3.5.1 Kühlmittel - Allgemeines	66	
3.5.2 Kühlmittel – Kontrolle und Erneuerung	67	
3.5.3 Freigegebene Kühlmittel	68	
4 Spül- und Reinigungsvorschrift für Motorkühlmittelkreisläufe		
4.1 Spül- und Reinigungsvorschrift für BR400 und BR4000	69	
4.1.1 Allgemeines	69	
4.1.2 Freigegebene Reinigungs-/Desinfektionsmittel	70	
4.1.3 Motorkühlmittelkreisläufe spülen	71	
4.1.4 Motorkühlmittelkreisläufe reinigen	73	
4.1.5 Motorkühlmittelkreisläufe - Baugruppen reinigen	75	
4.1.6 Kühlmittelkreisläufe mit Bakterien-, Hefen-, Pilzbefall	76	
4.2 Spül- und Reinigungsvorschrift für BR500	77	
4.2.1 Allgemeines	77	
4.2.2 Freigegebene Reinigungsmittel	78	
4.2.3 Motorkühlsystem reinigen	79	

5	Reinigung des Produkts von außen		6.6.4	Umrechnung Grenzwerte aus Gasanalyse	126
5.1	Allgemeines	80	6.6.5	Sondergrenzwerte	127
6	Kraft-/Brennstoffe		6.6.6	Betriebsstörungen durch Kondensat im Brenngas	129
6.1	Allgemeines	81	7	Abgasnachbehandlungssystem	
6.1.1	Verwendung von Kraft-/Brennstoffen	81	7.1	Allgemeines	130
6.1.2	Hauptbestandteile von Erdgas und Brenngasen biogenen Ursprungs	82	7.2	NOx-Reduktionsmittel AUS 32 für SCR-Abgasnachbehandlungsanlagen	131
6.1.3	Erdgas/Wasserstoff-Mischungen	84	7.3	Abgaskondensat	133
6.1.4	Liquid Natural Gas (LNG)	85	8	Zuluft und Verbrennungsluft	
6.1.5	Silizium- und Schwefelverbindungen im Brenngas	86	8.1	Allgemeines	134
6.1.6	Klopffestigkeit von Gaskompensationen	87	8.2	Luftfeuchtigkeit	136
6.2	Gasmotor BR4000 - Marineanwendung	88	8.3	Staubbelastung	137
6.2.1	Allgemeines	88	8.4	Heizwasser	138
6.2.2	Anforderungen an das Brenngas für Marineanwendungen	89	8.4.1	Allgemeines	138
6.2.3	Vorschrift für das Medium im Hüllraum der Gasleitung in der Marineanwendung	92	8.4.2	Informationen zu Heizwasser für BR4000 und BR400	139
6.3	Gasmotor BR4000 – Generatoranwendung und Generatoraggregat	94	8.4.3	Informationen zu Heizwasser für BR500	141
6.3.1	Allgemeines	94	8.4.3.1	Wasserbeschaffenheit für Heizwasserkreislauf BR500	141
6.3.2	Erdgas – Anforderungen an das Brenngas	95	8.4.3.2	Heizwasser – Wasserqualität BR500	142
6.3.3	Biogas – Anforderungen an das Brenngas	99	9	Bestätigung Betriebsstoffe	
6.3.4	Motorbetrieb mit gasförmigem Propangas	103	9.1	Bestätigung durch den Betreiber von Generatoraggregaten	143
6.3.5	Motorbetrieb mit Erdölbegleitgas	109	10	Änderungsübersicht	
6.4	Gasmotor BR4000 - Generatoraggregat in Oil&Gas	115	10.1	Änderungsübersicht zur Vorgängerversion	144
6.4.1	Allgemeines	115	11	Anhang A	
6.4.2	Erdgas – Anforderungen an das Brenngas	116	11.1	Abkürzungsverzeichnis	146
6.5	Gasmotor BR400 - Generatoraggregat	119	11.2	Umrechnungstabelle von SI-Einheiten	147
6.5.1	Erdgas – Kraftstoffwerte	119	11.3	Ansprechpartner/Service-Partner	148
6.5.2	Biogas – Kraftstoffwerte	120	12	Anhang B	
6.5.3	Störende Verunreinigungen	121	12.1	Index	149
6.6	Gasmotor BR500 - Generatoraggregat	123			
6.6.1	Gasarten	123			
6.6.2	Mindestanforderung an die Gaszusammensetzung	124			
6.6.3	Gasbetriebsdaten	125			

1 Vorwort

1.1 Allgemeines

Diese Betriebsstoffvorschrift enthält allgemeine Anweisungen für den ordnungsgemäßen und sicheren Betrieb Ihres Produkts vom Hersteller Rolls-Royce Solutions.

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 ist deshalb außerordentlich wichtig. Sie ist in diesen Betriebsstoffvorschriften festgelegt.

mtu ValueCare Portfolio

Rolls-Royce Solutions bietet über mtu ValueCare freigegebene auf den Motor abgestimmte Öle an.

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 aktuelle Version vorliegt. Die aktuelle Version ist aufrufbar unter:

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

Bei Fragen hilft Ihnen Ihr Ansprechpartner gerne weiter.

Gewährleistung

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

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

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 allgemein gültige 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. Rolls-Royce Solutions 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 aktuelle 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 20)
- Für BR500 (→ Seite 27)

Ein wesentlicher Faktor ist der Anteil störender Verunreinigungen im Brenngas. Dies setzt vom Betreiber regelmäßige Gaskontrollen voraus. Die zu verwendenden Gasmotoröle zeichnen sich durch geringst 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 Rolls-Royce Solutions 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 Rolls-Royce Solutions zulässig.

Grenzwerte für gebrauchte Gasmotoröle SAE 40

	Prüfmethode	Grenzwerte BR4000	Grenzwerte BR400
Viskosität bei 100 °C (mm ² /s)	ASTM D445 DIN 51659-1 DIN 51659-2 DIN 51659-3	max. 17,5 min. 12,5	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 und Verunreinigungen:	DIN 51399-1/-2		
Eisen (Fe) (mg/kg)		max. 30	max. 50
Blei (Pb) (mg/kg)		max. 20	max. 30
Aluminium (Al) (mg/kg)		max. 10	max. 20
Kupfer (Cu) (mg/kg)		max. 20 ***	max. 50
Zinn (Sn) (mg/kg)		max. 5	max. 15
Silicium (Si) (mg/kg)		max. 15 *	max. 10 *

* Der Grenzwert für die Verunreinigung Silicium bezieht sich nur auf Erdgasbetrieb.

** Neuölwert auf Werksanfrage

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

**** nur möglich, wenn keine Esterverbindungen vorhanden

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 anormales Ergebnis (z. B. erhöhter Ölverschleiß) erfordert eine unverzügliche Untersuchung und Behebung des festgestellten irregulären Betriebszustands (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 Gesamtölfüll-
menge. Ohne eine Anpassung der Grenzwerte sind, Maßnahmen zur Schadensverhinderung nicht einleit-
bar.

Eigenschaften	Prüfmethode	Grenzwerte BR500
Viskosität bei 100 °C (mm ² /s)	ASTM D445 DIN 51659-1 DIN 51659-2 DIN 51659-3	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 1000 h		max. 20
Blei (Pb), ppm pro 1000 h		max. 35
Aluminium (Al), ppm pro 1000 h		max. 15
Kupfer (Cu), ppm pro 1000 h		max. 15
Zinn (Sn), ppm pro 1000 h		max. 10
Silizium (Si), ppm		max. 15*
Chrom (Cr), ppm pro 1000 h		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.

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

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

Rolls-Royce Solutions 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 ³
Nachgefüllte Ölmenge	200	dm ³
Erzeugte elektrische Arbeit zwischen Ölanalyse A und B	2000000	kWh

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

2.1.5 Fluoreszierende Farbstoffe zur Erkennung von Leckagen im Schmierölkreislauf

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

Hersteller	Produktbezeichnung	Anwendungskonzentration	Materialnummer	Gebindegröße	Lagerstabilität ¹⁾
Chromatech Europe B.V.	D51000A 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:

¹⁾ = 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 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 GE11–680 (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

2.2.1 Freigegebene Motoröle

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

mtu ValueCare Motoröle für Gasmotoren BR4000

Hersteller	Produkt-/Markenname	SAE Viskositätsklasse	Baumuster							Bemerkung / Materialnummer
			4000L61 / L62 / L63	4000L64 / L64FNER / T24N / L64FV**	4000L32 / L33 / L32FNER	4000L32FB	4000L62FB*	4000L64FB	4000M55RN	
Rolls-Royce Solutions GmbH	GEO BG Power B2L	40				X	X	X		20 l Gebinde: X00072870 205 l Gebinde: X00072871 IBC: X00072872 Tank: X00073862
	GEO NG Power X2L	40	X							20 l Gebinde: X00072874 205 l Gebinde: X00072875 IBC: X00072876 Tank: X00073865
	GEO NG Power X3L	40	X	X	X				X	20 l Gebinde: X00072877 205 l Gebinde: X00072878 IBC: X00072879 Tank: X00073866
X = Freigabe für Baumuster * = bei diesem Baumuster ist der zusätzliche Hinweis in der technischen Beschreibung zur Auswahl des freigegebenen Motoröls zu beachten. ** = nur für Erdgas										

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.

Alternative Motoröle für Gasmotoren BR4000

Hersteller	Markenname	SAE Viskositätsklasse	Baumuster						
			4000L61 / L62 / L63	4000L64 / L64FNER / T24N / L64 FV***	4000L32 / L33 / L32FNER	4000L32FB	4000L62FB**	4000L64FB	4000M55RN
Addinol	MG 40 Extra LA	40				X	X		
	MG 40 Extra Plus	40					X		
	Eco Gas 4205 XD	40	X	X					X
BayWa AG	Tectrol MethaFlexx HC Premium	40				X	X		
Castrol Ltd.	Castrol Duratec L	40	X		X *				
CEPSA	Troncoll Gas SP 40	40	X	X					X
Chevron	HDAX 8200	40	X	X					X
EXOL	Taurus GEO CH G240	40	X	X					X
Exxon Mobil Corporation	Mobil Pegasus 605 Ultra 40	40				X *** *	X *** *		
	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 Ultra LA R	40	X	X					X
	Titan Ganymet PRO 4000	40	X	X					X
MOTUL	Gasma SP SAE 40	40	X	X					X
NILS S.p.A.	Burian	40					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 zur Auswahl des freigegebenen Motoröls zu beachten.

*** = nur für Erdgas

**** = Freigabe nur für eine maximale elektrische Leistung von 83 kW/Zyl

Hersteller	Markenname	SAE Viskositätsklasse	Baumuster						
			4000L61 / L62 / L63	4000L64 / L64FNER / T24N / L64 FV***	4000L32 / L33 / L32FNER	4000L32FB	4000L62FB**	4000L64FB	4000M55RN
Shell International Petroleum Company	Shell Mysella S3 N 40	40	X		X *				
	Shell Mysella S5 N 40	40	X	X	X				
	Shell Mysella S5 S 40	40				X *** *	X *** *		
SRS Schmierstoff Vertrieb GmbH	SRS Mihagrun LA 40	40	X		X *				
TEDOM Energy Systems and Solutions GmbH	Schnell Protect Oil	40				X	X		
Total Deutschland	Nateria MH40	40	X		X *				
	Nateria MJ40	40					X		
	Nateria MP40	40	X	X	X	X	X	X	X
Petro-Canada Europe Lubricants Ltd.	Sentron CG 40 (205 L Drum: 800262)	40				X	X	X	
	Sentron LD 5000	40	X						
	Sentron LD 8000 (205 L Drum: 800315)	40	X	X	X				X
	Sentron LD 8000	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 zur Auswahl des freigegebenen Motoröls zu beachten. *** = nur für Erdgas **** = Freigabe nur für eine maximale elektrische Leistung von 83 kW/Zyl									

Tabelle 7: Alternative Motoröle für Gasmotoren BR4000

Wichtig

Bei Motorbetrieb nur mit Ölwanne und automatischer Nachfüllung muss alle 250 Bh eine Ölprobe entnommen werden.
 Bei Motorbetrieb (8V und 12V) mit erweitertem Umlaufvolumen kann bei Ölvolumen > 1000 l, die Ölproben alle 500 Bh entnommen werden.
 Bei Motorbetrieb (16V und 20V) mit erweitertem Umlaufvolumen kann bei Ölvolumen > 2000 l, die Ölproben alle 500 Bh entnommen werden.
 Ab einer Laufzeit von 3000 Bh oder bei Annäherung an die Grenzwerte muss das Beprobungsintervall auf 250 Bh reduziert 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 soll 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) *
	ESSO Unirex N3 (40330/1) *
Cummins	KLUEBER ASONIC GHY72 (09110145007)
	KLÜBERQUIET BQ 72-72 (X00077277)
Herstellerangabe auf dem Generatortypenschild beachten.	
* Ein Mischbetrieb der Schmierfette ist gemäß Hersteller nicht möglich und somit nicht erlaubt.	

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
Shell	Omala S4 GX 320	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 20VT24N	92

Tabelle 9: Füllmengen

Der Prüflauf erfolgt bei Rolls-Royce Solutions mit Mobil SHC 632.

mtu-Materialnummer:

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

Ölwechselintervalle:

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

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

2.3 Gasmotor BR400 - Generatoraggregat

2.3.1 Freigegebene Motoröle

mtu ValueCare Motoröle für Saugmotoren BR400

Hersteller / Lieferant	Produkt-/Markenname	SAE Viskositäts-klasse	Bemerkung	
Rolls-Royce Solutions GmbH	GEO NG POWER X2L ²⁾	40 ¹⁾	M	E, P
	GEO NG POWER X3L ³⁾	40 ¹⁾	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 / Tank: X00073865

3) 20 l Gebinde: X00072877 / 205 l Gebinde: X00072878 / IBC: X00072879 / Tank: X00073866

M Mineralisches Motoröl

E Erdgas

P Propangas

Alternativ Motoröle für Saugmotoren BR400

Hersteller / Lieferant	Markenname	SAE Viskositäts-klasse	Bemerkung	
Addinol Lube Oil GmbH	ECO GAS 4000 XD	40 ¹⁾	M	E, P
	MG 40 Extra LA	40 ¹⁾	M	E, P
AVIA AG	LA 40	40 ¹⁾	M	E, P
	LA Plus 40	40 ¹⁾	M	E, P
Castrol	Duratec XPL	40 ¹⁾	S	E, P
Chevron Texaco	HDAX 7200	40 ¹⁾	M	E, P
C+M GmbH	C+M Sevelub E9038-04	40 ¹⁾	S	E, P
BayWa AG	TECTROL Methaflexx HC Premium	40 ¹⁾	M	E, P
Eni Schmiertechnik GmbH	Eni Geum 40	40 ¹⁾	M	E, P
ExxonMobil	SHC Pegasus 40	40 ¹⁾	S	E, P
	Pegasus 605	40 ¹⁾	M	E, P
	Pegasus 705	40 ¹⁾	M	E, P
	Pegasus 805	40 ¹⁾	M	E, P
	Pegasus 1005	40 ¹⁾	M	E, P
	Pegasus 1107	40 ¹⁾	M	E, P
Fuchs Europe Schmierstoffe GmbH	Titan Ganymet Ultra	40 ¹⁾	M	E, P
Kuwait Petroleum	Q8 Mahler MA	40 ¹⁾	M	E, P
Petro-Canada Europe Lubricants Ltd.	Sentron LD 5000	40 ¹⁾	M	E, P
	Sentron LD 8000	40 ¹⁾	M	E, P

TUM-ID: 0000053541 - 011

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

mtu ValueCare Motoröle für Turbomotoren BR400

Hersteller / Lieferant	Produkt-/Markenname	SAE Viskositätsklasse	Bemerkung		
Rolls-Royce Solutions GmbH	GEO BG POWER B2L ²⁾	40 ¹⁾	M	B	K
	GEO NG POWER X2L ³⁾	40 ¹⁾	M	E, P	K
	GEO NG POWER X3L ⁴⁾	40 ¹⁾	M	E, P	K, SCR
	GEO NG POWER X3L ⁴⁾	40 ¹⁾	M	B	SCR

Tabelle 12: Motoröle für Turbomotoren BR400

- 1) Zulassung begrenzt auf Motorumgebungstemperatur > +10 °C.
2) 20 l Gebinde: X00072870 / 205 l Gebinde: X00072871 / IBC: X00072872 / Tank: X00073862
3) 20 l Gebinde: X00072874 / 205 l Gebinde: X00072875 / IBC: X00072876 / Tank: X00073865
4) 20 l Gebinde: X00072877 / 205 l Gebinde: X00072878 / IBC: X00072879 / Tank: X00073866
M Mineralisches Motoröl
E Erdgas
P Propangas
B Biogas (gereinigt / vollentschwefelt)
K Für Katalysator geeignet
SCR Für SCR Katalysatoren geeignet

Alternative Motoröle für Turbomotoren BR400

Hersteller / Lieferant	Markenname	SAE Viskositätsklasse	Bemerkung		
AVIA AG	HA 40	40 ¹⁾	M	B	K
	LA 40	40 ¹⁾	M	E, P	K
	LA Plus 40	40 ¹⁾	M	E, P	K
Addinol Lube Oil GmbH	ECO GAS 4000 XD	40 ¹⁾	M	E, P	K, SCR
	ECO GAS 4000 XD	40 ¹⁾	M	B	SCR
	MG 40 Extra Plus	40 ¹⁾	M	B	K
	MG 40 Extra LA	40 ¹⁾	M	E, P	K

Hersteller / Lieferant	Markenname	SAE Viskositätsklasse	Bemerkung		
BayWA AG	TECTROL Methaflexx GE-M	40 ¹⁾	M	B	K
	TECTROL Methaflexx HC Plus	40 ¹⁾	M	B	K
	TECTROL Methaflexx HC Premium	40 ¹⁾	M	E, P	K
	TECTROL Methaflexx HC Premium	40 ¹⁾	M	B	SRK
Castrol	Duratec XPL	40 ¹⁾	S	E, P	K
Chevron Texaco	HDAX 7200	40 ¹⁾	M	E, P	K
Eni Schmiertechnik GmbH	Eni Geum 40	40 ¹⁾	M	E, P	K
ExxonMobil	SHC Pegasus 40	40 ¹⁾	S	E, P	K
	Pegasus 605	40 ¹⁾	M	E, P	K
	Pegasus 605 Ultra	40 ¹⁾	M	B	K
	Pegasus 610	40 ¹⁾	M	B	K
	Pegasus 610 Ultra	40 ¹⁾	M	B	K
	Pegasus 705	40 ¹⁾	M	E, P	K
	Pegasus 710	40 ¹⁾	M	B	K
	Pegasus 805	40 ¹⁾	M	E, P	K
	Pegasus 1107	40 ¹⁾	M	E, P	K
Fuchs Europe Schmierstoffe GmbH	Titan Ganymet Plus	40 ¹⁾	M	B	K
	Titan Ganymet Ultra	40 ¹⁾	M	E, P	K
	Titan Ganymet Ultra	40 ¹⁾	M	B	SRK
	Titan Ganymet Ultra EVO	40 ¹⁾	M	B	SRK, SCR
Hessol Lubrication GmbH	Hessol Gasmotorenöl	40 ¹⁾	M	B	K
Kuwait Petroleum	Q8 Mahler HA	40 ¹⁾	M	B	K
	Q8 Mahler MA	40 ¹⁾	M	E, P	K
NILS	Burian	40 ¹⁾	M	B	K
Petro-Canada Europe Lubricants Ltd.	Sentron CG 40	40 ¹⁾	M	B	K
	Sentron LD 5000	40 ¹⁾	M	E, P	K
	Sentron LD 8000	40 ¹⁾	M	E, P	K, SCR
	Sentron LD 8000	40 ¹⁾	M	B	SCR
Shell International Petroleum Company	Shell Mysella S5 N 40	40 ¹⁾	M	E, P	K
	Shell Mysella S5 S 40	40 ¹⁾	M	E, P	K, SCR
	Shell Mysella S5 S 40	40 ¹⁾	M	B	SCR
Total Deutschland	Total Nateria MJ40	40 ¹⁾	M	B	K
	Total Nateria MP40	40 ¹⁾	M	E, P	K

Tabelle 13: Alternative Motoröle für Turbomotoren BR400

TUM-ID: 0000053541 - 011

- 1) Zulassung begrenzt auf Motorumgebungstemperatur > +10 °C.
- S Synthetisches Motoröl
- M Mineralisches Motoröl
- E Erdgas
- P Propangas
- B Biogas (gereinigt / vollentschwefelt)
- K Für Katalysator geeignet
- SRK Für schwefelresistenten Katalysator geeignet
- SCR Für selektive katalytische reduktions Katalysatoren (SCR) geeignet

2.3.2 Motorölwechselintervalle

ValueCare Öl – 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.

Ölanalysen zur Bewertung des Verschleißzustands des Motors sollten bei konkretem Anlass kurz vor dem Ölwechsel gezogen werden.

Bei Vergrößerung des Ölvolumens gelten weiterhin die Wechselintervalle der Ölfilter lt. Serviceplan.

Bezeichnung Module / Aggregate mit Motortyp	Motorölsystem mit Ölabspritzung und Zusatzvolumen	
	Ölwechsel nach Betriebsstunden	Min. Größe des Zusatzvolumens
E3066D1-D3	2500	160 l
E3066D4	3000	160 l
E3066Lx/Zx	2000	200 l
E3042D1-D3	1250	160 l
E3042D4	1500	160 l
E3042Lx/Zx	1000	160 l
E3042Lx/Zx	5000 (oder Ölanalyse)	800 l
B3066Lx/Zx	1000	160 l
B3042Lx/Zx	1000	240 l

Tabelle 14: ValueCare Öl – Motorölsystem mit Ölabspritzung und Zusatzvolumen

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.

Ölanalysen zur Bewertung des Verschleißzustands des Motors sollten bei konkretem Anlass kurz vor dem Ölwechsel gezogen werden.

Bei Vergrößerung des Ölvolumens gelten weiterhin die Wechselintervalle der Ölfilter lt. Serviceplan.

Bezeichnung Module / Aggregate mit Motortyp	Motorölsystem mit Ölabspritzung und Zusatzvolumen	
	Ölwechsel nach Betriebsstunden	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 15: Mineralöl – Motorölsystem mit Ölabspritzung und Zusatzvolumen

TUM-ID: 0000053502 - 004

Mineralöl – Motorölsystem nur mit Frischölnachfüllung (ohne Ölabspritzung)

Bezeichnung Module / Aggregate mit Motortyp	Motorölsystem nur mit Frischölnachfüllung (ohne Ölabspritzung)	
	Ölwechsel nach Betriebsstunden	Empfohlene Größe Frischölbehälter
E3066D1-D3	600	60 l
E3066Lx/Zx	300	60 l
E3042D1-D3	600	60 l
E3042Lx/Zx	300	60 l

Tabelle 16: 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.

Ölanalysen zur Bewertung des Verschleißzustands des Motors sollten bei konkretem Anlass kurz vor dem Ölwechsel gezogen werden.

Bei Vergrößerung des Ölvolumens gelten weiterhin die Wechselintervalle der Ölfilter lt. Serviceplan.

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

Tabelle 17: Synthetiköl – Motorölsystem mit Ölabspritzung und Zusatzvolumen

Synthetiköl – Motorölsystem nur mit Frischölnachfüllung (ohne Ölabspritzung)

Bezeichnung Module / Aggregate mit Motortyp	Motorölsystem nur mit Frischölnachfüllung (ohne Ölabspritzung)	
	Ölwechsel nach Betriebsstunden	Empfohlene Größe Frischölbehälter
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

Tabelle 18: 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 Rolls-Royce Solutions bezogen werden.

Wichtig

Die Verwendung von Ölzusatzmitteln ist untersagt.

Bei Überschreitung der Schadstoffgrenzwerte, die den Ölzustand negativ beeinflussen (insbesondere Schwefelwasserstoff (H₂S)), müssen die Ölwechselintervalle in Absprache mit Rolls-Royce Solutions verkürzt werden.

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

Tabelle 19: Freigegebene Öle für Erdgas (Biogas, Klärgas)

Das Ölvolumen 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 20: Zusammensetzung des Ölvolumens

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. Rolls-Royce Solutions 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

Rolls-Royce Solutions 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 Biogaseinsatz wird empfohlen, einen Puffer zu den maximalen Ölgrenzwerten einzuhalten. Rolls-Royce Solutions 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 Biogasanwendung 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.

Biogasbetrieb

Im Biogasbetrieb 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 Rolls-Royce Solutions 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 28).

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 Rolls-Royce Solutions 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 46)
- Für BR4000 Gasmotor – Generatoranwendung und Generatoraggregat und Generatoraggregat in Oil&Gas (→ Seite 56)
- Für BR400 Gasmotor – Generatoraggregat (→ Seite 65)
- Für BR500 Gasmotor – Generatoraggregat (→ Seite 66)

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 69)

Hinweis

Für den Einsatz bei sehr niedrigen Temperaturen (-60 °C/arktische Regionen) stehen folgende Produkte zur Verfügung:

- BASF Glysantin® G30®pink
- BASF Glysantin® G30ECO pink BMB 100
-

Eine korrosionsschützende Wirkung der Kühlmittel wird nur durch einen vollgefüllten Kühlmittelkreislauf gewährleistet.

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

Die Kühlmittelfüllung muss aus geeignetem Frischwasser und einem von Rolls-Royce Solutions freigegebenen 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

Hinweise zu den mtu ValueCare Kühlmitteln

Wichtig

Die Herstellung und der Vertrieb des Kühlmittels CS 100 bzw. CS10/90 wird von RRPS aus betrieblichen Gründen eingestellt.

Durch Verwendung der aufgelisteten Alternativprodukte in Tabelle (→ Tabelle 21) entstehen keine Kühlmittelunverträglichkeiten beim Nachfüllen oder durch eine Restmengenverschleppung bei einem Kühlmittelwechsel.

Mit allen anderen, in den RRPS-Betriebsstoffvorschriften genannten Kühlmitteln, ist ein Nachfüllen nicht gestattet bzw. ein Spülvorgang bei Wechsel der Kühlmittelmarke vorzunehmen.

mtu ValueCare - Produktname	Alternativprodukte	Hersteller
Coolant CS 100 Corrosion Inhibitor Concentrate	Power Cool® Plus 6000	Rolls-Royce Solutions America Inc.
	Drewgard XTA	Drew Marine
	Glysacorr G93	BASE SE
	Fricofin ME	Fuchs SE
	Zerex G-93	Valvoline
	OEM Advanced 93	Valvoline
	York 719	YORK SAS
Coolant CS 10/90 Corrosion Inhibitor Premix	Es ist keine alternative Fertigmischung verfügbar. Das Konzentrat CS 100 ist mit geeignetem Frischwasser aufzubereiten.	

Tabelle 21:

Wichtig

Die Herstellung und der Vertrieb des Kühlmittels AH 100 bzw. dessen Fertigmischungen wird von RRPS aus betrieblichen Gründen eingestellt.

Durch Verwendung der aufgelisteten Alternativprodukte in Tabelle (→ Tabelle 22) entstehen keine Kühlmittelunverträglichkeiten beim Nachfüllen oder durch eine Restmengenverschleppung bei einem Kühlmittelwechsel.

Die angegebenen Produkte in Tabelle (→ Tabelle 22) beruhen auf dem Kenntnisstand zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Ausgabe der RRPS-Betriebsstoffvorschriften.

Mit allen anderen, in den RRPS-Betriebsstoffvorschriften genannten Kühlmitteln, ist ein Nachfüllen nicht gestattet bzw. ein Spülvorgang bei Wechsel der Kühlmittelmarke vorzunehmen.

mtu ValueCare - Produktname	Alternativprodukte	Hersteller
Coolant AH 100 Antifreeze Concentrate	Glysantin G48 blue green	BASF SE
	Tectrol Coolprotect	BayWa AG
	Castrol Radicool NF	Castrol
	CAR 1 Premium Longlife Kühlerschutz C48	COPARTS Autoteile GmbH
	Classic Kolda UE G48	Classic Schmierstoff GmbH & Co. KG
	AVIATICON Finkofreeze F48	Finke Mineralölwerk GmbH
	Fricofin	Fuchs SE
	Alpine C48	Mitan Mineralöl GmbH
	Mobil Antifreeze Extra	Moove Lubricants Limited
	Motorex Coolant G48	Motorex AG
	Nalcool NF48 C	Nalco Water An Ecolab Company
	Roxor Anti-Frost MT-325	LAEMMLE Chemicals AG
	Antifreeze Long Life NF-300 Concentrate	Raloy Lubricantes
	Glacelf MDX	Total Lubrifiants
	Zerex-G48	Valvoline
	OEM Advanced 48	
Coolant AH 35/65 Antifreeze Premix	Power Cool® Universal 35/65 mix	Rolls-Royce Solutions America Inc.
Coolant AH 40/60 Antifreeze Premix	Castrol Radicool NF Premix (45%)	Castrol
	Coolelf MDX -26 °C	Total Lubrifiants
	Schnell Protect Coolant (Ready mix 40/60 bis max. -27 °C	Tedom Service GmbH

mtu ValueCare - Produktname	Alternativprodukte	Hersteller
Coolant AH 50/50 Antifreeze Pre-mix	Power Cool [®] Universal 50/50 mix	Rolls-Royce Solutions America Inc.
	XTAR Super Coolant Hybrid NF 50%	Cepsa Comercial Petróleo S.A.U.
	AVIATICON Finkofreeze F48 RM 50/50	Finke Mineralölwerk GmbH
	Fricofin 50	Fuchs SE
	Mobil Coolant Extra Ready -36 °C	Moove Lubricants Limited
	Motorex Coolant G48 (Ready to use (50/50))	Motorex AG
	Antifreeze Long Life NF-300 Ready-to-use (50:50)	Raloy Lubricantes
	Coolelf MDX -37 °C	Total Lubrifiants
	Zerex G-48 premix 50%	Valvoline
	OEM Advanced 48 premix 50%	

Tabelle 22:

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 1-mal jährlich bzw. bei jeder Befüllung erfolgen. Das kann mithilfe des Testkits oder durch ein beauftragtes Labor durchgeführt werden. Das Testkit enthält alle erforderlichen Geräte, Chemikalien und eine Gebrauchsanweisung.

Wichtig

Rolls-Royce Solutions empfiehlt das Testkit der Firma CM Technologies GmbH (<https://www.cmtechnologies.de>).

Untersuchung	Methode vor Ort (Testkit)	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 Sulfatgehalts	-	IC
Bestimmung des Siliziumgehalts	-	ICP
Konzentrationsermittlung wässrige Kühlmittel	Brix Refraktometer, Brixzahl mit Tabelle (→ Tabelle 25) vergleichen und Vol.-% ablesen.	Refraktometermethode DIN 51423, Brix-Wert mit Tabelle (→ Tabelle 25) vergleichen und Vol.-% ablesen.
Konzentrationsermittlung Frostschutzmittel	Glykol-Refraktometer, Vol.-% direkt ablesbar	Refraktometermethode DIN 51423, Berechnung über Brechungsindex oder produktspezifischen Faktor
Keimzahlbestimmung für wässrige Medien	-	Dipslids (Röhrchen mit Nährbodenträger z. B. von VWR Prolabo Nr. 535112D oder vergleichbare) Inkubationszeit: 4 Tage 30 °C

Tabelle 23: Minimalanforderung und Methodik Betriebsüberwachung Kühlmittel

Die Untersuchungen des Frischwassers und der Kühlmittel können bei Rolls-Royce Solutions in Auftrag gegeben werden. Eine Betriebsüberwachung kann in spezifischen Fällen über den Umfang der gemachten Angaben in Tabelle (→ Tabelle 23) hinausgehen. Bei Bedarf kontaktieren Sie hierzu bitte ihren Ansprechpartner.

Die Routineüberprüfung des Kühlmittels gemäß Tabelle (→ Tabelle 23) zeigt Minimalanforderungen auf. Wenn Auffälligkeiten des Kühlmittels hinsichtlich

- Aussehen (Farbe, Eintrübung, Verunreinigungen, ...)
- Geruch

und bei den Ergebnissen der angegebenen Untersuchungen auftreten, so wird eine Laboranalyse empfohlen (siehe A001080/.. "Handhabung von Laborbeprobungen"). Bei silikathaltigen Kühlmitteln muss der Siliziumgehalt generell im Labor überprüft werden, da kein anwendbarer Schnelltest zur Verfügung steht.

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

* = Frostschutzangaben ermittelt nach ASTM D 1177.

	Minimum			Maximum
BASF Glysantin® G30® pink	65 Vol.-% zur Anwendung bei Außentemperaturen bis zu -60 °C in arktischen Regionen			
BASF Glysantin® G30® pink BMB 100				
* = Frostschutzangaben ermittelt nach ASTM D 1177.				

Tabelle 24: Zulässige Konzentrationen von Frostschutzmitteln

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

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.

Bei Unterschreitung der Kühlmittelkonzentration kann an den metallischen Bauteilen im Kühlmittelkreis Korrosion entstehen. Diese Korrosion kann, trotz anschließender Erhöhung der Kühlmittelkonzentration auf den vorgeschriebenen Wert, an den betroffenen Bauteilen weiter schleichend voranschreiten. Eine Unterschreitung der Kühlmittelkonzentration ist zu vermeiden.

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	Produkt-/Markenname	Ablesewert am Handrefraktometer ¹⁾ bei 20 °C (= Brixzahl) Vol.-%					
			7	8	9	10	11	12
9 bis 11 Vol.-%	Rolls-Royce Solutions GmbH	Coolant CS 100 Corrosion Inhibitor Concentrate	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
		Coolant CS 10/90 Corrosion Inhibitor Premix	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
	Rolls-Royce Solutions America Inc.	Power Cool® Plus 6000	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
	BASF SE	Glysacorr 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
	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
	Fuchs SE	Fricofin ME	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
	Ginouves	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
	Penske Power Systems	PowerCool Pyroshield GF Coolant	4,9	5,6	6,3	7,0	7,7	8,4
	Recochem Inc.	HD Expert TM Endurance WB Prediluted Coolant	4,9	5,6	6,3	7,0	7,7	8,4
	Valvoline	OEM Advanced 93	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
		Zerex G-93	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0

¹⁾ = Konzentrationsermittlung mittels geeignetem Handrefraktometer

Tabelle 25: Zulässige Konzentrationen – Kühlmittel ohne Frostschutz für alle Anwendungen

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

Wichtig

Nach Spülung des Motorkühlwasserkreislaufs darf die angegebene Mindestkonzentration des Korrosionsschutzmittels nicht unterschritten werden.

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

Zulässiger Konzentrationsbereich	Hersteller	Markenname	Ablesewert am Handrefraktometer ¹⁾ 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
	Total	WT Supra	2,6	3,0	3,4	3,7	4,1	4,4
3 bis 4 Vol.-%	Improchem	COOL-C18	Bitte Testkit des Herstellers verwenden.					
	Nalco Water An Ecolab Company	Nalcool® 2000						

¹⁾ = Konzentrationsermittlung mittels geeignetem Handrefraktometer

Tabelle 26: Zulässige Konzentrationen – zusätzliche Kühlmittel ohne Frostschutz ausschließlich für Marine (leichtmetallfrei)

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

Wichtig

Nach Spülung des Motorkühlwasserkreislaufs darf die angegebene Mindestkonzentration des Korrosionsschutzmittels nicht unterschritten werden.

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 (Laboruntersuchung).

Die Überprüfung des aktuellen pH-Wertes muss zusammen mit der Prüfung der Frostschutzmittelkonzentration erfolgen, mindestens jedoch alle 3000 Bh. Zur schnellen vor Ort - Überprüfung sind auch pH Indikatorstäbchen geeignet (empfohlener Messbereich 6,5 bis 10,0). Die Ergebnisse müssen dokumentiert werden.

TWM-ID: 000078628 - 008

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
Kühlmittel ohne Frostschutz	2 Jahre	ImproChem Cool-C18 Nalco Nalcool® 2000
	3 Jahre	BASF Glyscorr G93 green Drew Marine Drewgard XTA Ginouves York 719 Fuchs SE Fricofin ME Rolls-Royce Solutions Coolant CS100 Rolls-Royce Solutions America Inc. Power Cool® Plus 6000 Nalco Alfloc™ 3477 Valvoline OEM Advanced 93 Valvoline ZEREX G-93
	5 Jahre	Artego Havoline XLI 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 Old World Industries Final Charge Extended Life Corrosion Inhibitor (A216) Penske Power Systems PowerCool Pyroshield GF Coolant Recochem Inc. HD Expert TM Endurance WB Prediluted Coolant Total WT Supra

Tabelle 27: Lagerstabilität der Kühlmittelkonzentrate

Hinweis

- Eine Lagerung darf aus Korrosionsschutzgründen nicht in verzinkten Behältern erfolgen. Dies ist bei etwai- gen 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 entneh- men.

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.

Freigegebene Farbzusätze

Hersteller	Produktbezeichnung	Materialnummer	Gebindegröße	Lagerstabilität ¹⁾
Chromatech Inc. Chromatech Europe B.V.	D11014 Chromatint Uranine Conc	X00066947	20 kg	2 Jahre
¹⁾ = Bezogen auf original und luftdicht verschlossene Gebinde bei frostfreier Lagerung (> 5 °C)				

Tabelle 28:

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 Ausnahmen: BASF Glysantin® G30® pink (besondere Anwendung) und BASF Glysantin® G30® pink BMB 100
- Das Kühlmittel darf keine Öl- oder Kupferrckstnde (in fester oder gelöster Form) aufweisen.
- Derzeit zugelassene Korrosionsschutzmittel zur Innenkonservierung des Kühlmittelkreislaufs 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 einzufllenden 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 Khlmittelkreise von mtu-Motoren / Systemen. Bei kompletten Antriebsanlagen ist zusätzlich die Betriebsstofffreigabe der Komponentenhersteller zu beachten.

Wichtig

Aus Korrosionsschutzgrnden 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 Rolls-Royce Solutions zu halten.

3.1.7 Frischwasseranforderungen für BR4000 und BR400

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	Einheit	Grenzwert
Summe der Erdalkalien *) (Wasserhärte)	mmol/l °dH	2,7 max. 15 max.
pH-Wert bei 20 °C	–	5,5 bis 8,0
Bakterien	KBE (Kolonie bildende Einheit)/ml	10 ³ max.
Chloride und Fluoride	mg/l	100 max.
Sulfate	mg/l	100 max.
Summe Anionen	mg/l	200 max.
Pilze, Hefen	sind unzulässig	
Geruch	Neutral	
Aussehen	Farblos, klar und frei von mechanischen Verunreinigungen	

Tabelle 29: Frischwasseranforderungen für BR4000 und BR400

*) gebräuchliche Bezeichnungen für die Wasserhärte in verschiedenen Ländern:

- 1 mmol/l = 5,6 °dH = 100 mg/kg CaCO₃
- 1 °dH = 17,9 mg/kg CaCO₃, USA-Härte
 - 1 °dH = 1,79° französische Härte
 - 1 °dH = 1,25° englische Härte

Hinweis:

Bei Einbindung eines Abgaswärmetauschers in das Motorkühlwassersystem muss eine Werksanfrage bzgl. Wasserqualität erfolgen.

3.1.8 Frischwasseranforderungen BR500

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

Parameter	Einheit	Grenzwert
Summe der Erdalkalien *) (Wasserhärte)	mmol/l °dH	0,02 max. 0,1 max.
pH-Wert bei 25 °C	–	8,2 bis 8,5
Elektrische Leitfähigkeit (25 °C)	µS/cm	250 max.
Chloride	mg/l	10 max.
Phosphat (PO ₄)	mg/l	5 bis 10
Sulfate	ppm	150 max.
Geruch	Neutral	
Aussehen	Farblos, klar und frei von mechanischen Verunreinigungen	

Tabelle 30: Grenzwerte Mischwasser

*) Gebräuchliche Bezeichnungen für die Wasserhärte in verschiedenen Ländern:

1 mmol/l = 5,6 °dH = 100 mg/kg CaCO₃

- 1 °dH = 17,9 mg/kg CaCO₃, USA-Härte
- 1 °dH = 1,79° französische Härte
- 1 °dH = 1,25° englische Härte

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.

Rolls-Royce Solutions 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 (max. Betriebsstunden oder max. Laufzeit in Jahren) 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 31) und "Ungeeignete Werkstoffe im Kühlmittelkreislauf" (→ Seite 42).

Gegebenenfalls abweichende Sondervereinbarungen zwischen dem Kunden und Rolls-Royce Solutions bleiben weiterhin gültig.

3.2.2 Kühlmittel ohne Frostschutz – Konzentrate für leichtmetallfreie Kühlsysteme

Einzelheiten und Besonderheiten siehe Kapitel "Kühlmittel" (→ Seite 31).

Kühlmittel ohne Frostschutz – Konzentrate

Hersteller	Produkt-/Markenname	Inhibitoren							Betriebszeit Stunde / Jahr	Bemerkungen / Materialnummer
		Organisch	Silizium	Nitrit	Phosphat	Molybdat	Borate	2-EHS		
Rolls-Royce Solutions GmbH	Coolant CS100 Corrosion Inhibitor Concentrate		X					X	6000 / 2	Nicht mehr im Portfolio enthalten. Restbestände können innerhalb der Haltbarkeit aufgebraucht werden.
Rolls-Royce Solutions America Inc.	Power Cool® Plus 6000 Concentrate		X					X	6000 / 2	Grün eingefärbt 23533526 (1 Gallone) 23533527 (5 Gallonen) Erhältlich über Rolls-Royce Solutions America Inc.
Arteco NV	Havoline XLI	X						X	6000 / 2	
BASF SE	Glysacorr G93 green		X					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	Delo XLI Corrosion Inhibitor - Concentrate	X						X	6000 / 2	
Detroit Diesel Corp.	Power Cool Plus 6000	X				X			6000 / 2	Rot eingefärbt
Drew Marine	Drewgard XTA		X					X	6000 / 2	
ExxonMobil	Mobil Delvac Extended Life Corrosion Inhibitor	X				X			6000 / 2	
Fuchs SE	Fricofin ME		X					X	6000 / 2	
ImproChem	COOL-18		X	X			X		6000 / 2	
Nalco Water An Eco-lab Company	Alfloc™ 3477	X						X	6000 / 2	
	Nalcool® 2000		X	X			X		6000 / 2	
Old World Industries Inc.	Final Charge Extended Life Corrosion Inhibitor (A 216)	X				X			6000 / 2	
Total Lubrifiants	Total WT Supra	X						X	6000 / 2	
Valvoline	Zerex G93		X					X	6000 / 2	
	OEM Advanced 93		X					X	6000 / 2	
YORK SAS	York 719		X					X	6000 / 2	

TUM-ID: 0000019146 - 015

3.2.3 Kühlmittel ohne Frostschutz – Fertigmischungen für leichtmetallfreie Kühlsysteme

Einzelheiten und Besonderheiten siehe Kapitel "Kühlmittel" (→ Seite 31)

Kühlmittel ohne Frostschutz – Fertigmischungen

Hersteller	Produkt-/Markenname	Inhibitoren						Betriebszeit Stunde / Jahr	Bemerkungen / Materialnummer
		Organisch	Silizium	Nitrit	Phosphat	Molybdat	Borate		
Rolls-Royce Solutions GmbH	Coolant CS 10/90 Corrosion Inhibitor Premix		X					X 6000 / 2	Nicht mehr im Portfolio enthalten. Restbestände können innerhalb der Haltbarkeit aufgebraucht werden.
Nalco Water An Eco-lab Company	Alfloc [™] 3443 (7 %)	X						X 6000 / 2	
Penske Power Systems	PowerCool Pyroshield-GF Coolant	X				X		6000 / 2	
Recochem Inc.	HD Expert [™] Endurance WB Prediluted Coolant	X				X		6000 / 2	

3.2.4 Frostschutzmittel – Konzentrate für leichtmetallfreie Kühlsysteme

Einzelheiten und Besonderheiten siehe Kapitel "Kühlmittel" (→ Seite 31).

Frostschutzmittel – Konzentrate

Hersteller	Produkt-/Markenname	Inhibitoren						Betriebszeit Stunde / Jahr	Bemerkungen / Materialnummer
		Organisch	Silizium	Nitrit	Phosphat	Molybdat	Borate		
Arteco NV	Havoline XLC (1040112)	X					X	9000 / 3	
AVIA AG	Antifreeze APN-S	X						9000 / 3	
BASF SE	Glysantin® G48® blue green	X	X				X	X	9000 / 5 X00058054 (25 l) X00058053 (210 l)
	Glysantin® G40® pink	X	X						9000 / 3 X00066724 (20 l) X00066725 (210 l) Anwendungskon- zentration 40 bis 50 Vol-%
	Glysantin® G40® ECO pink BMB 100	X	X						9000 / 3
	Glysantin® G30® pink	X							9000 / 3 X00058072 (Kanister) X00058071 (Fass)
	Glysantin® G30® ECO pink BMB 100	X							9000 / 3
BayWa AG	Tectrol Coolprotect	X	X				X	X	9000 / 5
Castrol	Castrol Radicool NF	X	X				X	X	9000 / 5
CCI Corporation	L415	X				X			9000 / 3
Chevron	Delo XLC Antifreeze/ Coolant-Concentrate	X					X		9000 / 3
Classic Schmierstoff GmbH + Co. KG	Classic Kolda UE G48	X	X				X	X	9000 / 5
	Classic Kolda UE G40®	X	X						9000 / 3
	Classic Kolda UE G30®	X							9000 / 3
COPARTS Autoteile GmbH	CAR1 Premium Long- life Kühlerschutz C48	X	X				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
Drew Marine	Drewgard ZX	X							9000 / 3
ExxonMobil	Mobil Delvac Extended Life Coolant	X				X			9000 / 3

TUM-ID: 0000060984 - 009

Hersteller	Produkt-/Markenname	Inhibitoren						Betriebszeit Stunde / Jahr	Bemerkungen / Materialnummer
		Organisch	Silizium	Nitrit	Phosphat	Molybdat	Borate		
Finke Mineralölwerk GmbH	AVIATICON Finkofreeze F30	X						9000 / 3	
	AVIATICON Finkofreeze F40	X	X					9000 / 3	Anwendungskonzentration 40 bis 50 Vol-%
	AVIATICON Finkofreeze F48	X	X				X X	9000 / 5	
Fuchs SE	Fricofin	X	X				X X	9000 / 5	
	Fricofin DP	X	X					9000 / 3	Anwendungskonzentration 40 bis 50 Vol-%
	Fricofin G12 Plus	X						9000 / 3	X00058074 (Kanister) X00058073 (Fass)
	Fricofin LL	X					X	9000 / 3	
Kuwait Petroleum Research & Technology BV	Q8 Mahler Cool Premixed 5050	X					X	9000 / 3	
Mitan Mineralöl GmbH	Alpine C30	X						9000 / 3	
	Alpine C48	X	X				X X	9000 / 5	
MJL Bangladesh Limited	Omera Premium Coolant	X						9000 / 3	
MOFIN Deutschland GmbH & Co KG	MOFIN Kühlerschutz M40 Extra	X	X					9000 / 3	Anwendungskonzentration 40 bis 50 Vol-%
Moove Lubricants Limited	Mobil Antifreeze Extra	X	X				X X	9000 / 5	
Motorex AG	Motorex Coolant G48	X	X				X X	9000 / 5	
Nalco Water An Ecolab Company	Nalcool NF 48 C	X	X				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	
	Final Charge Global Extended Life Coolant Antifreeze	X			X			9000 / 3	
LAEMMLE Chemicals AG	Roxor Anti-Frost MT-325	X	X				X X	9000 / 5	
	Roxor Anti-Frost MT-650	X	X					9000 / 3	

Hersteller	Produkt-/Markenname	Inhibitoren						Betriebszeit Stunde / Jahr	Bemerkungen / Materialnummer
		Organisch	Silizium	Nitrit	Phosphat	Molybdat	Borate		
Puma Energy International S.A.	Puma HD Hybrid Coolant	X	X					9000 / 3	Anwendungskonzentration 40 bis 50 Vol-%
	Puma HD XLC Coolant	X					X	9000 / 3	
Raloy Lubricantes	Antifreeze Long Life NF-300 Concentrate	X	X				X	9000 / 5	
Recochem Inc.	HD Expert™ Endurance	X			X			9000 / 3	
Total Lubrifiants	Glacelf Auto Supra	X					X	9000 / 3	
	Glacelf MDX	X	X				X	9000 / 5	
Valvoline	Zerex G-48	X	X				X	9000 / 5	
	Zerex G-40	X	X					9000 / 3	Materialnummer (USA): 800 180 (Drum) Anwendungskonzentration 40 bis 50 Vol-%
	Zerex G-30	X						9000 / 3	
	OEM Advanced 30	X						9000 / 3	
	OEM Advanced 40	X	X					9000 / 3	Anwendungskonzentration 40 bis 50 Vol-%
	OEM Advanced 48	X	X				X	9000 / 5	
Volvo Trucks	Road Choice Nitrite-Free OAT Extended Life Coolant	X			X			9000 / 3	

Tabelle 31: Frostschutzmittel – Konzentrate

3.2.5 Frostschutzmittel – Konzentrate für besondere Anwendungen

Einzelheiten und Besonderheiten siehe Kapitel "Kühlmittel" (→ Seite 31)

Konzentrate für besondere Anwendungen

Hersteller	Markenname	Inhibitoren						Betriebszeit Stunde / Jahr	Bemerkungen / Materialnummer
		Organisch	Silizium	Nitrit	Phosphat	Molybdat	Borate		
BASF SE	Glystantin® G30® pink	X						9000 / 3	Anwendungskon- zentration 40 bis 65 Vol.-% Für Einsätze in ark- tischen Regionen X00058072 (Kanis- ter) X00058071 (Fass)

Tabelle 32: Konzentrate für besondere Anwendungen

Anwendungskonzentration

Anwendungskonzentration Frostschutzmittel auf Ethylenglykolbasis	Frostschutz gemäß ASTM D 1177
40 Vol.-%	-25 °C
45 Vol.-%	-31 °C
50 Vol.-%	-37 °C
55 Vol.-%	-45 °C
60 Vol.-%	-52 °C
65 Vol.-%	-60 °C

Tabelle 33:

Wichtig
Ab ca. 65 Vol.-% kommt es zu einer Umkehr des Frostschutzverhaltens (Badewanneneffekt) d. h. mit zu- nehmender Anwendungskonzentration wird der Frostschutz nicht mehr erhöht sondern verringert.

3.2.6 Frostschutzmittel – Fertigmischungen für leichtmetallfreie Kühlsysteme

Frostschutzmittel – Fertigmischungen

Einzelheiten und Besonderheiten siehe Kapitel "Kühlmittel" (→ Seite 31).

Hersteller	Produkt-/Markenname	Inhibitoren						Betriebszeit Stunde / Jahr	Bemerkungen / Materialnummer	
		Organisch	Silizium	Nitrit	Phosphat	Molybdat	Borate			2-EHS
Rolls-Royce Solutions GmbH	Coolant AH 35/65 Anti-freeze Premix	X	X				X	X	9000 / 5	Nicht mehr im Portfolio enthalten. Restbestände können innerhalb der Haltbarkeit aufgebraucht werden.
	Coolant AH 40/60 Anti-freeze Premix	X	X				X	X	9000 / 5	Nicht mehr im Portfolio enthalten. Restbestände können innerhalb der Haltbarkeit aufgebraucht werden.
	Coolant AH 50/50 Anti-freeze Premix	X	X				X	X	9000 / 5	Nicht mehr im Portfolio enthalten. Restbestände können innerhalb der Haltbarkeit aufgebraucht werden.
Rolls-Royce Solutions America Inc.	Power Cool® Universal 35/65 mix	X	X				X	X	9000 / 5	800085 (5 Gallonen) 800086 (55 Gallonen)
	Power Cool® Universal 50/50 mix	X	X				X	X	9000 / 5	800071 (5 Gallonen) 800084 (55 Gallonen)
Artego NV	Halvoline XLC Pre-mixed 50/50 (1033073)	X					X		9000 / 3	
	Halvoline XLC Pre-mixed 40/60 (1033069)	X					X		9000 / 3	
	Halvoline XLC + B2 35/65 (OF13) (2000214)	X					X		9000 / 3	
BayWa AG	Tectrol Coolprotect Mix 3000								9000 / 3	Frostschutz bis -24 °C
BASF SE	Glysantin® G40® RM/50 ECO pink BMB 100	X	X						9000 / 3	50 % Premix
	Glysantin® G30® RM/50 ECO pink BMB 100	X							9000 / 3	50 % Premix
Castrol	Castrol Radicool NF Premix (45 %)	X	X				X	X	9000 / 5	

TfM-ID: 0000060966 - 008

Hersteller	Produkt-/Markenname	Inhibitoren						Betriebszeit Stunde / Jahr	Bemerkungen / Materialnummer
		Organisch	Silizium	Nitrit	Phosphat	Molybdat	Borate		
CCI Corporation	L 415 (50 %)	X				X		9000 / 3	
CEPSA Comercial Petróleo S.A.U	Xtar Super Coolant Hybrid NF 50 %	X	X				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	
Fast Chemical SRL	Fast Coolant G30 50% (Ready Mix)	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				X X	9000 / 5	
Friedrich Scharr KG	UNIL Metis RTU GC -26	X						9000 / 3	
	UNIL Metis RTU GC -38	X						9000 / 3	
Fuchs SE	Fricofin 50	X	X				X X	9000 / 5	(Ready Mix 50/50)
	Fricofin DP 50	X	X					9000 / 3	(Ready Mix 50/50)
	Fricofin LL 50	X					X	9000 / 3	(Ready Mix 50/50)
Moove Lubricants Limited	Mobile Coolant Extra Ready Mixed -36 °C	X	X				X X	9000 / 5	
Kuwait Petroleum Research & Technology BV	Q8 Mahler Cool premixed 4060	X					X	9000 / 3	
Motorex AG	Motorex Coolant G48 ready to use (50/50)	X	X				X X	9000 / 5	
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	
Puma Energy International S.A.	Puma HD Hybrid Coolant 5050	X	X					9000 / 3	(50 Vol.-%)
	Puma HD XLP Coolant	X					X	9000 / 3	50 % Premix

Hersteller	Produkt-/Markenname	Inhibitoren						Betriebszeit Stunde / Jahr	Bemerkungen / Materialnummer
		Organisch	Silizium	Nitrit	Phosphat	Molybdat	Borate		
Raloy Lubricantes	Antifreeze Long Life NF-300 Ready-to-Use (50/50)	X	X				X	X	9000 / 5
Recochem Inc.	HD Expert™ End- urance 50-50 Predilu- ted	X				X			9000 / 3
SMB - Sotragal / Mont Blanc	Liquide de refroidisse- ment -37°C FRICO- TECH MBT SMB AU- TO 50/50	X	X						9000 / 3
Tedom Service GmbH	Schnell Protect Coo- lant (Ready Mix 40/60 bis max. -27 °C)	X	X				X	X	9000 / 5
Tedom Service GmbH	Tedom Supercool OAT (Ready Mix 40/60 bis max. -25 °C)	X							9000 / 3
Total Lubrifiants	Coolelf Auto Supra -37 °C	X					X		9000 / 3
	Coolelf Auto Supra -26 °C	X					X		9000 / 3
	Coolelf MDX -26 °C	X	X				X	X	9000 / 5
	Coolelf MDX -37 °C	X	X				X	X	9000 / 5
A. Roth GmbH & Co KG	CRO Coolant Plus -25 °C Ready	X							9000 / 3
Valvoline	Zerex G-48 premix 50%	X	X				X	X	9000 / 5
	OEM Advanced 48 premix 50%	X	X				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, Generatoraggregat und Generatoraggregat in Oil&Gas

3.3.1 Kühlmittel – Allgemeines

Wichtig

Der Kühlmittelwechsel hängt von der Betriebszeit (max. Betriebsstunden oder max. Laufzeit in Jahren) 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 31) und "Ungeeignete Werkstoffe im Kühlmittelkreislauf" (→ Seite 42).

Gegebenenfalls abweichende Sondervereinbarungen zwischen dem Kunden und Rolls-Royce Solutions bleiben weiterhin gültig.

3.3.2 Kühlmittel ohne Frostschutz – Konzentrate für leichtmetallhaltige Kühlsysteme

Einzelheiten und Besonderheiten siehe Kapitel "Kühlmittel" (→ Seite 31).

Wichtig

Für die Baureihe 1163-03 und 1163-04 Marine dürfen nur mit * im Produkt-/Markennamen versehene Kühlmittel verwendet werden!

Kühlmittel ohne Frostschutz – Konzentrate

Hersteller	Produkt-/Markenname	Inhibitoren						Betriebszeit Stunde / Jahr	Bemerkungen / Materialnummer	
		Organisch	Silizium	Nitrit	Phosphat	Molybdat	Borate			2-EHS
Rolls-Royce Solutions GmbH	Coolant CS100 Corrosion Inhibitor Concentrate*		X					X	6000 / 2	Nicht mehr im Portfolio enthalten. Restbestände können innerhalb der Haltbarkeit aufgebraucht werden.
Rolls-Royce Solutions America Inc.	Power Cool® Plus 6000 Concentrate*		X					X	6000 / 2	Grün eingefärbt 23533526 (1 Gallone) 23533527 (5 Gallonen) Erhältlich über Rolls-Royce Solutions America Inc.
BASF SE	Glysacorr G93 green*		X					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)
Detroit Diesel Corp.	Power Cool Plus 6000	X				X			6000 / 2	Rot eingefärbt
Drew Marine	Drewgard XTA*		X					X	6000 / 2	
ExxonMobil	Mobil Delvac Extended Life Corrosion Inhibitor	X				X			6000 / 2	
Fuchs SE	Fricofin ME*		X					X	6000 / 2	
Old World Industries Inc.	Final Charge Extended Life Corrosion Inhibitor (A 216)	X				X			6000 / 2	
Valvoline	ZEREX G93*		X					X	6000 / 2	
	OEM Advanced 93*		X					X	6000 / 2	
YORK SAS	York 719*		X					X	6000 / 2	

TUM-ID: 0000019105-014

3.3.3 Kühlmittel ohne Frostschutz – Fertigmischungen für leichtmetallhaltige Kühlsysteme

Einzelheiten und Besonderheiten siehe Kapitel "Kühlmittel" (→ Seite 31).

Wichtig

Für die Baureihe 1163-03 und 1163-04 Marine dürfen nur die mit * im Produktnamen versehenen Kühlmitteln verwendet werden.

Kühlmittel ohne Frostschutz – Fertigmischungen

Hersteller	Produktname	Inhibitoren						Betriebszeit Stunde / Jahr	Bemerkungen / Materialnummer
		Organisch	Silizium	Nitrit	Phosphat	Molybdat	Borate		
Rolls-Royce Solutions GmbH	Coolant CS10/90 Corrosion Inhibitor Premix*		X					X 6000 / 2	Nicht mehr im Portfolio enthalten. Restbestände können innerhalb der Haltbarkeit aufgebraucht werden.
Penske Power Systems	PowerCool Pyroshield-GF Coolant	X				X		6000 / 2	
Recochem Inc.	HD Expert™ Endurance WB Prediluted Coolant	X				X		6000 / 2	

3.3.4 Frostschutzmittel – Konzentrate für leichtmetallhaltige Kühlsysteme

Einzelheiten und Besonderheiten siehe Kapitel "Kühlmittel" (→ Seite 31).

Frostschutzmittel – Konzentrate

Hersteller	Produkt-/Markenname	Inhibitoren						Betriebszeit Stunde / Jahr	Bemerkungen / Materialnummer
		Organisch	Silizium	Nitrit	Phosphat	Molybdat	Borate		
AVIA AG	Antifreeze APN-S	X						9000 / 3	
BASF SE	GLYSANTIN® G05®		X	X			X	9000 / 5	
	GLYSANTIN® G48® blue green	X	X				X	9000 / 5	X00058054 (25 l) X00058053 (210 l)
	GLYSANTIN® G30® pink	X						9000 / 3	X00058072 (Kanister) X00058071 (Fass)
	GLYSANTIN® G30® ECO pink BMB 100	X						9000 / 3	
	GLYSANTIN® G40® pink (Konzentrat)	X	X					9000 / 3	X00066724 (20 l) X00066725 (210 l) Anwendungskonzentration: 40 bis 50 Vol.-%
	GLYSANTIN® G40® ECO pink BMB 100	X	X					9000 / 3	
BayWa AG	Tectrol Coolprotect	X	X				X	9000 / 5	
Castrol	Castrol Radicool NF	X	X				X	9000 / 5	
CCI Corporation	L415	X				X		9000 / 3	
Classic Schmierstoff GmbH + Co. KG	Classic Kolda UE G48	X	X				X	9000 / 5	
	Classic Kolda UE G40®	X	X					9000 / 3	
	Classic Kolda UE G30®	X						9000 / 3	
COPARTS Autoteile GmbH	CAR 1 Premium Long- life Kühlerschutz C48	X	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	
	Power Cool Diesel Engine Coolant		X	X				9000 / 3	
Drew Marine	Drewgard ZX	X						9000 / 3	
ExxonMobil	Mobil Delvac Extended Life Coolant	X				X		9000 / 3	
	Mobil Heavy Duty Coolant		X	X				9000 / 3	
	Mobil Mining Coolant		X	X				9000 / 3	

TUM-ID: 0000060987 - 008

Hersteller	Produkt-/Markenname	Inhibitoren						Betriebszeit Stunde / Jahr	Bemerkungen / Materialnummer
		Organisch	Silizium	Nitrit	Phosphat	Molybdat	Borate		
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				X X	9000 / 5	
Fuchs SE	Fricofin	X	X				X X	9000 / 5	
	Fricofin DP	X	X					9000 / 3	Anwendungskonzentration: 40 bis 50 Vol.-%
	Fricofin G12 Plus	X						9000 / 3	X00058074 (Kanister) X00058073 (Fass)
Krafft S.L.U	Refrigerante ACU 2300		X	X			X	9000 / 3	X00058075 (Fass)
Mitan Mineralöl GmbH	Alpine C30	X						9000 / 3	
	Alpine C48	X	X				X X	9000 / 5	
MJL Bangladesh Limited	Omera Premium Coolant	X						9000 / 3	
Moove Lubricants Limited	Mobil Antifreeze Extra	X	X				X X	9000 / 5	
Motorex AG	Motorex Coolant G48	X	X				X X	9000 / 5	
Nalco Water An Ecolab Company	Nalcool NF 48 C	X	X				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 Pre-charged 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	
LAEMMLE Chemicals AG	Roxor Anti-Frost MT-325	X	X				X X	9000 / 5	
	Roxor Anti-Frost MT-650	X	X					9000 / 3	
Penske Power Systems	Power Cool - HB500 Coolant Concentrate	X	X				X	9000 / 3	

Hersteller	Produkt-/Markenname	Inhibitoren						Betriebszeit Stunde / Jahr	Bemerkungen / Materialnummer
		Organisch	Silizium	Nitrit	Phosphat	Molybdat	Borate		
Puma Energy International S.A	Puma HD Hybrid Coolant	X	X					9000 / 3	Anwendungskonzentration: 40 bis 50 Vol.-%
Raloy Lubricantes	Antifreeze Long Life NF-300 Concentrate	X	X				X X	9000 / 3	
Recochem Inc.	R542	X	X				X	9000 / 3	
	HD Expert™ Endurance	X				X		9000 / 3	
Total Lubrifiants	Glacelf MDX	X	X				X X	9000 / 5	
Valvoline	Zerex G-05		X	X			X	9000 / 5	
	Zerex G-48	X	X				X X	9000 / 5	
	Zerex G-30	X						9000 / 3	
	Zerex G-40	X	X					9000 / 3	Anwendungskonzentration: 40 bis 50 Vol.-% Materialnummer (USA): 800180 (Drum)
	OEM Advanced 30	X						9000 / 3	
	OEM Advanced 48	X	X				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	

Tabelle 35: Frostschutzmittel – Konzentrate

3.3.5 Frostschutzmittel – Konzentrate für besondere Anwendungen

Einzelheiten und Besonderheiten siehe Kapitel "Kühlmittel" (→ Seite 31)

Konzentrate für besondere Anwendungen

Hersteller	Markenname	Inhibitoren						Betriebszeit Stunde / Jahr	Bemerkungen / Materialnummer
		Organisch	Silizium	Nitrit	Phosphat	Molybdat	Borate		
BASF SE	Glysantin® G30® pink	X						9000 / 3	Anwendungskon- zentration 40 bis 65 Vol.-% Für Einsätze in ark- tischen Regionen X00058072 (Kanis- ter) X00058071 (Fass)

Tabelle 36: Konzentrate für besondere Anwendungen

Anwendungskonzentration

Anwendungskonzentration Frostschutzmittel auf Ethylenglykollbasis	Frostschutz gemäß ASTM D 1177
40 Vol.-%	-25 °C
45 Vol.-%	-31 °C
50 Vol.-%	-37 °C
55 Vol.-%	-45 °C
60 Vol.-%	-52 °C
65 Vol.-%	-60 °C

Tabelle 37:

Wichtig
Ab ca. 65 Vol.-% kommt es zu einer Umkehr des Frostschutzverhaltens (Badewanneneffekt) d. h. mit zu- nehmender Anwendungskonzentration wird der Frostschutz nicht mehr erhöht sondern verringert.

3.3.6 Frostschutzmittel – Fertigmischungen für leichtmetallhaltige Kühlsysteme

Einzelheiten und Besonderheiten siehe Kapitel "Kühlmittel" (→ Seite 31).

Frostschutzmittel – Fertigmischungen

Hersteller	Produkt-/Markenname	Inhibitoren						Betriebszeit Stunde / Jahr	Bemerkungen / Materialnummer	
		Organisch	Silizium	Nitrit	Phosphat	Molybdat	Borate			2-EHS
Rolls-Royce Solutions GmbH	Coolant AH 35/65 Anti-freeze Premix	X	X				X	X	9000 / 5	Nicht mehr im Portfolio. Restbestände können innerhalb der Haltbarkeit aufgebraucht werden
	Coolant AH 40/60 Anti-freeze Premix	X	X				X	X	9000 / 5	Nicht mehr im Portfolio. Restbestände können innerhalb der Haltbarkeit aufgebraucht werden
	Coolant AH 50/50 Anti-freeze Premix	X	X				X	X	9000 / 5	Nicht mehr im Portfolio. Restbestände können innerhalb der Haltbarkeit aufgebraucht werden
Rolls-Royce Solutions America Inc.	Power Cool® Universal 35/65 mix	X	X				X	X	9000 / 5	800085 (5 Gallonen) 800086 (55 Gallonen)
	Power Cool® Universal 50/50 mix	X	X				X	X	9000 / 5	800071 (5 Gallonen) 800084 (55 Gallonen)
	Power Cool® Off-Highway Coolant 50/50 Premix		X	X			X		9000 / 5	23533531 (5 Gallonen) 23533532 (55 Gallonen)
BASF SE	Glysantin® G40® RM/50 ECO pink BMB 100	X	X							50 % Premix
	Glysantin® G30® RM/50 ECO pink BMB 100	X								50 % Premix
BayWa AG	Tectrol Coolprotect Mix 3000	X							9000 / 3	Frostschutz bis -24 °C
Castrol	Castrol Radicool NF Premix (45 %)	X	X				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				X	X	9000 / 5	

TWM-ID: 0000078607 - 009

Hersteller	Produkt-/Markenname	Inhibitoren						Betriebszeit Stunde / Jahr	Bemerkungen / Materialnummer
		Organisch	Silizium	Nitrit	Phosphat	Molybdat	Borate		
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	
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	
Fast Chemical SRL	Fast Coolant G30 50%	X						9000 / 3	
Finke Mineralölwerk GmbH	AVIATICON Finkofreeze F30 RM 40:60 +	X						9000 / 3	
	AVIATICON Finkofreeze F48 RM 50:50	X	X				X X	9000 / 5	
Friedrich Scharr KG	UNIL Metis RTU GC -26	X						9000 / 3	
	UNIL Metis RTU GC -38	X						9000 / 3	
Fuchs SE	Fricofin 50	X	X				X X	9000 / 5	(Ready Mix 50/50)
	Fricofin DP 50	X	X					9000 / 3	(Ready Mix 50/50)
Motorex AG	Motorex Coolant G48 ready to use (50/50)	X	X				X X	9000 / 5	
Moove Lubricants Limited	Mobil Coolant Extra Ready Mixed -36° C	X	X				X X	9000 / 5	
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 Pre-charged 50/50 Prediluted Coolant		X	X				9000 / 3	

Hersteller	Produkt-/Markenname	Inhibitoren						Betriebszeit Stunde / Jahr	Bemerkungen / Materialnummer
		Organisch	Silizium	Nitrit	Phosphat	Molybdat	Borate		
Penske Power Systems	Power Cool - HB500 Premix 50/50	X	X				X	9000 / 3	
	Power Cool - HB500 Premix 35/65	X	X				X	9000 / 3	
Puma Energy International S.A.	Puma HD Hybrid Coolant 5050	X	X					9000 / 3	(50 Vol.-%)
Raloy Lubricantes	Antifreeze Long Life NF-300 Ready-to-Use (50/50)	X	X				X X	9000 / 5	
Recochem Inc.	HD Expert™ Endurance 50-50 Prediluted	X			X			9000 / 3	
	R 542 35/65	X	X				X	9000 / 3	
SMB - Sotragal / Mont Blanc	Liquide de refroidissement -37°C FRICO-TECH MBT SMB AUTO 50/50	X	X					9000 / 3	
Tedom Service GmbH	Schnell Protect Coolant (Ready Mix 40/60 bis max. -27°)	X	X				X X	9000 / 5	
Tedom Service GmbH	Tedom Supercool OAT (Ready Mix 40/60 bis max. -25°)	X						9000 / 3	
Total Lubrifiants	Coolelf MDX -26 °C	X	X				X X	9000 / 5	
	Coolelf MDX -37 °C	X	X				X X	9000 / 5	
A. Roth GmbH	CRO Coolant Plus -25 °C Ready	X						9000 / 3	
Valvoline	Zerex G-05 50/50 Mix		X	X			X	9000 / 5	
	Zerex G-48 premix 50%	X	X				X X	9000 / 5	
	OEM Advanced 48 premix 50%	X	X				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 38: 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 (silikاتفrei)

Hersteller / Lieferant	Bezeichnung
BayWa AG	Tectrol Coolprotect MIX3000*
Montana	Kühlerfrostschutz BHKW -25°*
A. Roth GmbH & Co KG	CRO Coolant Plus -25° Ready*
Friedrich Scharr KG	UNIL Metis RTU GC-26
* verlängerte Standzeit möglich	

Tabelle 39: Frostschutzmittel – Fertigmischungen (silikاتفrei)

Frostschutzmittel – Konzentrate (silikاتفrei)

Hersteller / Lieferant	Bezeichnung
BASF SE	Glysantin® G30® pink
	Glysantin® G30® ECO pink BMB 100
Aral	Antifreeze Silikاتفrei

Tabelle 40: Frostschutzmittel – Konzentrate (silikاتفrei)

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. Bei vielen Bauteilen besteht die Gefahr von Ablagerungen. Es kann zu reduzierter Wärmeübertragung und somit zu geringerer Funktionalität (Wärmetauscher) bzw. zu Überhitzung von Bauteilen führen.

Andernfalls besteht bei vielen Bauteilen die Gefahr von Ablagerungen. Diese führen zu reduzierter Wärmeübertragung und somit zu geringerer Funktionalität (Wärmetauscher) bzw. zu Überhitzung von Bauteilen.

Bei „Selbstmischung“ des Kühlmittels beachten:

- Nur die zugelassenen, silikاتفreien 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 soll mindestens 1-mal 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 Rolls-Royce Solutions geprüfte und freigegebene Frostschutzmittel gewährleisten ausreichenden Frost-, Korrosions- und Kavitationsschutz, greifen Dichtungen und Schläuche nicht an und schäumen nicht, siehe (→ Seite 42).

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

3.5.2 Kühlmittel – Kontrolle und Erneuerung

Die von Rolls-Royce Solutions eingesetzten Kühlmittel unterliegen einer natürlichen Alterung und müssen daher hinsichtlich ihres Zustands regelmäßig überprüft werden.

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

Rolls-Royce Solutions weist ausdrücklich darauf hin, dass die Wasserqualität beim Nachfüllen von Ergänzungswasser zu überprüfen ist und die Werte eingehalten werden, siehe (→ Seite 44).

Rolls-Royce Solutions 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 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 40)
- Kühlsystem entlüften, ggf. Kühlwasserdruck einstellen

Wichtig

Kühlflüssigkeiten 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 Anlagen von Rolls-Royce Solutions 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 mithilfe 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 Anforderungen von Rolls-Royce Solutions. Die Konzentrate sowie die vorgemischten Wasser-Frostschutz-Gemische beinhalten außerdem den notwendigen Korrosionsschutz.

Freigegebene Kühlmittel

Kühlmittelhersteller	Produkt	Mischmengenverhältnis	Betriebszeit Stunde/Jahr	Bemerkung
BASF	Glysantin® G48® bluegreen	Konzentrat/Wasser zu 50/50 oder vorgemischt	16000/2	Enthält Borat und 2-EHS
Caltex, Chevron, Texaco	Havoline® ELC Dex-Cool®	Konzentrat/Wasser zu 50/50 oder vorgemischt	16000/2	Alternativ, nur für Amerika Ethylenglykol basiert.
Caltex, Chevron, Texaco	Delo® ELC PG	Konzentrat/Wasser zu 50/50 oder vorgemischt	16000/2	Alternativ, nur für Amerika Propylenglykol basiert.
Vavoline	Zerex G48	Konzentrat/Wasser zu 50/50 oder vorgemischt	16000/2	Alternativ, nur für Amerika Ethylenglykol basiert. Enthält Borat und 2-EHS

Tabelle 41: Freigegebene Kühlmittel

Kühlmittelkonzentrationen über 50 % vermeiden.

Wichtig

Der Kühlmittelwechsel hängt von der Betriebszeit (Stunden oder 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 Spül- und Reinigungsvorschrift für Motorkühlmittelkreisläufe

4.1 Spül- und Reinigungsvorschrift für BR400 und BR4000

4.1.1 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 Kühlmittelkreislauf 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).

Frischwasseranforderungen sind für:

- BR4000 und BR400 (Kapitel 3.1.7 (→ Seite 43))

Zu entnehmen.

Zum Reinigen dürfen nur die von Rolls-Royce Solutions freigegebenen oder entsprechenden Produkte in der vorgeschriebenen Anwendungskonzentration verwendet werden, siehe (→ Seite 70). 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 allgemein gültige Aussage über die zu beachtenden Regeln im Rahmen dieser Spül- und Reinigungsvorschriften nicht möglich.

Der Anwender der herein genannten Produkte ist daher verpflichtet, sich über die geltenden Bestimmungen selbst zu informieren. Rolls-Royce Solutions übernimmt keine 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

Testkit oder elektrisches pH-Wert-Messgerät

Benötigte Hilfsmittel:

- Druckluft
- Heißdampf

Benötigte Betriebsstoffe:

- Frischwasser
- Aufbereitetes Motorkühlmittel

4.1.2 Freigegebene Reinigungs-/Desinfektionsmittel

Freigegebene Reinigungsmittel

Hersteller	Produktbezeichnung	Anwendungskonzentration		Bestellnummer
Für Kühlmittelkreisläufe:				
Kluthe	Hakutex 111 ¹⁾	2 Vol.-%	Flüssigkeit	X00065751
	Decorrdal 20-1 ²⁾	10 Vol.-%	Flüssigkeit	X00086731
Fleetguard	Restore Plus ³⁾	10 Vol.-%	Flüssigkeit	
Für Baugruppen aus dem Kühlmittelkreislauf:				
Henkel	Bonderite C-AK FD ⁴⁾	1 bis 10 Gew.-%	Pulver	⁵⁾
	Bonderite C-MC 11120 ⁶⁾	2 bis 10 Gew.-%	Pulver	⁵⁾
Kluthe	Hakutex 60 mtu ⁷⁾	100 Vol.-%	Flüssigkeit	X00070585 (25 kg)
	Hakupur 50-706-3 ⁸⁾	2 Vol.-%	Flüssigkeit	X00055629

Tabelle 42:

Freigegebene Desinfektionsmittel

Hersteller	Produktbezeichnung	Anwendungskonzentration		Bestellnummer
Für Kühlmittelkreislauf mit Bakterien-, Hefen-, Pilzbefall:				
Thor	Acticide MV14 ^{9, 10)}	0,01 Vol.-%	Flüssigkeit	X00079756 (20 L)
	Acticide MV ^{10, 11)}	0,1 Vol.-%	Flüssigkeit	X00088729 (5 L)

Tabelle 43:

¹⁾ = Bei leichtem Kalkbelag, leichter Korrosion

²⁾ = Bei starker Korrosion, nicht geeignet für die Beseitigung von Korrosion des Aluminiumwerkstoffs

³⁾ = Nur für die Reinigung des durch Kupferphosphatpartikel kontaminierte Baureihe 4000 Generatoraggregat-Kühlwassersystems verwendbar

⁴⁾ = Bei Kalkbelag, der Öl und Fett enthält

⁷⁾ = Lösemittel-Kaltreiniger für öl- und fetthaltige Rückstände

⁸⁾ = Für ölige und fettige Rückstände. Nicht geeignet für verzinkte Oberflächen

⁹⁾ = Bakterienbefall $\geq 10^5$, Pilz- und Hefenbefall nicht zulässig
Anwendungsbeispiele (→ Seite 76) beachten.

¹⁰⁾ =

- Lagertemperatur 10-30 °C
 - vor Hitze- und Sonneneinstrahlung schützen
 - Mindesthaltbarkeit 18 Monate
 - Persönliche Schutz Ausrüstung (PSA nutzen)
- Für die Anwendung im Feld. Der kleinere Kanister ist besser handhabbar.

Anwendungsbeispiele (→ Seite 76) beachten.

⁵⁾ = Wird bei Rolls-Royce Solutions nicht am Lager geführt.

¹¹⁾ = Für die Anwendung im Feld. Der kleinere Kanister ist besser handhabbar.

Anwendungsbeispiele (→ Seite 76) beachten.

⁶⁾ = Bei starkem Kalkbelag, vorzugsweise

Wichtig

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

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

4.1.3 Motorkühlmittelkreisläufe spülen

Einsatz von Kluthe Hakutex 111:

Wenn der pH-Wert des verwendeten Motorkühlmittels unter 7,5 ist, so ist das Kühlsystem vollständig zu spülen. Dies dient zur Neutralisation von Kühlmittelresten im System sowie zur Entfernung beginnender Korrosion oder bereits vorhandenen Korrosionsrückständen.

Einsatz von Hakupur 50-706-3:

Für ölige und fettige Rückstände. Nicht geeignet für verzinkte Oberflächen

BR4000

1. Motorkühlmittel ablassen.
2. pH-Wert des Frischwassers mittels Testkit oder elektrischem pH-Wert-Messgerät messen.

Wichtig

Rolls-Royce Solutions GmbH empfiehlt das Dieselmotor-Testkit der Firma CM Technologies GmbH (<https://www.cmtechnologies.de>).

3. Frischwasser in den Kühlmittelkreislauf füllen.

Wichtig

Kein kaltes Wasser in einen heißen Motor füllen!
Für ergänzende Hinweise siehe Motorbetriebsanleitung

4. Motor vorwärmen, anlassen und warmfahren.
5. Motor ca. 30 min. mit erhöhter Drehzahl fahren.
6. Motor abstellen.
7. Spülwasserprobe an der Motorkühlmittelprobe-Entnahmestelle entnehmen.
8. Spülwasser ablassen.
9. pH-Wert der Spülwasserprobe mittels Testkit 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 73). Die Baugruppen müssen eventuell auch gereinigt werden, siehe (→ Seite 75).

BR400

Wichtig

Die Vorgehensweise der Anwendungen von 1 bis 6 muss zwingend eingehalten werden. Das Spülen darf nicht unterbrochen werden.

Anwendungsdauer des Reinigungsmittels Kluthe Hakutex 111 min. 4 Stunden bis max. 12 Stunden

Anwendungstemperatur normale Kühlmitteltemperatur ca. 95 °C

Anwendung:

Spülen mit Hakutex 111

1. Altes Kühlmittel aus Kühlwasserkreis entfernen.
2. Kühlwasserkreis mit angemischtem Reinigungsmittel Hakutex 111 befüllen (Anwendungskonzentration in Tabelle auf (→ Seite 70)).
3. Normaler Motorbetrieb (min. 4 Stunden bis max. 12 Stunden) bei normaler Kühlwassertemperatur = ca. 95 °C.
4. Reinigungsmittel entfernen.
5. Sofort danach: 2-mal den Motorkühlwasserkreislauf mit Wasser spülen.
6. Sofort danach: Den Motorkühlwasserkreislauf mit NEUEM Kühlmittel gem. Wartungs- und Reparaturanleitung befüllen.

4.1.4 Motorkühlmittelkreisläufe reinigen

Das Reinigungsmittel Decorrdal 20–1 ist für die BR4000GAS, aufgrund der Verwendung von Bauteilen aus Aluminium im Gasmotor nicht geeignet.

Wichtig

Die Vorgehensweise der Anwendungen muss zwingend eingehalten werden. Das Spülen darf nicht unterbrochen werden. Wichtig ist auch das SOFORT nach Ablassen des Reinigungsmittels, das Kühlmittelsystem mit neuem Frost- und Korrosionsschutz befüllt wird.

Anwendungstemperatur ist die normale Kühlmitteltemperatur (ca. 95 °C).

BR4000

1. Reiniger in vorgegebener Konzentration mit Frischwasser ansetzen. Wenn der Motor warm ist, muss vorgeheiztes Frischwasser (45 °C) verwendet werden.
2. Bei Pulverprodukten so lange rühren, bis sich das Reinigungsmittel vollkommen aufgelöst hat und kein Bodensatz mehr vorhanden ist.
3. Angesetztes Reinigungsmittel in den Kühlmittelkreislauf füllen.
4. Motor anlassen und warmfahren.
5. Temperatur und Dauer der Einwirkzeit 4 Stunden bei 96 °C nach Angaben des Herstellers wählen.
6. Motor abstellen.
7. Reinigungsmittel ablassen und Motorkühlmittelkreislauf mit Frischwasser spülen.
8. Spülwasserprobe an der Motorkühlmittelprobe-Entnahmestelle entnehmen.
9. pH-Wert der Spülwasserprobe 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 75).

Wichtig

Für ergänzende Hinweise siehe Motorbetriebsanleitung

BR400

Motorkühlmittelkreislauf reinigen mit Decorrdal 20–1

1. Im Motorkühlmittelkreislauf vorhandenes Kühlmittel vollständig entfernen.
2. Motorkühlmittelkreislauf mit Frischwasser befüllen und das Kühlsystem des Motors 30 Minuten spülen.
3. Spülwasser vollständig ablassen.

1. Reinigung

4. Kühlmittelkreislauf vollständig mit 10 %-Lösung Decorrdal 20-1 in Wasser befüllen.
5. Motor in Betrieb nehmen und 20 Minuten auf Betriebstemperatur fahren.
6. Reinigen im Motorbetrieb mit zirkulierendem Decorrdal 20-1, Zeitdauer: ca. 4 Stunden
7. Motor während der Reinigung immer wieder entlüften, um eine vollständige Befüllung sicherzustellen, nach 4 Stunden Motor abschalten.
8. Die im Motor befindliche Reinigungsflüssigkeit auf ca. 45 °C abkühlen.
9. Wenn Temperatur von 45 °C erreicht ist, Reinigungsmittel ablassen.

2. Reinigung

Punkte 4 – 10 wiederholen (Achtung: bei 2. Reinigung längere Einsatzzeit des Reinigungsmittels

- den Motor mit max. 70% Last ca. 8 Std. betreiben
- unbeaufsichtigter Normalbetrieb möglich
- danach mit der 1. Spülung (Punkt 10) fortfahren)

1. Spülung

10. Den Kühlmittelkreislauf nochmals nach dem Entleeren mit freigegebenen Frost- und Korrosionsschutzmittel Fertiggemisch befüllen.
11. Motor 30 Minuten betreiben.
12. Motor auf ca. 45 °C abkühlen.
13. Spüllösung Frost- und Korrosionsschutzmittel Fertiggemisch ablassen.

2. Spülung

14. Den Kühlmittelkreislauf nochmals nach dem Entleeren mit freigegebenen Frost- und Korrosionsschutzmittel Fertiggemisch befüllen.
15. Motor 30 Minuten laufen lassen, immer wieder entlüften.
16. Motor auf ca. 35 °C abkühlen.
17. Spüllösung ablassen.
18. Motor mit finalem Kühlmittel befüllen.
19. Entrostung ist abgeschlossen.
20. Inbetriebnahme Motor

Wichtig

Der Motorkühlkreislauf muss immer gut entlüftet werden, um ein vollständiges Befüllen zu gewährleisten. Dies gilt beim Befüllen mit Wasser, Reiniger, Konservierung und Kühlmittel sowie im Motorbetrieb mit einem der genannten Medien.

In den Zonen, in denen sich Luft befindet, findet keine Entrostung bzw. Konservierung statt und es entsteht wieder Korrosion.

Alle Gehäuseöffnungen, Schlauchanschlussöffnungen etc. sind, wenn nicht mehr benötigt, sofort zu verschließen.

Es besteht die Gefahr, dass im Bereich der Öffnungen Korrosion entsteht.

4.1.5 Motorkühlkreislauf - Baugruppen reinigen

1. Baugruppen im Motorkühlkreislauf, die stärkeren Schlammablagerungen ausgesetzt sind, z. B. Ausgleichsbehälter, Vorwärmaggregate, Wärmetauscher (Wasserrückkühler, Ölwärmetauscher, Ladeluftkühler, Ladeluftvorwärmer, Kraftstoffvorwärmer, usw.) und tief liegende 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 inhibierte Salzsäurelösung verwenden.
6. Ablagerungen an und in Wärmetauschereinsätzen in einem aufgeheizten Reinigungsbad lösen. Herstellerangaben beachten und nur frei gegebene Reinigungsmittel in zulässiger Anwendungskonzentration verwenden, siehe (→ Seite 70)

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 Bads 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 ≤ 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. in Stand setzen oder ersetzen.
10. Nach Anbau aller Baugruppen Motorkühlmittelkreislauf einmal spülen, siehe (→ Seite 30).
11. Bei Motorinbetriebnahme den Kühlmittelkreislauf auf Dichtheit prüfen.

Wichtig

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

4.1.6 Kühlmittelkreisläufe mit Bakterien-, Hefen-, Pilzbefall

Desinfektion und Vorbeugung

Mikrobiologisch verunreinigte Systeme:

Das Desinfektionsmittel wird in das verunreinigte Kühlmittel zugegeben.

Grundlage für eine wirksame Desinfektion des Motorkühlmittelsystems ist, dass das Desinfektionsmittel ausreichend lange einwirken kann und alle Bereiche des Kühlsystems erreicht werden. Auch alle externen Vorratsbehälter und Rohrleitungen müssen vom Desinfektionsmittel erreicht werden.

Wichtig

Beim Einsatz des Acticids MV14 (→ Seite 70) ist kein Motorkühlmittelwechsel notwendig. Eine Spülung/Neubefüllung findet nur nach ausdrücklicher Empfehlung seitens des Chemielabors statt.

Einwirkdauer: mindestens 12 Stunden

Temperatur: Maximaltemperatur 55 °C (höhere Temperaturen zerstören das Desinfektionsmittel)

Vorbeugung:

Wenn ein Motor längere Zeit stillgelegt wird, kann vorbeugend Desinfektionsmittel zugesetzt werden. Bevor der Motor wieder in Betrieb genommen wird, ist sicherzustellen, dass das Kühlmittel noch in Ordnung ist. Bei der Wiederinbetriebnahme kann das mit Desinfektionsmittel versetzte Kühlmittel im System verbleiben und weiter verwendet werden.

Die Dosierung (→ Seite 70) und die Arbeitssicherheitsvorschriften sind strikt einzuhalten.

Spülung

Wenn das Kühlmittel abgelassen wird, muss der Kühlmittelkreislauf 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 der Neubefüllung ist sicherzustellen, dass das Kühlsystem frei von Verunreinigungen ist.

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

4.2 Spül- und Reinigungsvorschrift für BR500

4.2.1 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 78). Die vorgeschriebene Verfahrensweise ist einzuhalten.

Frischwasseranforderungen sind für

- BR500 (Kapitel 3.1.9 (→ Seite 44)) zu entnehmen.

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 allgemein gültige 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. Rolls-Royce Solutions übernimmt keinerlei Haftung bei unsachgemäßer oder gesetzwidriger Verwendung der von ihr frei gegebenen 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
- Ersatzspülfass
- 1-10 oder 1-5 Enthärtungskartusche zur Wasseraufbereitung

Benötigte Betriebsstoffe:

- Frischwasser

4.2.2 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.

4.2.3 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

- Anmerkung:
- 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

- Anmerkung:
- 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.
- Anmerkung:
- 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 m³ Wasser nachspülen.

Neubefüllung

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

5 Reinigung des Produkts von außen

5.1 Allgemeines

Wichtig

Die Gasmotoren der BR400 / BR500 und BR4000 dürfen nicht mit Druckstrahlgeräten gereinigt werden.

6 Kraft-/Brennstoffe

6.1 Allgemeines

6.1.1 Verwendung von Kraft-/Brennstoffen

Wichtig

Eine lokale Zumischung von Wasserstoff oder anderen Gasen zum Brenngas durch den Betreiber kann bei ungeeigneter Ausführung zu schweren Maschinenschäden und Gefahr für Leib und Leben führen. In diesen Anwendungsfällen ist vorab immer eine projektspezifische Anfrage und Bewertung erforderlich – ansonsten erlöschen sämtliche Garantie und Gewährleistungsansprüche.

Wichtig

Es dürfen keine Verbindungen im Kraftstoff enthalten sein, die in hohem Maße korrosiven und abraisiven Verschleiß begünstigen (z. B. Wasserkondensat, Siloxane, Phosphor-, Arsen-, Schwermetall-, Schwefel-, Ammoniak-, Chlor-, Fluor-, Brom-, Jodverbindungen). Das überschreiten von Grenzwerten kann die Sicherheit gefährden und zur Einschränkung von Gewährleistungsansprüchen führen.

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

Die Verwendung wasserstoffhaltiger Erdgase für den Betrieb von Gasaggregaten von Rolls-Royce Solutions ist im Regelfall auf die Versorgung aus öffentlichen Gasnetzen beschränkt. Die lokale Zumischung von Wasserstoff durch Betreiber eigene oder nicht der öffentlichen Gasversorgung zugehörige Anlagen muss vorab durch Rolls-Royce Solutions geprüft und freigegeben werden, ansonsten führt dies zum Erlöschen von Garantie- und Gewährleistungsansprüchen.

Zur IBN des Motors muss eine aktuelle Gasanalyse vorliegen. Sämtliche Gaskomponenten, Schadstoffe und Gaseigenschaften müssen dauerhaft innerhalb der Toleranzwerte des entsprechenden Baumusters liegen.

Beispielhaft zu prüfen und überwachen sind:

- 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).
- Ob eine Wasserstoffeinspeisung in das Erdgasnetz erfolgt, sowie die mögliche Bandbreite und Häufigkeit mit der die Wasserstoffzumischung erfolgt.

Zur Absicherung eines störungsfreien Betriebs sind die verwendeten Gase in Hinsicht auf

- Komposition und
- Schädliche Bestandteile im Gas

in regelmäßigen zeitlichen Abständen, jedoch mindestens halbjährlich, zu kontrollieren und zu dokumentieren. Die Durchführung vollständiger Gasanalysen wird bei Wechsel des Gasversorgers oder bei Ankündigung von Änderungen in der Gasversorgung empfohlen.

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 in folgenden Kapiteln der Bau-reihen Marine S4000, Generatoraggregat S4000 / S400 und S500) enthalten sein.

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

6.1.2 Hauptbestandteile von Erdgas und Brenngasen biogenen Ursprungs

Allgemein gültige Grenzen für die Hauptbestandteile von Erdgas und Brenngasen biogenen Ursprungs

Erdgas ist ein natürlich vorkommendes Gas, das hauptsächlich aus Methan (70 bis 98 Massenprozent) besteht. Die übrigen Komponenten, wie Ethan, Propan, Butan, Pentan und der Anteil der Inertgase Stickstoff und Kohlendioxid, variieren je nach Fundstätte.

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

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

Maximale zulässige Bestandteile von Erdgas, Pipeline Gase

Komponente	Einheit	Wertebereich (Maximalwert)
CH ₄	Vol.-%	80 bis 100
C ₂ H ₆ (bzw. Summe C ₂ H _x)	Vol.-%	< 16
C ₃ H ₈ (bzw. Summe C ₃ H _x)	Vol.-%	< 9
C ₄ H ₁₀ (bzw. Summe C ₄ H _x)	Vol.-%	< 2
C ₅ H ₁₂	Vol.-%	< 0,3
Kohlenwasserstoffe C5+	Vol.-%	< 0,1
CO ₂	Vol.-%	< 10
N ₂	Vol.-%	< 15
Summe CO ₂ + N ₂	Vol.-%	< 15
O ₂	Vol.-%	< 3
H ₂	Vol.-%	(→ Seite 95)
CO	Vol.-%	< 0,2

Tabelle 44: Maximale zulässige Bestandteile von Erdgas, Pipeline Gase

Die oben aufgelisteten Komponenten gelten für Erdgaszusammensetzungen in der Anwendung für Gasmotoren der Rolls-Royce Solutions GmbH. Andere Komponenten als die oben aufgeführten Komponenten sind (neben Spurenstoffen) für Erdgaszusammensetzungen nicht zulässig.

Wichtig

Wenn die Komponenten des Brenngases die aufgeführten Maximalwerte überschreiten, muss vor Verwendung dieses Erdgases eine Anfrage bei Rolls-Royce Solutions erfolgen.

Maximale zulässige Bestandteile von Brenngasen biogenen Ursprungs, vornehmlich aus Fermentationsprozessen (Werte sind luftfrei angegeben)

Komponente	Einheit	Wertebereich (Maximalwert)
CH ₄	Vol.-%	40 bis 65
CO ₂	Vol.-%	20 bis 55
N ₂	Vol.-%	< 10
O ₂	Vol.-%	< 3

Titel-ID: 000078928 - 006

Komponente	Einheit	Wertebereich (Maximalwert)
H ₂	Vol.-%	< 2
CO	Vol.-%	< 0,2

Tabelle 45: Maximale zulässige Bestandteile von Brenngasen biogenen Ursprungs, vornehmlich aus Fermentationsprozessen (Werte sind luftfrei angegeben)

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

Wichtig

Wenn die Komponenten des Brenngases die aufgeführten Maximalwerte überschreiten, muss vor Verwendung dieses Biogases eine Anfrage bei Rolls-Royce Solutions erfolgen.

6.1.3 Erdgas/Wasserstoff-Mischungen

Erdgas/Wasserstoff-Mischungen

Das öffentliche Erdgasnetz soll zukünftig als zusätzlicher Energiespeicher für Wasserstoff genutzt werden. Demzufolge können bisher nicht näher regulierte Bandbreiten an Wasserstoff in einer Erdgas Mischung zur Verwendung im Motor anstehen.

Aufgrund der erheblichen Unterschiede in den verbrennungstechnischen Eigenschaften des Wasserstoffs und der natürlichen Komponenten des Erdgases ist von einer Beeinträchtigung des Motorbetriebs durch Zusatz von Wasserstoff auszugehen. Insbesondere sind Emissionsverhalten und Klopfestigkeit betroffen.

Bei geringen Wasserstoffanteilen bis 10 Vol.-% Wasserstoff bleibt der Einfluss gering und kann bei vielen Baumustern durch geeignete Motorparametereinstellung kompensiert werden.

Die Baumuster L32/L33, L64 und L64FNER sind aktuell nur für konstante Wasserstoffgehalte freigegeben. Bei den Motoren des Baumusters BR4000FV darf der H₂ Anteil bis 10 Vol.-% variieren - mit entsprechender Motoradaption sind variable H₂ Anteile bis 25 Vol.-% zulässig. Für höhere Wasserstoffanteile ist eine Werksanfrage erforderlich. Die Einstellung auf wasserstoffhaltiges Erdgas erfolgt durch entsprechende Parameteranpassung des Motoreglers. Die zulässigen Wasserstoffanteile und Schwankungsbreiten sind motorspezifisch und je nach Emissionseinstellung den entsprechenden technischen Vertragsunterlagen zu entnehmen.

Übliche Erdgaskompositionen liegen im Bereich von 65-90 Methanzahleinheiten. Wasserstoff setzt in der Zumischung zu Erdgas nahezu direkt proportional die Klopfestigkeit im volumetrischen Mischungsverhältnis herab. Wobei der Gradient für die Methanzahlabsenkung in Abhängigkeit von der H₂-Zumischrate stark von der Klopfestigkeit der Basiskomposition des Erdgases abhängt. Je niedriger die Methanzahl der Basiskomposition desto flacher der Methanzahlgradient in Bezug auf die Wasserstoffrate.

Wichtig

Die Verringerung der Methanzahl kann zu Anpassungen der maximalen Leistung des Motors durch die Klopfüberwachung des Motors führen. Die Klopfüberwachung/-Regelung hat daher bei Motorbetrieb mit wasserstoffhaltigen Erdgas-Kompositionen unbedingte Priorität gegenüber anderen Motoreinstellungen, um klopfende Verbrennung zu vermeiden. Bei anhaltenden Klopfereignissen wird die Motorleistung reduziert oder der Motor stillgesetzt.

Sind im Brenngas signifikante H₂-Anteile enthalten verringern sich mit zunehmendem Wasserstoffanteil die Abgastemperaturen, wodurch auch die der Abgasturbine zugeführte Enthalpie reduziert wird. Dies führt als direkte Folge zu einer geringeren Abgastemperatur nach Abgasturbine und zu einer geringeren nutzbaren Abgaswärmeleistung, ggf. auch zu einer Verringerung der Ladedruckreserve. Je nach Baumuster und Randbedingungen können die max. Rampengeschwindigkeit bei der Lastaufnahme oder die Laststufen negativ beeinflusst werden.

Genauere Angaben zu den Auswirkungen durch Schwankungen des Wasserstoffgehalts im Erdgas müssen projektspezifisch angefragt werden.

6.1.4 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 N₂-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.

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

Rollover bezeichnet die Dampfbildung 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 CO₂, da CO₂ bei Temperaturen unterhalb von -56 °C und bei tanküblichen Drücken von 5,2 bar in fester Form vorliegt. Unter Normaldruckbedingungen sublimiert CO₂ bei -78,5 °C.

Wichtig

Kundenseitig ist eine Überwachung der Gastemperatur vorzunehmen um ein unterschreiten der Gastemperatur vor der Gasregelstrecke des Motors unter 15 °C sicher zu detektieren und die Anlage abzuschalten.

6.1.5 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 m³ i.N. CH₄) normiert.

Gemessener Siliziumanteil aus der Gasanalyse (bzw. Schwefelkonzentration)

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

Beispiel: Berechnete Konzentration des Siliziums begrenzt auf Hi_n = 10 kWh/m³i.N.

$$K_{Si} \text{ 10 (mg/m}^3\text{i.N.)} = K_{Si \text{ gemessen}} \times \frac{Hi_n \text{ gemessen}}{10 \text{ (kWh/m}^3\text{i.N.)}} =$$
$$5,1 \text{ (mg/m}^3 \text{ i.N.)} \times \frac{10}{6,5} = 7,8 \text{ (mg/m}^3 \text{ i.N.)}$$

Siehe Kapitel 2.1.4 (→ Seite 11) zur Bestimmung der Siliziumverbindungen im Brenngas.

6.1.6 Klopffestigkeit von Gaskompensationen

Klopffestigkeit von Gaskompositionen

Die Klopffestigkeit der Gaskomposition wird durch ihre Methanzahl charakterisiert. Dabei ist die Methanzahl ein Maß für die Klopf Eigenschaften einer gasförmigen Brenngaskomposition. Sie gibt den prozentualen Stoffmengenanteil von Methan in einem Methan-Wasserstoffgemisch an, der in einem Prüfmotor unter Standardbedingungen das gleiche Klopfverhalten aufweist wie der zu prüfende gasförmige Brennstoff. Die Klopffestigkeit wird für Gaszusammensetzungen nach dem standardisierten Verfahren nach EN 16726 berechnet.

Inertgase Kohlendioxid und Stickstoff werden bei der Berechnung der Methanzahl (Gasanalyse) erfasst. Es wird jedoch in den Programmen nach EN 16726 nur Kohlendioxid als klopfmindernd bewertet.

Es hat sich gezeigt, dass für Magergemisch aufgeladene Gasmotoren der BR4000 eine Korrektur der Methanzahl notwendig wird, wenn größere Anteile an Kohlendioxid (CO_2 -Gehalt $> 1,0$ Vol.-%) im Brenngas vorhanden sind. Unterhalb eines CO_2 -Gehalts von $1,0$ Vol.-% ist keine Korrektur der Methanzahl erforderlich. Für Magergemisch aufgeladene Gasmotoren der Rolls-Royce Solutions ist bei der Neuberechnung der Methanzahl mit den genannten Programmen der CO_2 -Anteil der Gaskomposition um 85% zu reduzieren:

$$x \text{ CO}_2 \text{ corr} = x \text{ CO}_2 \cdot 0,15$$

Der verbleibende Anteil an CO_2 wird in der Programmeingabe dem Stickstoff zugeschlagen, der in der Methanzahlberechnung nicht klopfmindernd wirksam ist.

$$x \text{ N}_2 \text{ corr} = x \text{ N}_2 + x \text{ CO}_2 \cdot 0,85$$

Diese Korrektur gilt nicht für Biogase (inklusive NAWaRo, Deponie- und Klärgase).

6.2 Gasmotor BR4000 - Marineanwendung

6.2.1 Allgemeines

Wichtig

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

6.2.2 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 frei gegeben.
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^3_n	$9,2 < H_{i,n} < 11,5$	Bei niedrigeren und höheren Grenzwerten ist eine Rücksprache mit dem Hersteller erforderlich.
Zulässige Änderungsgeschwindigkeit des Heizwerts ¹⁾	$\text{kWh/m}^3_n/\text{min}$	0,067	Lineare, stetige Änderung erforderlich mit einer Änderungshäufigkeit von 1/h
Gasdichte ²⁾	kg/m^3_n	0,71 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 ³ _n	<10	Keine Kondensation in Brenngas und Brenngasluftgemisch führenden Leitungen Keine Bildung von kondensierbaren Ölnebeln
HC-Lösungsmitteldämpfe	mg/m ³ _n	0	Rücksprache mit Hersteller und Analyse erforderlich
Organisch gebundenes Silicium (z. B. Silane, Siloxane, Silikone)	mg/m ³ _n CH ₄	<1,0	Rücksprache mit Hersteller und Analyse erforderlich
Anorganisch gebundenes Silicium	mg/m ³ _n	<5	Bei Si > 5 mg/m ³ N bezogen auf 100% CH ₄ Brenngasgehalt sind Verschleißprodukte in der Ölanalyse zu beachten.
Staub 3 bis 10 µm	mg/m ³ _n	<5	
Staub < 3 µm	mg/m ³ _n	Analyse	Analyse erforderlich
Schwefelwasserstoff	mg/kg	7	
Gesamtschwefel	mg/kg	10	
Chlor (Cl)	mg/m ³ _n		Technisch frei Bei höheren Werten Rücksprache mit Hersteller und Analyse erforderlich
Fluor (F)	mg/m ³ _n		Technisch frei Bei höheren Werten Rücksprache mit Hersteller und Analyse erforderlich
Ammoniak (NH ₃)	mg/m ³	10 ³)	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 $p_n = 101325$ bzw. $p_a = 1,01325 \text{ bar}$ festgelegt ist.

Es ist zu beachten, dass in der amerikanischen Literatur und neuere Standards wie DIN EN16726 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 $p_n = 101325$ bzw. $p_a = 1,01325 \text{ bar}$ festgelegt sind.

3) = Die Grenzwerte sind auf einen Heizwert von 10 kWh/m^3_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.

6.2.3 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 _{Wasser} /kg _{Trockene Luft}	37,7	
Salzgehalt der angesaugten Luft	ppm	50	
Volumenstrom	m ³ /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	

Titel-ID: 000076444 - 005

Bezeichnung	Einheit	Grenzwert	Bemerkung
Volumen der Hülle am Motor (ohne Gasregelstrecke) (Doppelwandigkeit)	m ³ _N	0,079 - 0,095	
Leckage	g _{Stickstoff} /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.

6.3 Gasmotor BR4000 – Generatoranwendung und Generatoraggregat

6.3.1 Allgemeines

Wichtig

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

6.3.2 Erdgas – Anforderungen an das Brenngas

Anforderungen an das Brenngas

Bezeichnung	Einheit	Grenzwert	Bemerkung
Erdgas aus öffentlicher Versorgung			Bei anderen Quellen Werksanfrage erforderlich
Methanzahl	MZ	≥ 65	Siehe technische Daten Bei niedrigerer Methanzahl, als im technischen Datenblatt angegeben, wird die Motorleistung reduziert.
Methanzahländerung	-/min.	5	Lineare stetige Änderung mit einer Häufigkeit von maximal 1/h
Heizwert H_i , n	kWh/m ³ 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 ³ i.N.	0,71 bis 0,84	Bei Wechsel des Gaszulieferers ist eine Gasanalyse, bei Bedarf eine Anpassung der Gemischregelung notwendig. Bei Abweichungen Werksanfrage erforderlich
Einstellbereich des Gasfließdrucks pF am Eintritt Gasdosierventil des Motors	mbar _(rel)	$80 \leq pF \leq 200$	Der Gasfließdruck vor der Gasregelstrecke des Motors ist eine motor- und anlagenspezifische Größe. Der Gasfließdruck muss dauerhaft konstant anliegen. Der Einstellwert des Gasfließdrucks ist den technischen Daten für Motor und System zu entnehmen.
Gasdruckschwankungen zum Einstellwert	%	± 5	
Zulässige Änderungsgeschwindigkeit des Gasdrucks	mbar/min.	1	Stetige Änderung erforderlich Keine Pulsationen zulässig
* = für Motoren mit Abgasnachbehandlung und / oder Abgaswärmenutzung können niedrigere Grenzwerte gelten. Bei Einsatz vom Oxidationskatalysator, Analyse und Rücksprache mit Rolls-Royce Solutions erforderlich ** = für die optionale Betriebsart "Regelenergie mit Schnellstartfähigkeit 120 Sekunden" gilt ein Grenzwert von ± 3 % zum Einstellwert.			

Bezeichnung	Einheit	Grenzwert	Bemerkung
Gastemperatur Erdgas aus öffentlicher Gasnetzversorgung	°C	$5 < T < 45$	Bei Gefahr von Taupunktunterschreitung muss die Gastemperatur erhöht werden. 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.
Erdgas aus örtlichen LNG-Verdampferanlagen		$15 < T < 45$	Bei Anlagen mit LNG-Betrieb muss der zulässige Druck- und Temperaturbereich projektspezifisch abgestimmt und kundenseitig dauerhaft überwacht werden. Die Ausführung der Gasverdampfung muss dazu seitens Rolls-Royce Solutions 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 Keine Kondensation in brenngas- und brenngasluftgemisch-führenden Leitungen und Behältern zulässig
Max. Gasfeuchte, absolut	g/kg	< 20	
Maximaler Wasserstoffanteil in der Brenngasmischung Baumuster 4000L32/33 4000L64 4000L64FNER	Vol.-%	10	Gilt für Mischungen von Erdgas aus der öffentlichen Gasversorgung mit konstanten Wasserstoffanteilen. Änderungen innerhalb der maximalen Zumischrate werden durch geeignete Parametereinstellungen bei Inbetriebnahme angepasst.
Maximaler Wasserstoffanteil in der Brenngasmischung Baumuster 4000L64FV	Vol.-%	10	Gilt für Mischungen von Erdgas aus der öffentlichen Gasversorgung mit variablen Wasserstoffanteilen.
Maximaler Wasserstoffanteil in der Brenngasmischung Baumuster 4000L64FV mit Sonderausstattung	Vol.-%	25	Gilt für Mischungen von Erdgas aus der öffentlichen Gasversorgung mit variablen Wasserstoffanteilen. Für höhere Werte ist Werksanfrage erforderlich

* = für Motoren mit Abgasnachbehandlung und / oder Abgaswärmenutzung können niedrigere Grenzwerte gelten. Bei Einsatz vom Oxidationskatalysator, Analyse und Rücksprache mit Rolls-Royce Solutions erforderlich

** = für die optionale Betriebsart "Regelenergie mit Schnellstartfähigkeit 120 Sekunden" gilt ein Grenzwert von $\pm 3 \%$ zum Einstellwert.

Bezeichnung	Einheit	Grenzwert	Bemerkung
Maximale H ₂ -Zu- mischtoleranz zum Einstellwert	Vol.-%	k.A.	Schwankungsbreiten sind motor- und emissionsspezifisch begrenzt. Siehe technische Daten
Öle / Öldämpfe (HC mit Kohlen- stoffzahl >8)	mg/m ³ i.N.	< 0,4	Keine Kondensation in brenngas- und brenngasluftgemisch-führenden Lei- tungen, sowie Bildung von konden- sierbaren Önebeln
Langkettige Koh- lenwasserstoffe (C ₆ - C _n)	mol %	K.A.	Rücksprache mit Rolls-Royce Soluti- ons erforderlich
HC-Lösungsmittel- dämpfe	mg/m ³ i.N.	0	Werksanfrage und Analyse notwendig
Organisch gebun- denes Silicium	mg/m ³ i.N.	<1,0	
Anorganisches ge- bundenes Silicium	mg/m ³ i.N.	< 6	Bei Si > 5 mg/m ³ i.N. bezogen auf 100 % CH ₄ Brenngasgehalt sind Ver- schleißprodukte in der Ölanalyse zu beachten.
Staub 3 bis 10 µm	mg/m ³ i.N.	5	Staub ist derartig zu entfernen, dass der Betrieb von Gasgeräten und gas- technischen Einrichtungen normge- rechter oder üblicher Konstruktion störungsfrei gewährleistet ist.
Staub < 3 µm	mg/m ³ i.N.	Technisch frei	Staub < 3 µm ist durch eine techni- sche Analyse zu bewerten, gegebe- nenfalls sind entsprechende Spezial- filter zu verwenden.
Gesamtschwefel	mg/m ³ i.N.	30	
Mercaptanschwefel	mg/m ³ i.N.	6	
Schwefelwasser- stoff (H ₂ S)	mg/m ³ i.N.	5	
Chlor (Cl)	mg/m ³ i.N.	0	technisch frei Bei höheren Werten ist eine Werksan- frage und Analyse notwendig.
Fluor (F)	mg/m ³ i.N.	0	technisch frei Bei höheren Werten ist eine Werksan- frage und Analyse notwendig.
Ammoniak (NH ₃)	mg/m ³ i.N.	10*	Bei höheren Werten ist eine Werksan- frage und Analyse notwendig.

* = für Motoren mit Abgasnachbehandlung und / oder Abgaswärmenutzung können niedrigere Grenzwerte gelten. Bei Einsatz vom Oxidationskatalysator, Analyse und Rücksprache mit Rolls-Royce Solutions 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/m³) sind auf einen Heizwert von 10 kWh/m³ 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 Erdgas mit einem Heizwert von 10 kWh/m³ i.N. verwendet. Damit entspricht der zulässige Wert für Gesamtschwefel im Gas exakt dem in der Tabelle angegebenen Grenzwert.
- Bei Verwendung eines Gases mit $H_i, n = 8,15 \text{ kWh/m}^3 \text{ i.N.}$ berechnet sich der zulässige Maximalwert für Gesamtschwefel folgendermaßen:

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

6.3.3 Biogas – Anforderungen an das Brenngas

Anforderungen an den Brennstoff Biogas

Bezeichnung	Einheit	Grenzwert	Bemerkung
Gasart			Biogene Gase aus Fermentationsprozessen
Heizwert H_i , n	kWh/m ³ i.N.	$4,5 < H_i, n < 6,5$	Für niedrigere und höhere Werte ist Werksanfrage notwendig. Max. möglich Motorleistung ist projektspezifisch in den technischen Daten angegeben
Heizwertschwankung zum Einstellwert beim Start	%	± 5	Bei im Motorstillstand variierenden CH ₄ -Anteilen wird ein CH ₄ -Sensor zur Startgasbedatung empfohlen. Siehe technische Daten Für höhere Werte ist Werksanfrage notwendig.
Heizwertschwankungen zum Einstellwert bei Motorbetrieb	%	± 10	Lineare und stetige Änderung erforderlich. Bei höheren Werten Werksanfrage erforderlich
Maximale Änderungsgeschwindigkeit des Heizwerts zu Einstellwert im Betrieb	%/min.	1	<1/ h zulässig Im Normalbetrieb
Dichte des Gases	kg/m ³ i.N.	1,2 bis 1,5	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.
Einstellbereich des Gasfließdrucks pF am Eintritt Gasdosiersventil des Motors	mbar _(rel)	30 bis 40	Der Gasfließdruck vor der Gasregelstrecke des Motors ist eine motor- und anlagenspezifische Größe. Der Gasfließdruck muss dauerhaft konstant anliegen. Der Einstellwert des Gasfließdrucks ist den technischen Daten für Motor und System zu entnehmen. Abweichungen möglich, siehe technisches Datenblatt
Gasdruckschwankung zum Einstellwert	%	± 10	Gilt für den Gaseintritt am motorseitigen Gasdosiersventil.
Zulässige Änderungsgeschwindigkeit des Gasdrucks	mbar/min.	1	Gilt für den Gaseintritt am motorseitigen Gasdosiersventil.
Gastemperatur	°C	$5 < t < 45$	Es sind keine Phasenübergänge im Brenngas-Luft-Gemisch während des Motorbetriebs zulässig. Bei Gefahr von Taupunktunterschreitung muss die Gastemperatur erhöht werden. Grenzwerte gelten für den Gaseintritt am motorseitigen Gasdosiersventil.
* = 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
Gastemperatur-schwankung zum Einstellwert	°C	± 15	Gilt für den Gaseintritt am motorseitigen Gasdosierventil.
Zulässige Änderungs-geschwindigkeit 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 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-Luft-Gemisch während des Motorbetriebs im Druck- und Temperaturbereich, bei höheren Werten ist eine Gastrocknung vorzusehen.
Max. Gasfeuchte, absolut			
Stickstoff	Vol.-%	≤ 5	Bei Überschreitung Werksanfrage erforderlich
Öle / Öldämpfe	mg/m³ i.N.	< 0,4	Keine Kondensation in Brenngas- und Brenngasluftgemisch führenden Leitungen, sowie Bildung von kondensierbaren Ölnebeln
HC-Lösungsmittel-dämpfe	mg/m³ i.N.	0	
Silicium aus organischen Verbindungen	mg/m³ i.N.	< 4*	Bei Si > 2 mg/m³ i.N. bezogen auf 100 % CH ₄ Brenngasgehalt sind Verschleißprodukte in der Ölanalyse zu beachten.
Anorganisch gebundenes Silicium	mg/m³ i.N.	< 2*	
Staub 3 bis 10 µm	mg/m³ i.N.	5	Staub ist derartig zu entfernen, dass der Betrieb von Gasgeräten und gastechnischen Einrichtungen normgerechter oder üblicher Konstruktion störungsfrei gewährleistet ist.
Staub < 3 µm	mg/m³ i.N.	technisch frei	Staub < 3 µm ist durch eine technische Analyse zu bewerten, gegebenenfalls sind entsprechende Spezialfilter zu verwenden.
Silicium aus organischen und anorganischen Verbindungen	mg/m³ i.N.	6*	
Gesamtschwefel	mg/m³ i.N.	800* / **	
Mercaptanschwefel	mg/m³ i.N.	4*	
Schwefelwasserstoff (H ₂ S)	mg/m³ 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
Chlor (Cl)	mg/m ³ i.N.	0	technisch frei Bei höheren Werten ist eine Werksanfrage und Analyse notwendig.
Fluor (F)	mg/m ³ i.N.	0	technisch frei Bei höheren Werten ist eine Werksanfrage und Analyse notwendig.
Ammoniak (NH ₃)	mg/m ³ i.N.	10*	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 ³ i.N.	< 1*	Bei Si > 2 mg/m ³ i.N. bezogen auf 100 % CH ₄ Brenngasgehalt sind Verschleißprodukte in der Ölanalyse zu beachten.
Anorganisch gebundenes Silizium	mg/m ³ i.N.	< 0,5*	
Silicium aus organischen und anorganischen Verbindungen	mg/m ³ i.N.	1,5*	
Gesamtschwefel	mg/m ³ i.N.	140*	
Mercaptanschwefel	mg/m ³ i.N.	1*	
Schwefelwasserstoff (H ₂ S)	mg/m ³ i.N.	150*	
Chlor (Cl)	mg/m ³ i.N.	0	technisch frei Bei höheren Werten ist eine Werksanfrage und Analyse notwendig.
Fluor (F)	mg/m ³ i.N.	0	technisch frei Bei höheren Werten ist eine Werksanfrage und Analyse notwendig.
Ammoniak (NH ₃)	mg/m ³ i.N.	10*	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/m³) sind auf einen Heizwert von 10 kWh/m³ 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 Erdgas mit einem Heizwert von 10 kWh/m³ i.N. verwendet. Damit entspricht der zulässige Wert für Gesamtschwefel im Gas exakt dem in der Tabelle angegebenen Grenzwert.
- Bei Verwendung eines Gases mit Hi, n = 8,15 kWh/m³ i.N. berechnet sich der zulässige Maximalwert für Gesamtschwefel folgendermaßen:
 Zulässiger Gesamtschwefelgehalt = 30 mg/m³ i.N. · (8,15 kWh/m³ i.N. : 10,0 kWh/m³ i.N.) = 24,5 mg/m³ i.N.

Schadstoffkonzentrationen im Kraftstoff (bei Abgasnachbehandlung / Abgaswärmenutzung)

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

Bezeichnung	Einheit	Abgasnachbehandlung / Abgaswärmenutzung		
		Ohne* / Ohne	Mit / 120 °C bis 180 °C	Mit / Ohne
Summe aller Schwefelverbindungen (gerechnet als S)	mg/m ³ i.N.	800	20	200
Schwefelwasserstoff (H ₂ S)	ppm	560	14	70
Summe aller Chlorverbindungen (gerechnet als Cl)	–	technisch frei Bei höheren Werten ist eine Werksanfrage und Analyse notwendig.		
Summe aller Fluorverbindungen (gerechnet als F)	–	technisch frei Bei höheren Werten ist eine Werksanfrage und Analyse notwendig.		
Summe aller Siliziumverbindungen (gerechnet als Si)	mg /m ³ i.N.	5	0	0
Ammoniak (NH ₃)	mg /m ³ i.N.	10	10	10
Schwermetalle (Pb, Hg, As, Sb, Cd)	µg/m ³ i.N.	auf Nachfrage	10	10
*= für "gering belastetes Biogas" gelten entsprechend geringere Werte (→ Tabelle 51).				

Tabelle 52: Schadstoffkonzentrationen im Kraftstoff

6.3.4 Motorbetrieb mit gasförmigem Propangas

Motorbetrieb mit gasförmigem Propangas

Flüssiggase

Propan gehört zur Gruppe der Flüssiggase. Flüssiggase sind Kohlenwasserstoffgemische, die unter Atmosphärendruck gasförmig vorliegen, sich aber bei Umgebungstemperatur durch Druck leicht verflüssigen lassen. Flüssiggase oder deren Fraktionen werden üblicherweise bei der fraktionierten Destillation von Erdöl, aus Crackprozessen der hochsiedenden Fraktionen des Erdöls oder direkt aus Erdgas mittels geeigneter Trennverfahren gewonnen, in selteneren Fällen stammen sie aus Syntheseprozessen (Fischer-Tropsch-Synthese).

Flüssiggase, die bei der Gewinnung und Verarbeitung von Erdöl und Erdgas, bei der Synthese von Kohlenwasserstoffen und bei petrochemischen Prozessen erhalten werden, folgen der Spezifikation nach DIN 51622, Flüssiggase für Automotivanwendungen sind entsprechend DIN EN 589 spezifiziert.

Wichtig

Flüssiggasgemische gemäß DIN EN 589 werden üblicherweise unter dem Begriff LPG (Liquid Petrol Gas) gehandelt und sind, obwohl Propan ein nennenswerter Bestandteil dieser Gemische ist, für Gasmotoren der Baureihe BR4000 aufgrund des hohen Anteils an C4 Kohlenwasserstoffen und der daraus resultierenden geringen Klopffestigkeit nicht freigegeben.

Propan

Technisches Propan wird durch physikalische Trennverfahren aus der Fraktion der Flüssiggase extrahiert. Daher stellt gehandeltes „technisches“ Propan (DIN 51622) immer noch ein Stoffgemisch dar und kann zu 95 Ma.-% aus Propan und Propylen bestehen, wobei der Propangehalt überwiegt. Der Rest von 5 Ma.-% kann aus Ethan, Ethen, Butan, Buten und deren Isomeren bestehen. Der Gehalt an C5-Kohlenwasserstoffen darf 0,5 Ma.-% nicht übersteigen.

Propan HD 5 ist ein im US-amerikanischen Markt übliche Handelsbezeichnung für eine an Automotivanwendungen angepasste Propan-Propen-Mischung (95 Ma.-% Propan/Propen in der Gesamtzusammensetzung) und zeichnet sich durch niedrigere Werte an Propen (max. 5 Ma.-% in der C3-Fraktion) und Butan/Butenisomere/Methan/Ethan vorwiegend C4-Kohlenwasserstoffe (max. 5 Ma.-% im Flüssiggasgemisch) gegenüber der DIN-51622-Spezifikation aus. Aufgrund des geringen Alkenanteils neigt HD-5 zu geringeren Ablagerungen und verbrennt weitgehend rußfrei.

Komponente	Einheit	Wertebereich (Maximalwert)
CH ₄	Ma.-%	< 0,5
C ₂ H ₆ (bzw. Summe C ₂ H _x)	Ma.-%	< 1,1
C ₃ H ₆	Ma.-%	5
C ₃ H ₈	Ma.-%	90 - 100
i-C ₄ H ₁₀	Ma.-%	< 2,5
n-C ₄ H ₁₀	Ma.-%	< 2,5
C5+	Ma.-%	< 0,5
Aromatische Kohlenwasserstoffe als Benzol	Ma.-%	k.A.
CO ₂	Ma.-%	< 0,1
N ₂	Ma.-%	< 0,65
O ₂	Ma.-%	< 0,25
Summe CO ₂ + N ₂ + Inerte (O ₂)	Ma.-%	< 1

Komponente	Einheit	Wertebereich (Maximalwert)
H ₂	Ma.-%	< 0,001
CO	Ma.-%	k.A.

Tabelle 53: Typische Zusammensetzung von handelsüblichem, vollständigem verdampftem Propan in der Qualität Propan DIN 51622 oder Propan HD 5

Bei abweichenden Werten ist eine Werksabnahme erforderlich.

Lagerung, Bevorratung

Folgende technische Richtlinien sind bei der Lagerung von Flüssiggas/Propan zu beachten:

TRGS 509 Lagern von flüssigen und festen Gefahrstoffen in ortsfesten Behältern sowie Füll- und Entleerstellen für ortsbewegliche Behälter

- Kap. 8.4 Anforderungen an Auffangräume für brennbare Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt ≤ 100 °C
- Kap. 9 zusätzliche Anforderungen bei dem Lagern und Abfüllen entzündbarer Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt ≤ 55 °C.

DVFG-TRF 2021 technische Regel Flüssiggas

Wichtig

Um einen Eintrag flüssiger Kraftstoffbestandteile bzw. Kondensation der schwerflüchtigen Bestandteile zu vermeiden, ist eine vom Durchfluss abhängige Vorwärmung des Gases und der Verbrennungsluft zwingend notwendig. Diese muss den Umgebungsbedingungen und der Entnahmemenge der Tankbevorratung angepasst sein und dauerhaft sicherheitstechnisch überwacht werden.

Gesundheitsgefährdungen

Das Stoffgemisch ist nicht als unmittelbar toxisch eingestuft, jedoch kann wiederholte oder lang anhaltende Exposition zu Übelkeit, Benommenheit und Kopfschmerzen führen.

Siehe auch GESTIS Stoffdatenbank.

Sicherheitseinstufung

Das verdampfte Produkt ist schwerer als Luft und kann sich daher bei Ausströmen in unmittelbarer Bodennähe ablagern. Dämpfe mit Luft bilden ein explosionsfähiges Gemisch. Zündgruppe G1 (VDE), Explosionsklasse 1 (VDE), Brandklasse C, Lagerklasse VCI 2A, bzw. lokal gültige Sicherheitsanforderungen.

Siehe auch GESTIS-Stoffdatenbank, sowie Sicherheitsdatenblätter der Propangas-Lieferanten

Betrieb des Motors:

Propangas besitzt einen deutlich höheren volumetrischen Energieinhalt (ca. 25 bis 26 kWh/m³n) als Erdgas H (ca. 10 kWh/m³n) und eine deutlich niedrigere Klopffestigkeit als handelsübliches Erdgas (ca. 70-90 MZ-Einheiten). Der volumenbezogene Energieinhalt des vollständig verdampften Produkts beträgt etwa das 2,5-Fache des Energieinhalts von Erdgas H. Die Klopffestigkeit des vollständig verdampften Propan beträgt ca. 32-34 MZ-Einheiten.

Die Motorregelung verfügt über eine Heizwertregelung (Heizwertadaption) und eine Klopffregelung, die bei stationärem Lastprofil in der Lage ist, die Motorparameter für Leistung- und Brennstoff-Luft-Gemischqualität in den projektierten Grenzen der Brennstoffqualität anzupassen.

Wichtig

Ein Motorbetrieb ist während der Befüllung von Propantankanlagen nicht frei gegeben.

Anforderungen an das Brenngas

Bezeichnung	Einheit	Grenzwert	Bemerkung
Gasart		Propangas	Propan entsprechend DIN EN 51 622 oder Propan HD 5 unter Einhaltung aller unten genannten Randbedingungen
Methanzahl	MZ	> 32	Die Klopfüberwachung/-Regelung hat bei Motorbetrieb mit Propangas unbedingte Priorität gegenüber anderen Motoreinstellungen, um klopfende Verbrennung zu vermeiden. Bei anhaltenden Klopfereignissen wird die Motorleistung reduziert oder der Motor still gesetzt.
Methanzahländerung	MZ/min	5	32 MZ stellt bereits eine untere Grenze dar, die durch die Propangaszusammensetzung vorgegeben ist. Dennoch können Methanzahländerungen beim Leerfahren von Propangastanks auftreten und bedingt durch Konzentrationserhöhung der höher siedenden Fraktionen der Propangasmischung zur weiteren Absenkung der Methanzahl führen. Methanzahländerungen hängen vom Bevorratungsmanagement ab. Lineare stetige Änderung mit einer Häufigkeit von maximal 1/h.
Heizwert $H_{i,n}$	kWh/m³ i.N.	25,0 < $H_{i,n}$ < 26,0	Heizwert des vollständig verdampften Produkts
Heizwertschwankung zum Einstellwert	%	± 2,5	Für höhere Werte ist Werksanfrage notwendig.
Zulässige Änderungsgeschwindigkeit des Heizwerts zum Einstellwert	%/min.	1,0	Nur Lineare stetige Änderung zulässig mit einer maximalen Häufigkeit von 1/h
Dichte des Gases	kg/m³ i.N.	2,00 bis 2,03	Die Dichte des Gases kann entsprechend der Zusammensetzung schwanken, für eine bestimmte Tankfüllung ist sie weitgehend konstant.
Einstellbereich des Gasfließdrucks pF am Eintritt Gasdosierventil des Motors	mbar _(rel)	80 ≤ pF ≤ 200	Der Gasfließdruck vor der Gasregelstrecke des Motors ist eine motor- und anlagenspezifische Größe. Der Gasfließdruck muss dauerhaft konstant anliegen. Der Einstellwert des Gasfließdrucks ist den technischen Daten für Motor und System zu entnehmen.
* = für Motoren mit Abgasnachbehandlung und / oder Abgaswärmenutzung können niedrigere Grenzwerte gelten. Bei Einsatz von Oxidationskatalysatoren, Analyse und Rücksprache mit Rolls-Royce Solutions erforderlich			

Bezeichnung	Einheit	Grenzwert	Bemerkung
Gasdruckschwankungen zum Einstellwert	%	± 2	
Zulässige Änderungsgeschwindigkeit des Gasdrucks	mbar/min.	1	Keine un stetige Änderung zulässig
Gastemperatur bei Start und Leerlauf des Motors	°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.
Brenngas- und Verbrennungslufttemperatur bei Belastung des Motors	°C	$15 < T < 45$	Bei Gefahr von Taupunktunterschreitung muss die Gastemperatur erhöht werden. Der zulässige Temperaturbereich muss projektspezifisch abgestimmt werden. Die Ausführung der Gasvorwärmung muss mit Rolls-Royce Solutions abgestimmt werden. Eine angepasste Luftvorwärmung ist zu berücksichtigen.
Gastemperaturschwankung zum Einstellwert	°C	± 4	
Zulässige Änderungsgeschwindigkeit der Gastemperatur	K/min.	0,3	
Gasfeuchte Wasser: Relative Gasfeuchte im Gas bei zulässigem Temperatur- und Druckbereich Max. Gasfeuchte, absolut	%	< 80	Keine Betauung im gesamten Gas- und Gemischsystem und Gemischsystem zulässig Keine Wasserdampfkondensation im Druck- und Temperaturbereich Keine Kondensation in Brenngas- und Brenngas-Luftgemischführenden Leitungen und Behältern zulässig
* = für Motoren mit Abgasnachbehandlung und / oder Abgaswärmenutzung können niedrigere Grenzwerte gelten. Bei Einsatz von Oxidationskatalysatoren, Analyse und Rücksprache mit Rolls-Royce Solutions erforderlich			

Bezeichnung	Einheit	Grenzwert	Bemerkung
Gasfeuchte Kohlenwasserstoffe: Abstand zum Kondensationspunkt	K	> 20	In jedem Fall ist ein Abstand von Brenngastemperatur zum Taupunkt der Kohlenwasserstoffe im Brenngas von 20 K sicherzustellen. Ebenso muss ein Abstand von 20 K vom Taupunkt der Kohlenwasserstoffe im Gemisch zur Gemischtemperatur sichergestellt sein. Überwachende Anlagen zur Behandlung von potenziell anfallendem Kondensat sind vorzusehen. Gasfeuchteanteile in Form von Nebel oder Aerosole sollte durch entsprechende Vorwärmung grundsätzlich vermieden werden.
Ethan (C ₂ H ₆) und Ethen (C ₂ H ₄)	Ma-%	< 1,10	Spezifikation entsprechend Propan HD 5 95 Ma-% Propan/Propen + 5,0 Ma-% Rest (incl. C1, C2, C4, C5+)
Propen (C ₃ H ₆)	Ma-%	< 5	Spezifikation entsprechend Propan HD 5 95 Ma-% Propan und 5,0 Ma-% in der Fraktion der C3-Kohlenwasserstoffe
Propan (C ₃ H ₈)	Ma-%	90,25 - 100	Spezifikation entsprechend Propan HD 5
Butan (n-, i-C ₄ H ₁₀) und, Buten (C ₄ H ₈)	Ma-%	< 5,00	Spezifikation entsprechend Propan HD 5 95 Ma-% Propan/Propen + 5,0 Ma-% Rest (incl. C1, C2, C4, C5+)
Langkettige Kohlenwasserstoffe (C5+)	Ma-%	< 0,50	Spezifikation entsprechend Propan HD 5 95 Ma-% Propan/Propen + 5,0 Ma-% Rest (incl C1, C2, C4, C5+)
Aromatische Kohlenwasserstoffe bezogen auf Benzol.	Ma-%	< 0,03	Rücksprache mit Rolls-Royce Solutions erforderlich
Öle / Öldämpfe (HC mit Kohlenstoffzahl >8)	mg/m ³ i.N.	< 0,4	Keine Kondensation in Brenngas- und Brenngas-Luftgemisch-führenden Leitungen und Behältern, sowie Bildung von kondensierbarem Ölnebel
HC-Lösungsmitteldämpfe	mg/m ³ i.N.	0	Werksanfrage und Analyse notwendig
Organisch gebundenes Silicium	mg/m ³ i.N.	<1,0	
Anorganisches gebundenes Silicium	mg/m ³ i.N.	< 6	Bei Si > 5 mg/m ³ i.N. bezogen auf 100 % CH ₄ Brenngasgehalt sind Verschleißprodukte in der Ölanalyse zu beachten.
* = für Motoren mit Abgasnachbehandlung und / oder Abgaswärmenutzung können niedrigere Grenzwerte gelten. Bei Einsatz von Oxidationskatalysatoren, Analyse und Rücksprache mit Rolls-Royce Solutions erforderlich			

Bezeichnung	Einheit	Grenzwert	Bemerkung
Staub < 3 µm	mg/m³ i.N.	Technisch frei	Staub < 3 µm ist durch eine technische Analyse zu bewerten, gegebenenfalls sind entsprechende Spezialfilter zu verwenden.
Staub 3 bis 10 µm	mg/m³ i.N.	5	Staub ist derartig zu entfernen, dass der Betrieb von Gasgeräten und gas-technischen Einrichtungen normgerechter oder üblicher Konstruktion störungsfrei gewährleistet ist.
Gesamtschwefel	mg/m³ i.N.	30	
Mercaptanschwefel	mg/m³ i.N.	6	
Schwefelwasserstoff (H ₂ S)	mg/m³ i.N.	5	
Chlor (Cl)	mg/m³ i.N.	0	technisch frei Bei höheren Werten ist eine Werksanfrage und Analyse notwendig.
Fluor (F)	mg/m³ i.N.	0	technisch frei Bei höheren Werten ist eine Werksanfrage und Analyse notwendig.
Ammoniak (NH ₃)	mg/m³ i.N.	10*	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 Rolls-Royce Solutions erforderlich			

Tabelle 54: Anforderungen und Randbedingungen für den Brennstoff Propan und die entsprechende Brennstoffversorgung

Alle aufgeführten Grenzwerte von Schadstoffen (in ppm und mg/m³) sind auf einen Heizwert von 10 kWh/m³ 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 Erdgas mit einem Heizwert von 10 kWh/m³ i.N. verwendet. Damit entspricht der zulässige Wert für Gesamtschwefel im Gas exakt dem in der Tabelle angegebenen Grenzwert.
- Bei Verwendung eines Gases mit H_i , $n = 25,5 \text{ kWh/m}^3 \text{ i.N.}$ berechnet sich der zulässige Maximalwert für Gesamtschwefel folgendermaßen:
 Zulässiger Gesamtschwefelgehalt = $30 \text{ mg/m}^3 \text{ i.N.} \cdot \text{bei Gas mit } H_i, n = 10,0 \text{ kWh/m}^3 \text{ i.N.}$
 Zulässiger Gesamtschwefelgehalt bei Gas mit H_i , $n = 25,5 \text{ kWh/m}^3 \text{ i.N.}$:
 $30 \text{ mg/m}^3 \text{ i.N.} \cdot (25,5 \text{ kWh/m}^3 \text{ i.N.} / 10,0 \text{ kWh/m}^3 \text{ i.N.}) = 76,5 \text{ mg/m}^3 \text{ i.N.}$

Anmerkung:

Der Grenzwert des zulässigen Gesamtschwefelgehalts für Propan nach DIN 51622 beträgt lediglich 30 mg/kg bzw. 60 mg/m³ i.N.

Spezifikationen für Propan HD5 nach US-Standard weisen deutlich geringere Schwefelmengen aus als im Rechenbeispiel angezeigt wird.

6.3.5 Motorbetrieb mit Erdölbegleitgas

Motorbetrieb mit Erdölbegleitgas

Wichtig

Für jede Anwendung mit Erdölbegleitgas ist eine projektspezifische Auslegung und Freigabe erforderlich.

Erdölbegleitgas, Schiefergas

Als Erdölbegleitgas werden Gaskompositionen bezeichnet, die als Begleitgas bei der Erdölförderung auftreten. Bei der Förderung von Gasen aus Erdöl-/Schiefer-Lagerstätten (Schiefergas, Shale Gas) werden in ihrer Struktur und Komposition ähnliche Zusammensetzungen gefunden. Bei Erdölbegleitgasen hängt die Zusammensetzung stark von Provenienz und geologischer Beschaffenheit der Lagerstätte ab. Die gewonnenen Gaskompositionen weisen aufgrund geologischer Herkunft, bzw. des angewandten Förderprozesses ein deutlich breiteres Band in der Zusammensetzung auf als H-Gase in die der öffentlichen Gasversorgung verwendet werden. Der Anteil der gesättigten C_2 bis C_6 Kohlenwasserstoffe ist gegenüber dem C_1 -Anteil (Methan) deutlich erhöht. Da diese Gaskompositionen im Gegensatz zu Erdgas der öffentlichen Gasversorgung keinen allgemein anerkannten Lieferbedingungen und Spezifikationen unterliegen, müssen Gaskompositionen im Einzelnen betrachtet und bewertet werden. Beide Haupttypen – Erdölbegleitgas und Schiefergas haben gemeinsam, dass sie lagerstätten- und förderprozessbedingt (Fracking), hohe Salz- und Wassergehalte sowie Gehalte an Kohlenwasserstoffkondensat aufweisen. Diese beiden Gastypen sind daher als Rohgas für den motorischen Betrieb ohne Aufbereitung nicht verwendbar.

Bei Betrieb des Gasmotors mit Erdölbegleit-/Schiefergas sind folgende Voraussetzungen zu beachten.

Gaskomposition:

- Es liegt eine aussagefähige Gasanalyse für die zur Verwendung anstehenden Gaskompositionen vor. Diese ist bei Projektbeginn Rolls-Royce Solutions bekanntgemacht worden und mit der Entwicklung abgestimmt.
- Die Gasanalyse beinhaltet Angaben über Komponenten der Alkanreihe und deren Strukturisomere mindestens C_1 - C_6 , sowie für die Inertgasanteile CO_2 und N_2 .
- Der dem Motor zugeführte Brennstoff ist frei von aromatischen Kohlenwasserstoffen siehe (→ Tabelle 55).
- Schwankungsbereiche der Komponenten sind anzugeben.
- Der Betreiber (Kunde) sichert zu, dass eine Gasaufbereitung vorhanden ist und dem Motor kein unbehandeltes Rohgas zugeführt wird.
Schwankungsgrößen entsprechen den angegebenen Werten in (→ Tabelle 55).
Das Prozessschema und die Art der Aufbereitung sind darzulegen.
- Die Gasfeuchte bezogen auf Kohlenwasserstoffe ist mit einem Abstand von mindestens $+20\text{ °C}$ zum Kondensationspunkt im Versorgungsdruckbereich und jeweiligem Leitungsdruck zu begrenzen.
- Der Betreiber (Kunde) versichert, dass der dem Motor zugeführte Brennstoff keine prozessbedingten Anteile von Sauerstoff mitführt und dass Speicherbehältnisse sowie Rohrleitungen gegen Flammendurchschlag abgesichert sind.

Betrieb des Motors

Alle relevanten Parameter der verwendeten vorgeschalteten Gasaufbereitungsanlage (Temperaturen, Drücke, Abscheidegrade etc.) sind so einzustellen und durch geeignete Grenzwerte zu überwachen, dass die Bildung von Kohlenwasserstoffkondensat in der Brenngaszuführung sicher vermieden werden kann. Wenn dem Motor mit dem Brenngas flüssige Kohlenwasserstoffbestandteile zugeführt werden, kann dies unmittelbar zu schweren Motorschäden führen! Bei Verletzung der o. g. Grenzwerte ist daher ein sofortiger NOT-HALT der Anlage auszulösen.

Folgende Anweisungen müssen befolgt werden, ansonsten besteht Gefahr für Leib und Leben:

- Erdölbegleitgase entsprechen nicht den üblichen Regularien für die Einspeisung in ein öffentliches, pipelingegebenes Erdgasverteilungsnetz. Sie unterliegen prozessbedingt qualitativen und quantitativen Schwankungen und erfordern deshalb eine komplexe Aufbereitung. Aufgrund dieser Komplexität können in der vorgeschalteten Prozesskette Störungen auftreten, die sich negativ auf den Motorbetrieb auswirken. Ein Betreten des Maschinenraums / Containers während des Motorbetriebs oberhalb von $35 \text{ kW}_{\text{mech}}/\text{Zyl.}$ ist nicht zulässig und sollte im niedrigen Lastbereich $< 35 \text{ kW}_{\text{mech}}/\text{Zyl.}$ auf ein Minimum beschränkt bleiben. Steuer- und Regelsysteme zur Bedienung des Motors wie MIP (Motor Interface Panel) und MMC (Motor Management and Control) sind daher in einem separaten Raum außerhalb des Maschinenraums zu platzieren.
- Ein angemessenes Gasaufbereitungssystem ist zwingend notwendig, um die erforderliche Gasqualität hinsichtlich Methanzahl, Abstand der Gastemperatur zum Kohlenwasserstoffkondensationspunkt, Beseitigung anderer Spurenelemente gemäß Betriebsstoffvorschrift oder gesonderter ausdrücklicher schriftlicher Freigabe von RRS, und anderer möglicher Einflüsse sicherzustellen.
- An der Schnittstelle zwischen Gasaufbereitungssystem und Gasmotor ist eine geeignete Funktionsüberwachung des Gasaufbereitungssystems zu installieren. Diese dient zum Bewerten und Aufzeichnen der Gasqualität. Die Funktionsüberwachung ist mindestens wie folgt auszuführen:
Bei Betriebsstörungen des Gasaufbereitungssystems, die dazu führen, dass die Kraftstoffzusammensetzung gemäß Betriebsstoffvorschrift nicht mehr gewährleistet ist, sind entsprechende Stoppsignale an das Motorsystem zu übermitteln, bevor der Kraftstoff in die Gasregelstrecke des Motorsystems eintritt. Weiterhin sind bei Schwankungen der Gaszufuhr bzgl. Menge, Druck und Temperatur Alarm- und Warnsignale an das Motorsystem zu übermitteln, die es ermöglichen, den Motorbetrieb der Störungssituation anzupassen oder notfalls die Maschine zu stoppen.

Die Motorregelung verfügt über eine Heizwertregelung (Heizwertadaption) und eine Klopfregelung, die bei konstanter Generatorlast in der Lage ist, die Motorparameter für Leistung- und Brennstoff-Luft-Gemisch-Qualität in den projektierten Grenzen der Brennstoffqualität anzupassen.

Um diese Adaption zu gewährleisten, sind bei Netzparallelbetrieb und Inselbetrieb, insbesondere bei Parallelbetrieb mehrerer motorangetriebener Stromerzeugungsaggregate im Inselnetz, folgende Bedingungen zu beachten.

Netzparallelbetrieb

- Zur Adaption der Motorparameter an die Brennstoffqualität muss der Motor für eine längere Zeit ohne Lastschwankung an einem Lastpunkt $> 20 \%$ der Motornennleistung betrieben werden.
- Wenn zulässige Grenzwerte des Brennstoffheizwerts überschritten werden, wird ein Stopp des Motors eingeleitet.
- Der Brennstoffheizwert darf bei Start nicht mehr als 10% von dem letzten im störungsfreien Betrieb ermittelten Brennstoffheizwert abweichen.
- Um klopfende Verbrennung zu vermeiden, wirkt die Klopfregelung in Folge auf Zündzeitpunktverstellung, Leistungsverstellung und Gemisch-Qualitätseinstellung. Die Leistung des Motors kann dabei bis auf 50% der Nennleistung begrenzt werden. Sind alle Maßnahmen nicht ausreichend, um dauerhafte Klopfereignisse zu reduzieren, erfolgt der Stopp des Motors.
- Beide Regelungen sind ab einer parametrisierten Mindestleistung aktiv, auf Grenzwert überwacht und können demzufolge einen Motorstopp auslösen.

Inselbetrieb

Alle zuvor für den Netzparallelbetrieb aufgeführten Regelungen und Prozesse sind im Inselbetrieb aktiv. Daher ist von Betreiberseite insbesondere bei Betrieb mit Erdölbegleit-/Schiefergas folgendes zu beachten.

- Um ungewollte Motorabschaltungen zu vermeiden, wird im Inselbetrieb ein Leistungsabstand zur maximal möglichen Leistung empfohlen.
- Der Betreiber verfügt über ein schnelles Verbraucherlastmanagement, das in der Lage ist, zuverlässig die Verbraucherleistung der verfügbaren Motorenleistung anzupassen.
- Die von Rolls-Royce Solutions Projekt spezifisch zur Verfügung gestellten Deratingparameter für Erdölbegleitgas, sowie Lastschaltprogramme für zulässiges Zu- bzw. Abschalten von Verbraucherlasten sind zu beachten und einzuhalten.
- Die Dynamikwerte bezogen auf die Brennstoffversorgung (→ Tabelle 55) sind verbindlich einzuhalten.
- Insgesamt ist zu beachten, dass die von Rolls-Royce Solutions angegebenen Vollastleistungen ICFN-Leistungen darstellen, daher keine Überschreitung zulässig ist.

Maximal zulässige Bestandteile von Erdölbegleitgas-/Schiefergas

Komponente	Einheit	Maximalwert
CH ₄	Vol.-%	bis 86
C ₂ H ₆ (bzw. Summe C ₂ H _x)	Vol.-%	bis 24
C ₃ H ₈ (bzw. Summe C ₃ H _x)	Vol.-%	bis 20
C ₄ H ₁₀ (bzw. Summe C ₄ H _x)	Vol.-%	bis 10,6
C ₅ H ₁₂	Vol.-%	2,5
Kohlenwasserstoffe C5+	Vol.-%	2,3
Aromatische Kohlenwasserstoffe als Benzol	Vol.-%	< 0,015
CO ₂	Vol.-%	9,2
N ₂	Vol.-%	21,0
Summe CO ₂ + N ₂ + Inerte	Vol.-%	26
O ₂	Vol.-%	5,6
H ₂	Vol.-%	< 0,8
CO	Vol.-%	--

Tabelle 55: Maximale Zusammensetzung von Erdölbegleitgas-/Schiefergas

Anforderungen an das Brenngas

Bezeichnung	Einheit	Grenzwert	Bemerkung
Gasart		Erdölbegleit-/ Schiefergas	Gilt für aufbereitete Starkgase aus Erdöl-/ Erdölschiefer Lagerstätten, Werksanfrage ist immer notwendig
Methanzahl	MZ	> 43	Die Klopfüberwachung/-Regelung hat bei Gasen mit Methanzahl < 65 unbedingte Priorität gegenüber anderen Motoreinstellungen, um klopfende Verbrennung zu vermeiden. Bei anhaltenden Klopfereignissen wird die Motorleistung reduziert.
Methanzahländerung	MZ/min	5	Lineare stetige Änderung mit einer Häufigkeit von maximal 1/h

* = Für Motoren mit Abgasnachbehandlung und / oder Abgaswärmenutzung können niedrigere Grenzwerte gelten. Bei Einsatz von Oxidationskatalysatoren, Analyse und Rücksprache mit Rolls-Royce Solutions erforderlich.

Bezeichnung	Einheit	Grenzwert	Bemerkung
Heizwert $H_{i,n}$	kWh/m ³ i.N.	$10,5 < H_{i,n} < 14,5$	Heizwert des vollständig verdampften Produkts
Heizwertschwankung zum Einstellwert	%	± 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 ³ i.N.	0,85 bis 1,53	Die Dichte des Gases kann entsprechend der Zusammensetzung schwanken, für eine bestimmte Lagerstätte ist sie weitgehend konstant. Bei Verwendung von Gasen aus unterschiedlichen Lagerstätten können sich Änderungen der Dichte ergeben. Bei Wechsel der Lagerstätten oder neu erschlossenen Gasquellen, kann eine Anpassung der Gemischregelung notwendig werden. Die Gasdichte ist im regelmäßigen Turnus, jedoch immer beim Anfahren neuer Gasfelder oder Gasquellen aus neuen Erdölbohrungen zu analysieren und zu protokollieren.
Einstellbereich des Gasfließdrucks pF am Eintritt Gasdosierventil des Motors	mbar _(rel)	$80 \leq pF \leq 200$	Der Gasfließdruck vor der Gasregelstrecke des Motors ist eine motor- und anlagenspezifische Größe. Der Gasfließdruck muss dauerhaft konstant anliegen. Der Einstellwert des Gasfließdrucks ist den technischen Daten für Motor und System zu entnehmen. * = für Motoren mit Abgasnachbehandlung und / oder Abgaswärmenutzung können
Gasdruckschwankungen zum Einstellwert	%	± 5	
Zulässige Änderungsgeschwindigkeit des Gasdrucks	mbar/min.	1	Stetige Änderung erforderlich
Gastemperatur bei Start und Leerlauf des Motors	°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.

* = Für Motoren mit Abgasnachbehandlung und / oder Abgaswärmenutzung können niedrigere Grenzwerte gelten. Bei Einsatz von Oxidationskatalysatoren, Analyse und Rücksprache mit Rolls-Royce Solutions erforderlich.

Bezeichnung	Einheit	Grenzwert	Bemerkung
Gastemperatur bei Belastung des Motors	°C	$15 < T < 45$	Bei Gefahr von Taupunktunterschreitung muss die Gastemperatur erhöht werden. Der zulässige Temperaturbereich muss projektspezifisch abgestimmt werden. Die Ausführung der Gasvorwärmung muss mit Rolls-Royce Solutions abgestimmt werden.
Gastemperaturschwankung zum Einstellwert	°C	± 9	
Zulässige Änderungsgeschwindigkeit der Gastemperatur	K/min.	0,3	
Gasfeuchte Wasser:	%	< 80	Keine Betauung im gesamten Gas- und Gemischsystem und Gemischsystem zulässig.
Relative Gasfeuchte im Gas bei zulässigem Temperatur- und Druckbereich	g/kg	< 20	Keine Wasserdampfkondensation im Druck- und Temperaturbereich. Keine Kondensation in Brenngas- und Brenngas-Luftgemisch-führenden Leitungen und Behältern zulässig.
Max. Gasfeuchte, absolut			
Gasfeuchte Kohlenwasserstoffe: Abstand zum Kondensationspunkt	K	> 20	Das dem Motor zugeführte Brenngas sowie das im Motor gebildete Brenngas-Luft-Gemisch muss mindestens eine Temperaturdifferenz von + 20 K zum Kondensationspunkt der Kohlenwasserstoffe des Brenngases aufweisen. Überwachende Anlagen zur Behandlung von potenziell anfallendem Kondensat sind vorzusehen. Gasfeuchteanteile in Form von Nebel oder Aerosole sollte durch entsprechende Vorwärmung grundsätzlich vermieden werden.
Langkettige Kohlenwasserstoffe (C ₆ bis C _n)	Vol-%	K.A.	Rücksprache mit Rolls-Royce Solutions erforderlich
Aromatische Kohlenwasserstoffebezogen auf Benzol	Vol-%	$< 0,015$	Rücksprache mit Rolls-Royce Solutions erforderlich
Öle / Öldämpfe (HC mit Kohlenstoffzahl > 8)	mg/m ³ i.N.	$< 0,4$	Keine Stoffe im Brenngas, die im Druck- Temperatur- und Konzentrationsbereich zur Bildung von Nebel oder Aerosolen und Kondensation oder Sublimation neigen.

* = Für Motoren mit Abgasnachbehandlung und / oder Abgaswärmenutzung können niedrigere Grenzwerte gelten. Bei Einsatz von Oxidationskatalysatoren, Analyse und Rücksprache mit Rolls-Royce Solutions erforderlich.

Bezeichnung	Einheit	Grenzwert	Bemerkung
HC- Lösungsmittel-dämpfe	mg/m ³ i.N.	0	Werksanfrage und Analyse notwendig
Organisch gebundenes Silicium	mg/m ³ i.N.	<1,0	
Anorganisches gebundenes Silicium	mg/m ³ i.N.	< 6	Bei Si > 5 mg/m ³ i.N. bezogen auf 100 % CH ₄ Brenngasgehalt sind Verschleißprodukte in der Ölanalyse zu beachten
Staub < 3 µm	mg/m ³ i.N.	Technisch frei	Staub < 3 µm ist durch eine technische Analyse zu bewerten, gegebenenfalls sind entsprechende Spezialfilter zu verwenden.
Staub 3 bis 10 µm	mg/m ³ i.N.	5	DVGW Arbeitsblatt Staub ist derartig zu entfernen, dass der Betrieb von Gasgeräten und gas-technischen Einrichtungen normgerechter oder üblicher Konstruktion störungsfrei gewährleistet ist.
Gesamtschwefel	mg/m ³ i.N.	30	
Mercaptanschwefel	mg/m ³ i.N.	6	
Schwefelwasserstoff H ₂ S	mg/m ³ i.N.	5	
Chlor	mg/m ³ i.N.	10*	Bei höheren Werten ist eine Werksanfrage und Analyse notwendig
Fluor	mg/m ³ i.N.	5*	Bei höheren Werten ist eine Werksanfrage und Analyse notwendig
Chlor + Fluor	mg/m ³ i.N.	10*	Bei höheren Werten ist eine Werksanfrage und Analyse notwendig
Ammoniak NH ₃	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 Rolls-Royce Solutions erforderlich.

Tabelle 56: Anforderungen und Randbedingungen für Erdölbegleit- / Schiefergas

Alle aufgeführten Grenzwerte von Schadstoffen (in ppm und mg/m³) sind auf einen Heizwert von 10 kWh/m³ 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 Erdgas mit einem Heizwert von 10 kWh/m³ i.N. verwendet. Damit entspricht der zulässige Wert für Gesamtschwefel im Gas exakt dem in der Tabelle angegebenen Grenzwert.
- Bei Verwendung eines Gases mit Hi, n = 8,15 kWh/m³ i.N. berechnet sich der zulässige Maximalwert für Gesamtschwefel folgendermaßen:
 Zulässiger Gesamtschwefelgehalt = 30 mg/m³ i.N. · bei Gas mit Hi, n = 10,0 kWh/m³ i.N.
 Zulässiger Gesamtschwefelgehalt bei Gas mit Hi, n = 8,15 kWh/m³ i.N.:
 30 mg/m³ i.N. · (8,15 kWh/m³ i.N. / 10,0 kWh/m³ i.N.) = 24,5 mg/m³ i.N.

6.4 Gasmotor BR4000 - Generatoraggregat in Oil&Gas

6.4.1 Allgemeines

Wichtig

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

6.4.2 Erdgas – Anforderungen an das Brenngas

Anforderungen an das Brenngas

Bezeichnung	Einheit	Grenzwert	Bemerkung
Gasart			Natural Gas
Methanzahl	MZ	≥ 64	Siehe technische Daten Bei niedrigerer Methanzahl, als im technischen Datenblatt angegeben, wird die Motorleistung reduziert.
Methanzahländerung	-/min.	5	Lineare stetige Änderung mit einer Häufigkeit von maximal 1/h
Heizwert $H_{i,n}$	kWh/m ³ i.N.	$8,0 < H_{i,n} < 11,0$	Für niedrigere und höhere Werte ist Werksanfrage notwendig.
Heizwertschwankung zum Einstellwert	%	± 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 ³ i.N.	0,71 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.
Einstellbereich des Gasfließdrucks pF am Eintritt Gasdosierventil des Motors	mbar _(rel)	$80 \leq pF \leq 200$	Der Gasfließdruck vor Gasdosiereinrichtung ist eine motor- und anlagenspezifische Größe. Der Gasfließdruck ist konstant. Der Einstellwert des Gasfließdrucks ist den technischen Daten für Motor und System zu entnehmen.
Gasdruckschwankungen zum Einstellwert	%	± 5	
Zulässige Änderungsgeschwindigkeit des Gasdrucks	mbar/min.	1	Stetige Änderung erforderlich
* = für Motoren mit Abgasnachbehandlung und / oder Abgaswärmenutzung können niedrigere Grenzwerte gelten. Bei Einsatz von Oxidationskatalysatoren, Analyse und Rücksprache mit Rolls-Royce Solutions erforderlich			

TIM-ID: 0000117556 - 002

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 Rolls-Royce Solutions 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/m ³ i.N.	$< 0,4$	Keine Kondensation in brenngas- und brenngasluftgemisch-führenden Leitungen, sowie Bildung von kondensierbaren Ölnebeln
Langkettige Kohlenwasserstoffe (C ₆ - C _n)	Vol-%	K.A.	Rücksprache mit Rolls-Royce Solutions erforderlich
HC-Lösungsmitteldämpfe	mg/m ³ i.N.	0	Werksanfrage und Analyse notwendig
Organisch gebundenes Silicium	mg/m ³ i.N.	$< 1,0$	
Anorganisches gebundenes Silicium	mg/m ³ i.N.	< 6	Bei Si > 5 mg/m ³ i.N. bezogen auf 100 % CH ₄ Brenngasgehalt sind Verschleißprodukte in der Ölanalyse zu beachten.

* = für Motoren mit Abgasnachbehandlung und / oder Abgaswärmenutzung können niedrigere Grenzwerte gelten. Bei Einsatz von Oxidationskatalysatoren, Analyse und Rücksprache mit Rolls-Royce Solutions erforderlich

Bezeichnung	Einheit	Grenzwert	Bemerkung
Staub 3 bis 10 µm	mg/m³ i.N.	5	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/m³ i.N.	Technisch frei	Staub < 3 µm ist durch eine technische Analyse zu bewerten, gegebenenfalls sind entsprechende Spezialfilter zu verwenden.
Gesamtschwefel	mg/m³ i.N.	30	
Mercaptanschwefel	mg/m³ i.N.	6	
Schwefelwasserstoff (H ₂ S)	mg/m³ i.N.	5	
Chlor (Cl)	mg/m³ i.N.	0	technisch frei Bei höheren Werten ist eine Werksanfrage und Analyse notwendig.
Fluor (F)	mg/m³ i.N.	0	technisch frei Bei höheren Werten ist eine Werksanfrage und Analyse notwendig.
Ammoniak (NH ₃)	mg/m³ i.N.	10*	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 Rolls-Royce Solutions erforderlich

Tabelle 57: Anforderungen und Randbedingungen für den Brennstoff Erdgas und die entsprechende Brennstoffversorgung

Alle aufgeführten Grenzwerte von Schadstoffen (in ppm und mg/m³) sind auf einen Heizwert von 10 kWh/m³ 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 Erdgas mit einem Heizwert von 10 kWh/m³ i.N. verwendet. Damit entspricht der zulässige Wert für Gesamtschwefel im Gas exakt dem in der Tabelle angegebenen Grenzwert.
- Bei Verwendung eines Gases mit Hi, n = 8,15 kWh/m³ i.N. berechnet sich der zulässige Maximalwert für Gesamtschwefel folgendermaßen:
Zulässiger Gesamtschwefelgehalt = 30 mg/m³ i.N. · (8,15 kWh/m³ i.N.: 10,0 kWh/m³ i.N.) = 24,5 mg/m³ i.N.

6.5 Gasmotor BR400 - Generatoraggregat

6.5.1 Erdgas – Kraftstoffwerte

Einzuhaltende Kraftstoffwerte

Folgende Kraftstoffwerte sind am Eintritt in die Gasregelstrecke (Lieferumfang Rolls-Royce Solutions) einzuhalten:

Bezeichnung	Einheit	Grenzwert
Mindestmethanzahl	Siehe technische Beschreibung	
Mindestheizwert		
Max. Änderungsgeschwindigkeit Heizwert	% je min	1
Max. 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
Max. Gastemperatur ohne Derating	°C	35
Max. Wasserdampfanteil	Vol.-%	0,5
Max. Staubpartikelanteil > 3 µm	mg/m ³ i.N	5
Max. ölige Bestandteile	mg/m ³ i.N	0,4

Tabelle 58: Einzuhaltende Kraftstoffwerte

Korrosive Bestandteile, mit Ausnahme eines max. Gesamtschwefelgehalts von 10 mg/m³i.N., kurzzeitig 20 mg/m³i.N., dürfen nicht enthalten sein. Es gelten diesbezüglich die Anforderungen der technischen Regel DVGW Blatt G 260 Ausgabe 9/2021.

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

6.5.2 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 Rolls-Royce Solutions 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 Rolls-Royce Solutions) einzuhalten:

Bezeichnung	Einheit	Grenzwert
Mindestmethanzahl	Siehe technische Beschreibung	
Mindestheizwert		
Max. Änderungsgeschwindigkeit Heizwert	% je min	1
Max. 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	± 5
Max. Änderungsgeschwindigkeit des Gasdrucks	mbar/s	1
Max. Gastemperatur (ohne Derating)	°C	35
Max. Sauerstoffgehalt	Vol.-%	2
Max. Wasserdampfanteil	Vol.-%	3,1
Max. Taupunkt Gasabkühlung	°C	25
Max. Staubpartikelanteil > 3 μm	$\text{mg}/\text{m}^3\text{i.N}$	5
Max. ölige Bestandteile	$\text{mg}/\text{m}^3\text{i.N}$	0,4

Tabelle 59: Einzuhaltende Kraftstoffwerte

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

6.5.3 Störende Verunreinigungen

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

Schadstoffkonzentrationen im Kraftstoff

Katalytische Abgasnachbehandlung Abgaswärmetauscher		Ohne 180 °C	Oxykat EMK / 120 °C / 180 °C	Oxykat EMK / Ohne	Oxykat SRK / 180 °C	Oxykat SRK / Ohne	SCR 120 °C / 180 °C
Summe aller Schwefelverbindungen (S)	mg/m ³ i.N.	1200	20	200	70	140	20
entspricht Schwefelwasserstoff (H ₂ S)	ppm	840	14	140	50	100	14
Summe aller Chlorverbindungen (Cl)	mg/m ³ i.N.	20	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Summe aller Fluorverbindungen (F)	mg/m ³ i.N.	10	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Summe aller Siliziumverbindungen (Si)	mg/m ³ i.N.	5	0	0	0	0	0
Ammoniak (NH ₃)	mg/m ³ i.N.	10	10	10	10	10	10
Schwermetalle (Pb, Hg, As, Sb, Cd)	µg/m ³ i.N.	auf Anfrage	10	10	10	10	10
EMK = Edelmetallkatalysator SCR = selektiver katalytischer Reduktions Katalysator SRK = schwefelresistenter Katalysator							

Tabelle 60: Maximal zulässige Verunreinigung im Kraftstoff Biogas normiert auf 10 kWh Energieeinheit

Alle aufgeführten Grenzwerte von Schadstoffen (in ppm und mg/m³) sind auf einen Heizwert von 10 kWh/m³ 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 Erdgas mit einem Heizwert von 10 kWh/m³ i.N. verwendet. Damit entspricht der zulässige Wert für Gesamtschwefel im Gas exakt dem in der Tabelle angegebenen Grenzwert.
- Bei Verwendung eines Gases mit Hi, n = 8,15 kWh/m³ i.N. berechnet sich der zulässige Maximalwert für Gesamtschwefel folgendermaßen:

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

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

Mit dem schwefelresistenten Spezial-Oxidationskatalysator von Rolls-Royce Solutions 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 Rolls-Royce Solutions 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.

Bei der SCR-Anwendung werden die Anforderungen der Katalysatorhersteller zum Einsatz der Zeolith berücksichtigt. Die Anforderungen bei der Technologie im gereinigten Biogas sind identisch mit den Edelmetalloxydationskatalysatoren.

Aktuell gibt es keine Anwendungen für gering belastetes Biogas. Die Anforderungen werden im Anwendungsfall durch den Oxykatalysator SRK oder ohne Katalysator abgedeckt. Das erforderliche Ölvolumen bzw. die Ölstandszeit wird ohnehin anlagenspezifisch festgelegt.

Die maximale zulässige NH_3 Konzentration sollte nicht überschritten werden. Wenn NH_3 im Brenngas überschritten wird, erhöht sich die NO_x Konzentration im Abgas. Das kann dann zu Problemen bei der Einhaltung der NO_x Grenzwerte führen.

Beispiel:

Mit einem Biogas Typ Nawaro mit $H_i = 5,0 \text{ kWh/m}^3 \text{ i.N.}$ soll ein SCR-Katalysator in Kombination mit einem 180°C -Abgaswärmetauscher eingesetzt werden. Es wurde eine Schwefelwasserstoffkonzentration (H_2S) im Biogas von 2,0 ppm ($S = 2,9 \text{ mg/m}^3 \text{ i.N.}$) gemessen. Es liegen keine weiteren Schwefelverbindungen vor.

Normierte Schwefelwasserstoffkonzentration

$$\text{H}_2\text{S} = 2,0 \text{ ppm} \times (10,0 \text{ kWh/m}^3 \text{ i.N.} / 5,0 \text{ kWh/m}^3 \text{ i.N.}) = 4,0 \text{ ppm}$$

Normierte Gesamtschwefelkonzentration

$$S = 2,9 \text{ ppm} \times (10,0 \text{ kWh/m}^3 \text{ i.N.} / 5,0 \text{ kWh/m}^3 \text{ i.N.}) = 5,8 \text{ ppm}$$

Die gemessenen und normierten Schwefelkonzentrationen liegen sicher unter den Grenzwerten (14 ppm H_2S und $20 \text{ mg/m}^3 \text{ i.N. S}$).

6.6 Gasmotor BR500 - Generatoraggregat

6.6.1 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 ³	Biogasbetrieb in Rücksprache mit Rolls-Royce Solutions
		< 483,1	BTU / ft ³	
		> 5	kWh / Nm ³	Biogasbetrieb
		> 483,1	BTU / ft ³	
		> 10	kWh / Nm ³	Erdgasbetrieb
		> 966,2	BTU / ft ³	

Tabelle 61: Unterteilung Brenngase

Die Einteilung anhand des Heizwertes gibt einen ersten Einblick, ob das Brenngas potentiell verwendet werden kann. Die nachfolgende (→ Tabelle 62) gibt einen Überblick, welche Hauptbestandteile in den jeweiligen Brenngasen enthalten sind, unabhängig von ihrem quantitativen Anteil.

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

Tabelle 62: Hauptbestandteile Brenngase

Gasbegleitstoffe, die weder in dieser Tabelle noch in Tabelle (→ Seite 124) benannt sind, erfordern die Rücksprache mit Rolls-Royce Solutions.

Für Biogas ist darauf zu achten, dass bei längeren Stillstandzeiten oder Gasspeicherung keine Gasentmischung stattgefunden hat.

6.6.2 Mindestanforderung an die Gaszusammensetzung

Die folgende Tabelle gibt Auskunft über die Mindestanforderungen an die Gasqualität. Ebenso sind die Gasbetriebsdaten einzuhalten (→ Seite 125).

Zusätzlich erfordern spezielle Komponenten, beispielsweise ein Katalysator, unter Umständen abweichende Grenzwerte (→ Seite 127).

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 Rolls-Royce Solutions eine Umrechnung der Gasanalysewerte in Abhängigkeit des Heizwertes, siehe (→ Seite 126).				
Parameter	Symbol	Grenzwert	Einheit	Bemerkungen
Methanzahl	MZ	siehe Technisches Datenblatt		Anforderung an Methanzahl je nach Motorkonfiguration. Genaue Angaben sind dem Technischen Datenblatt des Motors zu entnehmen.
Chlor	Cl	< 8	mg / kWh	Chlor liegt als flüchtige Verbindung vor.
		< 5.169 x10 ⁻⁹	lb / BTU	
Fluor	F	< 4	mg / kWh	Fluor liegt als flüchtige Verbindung vor.
		< 2.584 x10 ⁻⁹	lb / BTU	
Gesamt- Chlor-Fluor	Σ (Cl, F)	< 8	mg / kWh	
		< 5.169 x10 ⁻⁹	lb / BTU	
Staubgehalt < 5 µm		< 1	mg / kWh	
		< 0.646 x10 ⁻⁹	lb / BTU	
Öldampf		< 0,02	mg / kWh	Im Ansaugtrakt darf keine Kondensation auftreten.
		< 12.9 x10 ⁻¹²	lb / BTU	
Lösungsmittel in Verbrennungsluft	VOC	< 2,5	mg / kWh	
		< 1.62 x10 ⁻⁹	lb / BTU	
Gesamtsilizium	Σ Si	< 0,2	mg / kWh	Stark schwankend im Gas. Genauere Auskunft gibt die Ölanalyse.
		< 0.129 x10 ⁻⁹	lb / BTU	
Gesamtschwefel	Σ S	< 40	mg / kWh	Schwefelanteil aus Schwefelwasserstoff muss über die Molmassen bei Gesamtschwefel berücksichtigt werden.
		< 25.83 x10 ⁻⁹	lb / BTU	
Schwefelwasserstoff	H ₂ S	< 42,4	mg / kWh	
		< 27.38 x10 ⁻⁹	lb / BTU	
Ammoniak	NH ₃	< 3	mg / kWh	
		< 1.938 x10 ⁻⁹	lb / BTU	
Teer	C _x H _y R _z	< 6,5	mg / kWh	Nur bei Syngas Es darf in gasführenden Bauteilen nicht auskondensieren. Ggf. muss eine Gasnacherwärmung installiert werden.
		< 4.2 x10 ⁻⁹	lb / BTU	

Tabelle 63: Zulässige Grenzwerte Gaskomponenten

Abweichungen zu den Grenzwerten bzw. weitere hier nicht aufgeführte Bestandteile nur nach Rücksprache mit Rolls-Royce Solutions.

6.6.3 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 für Erdgasanwendung	20 – 70	mbar	Am Eintritt in die Gasregelstrecke
	0,29 – 1,015	psi	
Gasfließdruck bei Nennlast für Biogasanwendung	30 – 70	mbar	Am Eintritt in die Gasregelstrecke
	0,4351 – 1,015	psi	
Max. abgesicherter Gasdruck	500	mbar	
	7,25	psi	
Temperatur des Gasgemisches vor Gasmischer TG	10 – 30	°C	
	50 – 86	°F	
Relative Feuchte ϕ	< 60	%	Im Ansaugtrakt und der Gasregelstrecke darf keine Kondensation auftreten.

Tabelle 64: Allgemeine Randbedingungen Brenngas

6.6.4 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 Rolls-Royce Solutions eine Umrechnung der Gasanalysewerte in Abhängigkeit des Heizwertes auf eine Basis von kWh / Nm³ (BTU / ft³).

Im Folgenden ist eine Beispielberechnung gezeigt.

Gegeben:	Heizwert aus Gasanalyse	Hi,N	1,5 kWh / m ³
	Chlor aus Gasanalyse	Cl	10 mg / m ³
	Fluor aus Gasanalyse	F	5 mg / m ³
	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/m³_{norm}] = Gemessene Elementmenge [ppm] x Dichte_{norm} [kg/m³_{norm}]

6.6.5 Sondergrenzwerte

Abweichungen zu den angegebenen Grenzwerten bzw. weitere hier nicht aufgeführte Bestandteile nur nach Rücksprache mit Rolls-Royce Solutions.

Zulässige Grenzwerte Gaskomponenten bei Katalysatoreinsatz

Bei Einsatz eines Katalysators verschärfen sich die Grenzwerte wie folgt:

Parameter/Katalysatorgift	Symbol	Grenzwert	Einheit
Schwefelwasserstoff	H ₂ S	< 1,52	mg / kWh
		< 0.982 x10 ⁻⁹	lb / BTU
Schwefel	S	< 1	mg / kWh
		< 0.646 x10 ⁻⁹	lb / BTU
Ammoniak	NH ₃	< 6	mg / kWh
		< 3.877 x10 ⁻⁹	lb / BTU
Arsen	As	< 0,2	µg / kWh
		< 0.129 x10 ⁻¹²	lb / BTU
Quecksilber	Hg	< 0,2	µg / kWh
		< 0.129 x10 ⁻¹²	lb / BTU
Blei	Pb	< 0,4	µg / kWh
		< 0.258 x10 ⁻¹²	lb / BTU
Cadmium	Cd	< 2	µg / kWh
		1.292	lb / BTU
Zink	Zn	< 20	µg / kWh
		< 12.92 x10 ⁻¹²	lb / BTU
Phosphorverbindungen und Halogene	P, F, Cl, Br, I, At, Ts	< 1	µg / kWh
		< 0.646 x10 ⁻¹²	lb / BTU
Silicon		0	µg / kWh
		0	lb / BTU
Organisches Silizium - Siloxan	Si	< 30	µg / kWh
		< 1.938 x10 ⁻¹¹	lb / BTU
Natrium	Na	< 2	µg / kWh
		< 1.292 x10 ⁻¹²	lb / BTU
Kalzium	Ca	< 2	µg / kWh
		< 1.292 x10 ⁻¹²	lb / BTU
Wismut	Bi	< 0,2	µg / kWh
		< 0.129 x10 ⁻¹²	lb / BTU
Mangan	Mn	< 2	µg / kWh
		< 1.29 x10 ⁻¹²	lb / BTU
Kalium	K	< 2	µg / kWh
		< 1.29 x10 ⁻¹²	lb / BTU
Antimon	Sb	< 0,2	µg / kWh
		< 0.129 x10 ⁻¹²	lb / BTU

Parameter/Katalysatorgift	Symbol	Grenzwert	Einheit
Chlor	Cl	< 2	µg / kWh
		< 1.29 x10 ⁻¹²	lb / BTU
Eisen	Fe	< 2	µg / kWh
		< 1.29 x10 ⁻¹²	lb / BTU

Tabelle 65: 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 ₂	< 3	%	Es darf sich kein explosionsfähiges Gemisch einstellen
Sauerstoff min.	O ₂	> 0,5	%	Herstellervorgabe beachten

Tabelle 66: Zulässige Grenzwerte Gaskomponenten bei Aktivkohleeinsatz

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

6.6.6 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-/pH-Absenkung im Schmieröl
- Kohlenstoffablagerungen an: Ventilen, Kolbenringnuten und Schlitten

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.
- Für Biogas ist bei Dauerbetrieb mit 50%-Leistung oder bei Abgaskühlung unter 170 °C oder für flexiblen Regelenergiebetrieb eine kontinuierliche Überwachung der Gasqualität insbesondere bezüglich H₂S notwendig.

Der Messwert muss über die MMC Steuerung anhand eines 4-20 mA Signals dokumentiert werden. Das Signal kann aus einer kundenseitig vorhandenen Gasanalyse oder einem eigens installierten H₂S Sensortakten. Der Gaszustand vor der Maschine ist zu überwachen. Dies ist mit Auswahl eines geeigneten Messgerätes mit Festlegung der entsprechenden Messstellen durch den Betreiber sicherzustellen.

7 Abgasnachbehandlungssystem

7.1 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_x-Emissionen bei Magermotoren können SCR-Katalysatoren (Selective Catalytic Reduction) 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.

7.2 NO_x-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 67) zeigt die Qualitätsmerkmale und die dazugehörigen Prüfverfahren des Reduktionsmittels (Auszug aus der Norm ISO 222 41-1).

Wichtig

SCR-Systeme von Rolls-Royce Solutions sind in der Regel auf eine Konzentration von 32,5 % Harnstoff ausgelegt. Die Verwendung von NO_x-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 ³	3675 12185	1087,0 bis 1092,0
Brechzahl bei 20 °C		22241-2 Annex C	1,3817 bis 1,3840
Alkalität als NH ₃	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 P ₀₄	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 67: 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 68: Lagertemperatur von Reduktionsmittel

Wichtig
Bei -11 °C kristallisiert das Reduktionsmittel aus.

7.3 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 Kohlendioxyd und Wasserdampf auch Stickoxide NO_x. 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 m³ 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 Abgasgegendrucks 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.

8 Zuluft und Verbrennungsluft

8.1 Allgemeines

Wichtig

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

Die Zuluft (Ansaugluft) des Motors muss frei sein von:

- Halogenverbindungen (z. B. bei Betrieb in Schwimmbädern oder in der Nähe von Kältemaschinen)
- Schwefelverbindungen (z. B. in der Nähe von Batteriefertigungsanlagen)
- Dämpfen von aggressiven Reinigungsmitteln
- Siliziumverbindungen (z. B. aus der Kosmetikmittelherstellung)
- Aromatischen Verbindungen (z. B. aus Lackieranlagen)

Bereits geringe Spuren dieser Stoffe können folgende negative Auswirkungen haben:

- Korrosion im Motor und an peripheren Bauteilen, z. B. an Elektromotoren des Aggregats
- Vergiftung von Sensorik und Abgasnachbehandlungskomponenten
- Ablagerungen und Verschleiß im Motor
- Einfluss auf die Verbrennung (z. B. klopfende Verbrennung)
- Überschreiten reglementierter Emissionsgrenzwerte (Abgas)

Im Zweifelsfall muss Rückfrage bei Rolls-Royce Solutions erfolgen.

Der Ansaugluft dürfen keine Desorptionsluft bzw. Off-Gase aus thermochemischen Prozessen zugeführt werden, ohne vorherige Rückfrage bei Rolls-Royce Solutions.

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

Schadstoffgrenzwerte in der Verbrennungsluft

Die Differenz zwischen dem Brenngas-Schadstoffgrenzwert (→ Seite 95) (Kapitel 4.3) und der dem Motor tatsächlich zugeführten Brenngas-Schadstoffmenge darf maximal zu **einem Zwanzigstel** in der Verbrennungsluft enthalten sein.

Beispiel für **den Gasmotor BR4000 - Generatoranwendung und Generatoraggregat** anhand vom Grenzwert für Gesamtschwefel (Erdgasmotor):

- Es wird ein Brenngas mit einem Heizwert von 9,33 kWh/m³i.N. mit einem Schwefelanteil in Höhe von 4,0 mg/m³i.N. verwendet.
- Der zulässige Gesamtschwefelanteil im Brenngas beträgt 30 mg/m³i.N. bei einem Bezugsheizwert von 10,00 kWh/m³i.N., siehe Unterkapitel (→ Seite 95) 4.3.

Berechnung::

"Zulässiger Gesamtschwefelgehalt vom Brenngas =

$$\left(30,0 \text{ mg/m}^3\text{i.N.} \cdot \frac{9,33 \text{ kWh/m}^3\text{i.N.}}{10,00 \text{ kWh/m}^3\text{i.N.}} \right) = 28,0 \text{ mg/m}^3\text{i.N.}$$

"Zulässiger Gesamtschwefelgehalt der Verbrennungsluft =

$$\left(\frac{1}{20}\right) * (28,0 \text{ mg/m}^3\text{i.N.} - 4,0 \text{ mg/m}^3\text{i.N.}) = 1,2 \text{ mg/m}^3\text{i.N.}$$

Die Berechnung ist immer mit einer Genauigkeit von einer Nachkommstelle anzugeben.

Hinweis: Die Staubbelastung der Verbrennungsluft wird im Unterkapitel (→ Seite 137) 7.3 behandelt.

8.2 Luftfeuchtigkeit

Beim Betrieb von Gasmotoren besteht bei höherer Luftfeuchtigkeit die Gefahr von Kondensation im Gas-Luft-Gemisch. Diese Kondensation kann Schäden, z. B. Korrosion an Gemischführenden Teilen hervorrufen. Zur Beurteilung der zulässigen Luftfeuchtigkeit wird hierbei der Taupunkt [°C] der Ansaugluft herangezogen. Der maximal auftretende Taupunkt muss dabei immer auf eine Aufstellhöhe von 100 m (ca. 1000 mbar Luftdruck) umgerechnet werden.

Die für den Motor zulässige maximale Taupunkttemperatur der Ansaugluft ist dem technischen Datenblatt (TD) zu entnehmen.

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

8.3 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 vom Ansaugunterdruck (BR4000 Generatoranwendung, Generatoraggregat und Generatoraggregat in Oil&Gas), bzw. über mechanische Anzeige (BR4000 Marineanwendung) erfasst wird. Liegt eine verkürzte Standzeit der Verbrennungsluftfilter vor, 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 ePM₁ 50% (früher DIN EN 779 F7).

Bei Notwendigkeit einer Zuluft Filtration für den Aufstellraum empfehlen wir bei allgemeiner Staubbelastung Taschenfilter gemäß ISO 16890 ePM₁₀ 50% (früher DIN EN 779 M5), bei der alle Partikel der Partikelklasse PM₁₀ 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.

Angaben zur Partikelemission im Abgas beziehen sich auf Partikel, die durch innermotorische Prozesse entstehen. Evtl. aus der Ansaugluft durch den Motor nur durchgeleitete Partikel können zu einer Erhöhung der auf dem Emissionsdatenblatt angegebenen Partikelwerte führen.

Wichtig

Gilt nur für Generatoraggregate in Oil&Gas.

Wenn die Abgrenzung vom Aufstellraum nach außen hin nicht luftdicht sichergestellt werden kann, ist die Lüftungsanlage so auszulegen, dass im Innenraum ein Überdruck herrscht, um das Eindringen von ungefilterter Fehlluft zu verhindern. Ebenso ist aus diesem Grund während des Betriebs darauf zu achten, dass die Zugänge zum Aufstellraum und die Schaltschranktüren stets geschlossen bleiben.

8.4 Heizwasser

8.4.1 Allgemeines

Wichtig

Die Vorgaben von Rolls-Royce Solutions 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.

Die Wasserbeschaffenheit ist beim Nachfüllen von größeren Mengen Ergänzungswasser, jedoch mindestens 1 x jährlich, mittels einer Wasseranalyse zu kontrollieren. Zur Wasserqualität siehe (→ Seite 40).

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

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.
- $\text{pH} = 7$ neutral, < 7 sauer, > 7 alkalisch.

Wichtig

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

8.4.2 Informationen zu Heizwasser für BR4000 und BR400

Wichtig

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

Wichtig

Die Basisakalisierung 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 69: Anforderungen an das Heizwasser bis 100 °C

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

- Gegen Steinbildung: Wasseraufbereitung (Enthärtung, Vollentsalzung, Umkehrosmose) 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)		

Tabelle 70: 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)

8.4.3 Informationen zu Heizwasser für BR500

8.4.3.1 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 142).

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 ₂	mg/l	< 0,05
Gesamthärte *	°dH	< 0,3 (=0,05 mmol/l)
Chloride	mg/l	< 10
Phosphat (PO ₄)	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		

Tabelle 71: Grenzwerte für Heizwasserkreislauf

8.4.3.2 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 $< 100 \mu\text{S/cm}$. Die Grenzwerte für Heizwasserkreislauf sollten unterschritten werden (→ Seite 141).

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 Rolls-Royce Solutions:

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

Für Schäden, die aufgrund abweichender Betriebsstoffqualität entstehen, übernimmt Rolls-Royce Solutions keine Gewährleistung.

Ort, Datum

Rechtsverbindliche Unterschrift (Auftraggeber)

10 Änderungsübersicht

10.1 Änderungsübersicht zur Vorgängerversion

Technischen Änderungen von Version A001072/07 zu Version A001072/08

Änderungen

Kapitel 1 Vorwort

- Kapitel wurde aktualisiert.

Kapitel 2 Schmierstoffe überarbeitet

- Folgende Kapitel wurden aktualisiert.
 - 2.1.2 Motorölgrenzwerte für BR4000, BR400
 - 2.1.3 Motorölgrenzwerte für BR500
 - 2.2.1 Freigegebene Motoröle (BR4000)
 - 2.2.2 Schmierfette für Generatoren
 - 2.3.1 Freigegebene Motoröle (BR400)

Kapitel 3 Kühlmittel überarbeitet

- Folgende Kapitel wurden aktualisiert.
 - 3.1.1 Definition Kühlmittel
 - 3.1.2 Betriebsüberwachung / Kühlmittelaufbereitung für BR4000 und BR400
 - 3.1.3 Lagerstabilität der Kühlmittelkonzentrate
 - 3.1.5 Vermeidung von Schäden im Kühlsystem
 - 3.1.7 Frischwasseranforderungen für BR4000 und BR400 zusammengeführt
 - 3.2.2 Kühlmittel ohne Frostschutz – Konzentrate für leichtmetallfreie Kühlsysteme (Marineanwendung BR4000)
 - 3.2.4 Frostschutzmittel – Konzentrate für leichtmetallfreie Kühlsysteme (Marineanwendung BR4000)
 - 3.2.6 Frostschutzmittel – Fertigmischungen für leichtmetallfreie Kühlsysteme (Marineanwendung BR4000)
 - 3.3.2 Kühlmittel ohne Frostschutz – Konzentrate für leichtmetallhaltige Kühlsysteme (Generatoranwendung BR4000)
 - 3.3.4 Frostschutzmittel – Konzentrate für leichtmetallhaltige Kühlsysteme (Generatoranwendung)
 - 3.3.6 Frostschutzmittel – Fertigmischungen für leichtmetallhaltige Kühlsysteme (Generatoranwendung BR4000)
 - 3.4.1 Freigegebene Kühlmittel (Generatoraggregat BR400)
 - 3.5.1 Kühlmittel – Allgemeines (Generatoraggregat BR500)
 - 3.5.3 Freigegebene Kühlmittel (Generatoraggregat BR500)

Kapitel 4 Spül- und Reinigungsvorschrift für Motorkühlmittelkreisläufe überarbeitet

- Folgende Kapitel wurden aktualisiert.
 - 4.1.1 Allgemeines (Spül- und Reinigungsvorschrift für BR400 und BR4000)
 - 4.1.3 Motorkühlmittelkreisläufe spülen.
 - 4.1.4 Motorkühlmittelkreisläufe reinigen.

Kapitel 6 Kraft-/Brennstoffe überarbeitet

- Folgende Kapitel wurden aktualisiert.
 - 6.1.1 Verwendung von Kraft-/Brennstoffen
 - 6.1.2 Hauptbestandteile von Erdgas und Brenngasen biogenen Ursprungs
 - 6.1.3 Erdgas/Wasserstoff-Mischungen
 - 6.1.4 Liquid Natural Gas (LNG)
 - 6.1.6 Klopffestigkeit von Gaskompensationen
 - 6.2.2 Anforderungen an das Brenngas für Marineanwendungen
 - 6.3.1 Allgemeines (Gasmotor BR4000 - Generatoranwendungen und Generatoraggregat)
 - 6.3.2 Erdgas - Anforderungen an das Brenngas
 - 6.3.3 Biogas - Anforderungen an das Brenngas
 - 6.3.4 Motorbetrieb mit gasförmigem Propangas
 - 6.3.5 Motorbetrieb mit Erdölbegleitgas
 - 6.4.2 Erdgas - Anforderungen an das Brenngas (Gasmotor BR4000 - Generatoraggregat in Oil&Gas)
 - 6.5.3 Störende Verunreinigungen

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 ³ i.N.	BTU/ft ³	1 BTU/ft ³ = 0,010349707 kWh/m ³
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 ³ i.N.	ft ³ i.N.	ft ³ = 0,02831685 m ³ i.N.
bar	psi	1 psi = 0,06894757 bar
kg	lb	1 lb = 0,4535924 kg

Tabelle 72: 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

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

Weltweit:

- Tel.: +49 7541 9077777
- Fax: +49 7541 9077778
- E-Mail: spareparts-oeg@ps.rolls-royce.com

12 Anhang B

12.1 Index

A

- Abgaskondensat 133
- Abgasnachbehandlungssystem
 - Abgaskondensat 133
 - Allgemeines 130
 - NOx-Reduktionsmittel 131
- Abkürzungsverzeichnis 146
- Aktualität der Druckschrift 5
- Anforderung
 - Kühlmittelkreislauf 42
- Anforderungen
 - Heizwasser für BR4000 und BR400 139
 - Heizwasser für BR500 141
- Ansprechpartner 148

Ä

- Änderungsübersicht
 - Änderungsübersicht 144

B

- Bestätigung
 - Betreiber 143
- Betreiber
 - Bestätigung 143
- Betriebsüberwachung
 - Kühlmittel 35, 67
- Biogas
 - Anforderungen
 - BR400 120
 - BR4000 99
 - Hauptbestandteile 82
- Brenngas
 - Gasanalyse bei BR500 126
 - Generatoranwendung und Generatoraggregat
 - BR400 119, 120
 - BR4000 95, 99, 103, 109, 116
 - BR500 124
 - Hauptbestandteile, Unterteilung für BR500 123
 - Kondensat 129
 - Marineanwendung 89
 - Randbedingungen 125
 - Siliziumgehalt 11
 - Siliziumverbindungen 86
- Brennstoff
 - Verwendung 81

Brennstoffe 87, 88, 94, 115

- Biogas
 - BR400 120
 - BR4000 99
- Erdgas
 - BR400 119
 - BR4000 95, 116
 - BR500 124
 - Marineanwendung 89
- Erölbegleitgas
 - BR4000 109
- Propangas
 - BR4000 103

E

- Erdgas
 - Anforderungen
 - BR400 119
 - BR4000 95, 103, 109, 116
 - BR500 124
 - Marineanwendung 89
 - Hauptbestandteile 82
- Erdgas/Wasserstoff-Mischungen 84
- Ersatzteilservice 148

F

- Farbzusatz
 - Kühlmittelkreislauf 40
 - Schmierölkreislauf 12
- Freigegebene Betriebsstoffe
 - Motoröle für BR400 20
 - Motoröle für BR4000 15
 - Motoröle für BR500 27
- Frischwasser
 - Grenzwerte
 - BR4000 43
 - BR500 44
- Frostschutzmittel
 - BR400 65
 - BR500 68
 - für leichtmetallfreie Kühlsysteme
 - Fertigmischungen 52
 - Konzentrate 48
 - für leichtmetallhaltige Kühlsysteme
 - Fertigmischungen 62
 - Konzentrate 58

G

Gas

- Hauptbestandteile, Unterteilung für BR500 123

Gasanalyse

- Umrechnung bei BR500 126

Gasbetriebsdaten 125

Gasgemisch

- Grenzwerte 134

Gebrauchtölanalyse 8

Gebrauchtölanalyse BR500 10

Getriebeöl 19

Grenzwerte BR500

- gebrauchte Gasmotoröle 10

H

Heizwasser

- Allgemeines 138
- Wasserqualität 142

Heizwasser für BR4000 und BR400

- Anforderungen 139

Heizwasser für BR500

- Anforderungen 141

Hinweise zur Benutzung 5

Hotline 148

K

Konservierung

- Motor 5

Kraftstoff

- Kondensat 129
- Siliziumgehalt 11
- Verunreinigungen 127
- Verwendung 81

Kraftstoffe 87, 88, 94, 115

- Biogas
 - BR400 120
 - BR4000 99
- BR400
 - Verunreinigungen 121
- Erdgas
 - BR400 119
 - BR4000 95, 116
 - BR500 123, 124
 - Marineanwendung 89
- Erdölbegleitgas
 - BR4000 109
- Propangas
 - BR4000 103

Kühlmittel

- Prüfkoffer 77
- Aufbereitung
 - BR4000 43
 - BR500 44
- Betriebsüberwachung 35
- BR400 65
- BR4000
 - Frostschutzmittel für leichtmetallfreie Kühlsysteme 48, 52
 - Frostschutzmittel für leichtmetallhaltige Kühlsysteme 58, 62
- BR500 68
- Definition 31
- Erneuerung 67
- Frischwasseranforderung
 - BR4000 43
 - BR500 44
- Frostschutzmittel
 - Konzentrate für besondere Anwendungen 51, 61
- Generatoraggregat
 - BR400 65
 - BR4000 45, 55
 - BR500 66, 68
- Generatoranwendung 45, 55
- Grenzwerte 35, 67
- Kontrolle 67
- Kühlmittel ohne Frostschutz
 - Fertigmischungen für leichtmetallfreie Kühlsysteme 47
 - Fertigmischungen für leichtmetallhaltige Kühlsysteme 57
 - Konzentrate für leichtmetallfreie Kühlsysteme 46
 - Konzentrate für leichtmetallhaltige Kühlsysteme 56
- Lagerstabilität 39
- Zulässige Konzentrationen 35

Kühlmittelkreislauf

- Baugruppen reinigen 75
- Leckage 40
- reinigen 73
- Reinigungsmittel 70
- spülen 71
- Verunreinigung 69
- Werkstoffe 42

Kühlmittelkreislauf BR500

- reinigen 79
- Reinigungsmittel BR500 78
- Verunreinigung 77

Kühlsystem

- Vermeidung von Schäden 41

L

Lagerung

- Kühlmittel 39

Leckage

- Kühlmittelkreislauf 40
- Schmierölkreislauf 12

Liquid Natural Gas (LNG) 85

Luftfeuchtigkeit 136

M

Medium im Hüllraum der Gasleitung in der Marineanwendung

- Brennstoffe für Gasmotoren 92

Motor

- Konservierung 5

Motorkühlmittelkreislauf

- Baugruppen reinigen 75
- reinigen 73
- Reinigungsmittel 70
- spülen 71
- Verunreinigung 69

Motorkühlmittelkreislauf BR500

- reinigen 79
- Reinigungsmittel BR500 78
- Verunreinigung 77

Motoröl 7

- BR400 20
- BR4000 15
- BR500 27
- Lagerung und Entsorgung 29

Motorölgrenzwerte

- BR4000, BR400
 - gebrauchte Gasmotoröle 8
- BR500 10

Motorölwechselintervalle

- Generatoraggregat BR400 24
- Generatoraggregat BR500 28
- Ölabspritzung 24
- Ölanalyse
 - Auswertung 28

Motorölwechselintervalle BR4000, BR400

- Grenzwerte 8

N

NOx-Reduktionsmittel

- Allgemeines 131

Ö

Ölabspritzung 24

Ölproben 28

Ölvolumenerweiterung 29

Ölwirtschaft 29

P

Prüfkoffer

- Kühlmittel 77

R

Reinigung

- Allgemeines 80

Reinigungsmittel 70

- Systemreiniger 76

Reinigungsmittel BR500 78

Reinigungsvorschrift

- Baugruppen 75
- Motorkühlmittelkreislauf 69, 73
- Systemreiniger 76

Reinigungsvorschrift BR500

- Motorkühlmittelkreislauf BR500 77
- Motorkühlmittelkreislauf BR5000 79

S

Schmierfett

- Allgemeine Anwendung 13, 14
- Anforderung 13
- für Generatoren 18, 26, 30
- Generatoraggregat BR400 26
- Generatoraggregat BR4000 18
- Generatoraggregat BR500 30

Schmieröl

- BR4000 15

Schmierölkreislauf

- Leckage 12

Schmierstoff

- Anforderung 13
- Sonderanwendung 13

Schwachgasbetrieb 28

Service-Partner 148

Siliziumbetriebsgrenzwert 11

Siliziumbetriebswert 11

Siliziumgehalt

- Brenngas 11
- Kraftstoff 11

Siliziumverbindungen

- Brenngas 86
- Sondergrenzwerte 127

Spülvorschrift

- Baugruppen 75
- Kühlmittelkreisläufe mit Bakterien-, Hefen-, Pilzbefall 76

- Motorkühlmittelkreislauf 69, 71

Spülvorschrift BR500

- Motorkühlmittelkreislauf BR500 77

Staubbelastung 137

U

Umölvorgang 29

V

Verbrennungsluft [134](#)

Verunreinigungen

- Kraftstoff [127](#)

- Kraftstoffe

- BR400 [121](#)

W

Werkstoffe

- Kühlmittelkreislauf [42](#)

Z

Zuluft [134](#)