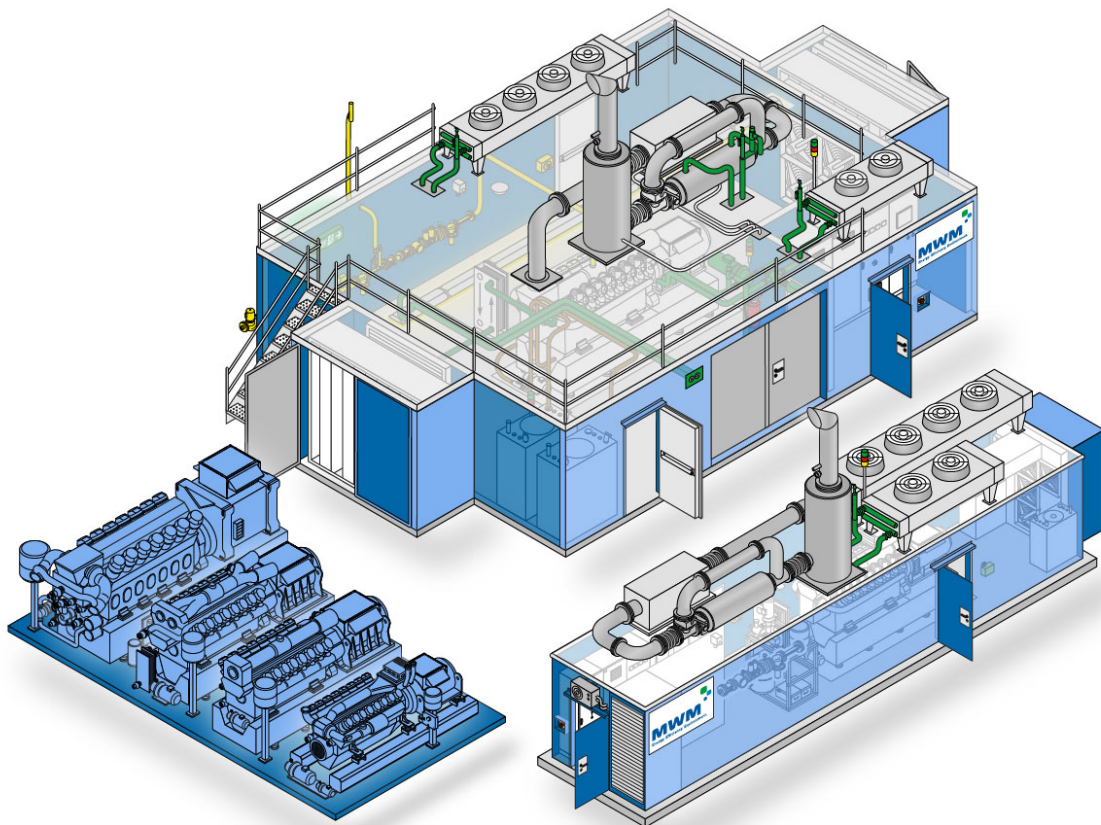


# Aufbau von Energieanlagen

**Einbaurichtlinie**  
**Planung von Energieversorgungsanlagen mit Gasmotoren**  
**gültig für: 3020; 3016; 2032; 2020; 2016**  
**2025-12, Sprache DE**  
**Customer Level (CL)**



Die Originalsprache dieses Dokuments ist Deutsch.  
Alle Übersetzungen basieren auf dem deutschen Original.

Gegenüber Darstellungen und Angaben des Dokuments sind technische Änderungen, die zur Verbesserung der Produkte notwendig werden, vorbehalten. Nachdruck und Vervielfältigung jeglicher Art, auch auszugsweise, bedarf der schriftlichen Genehmigung durch den Hersteller.

Das Dokument enthält Informationen, die für die Wartungsarbeiten und die Instandsetzungsarbeiten des Produkts notwendig sind. Bei der Durchführung der im Wartungsplan aufgeführten Arbeiten dürfen nur Originalteile oder vom Hersteller frei gegebene Teile und Betriebsstoffe verwendet werden.

#### **Impressum**

**Caterpillar Energy Solutions GmbH**  
**Carl-Benz-Str. 1**  
**68167 Mannheim**  
**Deutschland**

**+49 621 384 0**  
**+49 621 384 8800**  
**[www.caterpillar-energy-solutions.de](http://www.caterpillar-energy-solutions.de)**  
**Alle Rechte vorbehalten**

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Informationen .....</b>	<b>7</b>
1.1	Vorwort .....	8
1.2	Rückmeldung zur Dokumentation.....	9
<b>2</b>	<b>Sicherheit .....</b>	<b>11</b>
2.1	Allgemein .....	12
2.2	Verantwortlichkeiten .....	12
2.3	Mögliche Gefährdungen an Energieversorgungsanlagen .....	12
2.4	Allgemeines Sicherheitskonzept.....	22
2.5	Ausgewählte Sicherheitskonzepte zur Gefahrenabwehr bei CES-Anlagen .....	24
<b>3</b>	<b>Technische Unterstützung und Dienstleistungen .....</b>	<b>41</b>
3.1	Allgemein .....	42
3.2	Anlagenplanung.....	42
3.3	Serviceleistungen .....	43
3.4	Schulungen.....	44
3.5	Dokumentation.....	44
3.6	Service Library.....	44
<b>4</b>	<b>Planungsgrundlagen für Energieversorgungsanlagen.....</b>	<b>47</b>
4.1	Aufbau und Funktion.....	48
4.2	Bedarfsermittlung.....	52
4.3	Übersicht zu Bedienmodus, Betriebsarten und Führungsgröße.....	52
4.4	Mindestlasten.....	57
4.5	Bereitstellung von Regelenergie.....	58
4.6	Fast Ramp-Up .....	59
4.7	Ersatzstrombetrieb.....	60
4.8	Lastschaltfähigkeit (Inselbetrieb) .....	61
4.9	Start von großen Verbrauchern (Inselbetrieb) .....	71
4.10	Schwarzstartfähigkeit (Inselbetrieb).....	71

4.11	Abgasemissionen (Inselbetrieb) .....	72
4.12	Wirklastverteilung (Inselparallelbetrieb).....	72
4.13	Weitere Betriebsarten .....	73
<b>5</b>	<b>Kraftwerkausführungen .....</b>	<b>75</b>
5.1	Kraftwerk mit einem Aggregat .....	76
5.2	Kraftwerk mit mehreren Aggregaten.....	78
5.3	Container-Kraftwerk.....	79
<b>6</b>	<b>Gasmotoraggregat.....</b>	<b>87</b>
6.1	Aggregateübersicht.....	88
6.2	Aufbau und Funktion.....	90
6.3	Transport des Aggregats .....	108
6.4	Montage des Aggregats.....	113
6.5	Hinweise zur Inbetriebnahme .....	116
<b>7</b>	<b>Maschinenraumbelüftung .....</b>	<b>117</b>
7.1	Systemübersicht .....	118
7.2	Aufbau und Funktion.....	119
7.3	Anforderungen und Richtwerte .....	124
7.4	Hinweise zu Planung und Betrieb einer Belüftungsanlage .....	128
7.5	Komponenten des Lüftungssystems.....	129
<b>8</b>	<b>Motorkühlsysteme .....</b>	<b>133</b>
8.1	Systemübersicht .....	135
8.2	Aufbau und Funktion.....	136
8.3	Hinweise zu Planung, Ausführung und Betrieb .....	140
8.4	Anforderungen und Richtwerte .....	145
8.5	Komponenten des Kühlwassersystems.....	148
8.6	Qualität der Kühlflüssigkeit .....	166
8.7	Entlüftung der Kühlsysteme.....	167

<b>9</b>	<b>Brenngassystem .....</b>	<b>169</b>
9.1	Systemübersicht .....	171
9.2	Aufbau und Funktion.....	171
9.3	Brenngase .....	172
9.4	Anforderungen und Richtwerte .....	174
9.5	Komponenten Brenngassystem.....	176
9.6	Hinweise zum Brenngassystem.....	189
<b>10</b>	<b>Schmierölsystem .....</b>	<b>191</b>
10.1	Systemübersicht .....	192
10.2	Aufbau und Funktion.....	192
10.3	Anforderungen und Richtwerte .....	194
10.4	Komponenten Schmierölsystem .....	195
10.5	Schmieröl.....	196
<b>11</b>	<b>Verbrennungsluftsystem .....</b>	<b>199</b>
11.1	Systemübersicht .....	200
11.2	Aufbau und Funktion.....	200
11.3	Anforderungen und Richtwerte .....	201
11.4	Komponenten des Verbrennungsluftsystems.....	205
11.5	Druckverluste.....	206
<b>12</b>	<b>Abgassystem .....</b>	<b>207</b>
12.1	Systemübersicht .....	208
12.2	Aufbau und Funktion.....	209
12.3	Allgemeine Planungshinweise .....	209
12.4	Komponenten und Bauteile .....	231
<b>13</b>	<b>Druckluftsystem.....</b>	<b>245</b>
13.1	Systemübersicht .....	246
13.2	Aufbau und Funktion.....	246
13.3	Anforderungen und Richtwerte .....	248

13.4	Komponenten des Druckluftsystems .....	248
13.5	Sicherheitshinweise .....	249
<b>14</b>	<b>Steuerungssysteme und Schaltanlage .....</b>	<b>251</b>
14.1	Systemübersicht .....	252
14.2	Aufbau und Funktion TEM-System .....	255
14.3	Aufbau und Funktion TPEM-System .....	262
14.4	Schaltschränke und Module .....	270
14.5	Hinweise für die Planung und Ausführung .....	273
<b>15</b>	<b>Stromnetze und Aggregateanschluss .....</b>	<b>275</b>
15.1	Netzparallelbetrieb .....	276
15.2	Inselbetrieb und Inselparallelbetrieb .....	283
<b>16</b>	<b>Gebäude und Installationen .....</b>	<b>295</b>
16.1	Übersicht Gebäude und Installationen .....	297
16.2	Anforderungen für die Aufstellung des Aggregats .....	298
16.3	Gummikompensatoren .....	318
16.4	Abgaskompensatoren .....	330
16.5	Schlauchleitungen .....	341
16.6	Gaskompensatoren und Gasschläuche .....	347
16.7	Rohrleitungen .....	347
16.8	Messeinrichtungen, Überwachungseinrichtungen und Begrenzungseinrichtungen .....	352
16.9	Verkabelung .....	355

# 1 Informationen

## Inhaltsverzeichnis

1.1	Vorwort.....	8
1.2	Rückmeldung zur Dokumentation .....	9

## 1.1 Vorwort

Diese Richtlinie betrifft Gasmotoren und Stromerzeugungsaggregate (mit oder ohne Wärmenutzung) sowie die dazugehörigen Hilfssysteme und Schaltanlagen des Herstellers Caterpillar Energy Solutions GmbH (kurz CES). Zielgruppen der Richtlinie sind Planer, Hersteller, Betreiber und Vertragspartner von CES.

Die Vorgaben der Richtlinie dienen als technische Grundlage für die Planung, den Betrieb und die Instandhaltung von sicheren, funktionstüchtigen und effizienten Energieversorgungsanlagen mit integrierten CES-Produkten. Die genannten Vorgaben müssen deshalb die genannten Zielgruppen beachten und umsetzen. Projektbezogene Abweichungen sind nach Zustimmung durch CES möglich.

Diese Richtlinie ist keine Betriebsanleitung! Die Umsetzung der Inhalte ist aber grundlegend für den bestimmungsgemäßen Einsatz des Produkts und kann vor Gefahren schützen, die der Gebrauch des Produkts oder der Energieversorgungsanlage verursachen kann.

Durch die Vielfalt von Einbaumöglichkeiten ist es für die Planung nur möglich, allgemein gültige Informationen und Hinweise festzulegen. Weitere produkt- und anwendungsbezogene Vorschriften in der Technischen Dokumentation ergänzen diese Richtlinie und sind einzuhalten. Wir empfehlen deshalb, die Planungsphase mit CES oder einen autorisierten Vertriebspartner durchzuführen.

Nur Fachpersonal mit den erforderlichen Qualifikationen und Kenntnissen auf dem Gebiet von Energieversorgungsanlagen darf den Einsatz von CES-Produkten planen. Um das Produkt sicher und sachgemäß zu montieren, in Betrieb zu nehmen und instand zu halten, ist ebenfalls entsprechendes Fachpersonal erforderlich. Der Betrieb des Produkts erfolgt durch Personal mit den von CES vorgegebenen Mindestanforderungen. Bei der Planung sind deshalb Verfügbarkeit bzw. Qualifizierung von Personal zu berücksichtigen.

Aufgeführten Normen, Richtlinien und Vorschriften haben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. In jedem einzelnen Einsatzfall sind deshalb die örtlichen Vorgaben zu prüfen und zu berücksichtigen.

CES haftet nicht für Personen-, Umwelt- und Sachschäden bzw. Ansprüche, die aus der Nichteinhaltung der Informationen, Hinweise und Vorgaben dieser Richtlinie resultieren. Dies betrifft ebenfalls Garantie- sowie Gewährleistungsansprüche.



## 1.2 Rückmeldung zur Dokumentation

### Haben Sie Lob, Kritik, Verbesserungsvorschläge zu diesem Dokument?

Schreiben Sie eine E-Mail an [technicalwriting@cat.com](mailto:technicalwriting@cat.com).

Beschreiben Sie Ihr Anliegen möglichst präzise. Damit wir Ihre Rückmeldung zuordnen können, geben Sie außerdem bitte folgende Informationen an:



9007199541385227: Beispieldokument (links eine HTML-Seite in der Service Library, rechts eine PDF-Seite)

- Dokumentnummer und Sprache (1)
- Seitentitel oder Seitenzahl (2)
- Kontaktdaten (Name, E-Mail) für eventuelle Rückfragen

Danke für Ihre Mühe. Wir prüfen jede Rückmeldung sorgfältig.

Wir freuen uns, von Ihnen zu hören!



## 2 Sicherheit

### Inhaltsverzeichnis

2.1	Allgemein .....	12
2.2	Verantwortlichkeiten .....	12
2.2.1	Hersteller .....	12
2.2.2	Betreiber und beauftragte Arbeitgeber .....	12
2.3	Mögliche Gefährdungen an Energieversorgungsanlagen .....	12
2.3.1	Mechanische Gefährdungen .....	12
2.3.2	Elektrische Gefährdungen .....	15
2.3.3	Thermische Gefährdungen .....	17
2.3.4	Gefährdung durch Lärm .....	18
2.3.5	Gefährdungen durch Strahlung .....	18
2.3.6	Gefährdung durch Materialien und Substanzen .....	19
2.3.7	Ergonomische Gefährdungen .....	20
2.3.8	Gefährdungen im Zusammenhang mit der Einsatzumgebung der Maschine...	21
2.3.9	Kombination von Gefährdungen .....	21
2.4	Allgemeines Sicherheitskonzept .....	22
2.4.1	Systemübersicht zum Sicherheitskonzept .....	22
2.4.2	Umfang .....	23
2.4.3	Sicherheitsmatrix .....	24
2.5	Ausgewählte Sicherheitskonzepte zur Gefahrenabwehr bei CES-Anlagen .....	24
2.5.1	Brandschutzkonzept .....	24
2.5.2	Explosionsschutzkonzept .....	26
2.5.3	Blitzschutzkonzept .....	28
2.5.4	Konzept Schutzerdung, Schutzleiter und Schutzpotentialausgleich .....	30
2.5.5	Konzept zur Spannungsversorgung bei Ausfall der Hauptenergieversorgung .	33
2.5.6	Konzept zum Schutz vor Wasser- und Bodengefährdung .....	34
2.5.7	Konzept zum Schutz vor Cyber-Gefahren .....	35

## 2.1 Allgemein

Die im Folgenden genannten und beschriebenen Sicherheitsaspekte spielen bei Energieversorgungsanlagen mit Gasmotoren eine besondere Rolle. Es besteht jedoch kein Anspruch auf Vollständigkeit dieser Betrachtung, da jede Anlage in Bezug auf Aufbau, Standort, Betriebsweise und technischen Zustand unterschiedlich ist und auch unterschiedliche regionale Vorschriften Gültigkeit haben. Weiterhin haben alle Sicherheitshinweise der Betriebsanleitung und anderer Herstellerinformationen Gültigkeit und sind zu beachten.

## 2.2 Verantwortlichkeiten

### 2.2.1 Hersteller

Der Hersteller der Anlage trägt Verantwortung für die Sicherheit des Produkts im Rahmen dessen bestimmungsgemäßer Verwendung.

Der Hersteller der Anlage hat im Rahmen der Risikobeurteilung das Risiko aller vorhersehbaren Gefahren durch geeignete Maßnahmen im Rahmen der Produktgestaltung hinreichend zu mindern, sodass eine ausreichende Sicherheit für auf der Anlage tätige Personen, Personen im Einflussgebiet der Anlage und die Umwelt gewährleistet ist.

### 2.2.2 Betreiber und beauftragte Arbeitgeber

Der Betreiber der Anlagen hat alle notwendigen Entscheidungen im Hinblick auf den sicheren Betrieb der Anlage zu treffen. Dabei hat er die Vorgaben des Herstellers in vollem Umfang zu berücksichtigen.

Die Arbeitgeber der auf der Anlage tätigen Personen haben den Prozess der Gefährdungsbeurteilung durchzuführen. Dabei werden auf den Anlagenbetrieb abgestimmte Maßnahmen definiert und umgesetzt. Ziel ist es eine ausreichende Sicherheit für die auf der Anlage tätigen Personen, für Personen im Einflussgebiet der Anlage und für die Umwelt zu gewährleisten.

## 2.3 Mögliche Gefährdungen an Energieversorgungsanlagen

### 2.3.1 Mechanische Gefährdungen

Gefährdung	Gefahrenbeschreibungen	Maßnahmen zur Risikominderung bzw. Gefahrenabwehr (Beispiele)
Stoßgefahr	An abstehenden oder tiefhängenden Bauteilen der Anlage besteht Stoßgefahr. Dies können z. B. tiefhängende Gasdruckregler oder Messstutzen an	<ul style="list-style-type: none"><li>Erforderliche Durchgangshöhe und Durchgangsbreite sollen grundsätzlich eingehalten werden. Insbeson-</li></ul>

Gefährdung	Gefahrenbeschreibungen	Maßnahmen zur Risikominderung bzw. Gefahrenabwehr (Beispiele)
	Rohrleitungen sein. Es kann zu schweren Verletzungen und/oder Verhinderung der Flucht im Notfall kommen	<p>dere in Durchgangswege stehende Bauteile, Messstutzen, etc. sollen vermieden werden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kennzeichnung und Anprallschutz an gefährlichen Stellen, kann Verletzungen verhindern <ul style="list-style-type: none"> <li>– Im Rahmen der persönlichen Schutzausrüstung können Anstoßkappen Verletzungen verhindern</li> </ul> </li> </ul>
Sich bewegende / rotierende Teile	Rotierende und andere selbst beweglichen Teile an Maschinen können durch Abscheren und Einziehen zu schweren Verletzungen oder zum Tod führen.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundsätzlich sind zutreffende Maschinenteile fingersicher abzuschirmen</li> </ul>
Absturzgefahr	Bei Arbeiten auf Arbeitsbühnen, Anlagendächern und anderen Arbeiten in der Höhe besteht Absturzgefahr. Schwere Verletzungen oder der Tod können die Folge von Abstürzen sein.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konstruktive Absturzsicherungen sind z. B. Geländer, selbstschließende Durchgangssperren, etc.</li> <li>• Sind keine Absturzsicherungen fest installiert, muss anderweitig der Schutz gegen Absturz sichergestellt werden. Neben einer Gerüststellung kann der Einsatz von persönlicher Schutzausrüstung gegen Absturz erforderlich sein. Dafür müssen geeignete Anschlagpunkte vorgesehen und definiert sein</li> </ul>
Herabfallende Gegenstände	Insbesondere bei Instandhaltungsarbeiten können Bauteile und Werkzeug aus der Höhe herabfallen und Personen verletzen oder töten.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hebezeuge und Kräne sind entsprechend geltender Vorschriften zu errichten, zu betreiben und zu prüfen</li> <li>• Arbeitsbühnen müssen mit Fußkanten ausgeführt sein, damit z. B. Werkzeug nicht über den Rand der Arbeitsbühnen fallen kann</li> <li>• Persönliche Schutzausrüstung wie Sicherheitsschuhe und Schutzhelme können vor herabfallenden Gegenständen schützen</li> </ul>

Gefährdung	Gefahrenbeschreibungen	Maßnahmen zur Risikominderung bzw. Gefahrenabwehr (Beispiele)
Rutschige Oberflächen	Oberflächen können durch deren Beschaffenheit oder Verunreinigungen rutschig werden. Es kann zu Stürzen zu schweren Verletzungen kommen.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alle Laufwege müssen ausreichend rutschhemmend ausgeführt werden. Dies gilt insbesondere für Bereiche, in denen mit Verunreinigungen z. B. Wasser, Kühlflüssigkeit oder Schmieröl gerechnet werden muss</li> <li>• Die Anlage muss im Rahmen der Instandhaltung regelmäßig und bedarfsorientiert gereinigt werden. Ausgelaufene Betriebsstoffe und sonstige Verunreinigungen müssen unverzüglich aufgenommen werden</li> <li>• Sicherheitsschuhe müssen eine ausreichende Rutschhemmung aufweisen</li> </ul>
Stolperstellen	Z. B. Türschwellen, Fundamentkanten, abstehende Erdungsfahnen, am Boden verlaufende Rohrleitung könne Stolperfallen darstellen. Bei Stürzen kann es zu schweren Verletzungen kommen.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schwellen und Kanten sowie am Boden verlaufende Rohrleitungen sollten nach Möglichkeit konstruktiv vermieden werden</li> <li>• Erdungsfahnen dürfen sich nicht auf Durchgangswegen befinden</li> <li>• Sind Stolperstellen auf Durchgangswegen nicht vermeidbar, müssen diese so gekennzeichnet werden, dass diese gut wahrgenommen werden können</li> </ul>
Automatischer Anlauf	Vor allem während Instandhaltungsmaßnahmen kann das Aggregat durch unzureichendes Sichern gegen Wiedereinschalten unerwartet anlaufen. Ein unerwarteter Anlauf des Aggregates kann schwere Verletzungen oder den Tod zur Folge haben. Gleiches gilt für andere Anlagenteile, die automatisch anlaufen können.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausreichendes Sichern gegen automatischen Anlauf umfasst in der Regel die sichere Trennung von allen Energiequellen. Ggf. muss restliche gespeicherte Energie abgeleitet oder abgelassen werden</li> <li>• Die Informationen in der Bedienungsanleitung müssen bei der Umsetzung vollständig berücksichtigt werden.</li> </ul>

Gefährdung	Gefahrenbeschreibungen	Maßnahmen zur Risikominderung bzw. Gefahrenabwehr (Beispiele)
Bruch des Systems	Beim Übersteigen zulässiger Betriebsdrücke und Betriebstemperaturen insbesondere des Kühlsystems und Wärmeauskopplungssystems kann es zu Undichtigkeiten oder zum Bruch von Systemkomponenten kommen. Heiße unter Druck stehende Medien können austreten und Personen verletzen oder töten. Die Anlage kann schwer beschädigt werden.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die notwendige Sicherheitsausrüstung zur Überwachung und Begrenzung von Druck und Temperatur muss installiert sein</li> <li>Eine turnusmäßige Funktionsprüfung der Sicherheitsausrüstung muss im Rahmen der Instandhaltungsmaßnahmen erfolgen</li> </ul>

### 2.3.2 Elektrische Gefährdungen

Gefährdung	Gefahrenbeschreibungen	Maßnahmen zur Risikominderung bzw. Gefahrenabwehr (Beispiele)
Störlichtbogen	Störlichtbögen können schwere Explosionen erzeugen und metallisches Kontaktmaterial schlagartig verdampfen. Es können im Lichtbogen extrem hohe Temperaturen auftreten. Es kann zu schweren Verletzungen oder zum Tod von Personen kommen. Die Anlage kann schwer beschädigt oder zerstört werden.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Das unkontrollierte Entstehen und Ausbreiten von Störlichtbogen in der Schaltanlage muss bereits bei der Planung berücksichtigt werden, um das oberste Schutzziel, den Personenschutz, sicherzustellen</li> <li>Besteht dennoch die Gefahr eines Störlichtbogens, müssen geeignete Maßnahmen gegen die schädliche Einwirkung des Störlichtbogens getroffen werden</li> <li>Die fünf Sicherheitsregeln sind zu beachten und umzusetzen</li> </ul>
Gefährliche Körperströme	Spannungspotentiale durch einen Fehlerfall der elektrischen Ausrüstung der Anlage sowie durch triboelektrische Aufladung können zu gefährlichen Stromflüssen führen, die Personen verletzen oder töten können.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eine Schutzerdung muss für die gesamte Anlage hergestellt werden. In diese sind alle elektrischen Bauteile, alle Rohrleitungen, die Luftführungen und weitere Bauteile und Baugruppen einzubeziehen. Die Schutzerdung muss so dimensioniert</li> </ul>

Gefährdung	Gefahrenbeschreibungen	Maßnahmen zur Risikominderung bzw. Gefahrenabwehr (Beispiele)
		<p>werden, dass mögliche zu erwartende Fehlerströme sicher abgeleitet werden können</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bei der Planung ist die richtige Koordinierung von Schutzmaßnahmen in den unterschiedlichen Netzsystemen notwendig. Dabei sind bezüglich der Abschaltzeiten der Schutzorgane die Unterschiede der TT-, TN-Systeme und des IT-Systems zu beachten. Dabei sind folgende Schutzmaßnahmen unter Beachtung der äußeren Einflüsse zulässig: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung.</li> <li>– Es ist auf eine ausreichend niedrige Impedanz zwischen den Außenleitern und dem Schutzleiter eines Stromkreises bzw. des Betriebsmittels zu achten.</li> <li>– Der Schutzpotentialausgleich soll alle leitfähigen Teile elektrischer Betriebsmittel im Fehlerfall annähernd auf gleiches Potential zu bringen. Der Schutzpotentialausgleich als zusätzliche Schutzmaßnahme bietet damit erhöhten Schutz gegen gefährliche Berührungsspan-</li> </ul> </li> </ul>



Gefährdung	Gefahrenbeschreibungen	Maßnahmen zur Risikominderung bzw. Gefahrenabwehr (Beispiele)
		<p>nungen bis zur Abschaltung durch die vorgeschaltete Überstromschutzeinrichtung.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Schutz durch doppelte oder verstärkte Isolierung.</li> <li>– Schutz durch Schutztrennung für die Versorgung eines Verbrauchsmittels.</li> <li>– Schutz durch Kleinspannung mittels SELV oder PELV.</li> </ul>

#### Erforderliche Informationen

- [Konzept Schutzerdung, Schutzleiter und Schutzpotentialausgleich](#) [► 30]

### 2.3.3 Thermische Gefährdungen

Gefährdung	Gefahrenbeschreibungen	Maßnahmen zur Risikominderung bzw. Gefahrenabwehr (Beispiele)
Heiße Oberflächen	Abgasleitungen und Kühlflüssigkeitsleitungen und der Motor sowie weitere Anlagenbauteile werden im Betrieb heiß. Es kann zu Verbrennungen der Haut beim kurzzeitigen Berühren kommen.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isolierung und Abschirmung der betreffenden Bauteile - besonders an Durchgangswegen</li> </ul>
Heißes Abgas	Im Zuge von Wartungsarbeiten am Abgassystem können heiße Abgase austreten und zu Verbrennungen führen.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Organisatorische Maßnahmen und Persönliche Schutzausrüstung ermöglichen sicheres Arbeiten</li> </ul>
Heiße Kühlflüssigkeit	Im Zuge von Wartungsarbeiten am Kühlsystem kann heiße Kühlflüssigkeit austreten und zu Verbrennungen führen.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entleerungsstutzen sollten gut erreichbar und möglichst niedrig angebracht sein, um Körperverbrühungen zu verhindern</li> <li>• Organisatorische Maßnahmen und Persönliche Schutzausrüstung ermöglichen sicheres Arbeiten</li> </ul>

### 2.3.4 Gefährdung durch Lärm

Gefährdung	Gefahrenbeschreibungen	Maßnahmen zur Risikominderung bzw. Gefahrenabwehr (Beispiele)
Lärm im Aggregaterraum	Die hohe Lärmbelastung im Aggregaterraum kann auch bei einem kurzzeitigen Aufenthalt im Raum das Gehör irreversibel schädigen.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bei Arbeiten innerhalb des Aggregaterraumes bei laufendem Aggregat ist das Tragen von geeignetem Gehörschutz zwingend vorgeschrieben</li> <li>Die Zugangstüren zum Aggregaterraum müssen mit entsprechenden Gebotszeichen, die das Tragen von Gehörschutz gebieten, gekennzeichnet werden</li> </ul>
Lärm im Aggregaterraum	Niederfrequente Schallemissionen können insbesondere bei langer Aufenthaltsdauer im Maschinenraum ein Unbehagen auslösen und ggf. ein sicheres Arbeiten gefährden.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Einhaltung der Pausenzeiten außerhalb des Aggregaterraumes und regelmäßige Pausen nach Bedarf sind erforderlich</li> </ul>
Lärmemissionen	Durch das Aggregat und Hilfsantriebe wird eine erhebliche Schalleistung abgestrahlt, die in Abhängigkeit von der Entfernung gehörschädigende bzw. störende Wirkung entfalten kann.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Das Aggregat und betreffende Hilfsantriebe müssen in geeigneter Weise durch eine Einhausung mit schalldämpfendem Wandaufbau umschlossen sein</li> </ul>

### 2.3.5 Gefährdungen durch Strahlung

Gefährdung	Gefahrenbeschreibungen	Maßnahmen zur Risikominderung bzw. Gefahrenabwehr (Beispiele)
Elektromagnetische Felder	Elektrische Komponenten der Anlagen erzeugen elektromagnetische Felder. Diese können unter anderem schädliche Wirkung auf medizinische Implantate haben und Signale innerhalb und außerhalb der Anlage stören. Verletzungen oder der Tod sowie Funktionsstörungen der Anlage können die Folge sein.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elektrische Komponenten sind durch deren Gehäuse geschirmt</li> <li>Alle in der Anlage befindlichen Komponenten sollen durch die Einhausung ausreichend geschirmt entsprechend der örtlichen Vorgaben geschirmt sein</li> <li>Steuerkabel innerhalb der Anlage sollen in der Regel geschirmt ausgeführt und nach Möglichkeit und</li> </ul>

Gefährdung	Gefahrenbeschreibungen	Maßnahmen zur Risikominderung bzw. Gefahrenabwehr (Beispiele)
		<p>Notwendigkeit mit Abstand in metallischen Kabelpritschen getrennt von Leistungskabeln verlegt sein</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>An allen Zugängen der Anlage sind Verbotsschilder „Kein Zutritt für Personen mit Herzschrittmachern oder implantierten Defibrillatoren“ anzubringen</li> <li>Prinzipiell dürfen keine Personen mit medizinischen Implantaten, die wegen elektromagnetischer Felder in ihrer Funktion gestört werden können, die Anlage betreten</li> <li>Sollen eingegrenzte Arbeitsbereiche von Personen mit EMF-empfindlichen medizinischen Implantaten dennoch betreten werden, so müssen alle erforderlichen Messungen zur Bestimmung der EMF-Belastung in diesen Bereichen durchgeführt werden. Erst eine ärztliche Freigabe der definierten Arbeiten in definierten Arbeitsbereichen ermöglicht eine Arbeit betreffender Personen in der Anlage. Es muss sichergestellt werden, dass die Arbeiten und Arbeitsbereiche immer im definierten Rahmen ablaufen</li> </ul>

### 2.3.6 Gefährdung durch Materialien und Substanzen

Gefährdung	Gefahrenbeschreibungen	Maßnahmen zur Risikominderung bzw. Gefahrenabwehr (Beispiele)
Betriebsstoffe	Von Betriebsstoffen können verschiedene spezifische Gefahren ausgehen. So können z. B. Schmieröle, Kühlflüssigkeiten oder Brenngase toxische Wirkung bei deren Aufnahme haben. Entspre-	<ul style="list-style-type: none"> <li>Grundsätzlich sind Maßnahmen zur Gefahrenabwehr und zur ersten Hilfe in den Sicherheitsdatenblättern beschrieben. Diese genannten Maßnahmen sollen in jedem Fall An-</li> </ul>

Gefährdung	Gefahrenbeschreibungen	Maßnahmen zur Risikominderung bzw. Gefahrenabwehr (Beispiele)
	chendes Gefährdungspotenzial ist in den Sicherheitsdatenblättern der Substanzen beschrieben. Bei Brenngasen muss deren Zusammensetzung genau bekannt sein, um die Gefahren genau identifizieren zu können.	<p>wendung finden. Darüber hinausgehend können weitere Maßnahmen hilfreich bzw. erforderlich sein</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Bei Brenngasen ist auch bei dauerhaft technisch dichten Systemen eine Umgebungsluftüberwachung und Wartung erforderlich, wodurch etwaige Leckagen erkannt werden können und daraufhin Schutzmaßnahmen eingeleitet werden</li> </ul>

### 2.3.7 Ergonomische Gefährdungen

Gefährdung	Gefahrenbeschreibungen	Maßnahmen zur Risikominderung bzw. Gefahrenabwehr (Beispiele)
Sichtbarkeit	Bei ungenügender Beleuchtung bzw. beim Ausfall der Beleuchtung kann es zum Unfall kommen, weil Hindernisse und Gefahren nicht mehr optisch wahrgenommen werden können. Eine Flucht im Störfall der Anlage wird erschwert bzw. gelingt nicht.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Beleuchtung der Anlage muss nach normativen Vorgaben umgesetzt sein, um einen sicheren Aufenthalt und ein sicheres Arbeiten an und in der Anlage zu gewährleisten</li> <li>Können Arbeitsplätze durch die Anlagenbeleuchtung nicht ausreichend ausgeleuchtet werden, muss für die Dauer der Arbeiten eine ausreichende temporäre Beleuchtung genutzt werden</li> <li>Bei einem Ausfall der regulären Anlagenbeleuchtung (z. B. bei Stromausfall) muss eine Notbeleuchtung so ausgeführt werden, dass die Anlage gefahrlos verlassen werden kann. Gefahrenstellen, Fluchtrouten, Ausgangstüren und Not-Halt-Einrichtungen müssen auch bei Notbeleuchtung gut erkannt werden können</li> </ul>

### 2.3.8 Gefährdungen im Zusammenhang mit der Einsatzumgebung der Maschine

Gefährdung	Gefahrenbeschreibungen	Maßnahmen zur Risikominderung bzw. Gefahrenabwehr (Beispiele)
Staub	<p>Stäube können über die Zuluft in den Maschinenraum gelangen und dabei die Anlage beschädigen und Personen gefährden. Stäube können auch mit der Zeit wegen mangelhafter Reinigung zu Schäden und Gefahren führen. Gefährliche Kriechströme sind über eine Staubschicht möglich. Weiterhin kann Staub die Ableitung von Wärme behindern und damit zum Überhitzen von Anlagenteilen führen. Möglicherweise sind Bauteile der Anlage nicht ausreichend gegen Staub geschützt und können Schaden nehmen oder zerstört werden. Gefahren können durch Staubschicht ggf. nicht erkannt werden. Ein resultierender unsicherer Anlagenbetrieb führt zu einem erhöhten Verletzungsrisiko für Personen.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zuluftfilter mindestens der im Dokument genannten Filterklasse sind zu verwenden</li> <li>• Die Anlage muss im Rahmen der Instandhaltung regelmäßig und bedarfsorientiert gereinigt werden</li> <li>• Türen der Anlage sind grundsätzlich geschlossen zu halten</li> </ul>

### 2.3.9 Kombination von Gefährdungen

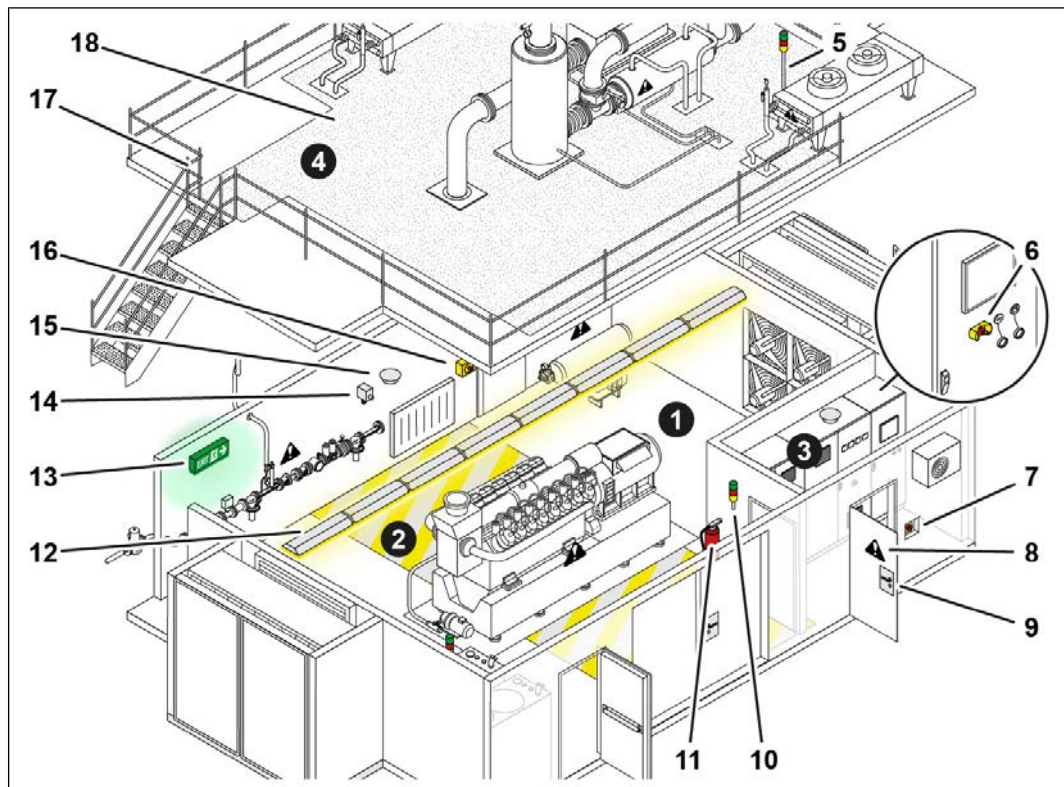
Gefährdung	Gefahrenbeschreibungen	Maßnahmen zur Risikominderung bzw. Gefahrenabwehr (Beispiele)
Anstrengung und hohe Temperaturen	<p>Insbesondere bei Instandhaltungsarbeiten am Abgassystem oder im warmen Aggregaterraum kann es zu hohem Flüssigkeitsverlust durch Schwitzen kommen. Bei gleichzeitig anstrengender Arbeit kann der Körper zudem schnell überhitzen. Als Folge können Fehleinschätzung von Gefahren und verminderter Reaktionsfähigkeit zu schweren Verletzungen bis hin zum Tod führen.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arbeiten am Abgassystem sind in der Regel bei abgestelltem Aggregat und hinreichend abgekühlter Abgasführung zu verrichten. Die Oberflächentemperatur muss in Abhängigkeit von den Arbeiten ausreichend abgesunken sein</li> <li>• Ist dies nicht möglich z. B. bei Abgasemissionsmessungen, müssen die Arbeiten zeitlich beschränkt mit</li> </ul>

Gefährdung	Gefahrenbeschreibungen	Maßnahmen zur Risikominderung bzw. Gefahrenabwehr (Beispiele)
		<p>ausreichenden Pausen und mit besonderer Vorsicht durchgeführt werden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Für ausreichenden Flüssigkeitsausgleich sorgen</li> </ul>

## 2.4 Allgemeines Sicherheitskonzept

### 2.4.1 Systemübersicht zum Sicherheitskonzept

Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft die Aufteilung einer Anlage in Räume bzw. Bereiche, sowie eine Auswahl von typischer Ausrüstung sowie eine Auswahl von typischen Schaltelementen, die von Personen auf der Anlage zum Schutz bei erkannter Gefahr betätigt oder genutzt werden sollen. Weiterhin zeigt die Abbildung Signaleinrichtungen, die einen gefährlichen Zustand auf der Anlage anzeigen sowie beispielhafte Bereiche für Sicherheitskennzeichnungen.



3615131787: Beispielabbildung in vereinfachter Darstellung

- |   |                            |   |                                    |
|---|----------------------------|---|------------------------------------|
| 1 | Aggregaterraum             | 2 | Gefahrenbereich                    |
| 3 | Schaltanlagenraum          | 4 | Dach mit Hilfssystemen             |
| 5 | Signalsäule (außenliegend) | 6 | Not-Halt-Schalter (Schaltschränke) |

7	Not-Halt-Schalter (außenliegend)	8	Diverse Sicherheitszeichen
9	Beispiel Zugangstür (abschließbar, mit Panikbar)	10	Signalsäule (innenliegend)
11	Feuerlöscher mit geeignetem Löschmittel	12	Beleuchtung
13	Hinweis Fluchtweg mit Not-Beleuchtung	14	Gassensor
15	Rauch- und Temperatursensor	16	Not-Halt-Schalter (innenliegend)
17	Geeigneter Aufstieg mit Geländer	18	Rutschhemmende Bodenbeschichtung (im Zugangsbereich)

### 2.4.2 Umfang

Die Produkte von CES sind unter Berücksichtigung der geltenden sicherheitstechnischen Vorgaben und eigenen Erkenntnissen so ausgelegt, dass Gefährdungen ausgeschlossen bzw. Risiken hinreichend gemindert sind. Im Sicherheitskonzept sind die entsprechenden Maßnahmen zur Risikominderung bzw. Gefahrenabwehr produktbezogen festgelegt.

Bei der Projektierung des Lieferumfangs für eine Energieversorgungsanlage definiert CES zusätzlich in Abstimmung mit dem Auftraggeber Maßnahmen für die Integration des eigenen Lieferanteils in die Gesamtanlage. Die Umsetzung erfolgt entsprechend Auftrag durch CES, den Auftraggeber oder gemeinsam.

Je nach Lieferumfang, den regionalen Vorschriften und der Situation vor Ort beinhaltet das Sicherheitskonzept:

- Konstruktive Aufteilung der Anlage in Räume und Gefahrenbereich
- Definition von Arbeitsplätzen für Bedienung
- Anzahl und Positionen von Not-Halt-Schalter bzw. Not-Aus-Schalter
- Brand- und Explosionsschutz
- Notausgangskennzeichnung und Sicherheitszeichen an allen Türen
- Panikschlösser an allen Eingangstüren. Diese Türen lassen sich auch im abgeschlossenen Zustand von innen öffnen
- Markierung von begehbaren Bereichen auf dem Dach mit rutschfester Beschichtung und Konzept zur Absturzsicherung
- Innenbeleuchtung und Notbeleuchtung
- Potenzialausgleich und Erdung
- Absicherung aller Kühlkreise durch Sicherheitsarmaturen gegen Gefährdung aufgrund eines unzulässig hohen Betriebsdrucks
- Wassermangelsicherung, die bei Leckagen anspricht
- Wannenförmige Ausgestaltung des Bodens der Maschineneinhausung zur Aufnahme von ausgelaufenen Flüssigkeiten bei Leckagen

- Sicherung des Zugangs zum Bedienrechner gegen unbefugte Bedienung
- Sicherung der Zugänge in die Maschineneinhausung
- Sicherung der Zugänge zur Gesamtanlage
- Blitzschutz

### 2.4.3 Sicherheitsmatrix

In der Sicherheitsmatrix für vollständige Anlagen sind Sicherheitsfunktionen und weitere wichtige Anlagenfunktionen als Übersicht zusammengestellt. Die Übersicht ordnet den Signalen von aktivierten Sensoren bzw. Tastern die Folgeaktionen zur Gefahrenabwehr oder zum Schutz des Aggregates und der Anlage zu.

## 2.5 Ausgewählte Sicherheitskonzepte zur Gefahrenabwehr bei CES-Anlagen

### 2.5.1 Brandschutzkonzept

#### Gefahrenbeschreibung

- Erforderliche Informationen zu spezifischen Gefahren und Folgen eines Brandes siehe Kapitel [Gefährdung durch Materialien und Substanzen](#) ► 19]

#### Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Bränden

Durch das Minimieren von möglichen Brandlasten, schwer entflammbare Materialien sowie durch vorschriftsmäßige Durchführung von Elektroinstallationen und Instandhaltungsmaßnahmen ist das Entstehen von Bränden unwahrscheinlich. Organisatorische Maßnah-



men wie das Verbot von offenem Feuer und das Fernhalten von brennbaren Materialien, die nicht in der Anlage gelagert werden dürfen, verringern weiterhin das Risiko für die Entstehung von Bränden.

Auch außerhalb der Anlage befindliche Brandlasten müssen berücksichtigt werden. Werden ausreichende Sicherheitsabstände eingehalten und Brandlasten klein gehalten, kann so effektiv ein Übergreifen eines Brandes von außen auf die Anlage verhindert werden.

### **Maßnahmen zur Risikominderung**

Rechtliche Vorgaben und etablierte technische Möglichkeiten das Risiko für das Entstehen von Bränden bzw. deren frühzeitiges Erkennen auf ein hinreichendes Maß zu mindern erfordern die Umsetzung ergänzender technischer Maßnahmen zum Brandschutz.

Das frühzeitige Erkennen von Rauch- und Wärmeentwicklung kann maßgeblich dazu beitragen, Personen rechtzeitig vor möglichen Gefahren zu warnen und Verletzungen vorzubeugen sowie Sachschäden in Grenzen zu halten. Gegenmaßnahmen können früh eingeleitet werden, die einen Brand verhindern oder eindämmen können.

Bei CES-Anlagen wird durch das im Folgenden beschriebene Konzept der Entstehung von Bränden entgegengewirkt und so das Risiko für gefährliche Folgen von Bränden hinreichend vermindert.

Mindestens jeweils ein Rauch- und Wärmesensor mit ausreichender Empfindlichkeit in Bezug auf Rauchentwicklung und Wärmeentwicklung ist im Aggregaterraum und Schaltanlagenraum installiert.

Ein außenliegendes Schnellschlussventil muss im Falle eines Brandes umgehend schließen, damit die Zuführung von Brenngas in den Aggregaterraum sicher unterbrochen wird.

Bei der Detektion von Rauch und / oder ausreichend hohem Temperaturanstieg werden folgende Folgehandlungen durch die Anlagensteuerung im Hilfsantriebschrank (HAS) ausgelöst:

- Die Steuerung gibt einen Alarm aus
- Optische und akustische Signale werden aktiviert
- Das Aggregat stellt ohne Verzögerung mit Not-Halt ab
- Die Absperrventile der Nulldruckregelstrecke schließen sofort
- Die Zu- und Abluft- und Umluftklappen werden geschlossen
- Zu- und Abluftventilatoren werden abgeschaltet
- Frisch- und Altölpumpe (falls vorhanden) werden gestoppt
- Externes Schnellschlussventil (SSV) schließt

Die Folgehandlungen von Brandalarm haben Vorrang vor den Folgehandlungen von Gasalarm. Begründet ist dieser Grundsatz darin, dass Folgehandlungen zum Schutz vor Explosion ein Brandereignis stark fördern können und die Brenngaszufuhr bei Brandalarm ohnehin unterbrochen wird.

## 2.5.2 Explosionsschutzkonzept

### Gefahrenbeschreibung

Bei der Nutzung von Brenngasen zum Antrieb von Gasmotoren kann es im Falle von Leckagen zu einer Freisetzung von brennbaren Gasen oder Gasgemischen kommen. Treten diese Brenngase in einem Mischungsverhältnis mit Luft auf in denen eine Zündung möglich ist, besteht die Gefahr einer Explosion. Man spricht dabei von explosionsfähigen Gasgemischen, die durch eine untere und durch eine obere Explosionsgrenze hinsichtlich der Volumenanteile von Brenngas und Luft definiert sind. So liegt beispielsweise bei einem Methan-Luft-Gemisch die untere Explosionsgrenze von Methan bei 4,4 vol% und die obere Explosionsgrenze von Methan bei 16,5 vol%. Außerhalb dieser Grenzen ist die Explosion eines Methan-Luft-Gemisches nicht möglich. Innerhalb dieser Grenzen besteht die Gefahr der Explosion, wenn ausreichend Zündenergie z. B. durch Funken oder heiße Oberflächen vorhanden ist. Eine Explosion hat in Abhängigkeit von der Gemischmenge und Reaktionskinetik das Potential Personen zu verletzen oder zu töten und Anlagentechnik zu beschädigen oder zu zerstören.

### Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von gefährlichen Brenngasleckagen

Die Brenngasleitung inklusive der Einbauteile wie Gasregelstrecken sind dauerhaft technisch dicht. Der Gasmotor ist technisch dicht.

Dies bedeutet, dass grundsätzlich bei bestimmungsgemäßer Verwendung keine gefährlichen Brenngasmengen austreten.

Trotz ordnungsgemäßer Durchführung von Montage und Instandhaltungsmaßnahmen besteht ein Restrisiko für Leckagen von Brenngas oder Gasgemisch. Treten diese Leckagen auf, sind diese meistens verhältnismäßig klein (z. B. undichte Flanschverbindung) oder zunächst klein und allmählich größer werdend (z. B. mit der Zeit größer werdende Risse an Kompensator).

Wird die Anlage betrieben, durchströmt Frischluft den Maschinenraum. Diese entspricht bzgl. des Volumenstromes mindestens der Verbrennungsluft und maximal der bei hohen Umgebungstemperaturen notwendigen Kühlluft. Wird die Anlage nicht betrieben, so strömt kein Brenngas über die Gasregelstrecke zum Motor. Doppelt ausgeführte Absperrventile unterbrechen den Brenngasstrom. Dies bedeutet, dass im Zustand einer relativ erhöhten Wahrscheinlichkeit von Brenngasleckagen, der Maschinenraum gut belüftet wird und im Zustand viel geringerer Wahrscheinlichkeit von Brenngasleckagen keine betriebs-

bedingte Belüftung des Maschinenraums erfolgt. Somit wird die Anlage in der Regel so gut belüftet, dass die Wahrscheinlichkeit der Bildung von gefährlichen explosionsfähigen Brenngasgemischen als sehr gering eingestuft wird.

### **Maßnahmen zur Risikominderung**

Rechtliche Vorgaben und etablierte technische Möglichkeiten das Risiko für Explosionen auf ein hinreichendes Maß zu mindern erfordern die Umsetzung ergänzender technischer Maßnahmen zum Explosionsschutz.

Das hierarchische Vorgehen bei der Umsetzung von Explosionsschutzmaßnahmen ist die Grundlage für die Auswahl geeigneter Maßnahmen. Dies bedeutet, dass zunächst Maßnahmen des primären Explosionsschutzes umgesetzt werden müssen, bevor eventuell Maßnahmen des sekundären oder tertiären Explosionsschutzes erforderlich wären.

Der primäre Explosionsschutz hat Vorrang und hat die Vermeidung einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre zum Ziel. Erreicht werden kann dies durch die Verdünnung von Brenngasleckagen mit ausreichend Frischluft.

Bei CES-Anlagen wird durch das im Folgenden beschriebene Konzept der Entstehung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre entgegengewirkt und so das Risiko einer Explosion hinreichend vermindert.

Mindestens ein Gassensor mit ausreichender Empfindlichkeit in Bezug auf das Brenngas ist im Aggregaterraum installiert. Ein Auswertegerät wertet das Messsignal aus und sendet Signale jeweils bei Brenngaskonzentration von 20 % und 40 % der unteren Explosionsgrenze.

Ein außenliegendes Schnellschlussventil muss im Falle einer Gasleckage mit 40 % UEG umgehend schließen, damit die Zuführung von Brenngas in den Aggregaterraum sicher unterbrochen wird.

Bei der Detektion von Brenngas mit einer Konzentration von 20 % der unteren Explosionsgrenze werden folgende Folgehandlungen durch die Anlagensteuerung im Hilfsantriebsbeschränk (HAS) ausgelöst:

- Die Steuerung gibt einen Alarm aus
- Optische und akustische Signale werden aktiviert
- Das Aggregat wird geregelt heruntergefahren, Pumpen laufen zur Wärmeabfuhr nach
- Die Zu- und Abluftklappen werden vollständig geöffnet
- Die Umluftklappe wird geschlossen
- Die Zuluftventilatoren drehen mit maximaler Drehzahl
- Die Absperrventile der Nulldruckregelstrecke schließen bei auslaufendem Aggregat

Bei der Detektion von Brenngas mit einer Konzentration von 40 % der unteren Explosionsgrenze werden folgende Folgehandlungen durch die Anlagensteuerung im Hilfsantriebsbeschränk (HAS) ausgelöst:

- Die Steuerung gibt einen Alarm aus
- Optische und akustische Signale werden aktiviert
- Das Aggregat stellt ohne Verzögerung mit Not-Halt ab
- Die Absperrventile der Nulldruckregelstrecke schließen sofort
- Die Zu- und Abluftklappen werden vollständig geöffnet
- Die Umluftklappe wird geschlossen
- Die Zuluftventilatoren drehen mit maximaler Drehzahl
- Gasmagnetventile schließen
- Externes Schnellschlussventil (SSV) schließt

Um die Funktion der effektiven Belüftung sicherzustellen und einen eventuellen Ausfall der Lüftung frühzeitig zu erkennen, sind Strömungswächter in der Zuluft angeordnet. Detektieren die Wächter keine ausreichende Strömung, wird das Aggregat nach einer definierten Verzögerungszeit geregelt heruntergefahren.

### 2.5.3 Blitzschutzkonzept

#### Gefahrenbeschreibung

- Erforderliche Informationen zu spezifischen Gefahren und Folgen von Blitzschlag siehe Kapitel [Gefährdungen im Zusammenhang mit der Einsatzumgebung der Maschine](#) [► 21]

## Wahrscheinlichkeit von Blitzschlag und transienten Überspannungen

Die Wahrscheinlichkeit von Blitzeinschlag und transienten Überspannungen aus dem vorgelagerten Netz sind abhängig vom Aufstellungsort und der dort vorliegenden Netzform grundsätzlich möglich.

Energieversorgungsanlagen müssen daher hinreichend vor Blitzschlag und vor gefährlichen und störenden Potentialunterschieden entsprechend der örtlichen Gegebenheiten und Vorschriften geschützt werden.

## Maßnahmen zur Risikominderung

Hilfe kann da ein Blitzschutzsystem-Konzept nach IEC 62305-4:2010 geben. Ein Gebäude oder eine Anlage wird dabei in Zonen mit unterschiedlich hohem Gefährdungspotential eingeteilt. Auf Basis dieser Zonen wird ermittelt, wo welche inneren und äußeren Maßnahmen, Fangeinrichtungen und Ableitertypen notwendig sind.

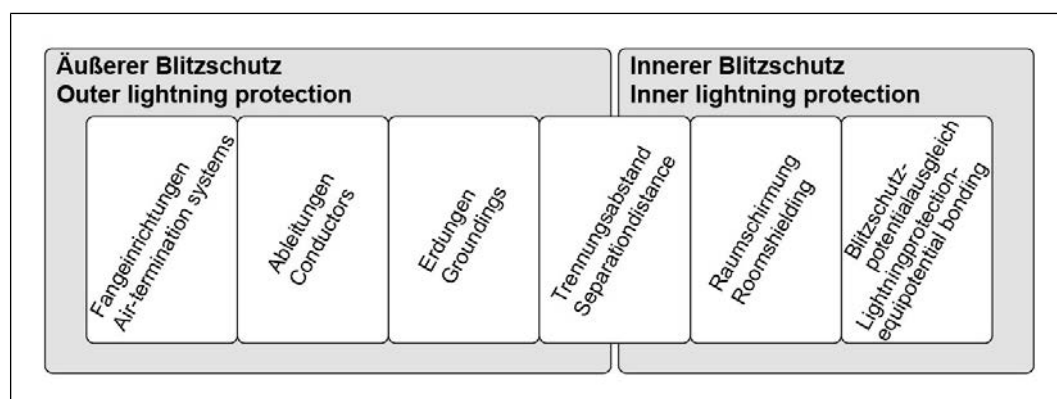
Bei der Planung und Errichtung von Blitzschutzsystemen müssen nationale Vorgaben, Besonderheiten, Applikationen oder Sicherheitsangaben aus den jeweiligen landesspezifischen Beiblättern berücksichtigt werden.

Ein Blitz- und Überspannungsschutzsystem besteht aus mehreren aufeinander abgestimmten Systemen.

Grundsätzlich besteht ein Blitz- und Überspannungsschutzsystem aus einem inneren und einem äußeren Blitzschutzsystem.

Diese sind nochmals in folgende Systeme und Maßnahmen gegliedert:

- Fangeinrichtungen
- Ableitungen/Ableiter
- Erdungen
- Raumschirmung
- Trennungsabstand
- Blitzschutzpotentialausgleich



4037227531: Schema Blitz- und Überspannungsschutzsystem

Diese Systeme müssen für die jeweilige Anwendung ausgewählt und koordiniert eingesetzt werden. Verschiedene Anwender- und Produktnormen bilden die normative Basis, die bei der Errichtung einzuhalten ist.

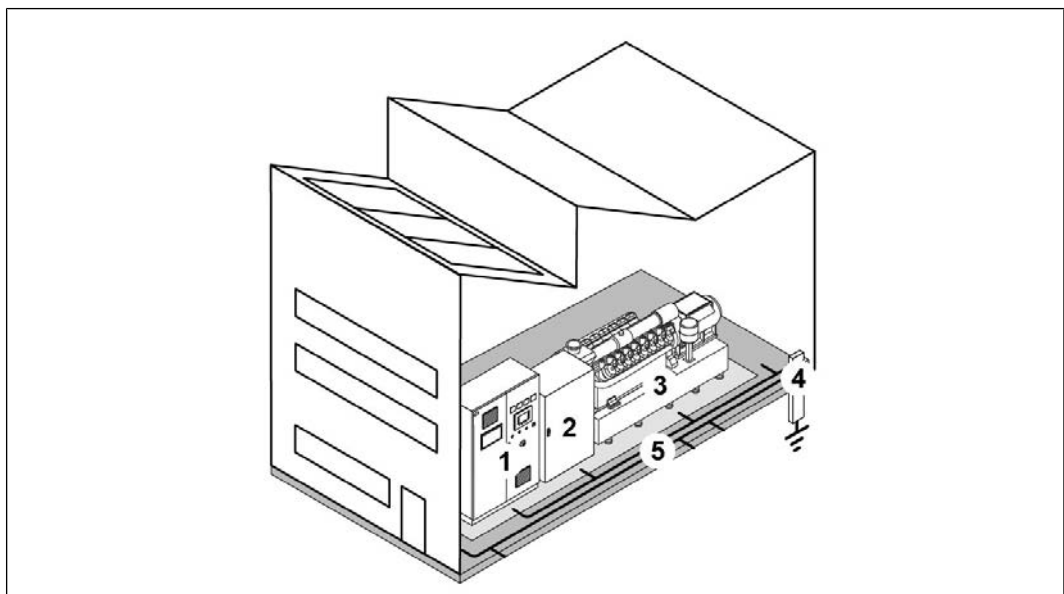
Die Beiblätter der internationalen Richtlinien des IEC und die harmonisierten europäischen Versionen der jeweiligen landesspezifischen Übersetzungen enthalten oft zusätzlich informative (landestypische) Angaben.

Wird Blitzschutzpotentialausgleich gefordert, so hat dieser vorrangig Einfluss auf die Ausführung der vorangegangenen Potentialausgleichsformen, und bedingt zwingend deren Überarbeitung.

## 2.5.4 Konzept Schutzerdung, Schutzleiter und Schutzpotentialausgleich

### Allgemein

Schutzerdung (PE) und Potentialausgleich der Energieversorgungseinheit sind an das entsprechende Leitungssystem bzw. den Fundamenterder des Betreibers anzuschließen.



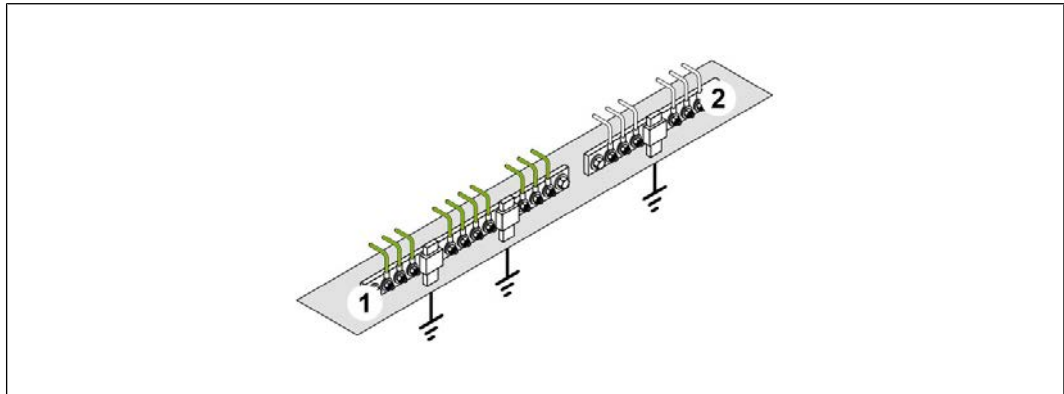
3611695499: Beispielabbildung zur Integration einer Energieversorgungseinheit in die übergeordnete Anlage

- |   |   |   |                              |
|---|---|---|------------------------------|
| 1 | Hilfsantriebeschrank (HAS)                          | 2 | Aggregatsteuerung (AGS)      |
| 3 | Aggregat  | 4 | Fundament mit Fundamenterder |
| 5 | Anlagenseitiges Leitungssystem<br>$\leq 0,1 \Omega$ |   |                              |

### Blitzschutz

Für den Blitzschutz sind separate Erdungsschiene und Fundamenterder mit Anschlussfahnen erforderlich.

Der Blitzschutz darf nicht mit der Haupterdungsschiene (Schutz- und Funktionspotentialausgleich) verbunden werden!



3615132299: Beispielabbildung zu Installationen mit Blitzschutz

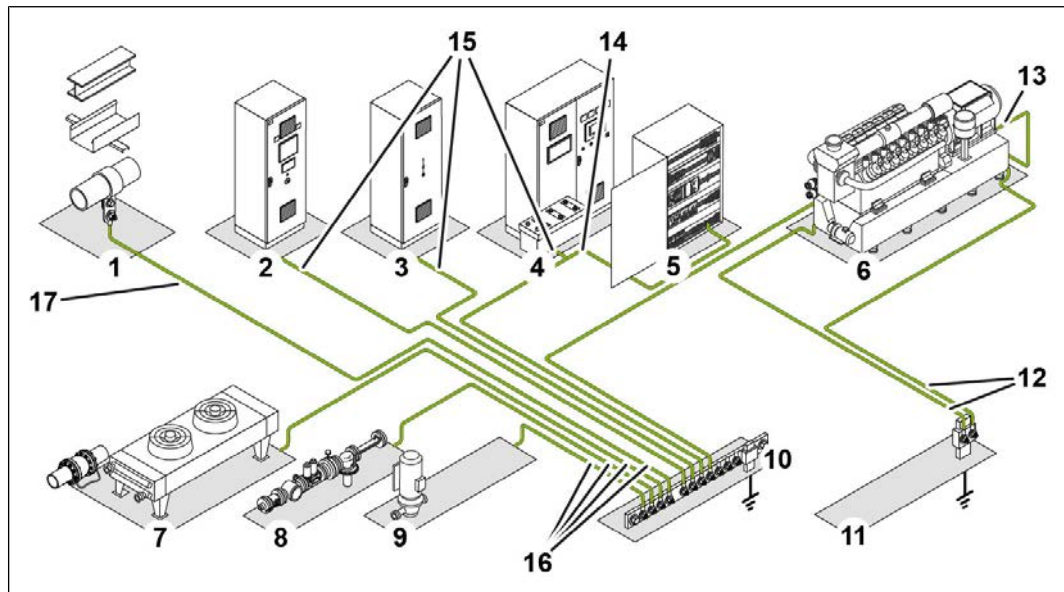
- |   |  |   |                            |
|---|--|---|----------------------------|
| 1 | Haupterdungsschiene Aggregat und Hilfsantriebe | 2 | Erdungsschiene Blitzschutz |
|---|--|---|----------------------------|

### TEM- und TPEM-System

Bei der Auslegung und Montage sind zu beachten:

- Steuerbatterie Kapazität >40 Ah, abgesichert mit 35 A (TCG 3016) bzw. 45 A (TCG 3020)
- Leitungsquerschnitte vs. Leitungslängen beachten (**siehe Schaltplan**)
- Kabelquerschnitt der Anschlussleitung muss entsprechend der Vorsicherung und Entfernung zum TPEM CC ausgelegt werden
- 24 V Versorgung für das TEM/TPEM-System nie mit der Starterbatterie direkt verbinden
- PE der Spannungsversorgung und GND sind zu verbinden (HAS <-> AGS), doppelte Verbindungen sind zu vermeiden
- Der Hauptpotentialausgleich zwischen Genset und Schaltanlage ist vor der Inbetriebnahme anzuschließen
- Wenn mehrere Spannungsversorgungen verwendet werden, sind die Signale an TEM/TPEM über potentialfreie Relais zu schalten.

## Übersicht TEM-System

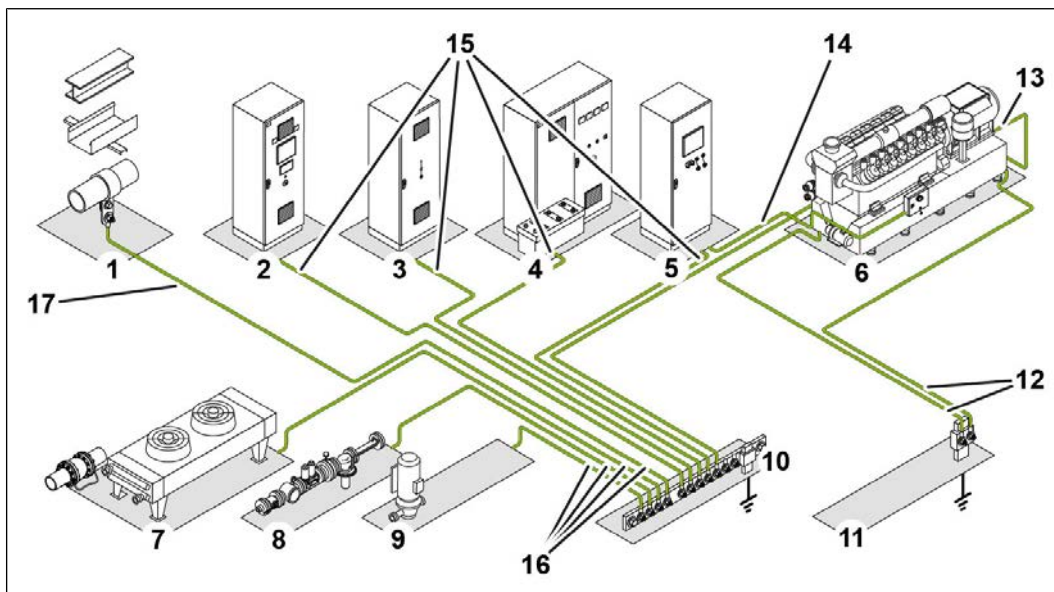


3615132811: Beispielabbildung für TEM-System

- |    |  |    |   |
|----|--|----|---|
| 1  | Installationen: Träger, Kabelpritschen, Rohrleitungen etc.               | 2  | Zentrale Anlagensteuerung (ZAS)                   |
| 3  | Generatorleistungsfeld (GLF)   | 4  | Hilfsantriebeschrank (HAS)                        |
| 5  | Aggregatsteuerung (AGS)  | 6  | Aggregat  |
| 7  | Rückkühler   | 8  | Gasregelstrecke                                   |
| 9  | Kühlflüssigkeitspumpen und andere Bauteile                               | 10 | Haupterdungsschiene                               |
| 11 | Erdungsfahnen Fundament  | 12 | Grundrahmen: $\geq 70 \text{ mm}^2$               |
| 13 | Generator: $95 \text{ mm}^2$   | 14 | Anschlussleitung AGS: $\geq 10 \text{ mm}^2$      |
| 15 | Anschlussleitungen: min. $35 \text{ mm}^2$ (je nach Spannungsversorgung) | 16 | Anschlussleitungen Hilfssysteme: $6 \text{ mm}^2$ |
| 17 | Anschlussleitungen Installationen: $6 \text{ mm}^2$                      |    |   |



## Übersicht TPEM-System



3615133323: Beispielabbildung für TPEM-System

- |    |   |    |  |
|----|---|----|--|
| 1  | Installationen: Träger, Kabelpritschen, Rohrleitungen etc.                | 2  | Zentrale Anlagensteuerung (ZAS)                    |
| 3  | Generatorleistungsfeld (GLF)  | 4  | Hilfsantriebsbeschränk (HAS)                       |
| 5  | TPEM Control Cabinet (TPEM CC)  | 6  | Aggregat   |
| 7  | Rückkühler  | 8  | Gasregelstrecke                                    |
| 9  | Kühlflüssigkeitspumpen und andere Bauteile                                | 10 | Haupterdungsschiene                                |
| 11 | Erdungsfahnen Fundament   | 12 | Generator: 95 mm <sup>2</sup>                      |
| 13 | Grundrahmen: ≥70 mm <sup>2</sup>  | 14 | Anschlussleitung TPEM CB: 6 mm <sup>2</sup>        |
| 15 | Anschlussleitungen: min. 35 mm <sup>2</sup> (je nach Spannungsversorgung) | 16 | Anschlussleitungen Hilfssysteme: 6 mm <sup>2</sup> |
| 17 | Anschlussleitungen Installationen: 6 mm <sup>2</sup>                      |    |  |

### 2.5.5

#### Konzept zur Spannungsversorgung bei Ausfall der Hauptenergieversorgung

Die Spannungsversorgung des TEM-Systems bzw. TPEM-Systems erfolgt mit einem oder mehreren Schaltnetzteilen in Kombination mit Batterien. Die Batterien stellen bei einem Netzausfall ausreichend Spannung zur Verfügung, um die Anlage kontrolliert herunterfahren zu können.

Für die Spannungsversorgung des TEM-Systems bzw. TPEM-Systems sowie optionaler, im Hilfsantriebsschrank, Messeinrichtungen oder einige Aktoren gelten die in den Schaltplänen und der Schaltschrankspezifikation angegebenen Anforderungen.

## 2.5.6 Konzept zum Schutz vor Wasser- und Bodengefährdung

### Gefahrenbeschreibung

In Energieversorgungsanlagen werden Betriebsstoffe verwendet, die potentiell Wasser und Boden gefährden können.

Insbesondere beim Abfüllen und bei Leckagen von Betriebsstoffen wie z.B. Kühlflüssigkeit und Schmieröl können Wasser und Boden kontaminiert werden und damit Umweltschäden herbeiführen.

### Wahrscheinlichkeit für das Austreten von Betriebsstoffen

Die Systeme für Kühl- und Schmierflüssigkeit müssen geschlossen und auf Dichtigkeit geprüft sein.

Überfüllsicherungen müssen ein Überlaufen beim Befüllen der Systeme zuverlässig verhindern.

Sind die genannten Maßnahmen umgesetzt ist das Risiko für das nicht beabsichtigte Austreten von Betriebsstoffen deutlich vermindert, dennoch kann es zu Leckagen kommen.

### Maßnahmen zur Risikominderung

Rechtliche Vorgaben und etablierte technische Möglichkeiten das Risiko für Wasser- und Bodenkontaminationen auf ein hinreichendes Maß zu mindern erfordern die Umsetzung ergänzender technischer Maßnahmen zum Wasser- und Bodenschutz.

Rückhalteeinrichtungen müssen für wassergefährdende Stoffe umgesetzt werden. Dies schließt in der Regel alle Systemkomponenten ein, die wassergefährdende Stoffe beinhalten.

In der praktischen Umsetzung sind meist in Abhängigkeit von den individuellen Erfordernissen folgende bauliche Maßnahmen umzusetzen:

- undurchlässige Aufstellfläche für das Aggregat und dazugehörige Systeme mit wassergefährdenden Betriebsstoffen
- undurchlässige Betankungsflächen (z. B. für Schmieröl)
- geeignete Geometrien der Aufstellflächen, die ein Abfließen der Betriebsstoffe über die Flächen hinaus verhindern und etwaige Leckagemengen vollständig aufnehmen können
- Abstellen von Betriebsstoffen in Gebinden auf Aufstellflächen, die für den Rückhalt vorgesehen sind oder in ausreichend dimensionierten Auffangwannen

Bei der Umsetzung von technischen Maßnahmen zum Rückhalt von Leckagen sind Niederschlagswässer und Löschwässer zu berücksichtigen.

### CES Container-Kraftwerk

Bei CES Container-Kraftwerken sind meist Kühlflüssigkeit führende Systeme auf dem Dach installiert. Dort können Leckagen auftreten.

Bei Betankung und Entleerung von Schmieröl kann es zu ungewolltem Austritt von Schmieröl kommen.

Für diese Fälle von Leckagen müssen notwendige bauliche Maßnahmen getroffen werden, um Leckagen rückzuhalten, um diese den vorgeschriebenen Entsorgungswegen zuzuführen. Es gelten die regionalen Vorschriften.

Für Leckagen im Aggregaterraum des Containers ist der Containerboden als Wanne ausgeführt, die ausreichend groß dimensioniert ist, um Leckagen zurückzuhalten.

Flüssigkeit führende Systeme können außerhalb der Anlage weitergeführt werden. Dies betrifft häufig den Heizkreis zur Wärmeauskopplung. Ist dieses System zum Container nicht hydraulisch getrennt und übersteigt das mögliche Leckagevolumen das Rückhaltevolumen der Containerwanne, muss der Hersteller des weiter geführten Systems für einen Rückhalt etwaiger Leckagen dieses Systems sorgen. Es gelten die regionalen Vorschriften.

### 2.5.7 Konzept zum Schutz vor Cyber-Gefahren

#### Definition und Relevanz der Cyber-Security für die Steuerungssysteme und Schaltanlagen von Energieanlagen

Cyber-Security für Energieanlagen umfasst sämtliche Maßnahmen, die dem Schutz der digitalen Infrastruktur und Steuerungssysteme dieser Anlagen vor unbefugtem Zugriff, Manipulation oder Sabotage dienen. Im Zeitalter der zunehmenden Digitalisierung stehen Energieanlagen nicht mehr isoliert, sondern sind Teil von Netzwerken, die vielfältigen Bedrohungen ausgesetzt sind.

Der Schwerpunkt liegt auf dem sicheren Schutz von Automatisierungs- und Kommunikationsschnittstellen, beispielsweise durch das Remote Plant Gateway, um einen zuverlässigen und kontrollierten Datenaustausch zwischen Anlagensteuerung und externen Systemen zu gewährleisten. Das Ziel von Cyber-Security ist es, die Integrität, Verfügbarkeit und Vertraulichkeit aller kritischen Daten und Prozesse zu gewährleisten.

Zu den wesentlichen Bestandteilen von Cyber-Security zählen:

- Netzwerksegmentierung: Die Trennung von Betriebs-, Büro- und Fernwartungsnetzwerken zur Minimierung von Angriffspunkten.
- Verschlüsselung und Authentifizierung: Einsatz moderner Technologien, um Datenübertragungen und Zugriffe abzusichern.
- Regelmäßige Aktualisierungen: Sicherstellung, dass alle Systeme und Gateways mit aktuellen Sicherheitsupdates und -patches versorgt werden.
- Risikomanagement: Durchführung von Gefährdungsanalysen und Penetrationstests, um Schwachstellen frühzeitig zu erkennen und zu beseitigen.
- Monitoring und Alarmierung: Kontinuierliche Überwachung der Netzwerke zur sofortigen Erkennung und Abwehr von Angriffen.

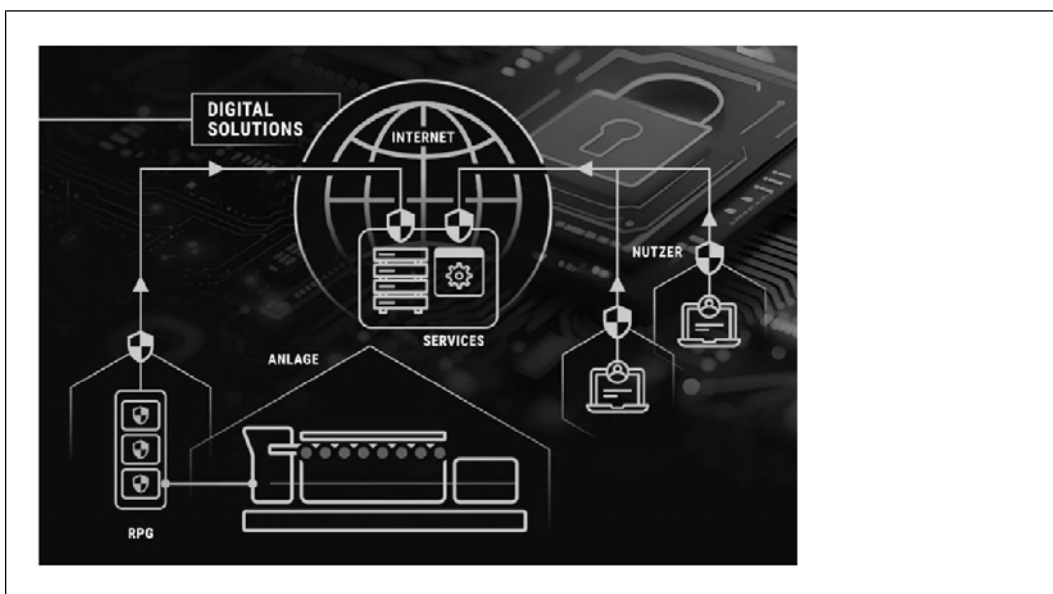
Cyber Security ist somit eine zentrale Voraussetzung für einen zuverlässigen, störungsfreien Betrieb von Energieanlagen und trägt maßgeblich dazu bei, Betriebsausfälle, Datendiebstahl und wirtschaftlichen Schaden zu vermeiden.

### **Cyber Security und Connectivity bei Caterpillar Energy Solutions**

Caterpillar Energy Solutions misst der Cyber-Sicherheit vernetzter Anlagen besondere Bedeutung bei, da diese zunehmend im Fokus potenzieller Angriffe stehen. Eine angegriffene Steuerung kann erhebliche Auswirkungen auf Betriebssicherheit und Verfügbarkeit haben. Besonders das Remote Plant Gateway steht im Fokus unserer Sicherheitsstrategie, denn es stellt die zentrale Schnittstelle zwischen den lokalen Anlagensteuerungen und externen Zugriffsmöglichkeiten dar.

### **Sichere Digital Solutions im Überblick**

Mit den Digital Solutions überwachen Sie Ihre Energieanlage und greifen in Echtzeit aus der Ferne darauf zu. Caterpillar Energy Solutions nutzt auf der Anlage ein VPN-Gateway (Remote Plant Gateway), das eine gesicherte Verbindung zum Fernwartungsserver herstellt – so sind keine eingehenden Verbindungen zur Anlage nötig. Der Zugriff erfolgt nur durch berechtigte Nutzer. Zwei-Faktor-Authentifizierung, Firewall-Segmentierung und regelmäßige Updates schützen vor unbefugtem Zugriff. Die Systemsicherheit wird durch regelmäßige Überprüfungen kontinuierlich verbessert.



9685354763: Caterpillar Energy Solutions Cyber Security for Digital Solutions

Digital Solutions	Werkzeuge um Energieanlagen in Echtzeit aus der Ferne überwachen und bedienen zu können.
Services	Zu den Services für Anlagenbetreiber zählen der Fernzugriffsdienst mit regelmäßigen Wartungsintervallen und Softwareupdates.
Anlage	Die Verbindung erfolgt nur in Richtung der geschützten Server.
RPG	Die Verschlüsselung der VPN Verbindung zum Fernwartungs-server erfolgt mittels Remote Plant Gateway (RPG).
Internet	Die Anlagendaten werden über verschlüsselte Verbindungen digital an die verifizierten Nutzer übermittelt.
Nutzer	Die Zwei-Faktor-Authentifizierung zum rollenbasierten Zugriff der Nutzer schützen das System vor unbefugten Zugriffen.

Zu beachten ist, dass das Remote Plant Gateway bei TEM-Systemen als optionale Komponente zur Herstellung der Konnektivität verfügbar ist. Bei TPEM-Anlagen hingegen ist das Remote Plant Gateway bereits ab Werk im TPEM CC Schrank integriert. Alle Steuerungssysteme sind grundsätzlich auch ohne Internetverbindung betreibbar. Es ist jedoch wichtig zu wissen, dass in diesem Fall die digitalen Lösungen von Caterpillar Energy Solutions nicht zur Verfügung stehen.

### Mehrstufige Sicherheit mit dem Remote Plant Gateway

Um den Schutz der Systeme auf höchstem Niveau zu gewährleisten, setzen wir konsequent auf mehrstufige Sicherheit, also der Nutzung und Kaskadierung mehrerer Schutzmechanismen.

### Netzwerksegmentierung

Zunächst zählt hierzu die Netzwerksegmentierung nach dem Purdue Model. Hierbei werden die verschiedenen Netzwerke der Steuerungssysteme strikt voneinander getrennt. Das Remote Plant Gateway fungiert als klar definierte Übergabestelle, die den Datenfluss zwischen dem geschützten Automatisierungsnetzwerk (Operational Technology, OT) und externen Netzen wie dem lokalen Netzwerk und Cloud-Diensten kontrolliert und überwacht. Bei diesen externen Netzwerken ist eine Netzwerksegmentierung vorzunehmen.

### Sichere Kommunikation mit Firewall und Verschlüsselung

Mit gezielten Schutzmechanismen wie Firewalls und klaren, festgelegten Kommunikationswegen werden potenzielle Angriffspunkte deutlich reduziert. So bleibt die Verbindung zwischen den einzelnen Bereichen der Anlage und externen Netzen sicher und transparent. Die restriktive Konfiguration von lokalen Firewalls zur Unterstützung dieser Sicherheitsmaßnahme sind nach unseren Firewallregeln vorzunehmen.

Ein weiterer wichtiger Baustein ist die Verwendung aktueller Verschlüsselungsmechanismen und Authentifizierungsverfahren für sämtliche Verbindungen zum Fernwartungsserver (Rendezvous Server), die das Remote Plant Gateway nutzt. Nur autorisierte Zugriffe von registrierten Routern und Nutzern werden zugelassen, und alle Kommunikationskanäle werden durch regelmäßige Updates und Patches auf dem neuesten Stand gehalten.

### Sichere Softwareentwicklung und gezielte kontinuierliche Maßnahmen

Sichere Softwareentwicklungsprozesse und gezielte Maßnahmen minimieren Schwachstellen und schützen kritische Schnittstellen vor Angriffen. Regelmäßige Prüfungen und die Anwendung bewährter Methoden stärken die Widerstandsfähigkeit industrieller Systeme. So wird ein hoher Sicherheitsstandard für Energieanlagen gewährleistet.

### Wartung und Updates

Ein wichtiger Aspekt ist die Aktualisierung und Wartung des Remote Plant Gateways: Damit sicherheitsrelevante Updates sowie neue Funktionen – insbesondere für Fernzugriff und digitale Services – zuverlässig bereitgestellt werden können, müssen die zugehörigen Updateserver aus dem lokalen Netzwerk erreichbar sein. Für den Bezug von Updates ist es zudem erforderlich, dass das Remote Plant Gateway ordnungsgemäß registriert ist; nur so lassen sich die vollen Funktionalitäten rund um Fernzugriff und Systemaktualisierung nutzen. Hierzu gehören auch eine Prüfung und ein etwaiger Austausch der Hardware.

### Verantwortlichkeit des Anlagenbetreibers

Wir empfehlen Anlagenbetreibern zudem, die Netzwerkarchitektur nach bewährten Prinzipien der Netzwerksicherheit zu planen: Dazu gehört der Einsatz von VLANs zur weiteren Segmentierung, die konsequente Trennung von Büro- und Produktionsnetzwerk sowie die Überwachung aller Datenströme mithilfe moderner Monitoring-Lösungen. Eine regelmäßige Risikobetrachtung der Schnittstellen sowie Penetrationstests unterstützen zusätzlich dabei, Schwachstellen frühzeitig zu erkennen und zu beheben.

Insbesondere gilt dies bei Einsatz der Kundenschnittstellen und SCADA-Anbindungen. Diese Kundenschnittstellen bieten wir als Option zur flexiblen Einbettung in die lokale Netzwerkinfrastruktur an. Gerade in diesem Kontext empfehlen wir, sich strikt an die in diesem Kapitel beschriebenen Grundprinzipien zu halten und eine umfassende Risikobetrachtung der gesamten Systemarchitektur durchzuführen. So lassen sich potenzielle Gefahren und Bedrohungen frühzeitig erkennen und geeignete Gegenmaßnahmen treffen. Dies schützt die Integrität und erhöht die Verfügbarkeit der Anlagen nachhaltig. Des Weiteren führt es den Sicherheitsansatz des Remote Plant Gateways im lokalen Anlagennetz konsequent fort.

### Fazit

Zusammengefasst verfolgt Caterpillar Energy Solutions einen ganzheitlichen Ansatz, bei dem Cyber-Security und Connectivity untrennbar miteinander verbunden sind. Durch die Beachtung internationaler Standards und praxiserprobter Konzepte wie dem Purdue Modell, rollenbasierter Zugriffskonzepte und verschlüsselten VPN-Verbindungen sorgen wir dafür, dass das Remote Plant Gateway als sichere Brücke zwischen OT und IT agiert und damit die Energieanlagen der Betreiber schützt.

Wir legen Anlagenplanern bis Anlagenbetreibern ausdrücklich nahe, unseren Empfehlungen zu Netzwerktrennung, Firewall-Konfigurationen und Updatezyklen zu folgen und sich aktiv mit Cyber-Security auseinanderzusetzen.

So können effektiv unbefugter Zugriff und damit verbundene Risiken entsprechend der individuellen Risikobeurteilung hinreichend vermindert werden.





### 3 Technische Unterstützung und Dienstleistungen

#### Inhaltsverzeichnis

3.1	Allgemein .....	42
3.2	Anlagenplanung .....	42
3.2.1	Grundsätzliches .....	42
3.2.2	Anlagenfließbild und Single Line Diagramm .....	42
3.2.3	Anlagensteuerung .....	42
3.2.4	Anlagenbauteile .....	43
3.2.5	Teilanlagen und Komplettanlagen .....	43
3.2.6	Erneuerung von Bestandsanlagen .....	43
3.3	Serviceleistungen .....	43
3.4	Schulungen .....	44
3.5	Dokumentation .....	44
3.6	Service Library .....	44

## 3.1 Allgemein

Für Anlagen mit Aggregaten von CES werden verschiedene Dienstleistungen angeboten, die bei der Planung, Ausführung, Inbetriebnahme, Betrieb sowie Instandhaltung hilfreich bzw. erforderlich sind.

## 3.2 Anlagenplanung

### 3.2.1 Grundsätzliches

Bei der Planung von Anlagen werden die Funktionen der Anlage definiert und daraufhin passende Bauteile ausgewählt.

Diese Bauteile werden in bauliche Strukturen integriert. Die Installation von Rohrleitungen, elektrischen Leitungswegen sowie Signalleitungen verbindet die Bauteile zu einer funktionsbereiten Energieversorgungsanlage.

Im Rahmen der Planung müssen alle Anforderungen aus geltenden Vorschriften erfüllt werden. Alle Maßnahmen, die als Ergebnis einer Risikobeurteilung erforderlich sind, müssen umgesetzt werden, um eine sichere Anlage zu gewährleisten. Eine Gefährdungsbeurteilung muss durch den Betreiber erfolgen. Sie ist die Grundlage für sichere Arbeitsabläufe für alle Tätigkeiten an der Anlage.

Aufbau von Energieanlagen soll eine allgemeingültige Hilfe für die Anlagenplanung bieten. Weiterhin werden eine Vielzahl von Planungsunterlagen erstellt und werden projektspezifisch bereitgestellt. Im Folgenden werden einige zentrale Leistungen genannt und beschrieben.

### 3.2.2 Anlagenfließbild und Single Line Diagramm

CES bietet Rohrleitungs- und Instrumentierungs-Fließbilder an, die die Integration von Aggregat und Bauteilen der Hilfssysteme sowie wichtiger Betriebsparameter definieren.

CES bietet weiterhin auf Kundenwünsche individuell angepasste Rohrleitungs- und Instrumentierungs-Fließbilder an. Diese berücksichtigen die auftragsspezifische Ausführung der Anlage im Rahmen der zulässigen Betriebsgrenzen der Anlage.

CES erstellt auf Kundenanforderungen zugeschnittene Single Line Diagramme.

### 3.2.3 Anlagensteuerung

CES bietet auf Kundenanforderungen zugeschnittene Schaltanlagenlösungen an.

Dies kann einen Hilfsantriebschrank, bei Niederspannung ein Generatorleistungsfeld und bei Mehrmotorenanlagen einen Schaltschrank für eine zentrale Anlagensteuerung umfassen. Zusätzlich können auch Niederspannungs- Mittelspannungsverteilung sowie Transformatoren incl. Anlagenverkabelung angeboten werden.

### 3.2.4 Anlagenbauteile

Spezifisch auf den jeweiligen Auftrag ausgelegte Bauteile der Hilfssysteme der Energieversorgungsanlage können direkt von CES bezogen werden. Diese Bauteile werden direkt mit dem Aggregat bestellt und ausgeliefert.

Viele Bauteile, die sich im Betrieb von Anlagen mit CES-Aggregaten bewährt haben, sowie Bauteile, die nach Kundenwunsch spezifiziert und ausgeführt sind, können von CES bezogen werden.

### 3.2.5 Teilanlagen und Komplettanlagen

Neben einzelnen Bauteilen, die rohrlleitungstechnisch und elektrotechnisch integriert werden müssen, bietet CES auch vormontierte Funktionseinheiten aus mehreren Bauteilen an.

Zum Beispiel kann dies ein Kühlwassermodule sein. Dies ist eine auf einer Rahmenkonstruktion montierten Bauteilanordnung aus Pumpen, Wärmetauschern, Sensoren, etc. Diese Bauteilanordnung ist bereits verrohrt und kann vorverkabelt sein. Das Kühlwassermodule ist hinsichtlich seiner Funktion und des Platzbedarfs zur Aufstellung optimiert.

Ein Kühlwassermodule ist zur Montage an die Rohrleitungsanschlüsse des Aggregates vorbereitet und kann als Einheit direkt an das Aggregat gestellt werden. Damit ist es möglich, die Montagearbeiten am Aufstellungsort der Anlage gering zu halten.

Das Kühlwassermodule ist eine bewährte Funktionseinheit, die wichtige Funktionen für jeden Aggregatebetrieb übernimmt.

CES bietet auch komplette Energieversorgungsanlagen an. Die Planung und Ausführung kann Anlagen in festen Gebäuden betreffen aber auch für Container erfolgen.

Bei Container-Kraftwerken wird das Aggregat in einem schallisolierten Container zusammen mit allen notwendigen Hilfssystemen eingebaut. Komponenten des Abgassystems und Rückkühler der Kühlsysteme werden dabei auf dem Containerdach montiert.

#### Weitere Informationen

- [Kraftwerkausführungen](#) [► 75]

### 3.2.6 Erneuerung von Bestandsanlagen

Nach langjähriger Betriebszeit müssen Anlagen, sofern diese weiter betrieben werden sollen, erneuert werden. Dies schließt oft eine Überholung des Aggregates oder einen Austausch des Aggregates sowie den Austausch von Bauteilen der Hilfssysteme ein. Auch Umrüstungen von Anlagen können erforderlich werden, um neuen funktionalen Anforderungen gerecht zu werden und / oder die Effizienz der Anlage zu steigern.

## 3.3 Serviceleistungen

Oft werden verschiedene Serviceleistungen zu Produkten angeboten. Ihr Händler informiert Sie, welche Serviceleistungen genau Sie zu Ihrem Produkt erhalten können.

### 3.4 Schulungen

Über das Learning Center Mannheim werden regelmäßig Schulungen für verschiedene Zielgruppen wie z.B. Kunden und Servicepersonal angeboten. Neben Inhalten zum Aggregat stehen auch Inhalte zu Hilfssystemen der Anlagentechnik auf dem Programm.

Themenschwerpunkte sind:

- Grundlagen Gasmotorensysteme
- Motor- /Anlagensteuerung
- Generatortechnik
- Grundlagen der Elektrotechnik
- Jährlich wiederkehrende Schulungen für Elektrofachkräfte

Kontaktadresse: [ces\\_learning@cat.com](mailto:ces_learning@cat.com)

Das Learning Center Mannheim ist Ansprechpartner für alle Learning Center weltweit.

#### Weitere Informationen

- Schulungsportal: <https://ces.docebosaas.com/home/learn>

### 3.5 Dokumentation

Die Dokumentation ist Bestandteil des Produktes. Sie umfasst verschiedene auf die jeweiligen Zielgruppen ausgerichtete Dokumente. Beispielsweise existieren Betreiberdokumentation und Servicedokumentation.

In der Dokumentation werden alle relevanten Informationen zu den folgenden Lebensphasen behandelt. Die Lebensphasen sind Lagerung, Transport, Montage, Inbetriebnahme, Betrieb, Instandhaltung (inkl. Wartungsplan), ggf. Demontage.

Sicherheitshinweise sind in einem separaten Sicherheitskapitel erfasst sowie in der jeweiligen Bauteildokumentation an betreffenden Stellen beschrieben.

Die Dokumentation wird standardmäßig als Druck mit dem Produkt ausgeliefert. Des Weiteren ist die Dokumentation digital in der Service Library abrufbar.

### 3.6 Service Library

Die Service Library ist ein Online-Portal, in dem Produktinformationen von Caterpillar Energy Solutions Mannheim bereitgestellt werden.

Das Portal ist eine online Webanwendung, die auf jedem PC oder auf mobilen Endgeräten genutzt werden kann.

Mit Hilfe der Volltextsuche und verschiedenen Filtern können Inhalte gesucht, angesehen, heruntergeladen und kommentiert werden.

Es werden eine große Anzahl an Informationen bereitgestellt, wie Betriebsanleitungen, Wartungsinformationen, Arbeitsanweisungen und Software.

Für den Zugang zur Service Library finden Sie unter <https://caterpillar.service-library.net> weitere Informationen. Für die Registrierung kontaktieren Sie bitte ihren Geschäftspartner oder Vorgesetzten.



## 4 Planungsgrundlagen für Energieversorgungsanlagen

### Inhaltsverzeichnis

4.1	Aufbau und Funktion .....	48
4.1.1	Zweck .....	48
4.1.2	Konstruktiver Aufbau .....	48
4.1.3	Verfahren der Energieumwandlung und Stoffströme .....	49
4.1.4	Beispiel .....	50
4.2	Bedarfsermittlung .....	52
4.2.1	Jahreskennlinie .....	52
4.2.2	Strombedarf .....	52
4.2.3	Wärmebedarf .....	52
4.3	Übersicht zu Bedienmodus, Betriebsarten und Führungsgröße .....	52
4.3.1	Einführung .....	52
4.3.2	Tabellarische Übersicht .....	53
4.4	Mindestlasten .....	57
4.5	Bereitstellung von Regelenergie .....	58
4.6	Fast Ramp-Up .....	59
4.7	Ersatzstrombetrieb .....	60
4.8	Lastschaltfähigkeit (Inselbetrieb) .....	61
4.8.1	Verfahren und Begriffe .....	61
4.8.2	Hinweise für die Planung .....	63
4.8.3	Einführung in die aggregatspezifische Darstellung .....	65
4.9	Start von großen Verbrauchern (Inselbetrieb) .....	71
4.10	Schwarzstartfähigkeit (Inselbetrieb) .....	71
4.11	Abgasemissionen (Inselbetrieb) .....	72
4.12	Wirklastverteilung (Inselparallelbetrieb) .....	72
4.13	Weitere Betriebsarten .....	73

## 4.1 Aufbau und Funktion

### 4.1.1 Zweck

Der Zweck von Energieversorgungsanlagen ist die Bereitstellung von nutzbarer Energie. Diese Energie wird hauptsächlich in privaten Haushalten, in der Industrie und für den Betrieb von Infrastruktur wie Telekommunikation und Verkehr genutzt.

### 4.1.2 Konstruktiver Aufbau

#### Energieversorgungsanlage

Kern der Energieversorgungsanlage ist die Verbrennungsmotoreinheit, wobei eine Energieversorgungsanlage aus mehreren Verbrennungsmotoreinheiten bestehen kann.

#### Verbrennungsmotoreinheit

Eine Verbrennungsmotoreinheit besteht aus:

- Aggregat
- allen Hilssystemen die diesem Aggregat direkt zugeordnet sind
- ggf. anderen Systemen die für den Aggregatbetrieb zusätzlich vorgesehen sind

#### Aggregat

Das Aggregat ist eine maschinenbauliche und funktionale Einheit mit den wesentlichen Bestandteilen Verbrennungsmotor, Generator, Kraftübertragung (Kupplung), Tragsystem (Grundrahmen) und Motorsteuerung.

#### Hilfssysteme

Verschiedene Hilfssysteme sind für den Betrieb des Aggregats erforderlich und oft mit diesem direkt verbunden.

Folgende Hilfssysteme sind häufig Bestandteil von Energieversorgungsanlagen mit Verbrennungsmotoren.

- Lüftungssystem
- Kühlsysteme
- Wärmeauskopplungssystem
- Brennstoffsystem
- Schmierölsystem
- Verbrennungsluftsystem
- Abgassystem
- Tragsystem
- Maschineneinhausung
- Druckluftsystem



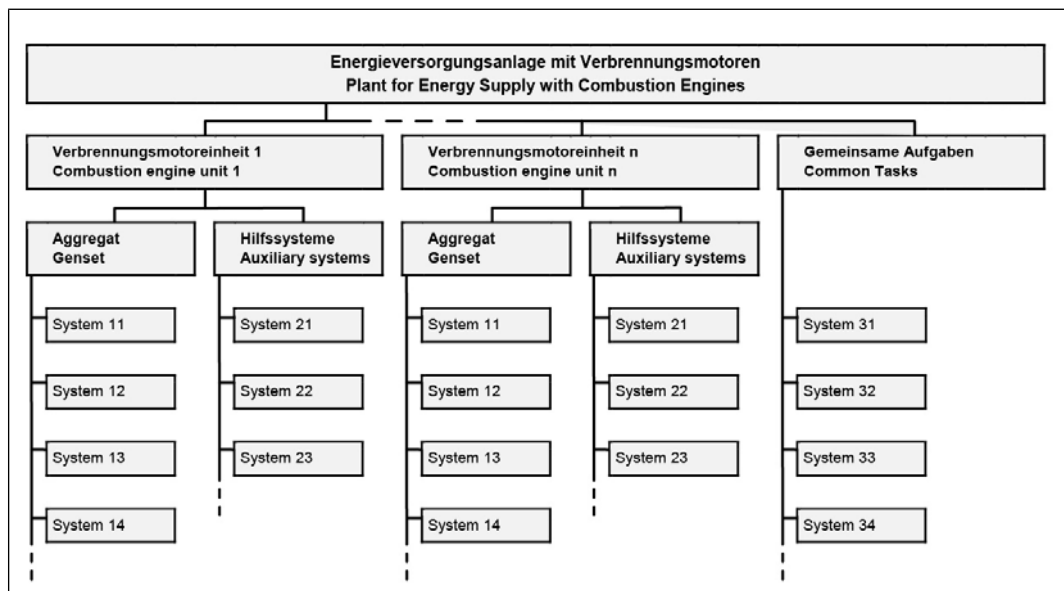
- Elektrisches Leistungssystem
- Elektrisches Eigenbedarfssystem
- Anlagensteuerungssystem

### Andere Systeme

Neben den Verbrennungsmotoreinheiten können weitere Systeme für gemeinsame Aufgaben Teil der Energieversorgungsanlage sein. Dies sind zum Beispiel ein gemeinsamer Brennstoffspeicher, eine gemeinsam genutzte Trafostation und Büro- und Sozialgebäude.

### Schematische Anlagenstruktur

Folgende Abbildung zeigt die beschriebene Anlagenstruktur schematisch.



3539201419: Struktur einer typischen Energieversorgungsanlage

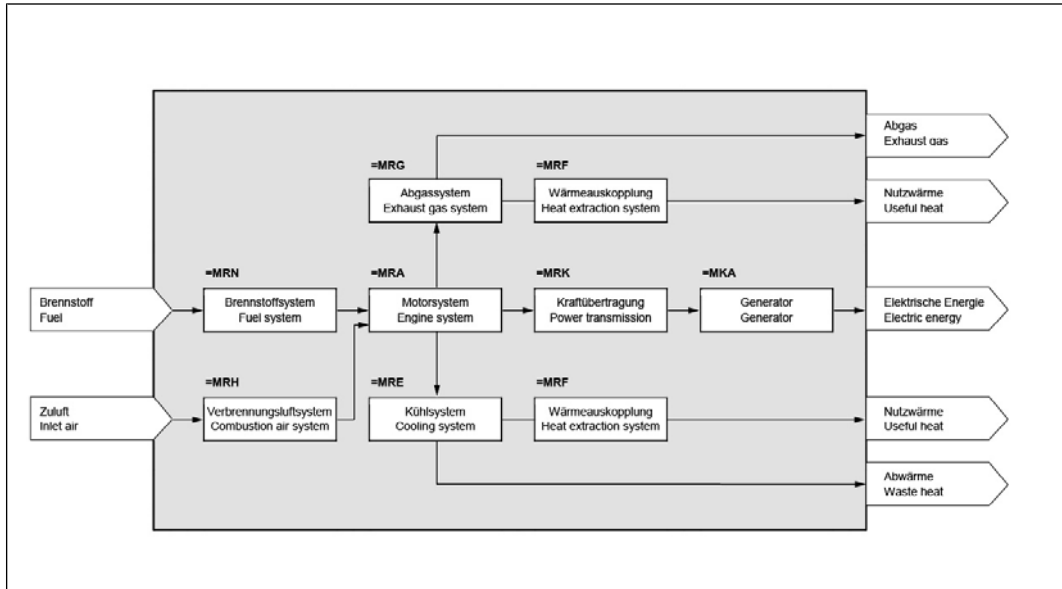
### 4.1.3 Verfahren der Energieumwandlung und Stoffströme

„Anlagen der Energieversorgung mit Verbrennungsmotoren wandeln einen chemischen Energieträger über mehrere Schritte in verschiedene Formen der nutzbaren Energie um.

Je nach Betriebsart (strom- oder wärmegeführt) werden vorrangig elektrische Energie und thermische Energie für Heizzwecke bereitgestellt. Anlagen der Energieversorgung mit Verbrennungsmotoren können prinzipiell zur Bereitstellung von Regelenergie genutzt werden, da die zur Umwandlung genutzte chemische Energie speicherfähig ist und bedarfsgerecht umgewandelt werden kann.“ [VGB-Richtlinie S-823-34]

Mit Hilfe von Verbrennungsmotoren kann ein Brennstoff mit Verbrennungsluft energetisch nutzbar gemacht werden. Die folgende Abbildung zeigt wesentlichste Stoff- und Energieflüsse in Anlagen mit Verbrennungsmotoren. Es ist möglich, dass die in der Abbil-

ung dargestellt Wärmenutzung nicht erfolgt. In diesem Fall wird lediglich die elektrische Energie zur Verfügung gestellt und die entstehende Wärmeenergie wird ungenutzt in die Umwelt abgegeben.



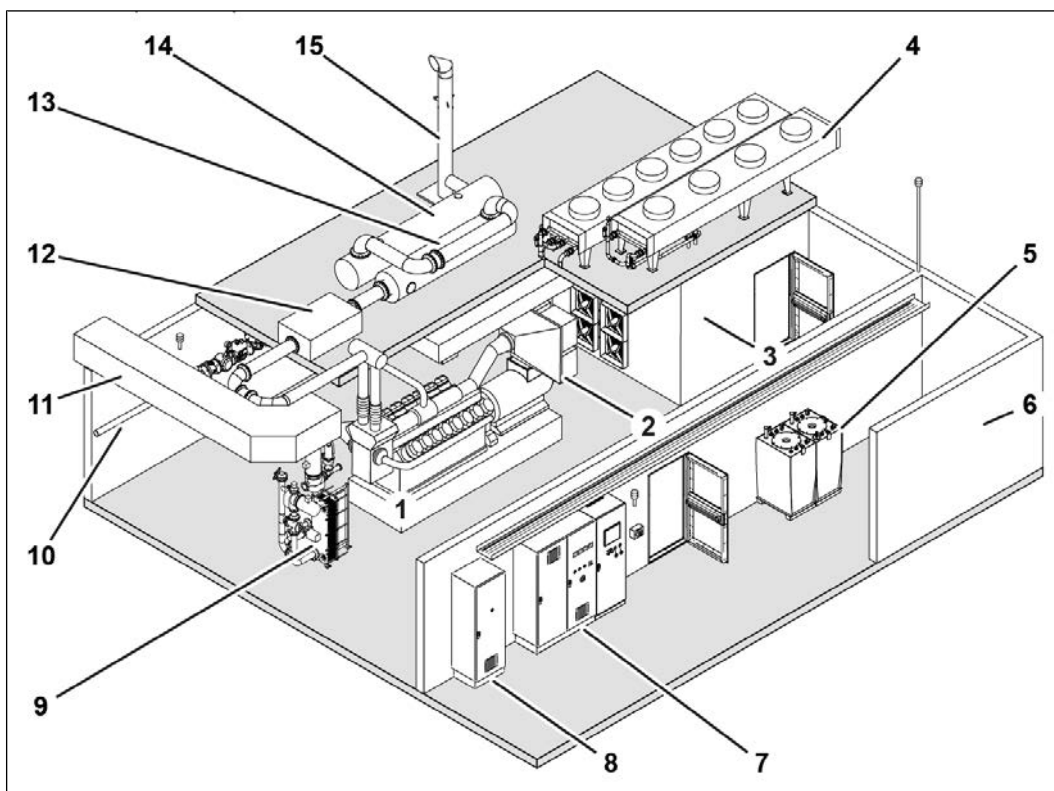
3539201931: Stoff- und Energieflüsse einer typischen Verbrennungsmotoreinheit

### Weitere Informationen

- [Gasmotor](#) [► 90]

#### 4.1.4 Beispiel

Die Abbildung zeigt eine Anlage mit Gasmotorenaggregat und verschiedenen Hilfssystemen bzw. Komponenten. Sie dient nur zum Verständnis der Zusammenhänge und ist weder maßstäblich noch detailliert oder komplett. Die konkrete Auslegung einer Anlage bzw. Anordnung der Bestandteile muss den örtlichen Gegebenheiten entsprechen und erfolgt bei der Projektierung.



2963981323: Vereinfachte Darstellung eines BHKW

- |    |  |    |   |
|----|--|----|---|
| 1  | Aggregat   | 2  | Verbrennungsluftfilter (Verbrennungsluftsystem)                             |
| 3  | Zuluftfiltern und Zuluftventilatoren (Lüftungssystem)  | 4  | Rückkühler (Kühlsysteme)  |
| 5  | Frischöltank und Altöltank (Schmierölsystem)   | 6  | Gebäudewände und Decken (Maschineneinhausung)                               |
| 7  | Schaltschränke (Aggregat und Anlagensteuerungssystem und elektrisches Eigenbedarfssystem)          | 8  | Schaltschrank mit Generatorleistungsschalter (elektrisches Leistungssystem) |
| 9  | Kühlwassermodule mit Pumpen, Ventilen und Plattenwärmetauscher (Kühl- und Wärmeauskopplungssystem) | 10 | Brenngasleitung und Gasregelstrecke (Brennstoffsystem)                      |
| 11 | Abluftanlage (Lüftungssystem)  | 12 | Abgasreinigungsanlage (Abgassystem)   |
| 13 | Abgaswärmetauscher (Wärmenutzungssystem)   | 14 | Abgasschalldämpfer (Abgassystem)  |
| 15 | Abgaskamin (Abgassystem)   |    |   |

## 4.2 Bedarfsermittlung

### 4.2.1 Jahreskennlinie

Die Auslegung der Aggregategröße erfolgt auf Grundlage des Strombedarfs und Wärmebedarfs anhand der Jahreskennlinien.

### 4.2.2 Strombedarf

Für die Auslegung nach dem Strombedarf im Netzparallelbetrieb ist die Strombedarfskennlinie maßgebend. Prüfen, ob eine Aufteilung der erforderlichen Gesamtleistung auf mehrere Aggregate zweckmäßig ist. Für den Ersatzstrombetrieb neben dem Strombedarf im Netzparallelbetrieb die Ersatzstromleistung beachten. Eine Unterscheidung von „wichtigen“ und „nicht wichtigen“ Verbrauchern und den zulässigen Unterbrechungszeiten muss erfolgen.

Nicht alle Verbraucher sind gleichzeitig eingeschaltet bzw. erreichen gleichzeitig ihren maximalen Stromverbrauch (Gleichzeitigkeitsfaktor).

Einige Verbraucher nehmen reine Wirkleistung auf, andere dagegen nehmen eine Scheinleistung auf. Besondere Verbraucher, z. B. mit Stoßlast-Charakteristik oder extremen Forderungen an Spannungskonstanz und Frequenzkonstanz, müssen berücksichtigt werden.

Bei besonderen klimatischen Aufstellungsbedingungen, wie z. B. große Höhe, hohe Lufttemperaturen und Luftfeuchte, können Motor und Generator nicht ihre Normalleistung abgeben. Eine Leistungsreduktion nach ISO 8528-1 bzw. DIN VDE 0530 sowie DIN EN 60034 ist die Folge.

### 4.2.3 Wärmebedarf

Nach der Wärmebedarfskennlinie kann die Aggregategröße und Aggregatanzahl für eine wärmegeführte Betriebsweise ermittelt werden. Die Stromerzeugung und der Strombedarf sind bei der wärmegeführten Betriebsweise unbedingt zu berücksichtigen, da es aufgrund der gewählten Betriebsweise zu Stromrückspeisung und/oder zu Stromnetzbezug kommen kann.

## 4.3 Übersicht zu Bedienmodus, Betriebsarten und Führungsgröße

### 4.3.1 Einführung

Dieses Kapitel dient als Grundlage für die Planung des Bedienkonzepts, des Regelungskonzepts und dem sachgerechten und effizienten Einsatz der CES-Verbrennungsmotoreinheiten bzw. deren Hilfssystemen vor Ort.

Eine tabellarische Übersicht benennt zunächst die wichtigste Bedienmodi, Betriebsarten und Führungsgrößen mit einer kurzen Zweckangabe. Anschließend folgen ausführlichere Angaben zu typischen Betriebsarten, die bei der Planung zu berücksichtigen sind.

Da dieses Dokument nicht jede Verwendung beschreiben kann bzw. der Produkteinsatz von der Situation vor Ort beeinflusst wird, beantwortet CES gerne anstehende Fragen und empfiehlt generell eine Projektierung in Zusammenarbeit.

### 4.3.2 Tabellarische Übersicht

Die hier aufgeführten Betriebsarten basieren auf verschiedenen Differenzierungskriterien. Daher sind für jeweils einen konkreten Anwendungsfall mehrere Betriebsarten zutreffend.

#### Betriebsarten, gelistet nach Bedienmodus

Bezeichnung	Beschreibung
Automatikbetrieb	Automatik, um bei bestehender Betriebsbereitschaft das Modul automatisch durch ein externes Signal bzw. Leistungsvorgabe zu starten und mit dem Stromnetz zu koppeln
Handbetrieb	Manuell, um das Modul bei Bedarf zu starten. Das Hochfahren und die Leistungsvorgabe erfolgt schrittweise durch das Bedienpersonal

Tab. 1: Übersicht nach Bedienmodus

#### Betriebsarten, gelistet nach Führungsgröße für den Anlagenbetrieb

Bezeichnung	Beschreibung
Stromgeführter Betrieb	Betriebsart eines Heizkraftwerks, in der sich die Kraftwerksleistung am Strombedarf orientiert. <ul style="list-style-type: none"> <li>Weitere Informationen: <a href="#">Strombedarf</a> [► 52]</li> </ul>
Wärmegeführter Betrieb	Betriebsart eines Heizkraftwerks, in der sich die Kraftwerksleistung am Wärmebedarf orientiert. <ul style="list-style-type: none"> <li>Weitere Informationen: <a href="#">Wärmebedarf</a> [► 52]</li> </ul>
Brenngasgeführter Betrieb	Betriebsart eines Kraftwerks, in der sich die Kraftwerksleistung am Brenngasangebot orientiert.

Tab. 2: Übersicht nach Führungsgröße

**Betriebsarten, gelistet nach Brenngasversorgung**

Bezeichnung	Beschreibung
Eingasbetrieb	Betriebsart eines Aggregats, in der dauerhaft eine bestimmte Brenngasart als Brennstoff verwendet wird.
Zweigasbetrieb	Betriebsart eines Aggregats, in der eine von zwei möglichen Brenngasarten oder ein Gemisch aus beiden Brenngasarten als Brennstoff verwendet wird.  Weitere Informationen: <a href="#">Hinweise zur Montage von Gasregelstrecken</a> [► 179]
Zumischbetrieb	Zweigasbetrieb mit einem Gemisch, in dem der Volumenanteil der einen Brenngasart mindestens 10 % und der der anderen Brenngasart maximal 90 % beträgt.
Umschaltbetrieb	Zweigasbetrieb, in dem der Volumenanteil der einen Brenngasart 100 % und der der anderen Brenngasart 0 % beträgt. Das Umschalten von der einen zur anderen Brenngasart ist nur bei Stillstand möglich.

Tab. 3: Übersicht nach Brenngas

**Betriebsarten, gelistet nach Einbindung in das Stromnetz**

Bezeichnung	Beschreibung
Netzparallelbetrieb	Betriebsart, in der eine Energieversorgungsanlage Strom in ein Stromverteilnetz einspeist, in das bereits eine oder mehrere andere Energieversorgungsanlagen einspeisen.  Weitere Informationen <ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">Netzparallelbetrieb</a> [► 276]</li> </ul>
Inselbetrieb	Betriebsart, in der eine Energieversorgungsanlage mit nur einem Aggregat die alleinige Stromquelle im Stromverteilnetz ist.  Weitere Informationen: <a href="#">Inselbetrieb und Inselparallelbetrieb</a> [► 283]
Inselparallelbetrieb	Betriebsart, in der eine Energieversorgungsanlage mehrere Aggregate als Insel enthält die gemeinsam in dieser Insel betrieben werden.

Bezeichnung	Beschreibung
	Weitere Informationen: <a href="#">Inselbetrieb und Inselparallelbetrieb</a> [► 283]

Tab. 4: Übersicht nach Stromnetz

#### Betriebsarten, gelistet nach Bedarfsabdeckung elektrischer Energie

Bezeichnung	Beschreibung
Grundlastbetrieb (Dauerbetrieb)	Betrieb einer Energieversorgungsanlage mit dem Ziel, die in einem Energieversorgungsnetz anliegende Grundlast zu decken. Grundlast ist hierbei die konstant benötigte elektrische Leistung in einem Versorgungsgebiet.
Spitzenlastbetrieb (Flexbetrieb)	Betrieb einer Energieversorgungsanlage mit dem Ziel, die in einem Energieversorgungsnetz anliegende Spitzenlast zu decken. Spitzenlast ist hierbei der Anteil der elektrischen Leistung in einem Versorgungsgebiet, die nur relativ kurzfristig und zeitlich begrenzt benötigt wird.

Tab. 5: Übersicht nach Bedarfsabdeckung

#### Betriebsarten, gelistet nach Verfügungsstellung von elektrischer und/oder thermischer Energie

Bezeichnung	Beschreibung
Volllastbetrieb	Betriebsart eines Aggregats, in der das Aggregat bei 100 Prozent der Nennleistung läuft.
Teillastbetrieb	Betriebsart eines Aggregats, in der das Aggregat bei weniger als 100 Prozent der Nennleistung läuft.
Überlastbetrieb (nicht zulässig)	Betriebsart eines Aggregats, in der das Aggregat bei mehr als 100 Prozent der Nennleistung läuft.
Leistungsreduzierter Betrieb	Es ist möglich, dass das Aggregat aus verschiedenen technischen Gründen nicht mit Volllast laufen kann. Meist sind es Betriebsbedingungen, die über die Motorsteuerung erkannt werden, die dazu führen, dass das Aggregat nur mit reduzierter Leistung betrieben werden kann.

Tab. 6: Übersicht nach Verfügungsstellung

**Betriebsarten, gelistet nach Belastungsweise im Anlagenbetrieb**

Bezeichnung	Beschreibung
Stationärer Betrieb	Betriebsart eines Aggregats, bei der das Aggregat über einen längeren Zeitraum quasi konstant belastet wird.
Transienter Betrieb	Betriebsart eines Aggregats, bei der sich die Belastung des Aggregats oft ändert.

Tab. 7: Übersicht nach Belastungsweise

**Starten**

Bezeichnung	Beschreibung
Fast Ramp-Up	Zusätzliche Option im Flexbetrieb, die es ermöglicht, das Aggregat nach dem Starten über eine steilere Leistungsrampe schneller auf die geforderte Leistung hochzufahren. Weitere Informationen: <a href="#">Fast Ramp-Up [► 59]</a>
Schwarzstart	Start einer Energieversorgungsanlage aus vollständig abgeschaltetem Zustand mithilfe einer eigenen Hilfsenergiequelle und ohne Zufuhr elektrischer Energie von außen. Weitere Informationen: <a href="#">Schwarzstartfähigkeit (Inselbetrieb) [► 71]</a>

Tab. 8: Übersicht Starten

**Ausschalten**

Bezeichnung	Beschreibung
Not-Halt	Unverzögertes Abstellen des Aggregat mit Unterbrechung der Brenngaszufuhr und Öffnen des Generatorleistungsschalters. Dabei bleiben alle Pumpen in Betrieb. Der Not-Halt ist nützlich, um mögliche gefährliche Betriebssituationen zu unterbrechen oder zu verhindern. Mit Hilfe eines Not-Halts wird das Risiko gefährlicher Maschinenbewegungen vermindert. Je nach Art des Not-Halts können entweder alle Pumpen zur Kühlung nachlaufen oder gleichzeitig mit abgestellt werden.
Not-Aus	Unverzögerte Unterbrechung der Spannungsversorgung des Aggregates und der direkt dazu gehörigen Betriebsmittel. Bei einem Not-Aus erfolgt immer auch ein Not-Halt des Ag-



Bezeichnung	Beschreibung
	gregates. Mit Hilfe eines Not-Aus wird das Risiko aus Gefahren eines Stromschlages oder einer anderen Gefahr elektrischen Ursprungs vermindert.

Tab. 9: Übersicht Ausschalten

## 4.4 Mindestlasten

Insbesondere beim Inselbetrieb, Inselparallelbetrieb aber auch beim Netzparallelbetrieb müssen Einschränkungen für den Betrieb eines Gasmotorenaggregats beachtet werden. Diese Einschränkungen wirken sich insbesondere auf die maximale Verfügbarkeit bei minimalem Wartungsaufwand aus.

Bei Leistungen unterhalb der empfohlenen Mindestlast im Dauerbetrieb wird kein stabiles Verhalten gewährleistet für:

- Emissionen
- Schmierölverbrauch
- Brennstoffeinsatz

Weiterhin sind in der TEM-Steuerung bzw. TPEM-Steuerung feste Werte für die Aggregatleistung hinterlegt. Bei der Unterschreitung dieser Werte wird das Aggregat nach vorangegangener Warnung abgestellt.

Die folgende Tabelle informiert über Mindestlasten und Abschaltungen für die Motortypen der aktuellen Aggregatbaureihen. Die Angaben gelten auch für die unterschiedlichen Ausführungen des jeweiligen Motortyps.

Kurzzeitiger Betrieb		Dauerbetrieb
Motortyp	Abstellgrenze in kW (*)	Empfohlene Mindestlast in kW (**)
TCG 3016 V08	100	200
TCG 3016 V12	150	300
TCG 3016 V16	200	400
TCG 2020 V12	305	600
TCG 2020 V16	410	780
TCG 2020 V20	585	1000
TCG 3020 V12	420	690
TCG 3020 V16	560	920

Kurzzeitiger Betrieb		Dauerbetrieb
TCG 3020 V20	700	1150
TCG 2032 V12	800	1666
TCG 2032 V16	1060	2150
(*) TEM Aggregate: Es erfolgt eine Warnung nach 45 min / eine Abschaltung nach 60 min (*) TPEM Aggregate: Es erfolgt eine Warnung nach 15 min / eine Abschaltung nach 60 min (**) Der Betrieb unterhalb des Grenzwerts für den Dauerbetrieb wird nicht empfohlen und sollte begrenzt werden. Falls dies dennoch erforderlich ist, stellen Sie sicher, dass das Aggregat anschließend über einen längeren Zeitraum (> 120 min) mit einer Leistung betrieben wird, die über dem Grenzwert liegt.		

Tab. 10: Mindestlasten und Abschaltungen

## 4.5 Bereitstellung von Regelennergie

In einem elektrischen Energieversorgungssystem muss sich Erzeugung und Verbrauch von Energie stets die Waage halten. Energie lässt sich in einem elektrischen Versorgungssystem nur eingeschränkt speichern. Ziel der Regelennergie ist es, Abweichungen zwischen Erzeugung und Entnahme auszugleichen. Dabei unterscheidet man zwischen zwei Regelenenergiearten:

- Positive Regelennergie: Bei nicht prognostizierter erhöhter Stromnachfrage ist positive Regelennergie erforderlich. Die Erzeugung muss gesteigert werden oder die Leistungsabnahme verringert werden (Energienmangel).
- Negative Regelennergie: Die Stromproduktion liegt über dem aktuellen Bedarf, und kurzfristig müssen Stromabnehmer eingeschaltet werden oder Stromerzeuger abgeregelt werden (Energieüberschuss).

Man unterscheidet zwischen drei Typen der Regelennergie:

- Primärregelennergie: Leistung wird zur schnellen Stabilisierung des Netzes innerhalb von 30 Sekunden benötigt, damit die Frequenzabweichung gestoppt wird.
- Sekundärregelennergie: Leistung muss innerhalb von fünf Minuten in voller Höhe zur Verfügung stehen, damit die Frequenzabweichung verringert werden kann.
- Tertiärregelennergie (Minutenreserve): Wird zur Ablösung der Sekundärregelennergie innerhalb einer Vorlaufzeit eingesetzt und mindestens 15 Minuten lang in konstanter Höhe abgerufen.

Der Anteil der erneuerbaren Energien nimmt kontinuierlich zu. Die Stromerzeugung aus regelbaren Energieanlagen gewinnt immer größere Bedeutung, da Windenergie und Solarenergie nicht permanent zur Verfügung stehen.

Gasmotorenaggregate können mit einer flexiblen Fahrweise betrieben werden.

Im Flexbetrieb der Aggregate von Caterpillar Energy Solutions sind zwei Betriebsarten zur Teilnahme am Regelenenergiemarkt möglich:

- Bereitstellung der Leistung im Teillastbereich (Sekundär und Tertiär)
- Starten aus dem Stillstand und Nutzung der vollen Leistung des Aggregates (Sekundär und Tertiär)

Der Betrieb in Teillastbereich schont das Aggregat. Eine flexible Fahrweise mit Start aus dem Stillstand bis zur Volllast beansprucht das Aggregat deutlich mehr. Dies zeigt sich unter anderem bei Verschleiß.

Zur Verminderung des Verschleißes bei diesen Aggregaten tragen Anpassungen an der Vorschmierung und an der Vorwärmung bei.

Ob ein betreffendes Aggregat für die Abgabe von Primär-, Sekundär- oder Tertiärregelleistung geeignet ist, und welche technischen Voraussetzungen und Ergänzungen dafür notwendig sind, die Präqualifikationsanforderungen zu erfüllen, muss projektabhängig geklärt werden.

## 4.6 Fast Ramp-Up

Zum Ausgleich von Überangeboten bzw. Minderangeboten von Strom im Verbundnetz wird eine zunehmend hohe Flexibilität bei der Stromerzeugung benötigt. Diese Flexibilität resultiert in einer benötigten Extraleistung (positiv oder negativ) und dient zum Ausgleich von Situationen, bei denen der Strombedarf im Netz höher oder niedriger ist als der prognostizierte Bedarf. Diese Extraleistung wird von den Netzbetreibern bei privaten oder öffentlichen Stromanbietern mit individuell festgelegten Vertragsbedingungen eingekauft. Beispiele für dieses Verhalten sind das STOR (Short Term Operating Reserve) Programm in Großbritannien oder der Regelenenergiemarkt (primär, sekundär und tertiär) in Deutschland.

Zur Darstellung von schnellen Reaktionszeiten wurde innerhalb der TEM-Steuerung die Option „Fast Ramp-Up (FRU)“ entwickelt. Diese Option ermöglicht es, einen vorgewärmten Motor in kurzer Zeit auf Nennleistung zu fahren. Dies erfordert, dass das Aggregat, bzw. das vollständige Motorkühlsystem inklusive dem Schmierölkreislauf, ständig auf Temperaturen über 40 °C warmgehalten werden müssen. Diese Option ist für das Aggregat TCG 2032B V16 freigegeben.

## 4.7 Ersatzstrombetrieb

Bei einigen speziellen Anwendungsfällen ist es im Notfall erforderlich, wichtige Verbraucher 15 Sekunden lang zu versorgen. Um diesen Ersatzbetrieb zu realisieren, müssen die Funktion und die Verbraucher in der Projektierung eindeutig geklärt sein. Die verfügbare Leistung nach 15 Sekunden entspricht der ersten Laststufe gemäß Lasttabelle.

Um den Start des Gasmotors zu gewährleisten, muss der Gasmotor schwarzstartfähig sein. Diese Bedingung erfüllen nur Einmotorenanlagen mit Aggregaten TCG 3016, TCG 2020 V12 und TCG 2020 V16. Die Aggregate TCG 2020 V20 und TCG 3020 V20 sind nicht für Ersatzstrombetrieb geeignet, da die Hochlaufzeit zu lang ist.

Im Inselbetrieb mit mehr als einem Gasaggregat liefert das erste Aggregat den Ersatzstrom. Die anderen Gasaggregate starten, nachdem die Stromversorgung durch das erste Aggregat stabil ist. Die Hilfsantriebsversorgung der nachfolgenden Gasaggregate wird von dem ersten Aggregat bereitgestellt. Die darauf folgenden Aggregate werden zum ersten Aggregat synchronisiert. In einigen besonderen Fällen ist es möglich, mehr als ein Gasaggregat zu starten, um eine höhere Leistung für den Ersatzstromfall bereitzustellen. In diesem Fall ist eine Hochlaufsynchronisierung erforderlich.

Die verfügbare Ersatzstromleistung ergibt sich aus der ersten Laststufe multipliziert mit der Anzahl der betriebenen Aggregate. Dies ist ein sehr spezieller Anwendungsfall der Gasaggregate und muss im Detail projektiert werden.

### Erforderliche Informationen

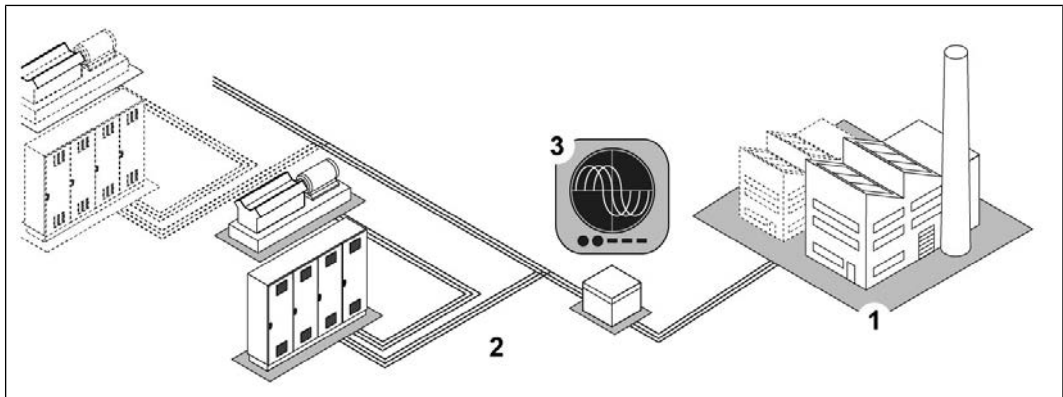
- [Lastschaltfähigkeit \(Inselbetrieb\) \[► 61\]](#)
- [Schwarzstartfähigkeit \(Inselbetrieb\) \[► 71\]](#)

## 4.8 Lastschaltfähigkeit (Inselbetrieb)

### 4.8.1 Verfahren und Begriffe

#### Inselbetrieb und Inselparallelbetrieb

Im Gegensatz zu Übertragungsnetzen mit einer Vielzahl von einspeisenden Aggregaten und Stromabnehmern besteht ein Inselnetz aus einer geringen Anzahl von Teilnehmern (1). Die Stromversorgung (2) erfolgt autark durch ein Aggregat (Inselbetrieb) oder mehrere (Inselparallelbetrieb).



3522499723: Beispielabbildung eines Inselnetz

#### Spannungs- und Frequenzhaltung im Inselbetrieb

Im Inselbetrieb bestimmt die Drehzahl des Gasmotors die Frequenz der erzeugten Spannung (3) und die Erregung des Generators deren Wert. Durch die geringere Anzahl an Teilnehmern schwankt die Frequenz bei wechselnder Stromabnahme wesentlich schneller als bei großen Netzen und muss von der Steuerung des Aggregats in den gewünschten Grenzen stabil gehalten werden.

#### Regelgüte und Ausführungsklassen

Die zulässigen Spannungsschwankungen werden von den Anforderungen der Betriebsmittel der Netzteilnehmer vorgegeben. Als Grundlage für Verbrennungsmotoren dient allgemein die Definition von Ausführungsklassen beispielsweise in G-Klassen. Die folgende Auflistung gibt einen ersten Überblick:

- G1 mit geringen Anforderungen an den Frequenz- bzw. Spannungsverlauf bei einer Laständerung: einfache Haushaltseinrichtung, einfache Antriebe.
- G2 mit Standardanforderungen an den Frequenz- bzw. Spannungsverlauf bei einer Laständerung: vergleichbar mit dem öffentlichen Netz.
- G3 mit höheren Anforderungen an den Frequenz- bzw. Spannungsverlauf (auch Sinusform) bei einer Laständerung: vergleichbar mit EDV-Anlagen, Fernmeldeeinrichtungen usw.
- G4 ist für komplexe Anwendungen vorgesehen, die sich nicht in den Klassen G1 – G3 einordnen lassen und mit einer speziellen Projektierung geplant werden.

### Normen

Genaue Angaben zu den Vorgaben und Toleranzen der Ausführungsklassen finden sich beispielsweise in der ISO 8528-5:2022-06 Stromerzeugungsaggregate mit Hubkolben-Verbrennungsmotor - Teil 5: Stromerzeugungsaggregate.

### Aufschalten und Abschalten von Lasten

Während dem Betrieb schwankt die Stromabnahme durch Zuschalten und Abschalten von Verbrauchern (Lasten). Das bedeutet für das Aggregat:

- Beim Zuschalten von Lasten wird der Antrieb eines stromerzeugenden Aggregats (Gasmotor) mehr oder weniger gebremst und die Drehzahl (Frequenz) sinkt kurzzeitig.
- Beim Abschalten von Lasten wird der Antrieb eines stromerzeugenden Aggregats (Gasmotor) mehr oder weniger entlastet und die Drehzahl (Frequenz) steigt kurzzeitig.

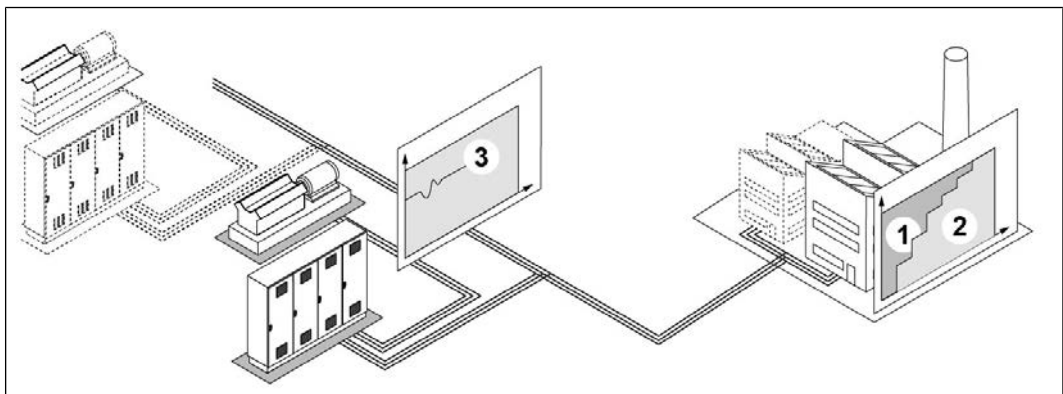
Jede Drehzahländerung des Aggregats wirkt sich im Inselbetrieb auf die Amplitude der erzeugten Spannung sowie deren Frequenz unmittelbar aus. Dabei erfolgt die Einregelung der Spannung über den Spannungsregler des Generators sehr schnell. Die Einregelung der Frequenz ist zeitaufwändiger. Um die Frequenz stabil zu halten, muss die Steuerung der Energieversorgungsanlage je nach Situation:

- Die Leistung der Aggregate anpassen
- Weitere Aggregate zuschalten und abschalten

### Laststufen und Wartezeit

Allgemein erfolgt das Aufschalten und Abschalten von Lasten nicht langsam in Form von Rampen, sondern sehr schnell. Da die Steuerung eine gewisse Zeit zum Einregeln braucht, kommt es zu kurzfristigen Frequenz- und Spannungsschwankungen. Diese sind zum Betrag der aufgeschalteten bzw. abgeschalteten Last proportional.

Um die Vorgaben der gewünschten Regelgüte einzuhalten, erfolgt deshalb bei großen Lastsprüngen eine Veränderung der Stromanforderung nicht in einem Schritt (1) sondern stufenweise (2) entsprechend der technischen Leistungsfähigkeit des Aggregats bzw. dessen regelungstechnischen Möglichkeiten.



3935320075: Vereinfachter Zusammenhang von Laststufen und Wartezeit

Die zulässige Größe der Stufen ist abhängig von der Bauart des Aggregats und der Lage des aktuellen Betriebspunkts.

Damit nach einer geschalteten Stufe das Aggregat regelungstechnisch auf seinen geforderten Sollwert eingeregelt ist (3), läuft vor dem Schalten der nächsten Stufe eine Wartezeit ab.

Verfahrensbedingt besteht bei Gasmotoren eine Reaktionszeit, bis sich die Eingriffe der Emissionssteuerung auf die entstehenden Abgasemissionen in den Verbrennungsräumen und nachfolgend am vorgesehenen Messpunkt auswirken. Bei korrekt eingestelltem Aggregat und im stationären Betrieb reicht die angegebene Wartezeit bei üblichen Anwendungen aus. Für den transienten Betrieb mit seinen flexiblen Betriebsweisen können je nach geforderten Emissionsvorgaben besondere Maßnahmen erforderlich sein. Diese ist eine der Aufgaben bei der Planung des angeschlossenen Abgassystems (Abgasreinigung).

## 4.8.2 Hinweise für die Planung

### Allgemeine Vorgehensweise

Bei der Projektierung einer Versorgungsanlage ist die Kenntnis des zu versorgenden Inselnetzes wichtig. Je nach Anforderung an die Regelgüte und den regelungstechnischen Möglichkeiten zum Aufschalten und Abschalten von Lasten vor Ort erfolgt eine Einordnung des Inselnetzes in eine Ausführungsklasse.

Anschließend kann dann ein geeignetes Standardaggregat ausgewählt oder durch herstellerseitige Maßnahmen an das Inselnetz angepasst werden. Je nach Betriebsbedingungen für das Aggregat vor Ort sind entsprechende Anpassungen zu berücksichtigen.

Für den transienten Betrieb mit flexiblen und häufigen Lastwechseln im Insel- und Inselparallelbetrieb können je nach geforderten Kundenlasten besondere Maßnahmen kundenseitig erforderlich sein. Z. B. Gleichzeitigkeit von Lasten begrenzen, Einschaltströme durch geeignete Maßnahmen (Softstarter) reduzieren. Dies ist eine der Aufgaben bei der Planung der Anlage und Vorgaben für den Insel- und Inselparallelbetrieb

- Erforderliche Informationen zur Ausführung bzw. Regelungstechnik: [Inselbetrieb und Inselparallelbetrieb](#) [► 283] sowie [Wirklastverteilung \(Inselparallelbetrieb\)](#) [► 72]

### Allgemeine Bedingungen bei Lastschaltungen

Um Lasten über Laststufen entsprechend den aggregatspezifische technische Angaben zu schalten gilt allgemein:

- Abgasemission 500 mg/m<sup>3</sup> NO<sub>x</sub> bez. 5 % O<sub>2</sub> (stationär)
- Erdgasbetrieb
- Betriebsheißer Motor
- ISO-Bedingungen
- Leitung vom Nulldruckregler der Gasregelstrecke bis zum Gasmischventil max. 1,5 m lang

- Vor der Nulldruck-Regelstrecke ein Mindestgasdruck gemäß gültiger SPI (Anlagenauslegung beachten)
- Aufstellhöhe < 500 m über NN

Bei abweichenden Bedingungen verändern sich die zulässigen Laststufen. Bei der Zuschaltung von elektrischen Antrieben (Pumpen, Verdichter) auf die Inselfammelschiene muss neben deren Nennleistung auch deren Einschaltleistung berücksichtigt werden.

## Aggregatbezogene Betriebseinflüsse

Folgende Betriebsparameter haben Einfluss auf die Höhe der Laststufen:

- Luftfilter, sauber oder verschmutzt
- Erhöhter Abgasgegendruck
- Heizwert und Methanzahl des Brenngases
- Verschleißzustand des Motors
- Aufstellhöhe
- Ansaugtemperatur
- Emissionsgrenzen für NO<sub>x</sub>-Emissionen
- Generatorregler
- Wartezeit zwischen den einzelnen Lastzuschaltungen bzw. Lastabschaltungen

Von der Auslegung abweichender Betrieb führt im Allgemeinen zu einer Verkleinerung der zulässigen Laststufenhöhe.

---

## HINWEIS

Abweichende NO<sub>x</sub>-Emissionswerte

Die transiente Leistung ist abhängig von den geforderten NO<sub>x</sub>-Emissionen und von den Bedingungen am Aufstellort.

Die Einstellung der geforderten NO<sub>x</sub>-Werte über die Brennraumtemperaturkennlinie erfolgt nur im stationären Betrieb. Im transienten Betrieb können die Emissionen von den eingestellten NO<sub>x</sub>-Werten abweichen.

- 
- Erforderliche Informationen: [Abgasemissionen \(Inselbetrieb\)](#) ► 72]

## Einfluss der G-Klasse

Mit steigender G-Klasse:

- erhöhen sich die Anforderungen an das Aggregat. Die Toleranzbänder werden enger und die geforderten Ausregelzeiten werden kürzer.
- verringert sich somit die zulässige Stufenhöhe bei Lastschaltungen für das gleiche Aggregat.



Bei der Planung einer Anlage nur die nötige G-Klasse für die jeweilige Anwendung wählen.

Die maximale Stufenhöhe ist nur außerhalb der größten genormten Ausführungsklasse G1 darstellbar. Hierbei ist nur gewährleistet, dass der Motor nicht beschädigt wird oder in Störabschaltung geht. Die Frequenzeinbrüche oder Ausregelzeiten sind jedoch nicht mehr definiert.

### Aggregatspezifische Angaben und erforderliche Rundschreiben

Die Möglichkeiten von Lastzuschaltung und Lastabschaltung hängen von der Motorspezifikation, dem Gesamtträgheitsmoment vom Gasmotor und Generator sowie von den Anlagenbedingungen ab. Für die Planung stehen deshalb aggregatspezifische technische Angaben zu den Laststufen als Rundschreiben zur Verfügung. Diese sind für jede Standardbaureihe verfügbar und enthalten die möglichen Laststufen mit Wartezeit für die Ausführungsklassen G1 – G3. Die Darstellung der aggregatspezifischen Lastschaltfähigkeit erfolgt in Diagrammen und Tabellen.

- Erforderliche Informationen: Technische Rundschreiben TR 2170 und TR 2172

Für die Baureihen TCG 2020 und TCG 2032 gibt es jeweils Diagramme für die maximalen Laststufen ohne Zuordnung zu einer der genormten Ausführungsklassen. Für die neue Motorbaureihe TCG 3016 und TCG 3020 sind die Diagramme und Tabellen für die Ausführungsklassen G1, G2 und G3 für die individuellen Zylinderzahlen und Drehzahlen (50 Hz und 60 Hz) ermittelt worden.

Die Rundschreiben sind aufgeteilt in:

- Lastschaltfähigkeit ohne Ausführungsklassen
- Lastschaltfähigkeit mit Ausführungsklassen

## 4.8.3 Einführung in die aggregatspezifische Darstellung

### 4.8.3.1 Allgemein

In den folgenden Erläuterungen, Tabellen und Diagrammen werden die prinzipiellen Möglichkeiten der Lastzuschaltung und der Lastabschaltung für ein Gasmotorenaggregat dargestellt. Die Angaben dienen zum Verständnis der Rundschreiben und sind deshalb allgemein gehalten.

#### HINWEIS

Bei zu kurzer Wartezeit droht ein instabiler Motorenbetrieb und die Vorgaben der ISO-Klassen werden möglicherweise nicht eingehalten. Je nach Instabilität schaltet sogar die Aggregatsteuerung zum Schutz vor Schäden das Aggregat ab

#### 4.8.3.2 Angaben in Tabellenform

##### Einführung

In den unten aufgeführten Tabellen zeigt die erste Spalte die stufenweise Lastzuschaltung des Motors vom unbelasteten Zustand bis zur 100%-Belastung. Die zweite Spalte zeigt die nötige Ausregelzeit, um nach einer Laststufe die Frequenz in das Toleranzband rund um Nennfrequenz zurückzukommen. Die dritte Spalte zeigt den maximalen Drehzahleinbruch, mit dem bei voller Ausnutzung der angegebenen Stufen zu rechnen ist. Die Tabellen für die Lastabschaltung zeigen die stufenweisen Lastabschaltung von 100 % Last bis zum Leerlauf. Die Lastabschaltung von einer beliebigen Last auf 0 % Last bzw. auf Eigenbedarf ist im Inselbetrieb im Allgemeinen erlaubt, betriebsmäßig aber zu vermeiden. Das Aggregat ist damit geschont.

Beispiel: Das in den Tabellen dargestellte Gasmotorenaggregat kann entsprechend der Tabellenspalte „Lastzuschaltung“ in der ersten Laststufe mit maximal 25 % belastet werden. Ausgehend von einer Vorbelastung von 25 % sind es maximal 17 %. Bei einer Vorbelastung von 42 % sind es 13 %. In der letzten Laststufe sind es 7 %. Für die Tabellenspalte „Lastabschaltung“ verhält es sich analog. Ausgehend von der aktuellen Last kann nur eine begrenzte Lastabschaltung stattfinden.

##### Laststufen ohne Zuordnung einer Ausführungsklasse

Allgemeine, beispielhafte Darstellung ohne Bezug zu einem Aggregat.

Bedingungen			Generatorträgheitsmoment		
Luftansaugtemperatur		30 °C	Zylinderzahl 1		$\geq XX \text{ kgm}^2$
GKK-Eintrittstemperatur	Erdgas	40 °C	Zylinderzahl 2		$\geq YY \text{ kgm}^2$
			Zylinderzahl 3		$\geq ZZ \text{ kgm}^2$
Lastzuschaltung (Z)			Lastabschaltung (A)		
$P_N$ [%]	$t_f$ [s]	$n$ [%]	$P_N$ [%]	$t_f$ [s]	$n$ [%]
0 - 25	15	-13	100 - 93	8	+6
25 - 42	15	-11	93 - 85	10	+6
42 - 55	15	-10	85 - 75	12	+9
55 - 65	15	-10	75 - 65	12	+9

65 - 75	12	-9		65 - 55	15	+10
75 - 85	12	-9		55 - 42	15	+10
85 - 93	10	-6		42 - 25	15	+11
93 - 100	8	-6		25 - 0	15	+13

$P_N$	Aktuelle Last	$t_f$	Ausregelzeit
$n$	Drehzahländerung		
$Z$	Lastzuschaltung	A	Lastabschaltung

### Laststufen mit Ausführungsklassen nach ISO 8528

Allgemeine, beispielhafte Darstellung ohne Bezug zu einem Aggregat

Luftansaugtemperatur	30 °C		G-Klasse	Wartezeit (s)
GKK-Eintrittstemperatur	45 °C		G1	25
Generatorträgheitsmoment	$\geq XX \text{ kgm}^2$		G2	20
			G3	15

1 Lastzuschaltung (Z) Load acceptance (Z)		2 Lastabschaltung (A) Load rejection (A)			
G1		G2		G3	
P <sub>N</sub> [%]	LS [%]	P <sub>N</sub> [%]	LS [%]	P <sub>N</sub> [%]	LS [%]
0	30	0	20	0	15
30	20	20	20	15	15
50	20	40	15	30	10
70	10	55	10	40	10
80	10	65	10	50	5
90	10	75	10	55	10
100	0	85	10	65	10
100	-10	95	5	75	5
90	-10	100	0	80	10
80	-10	100	-5	90	10
70	-20	95	-10	100	0
50	-20	85	-10	100	-10
30	-30	75	-10	90	-10
0	0	65	-10	80	-5
		55	-15	75	-10
		40	-20	65	-10
		20	-20	55	-5
		0	0	50	-10
				40	-10
				30	-15
				15	-15
				0	0

3624235531: Beispieltabelle

1 Lastzuschaltung (Z)

2 Lastabschaltung (A)

P<sub>N</sub> Aktuelle Last

G Ausführungsklassen

LS Laststufe

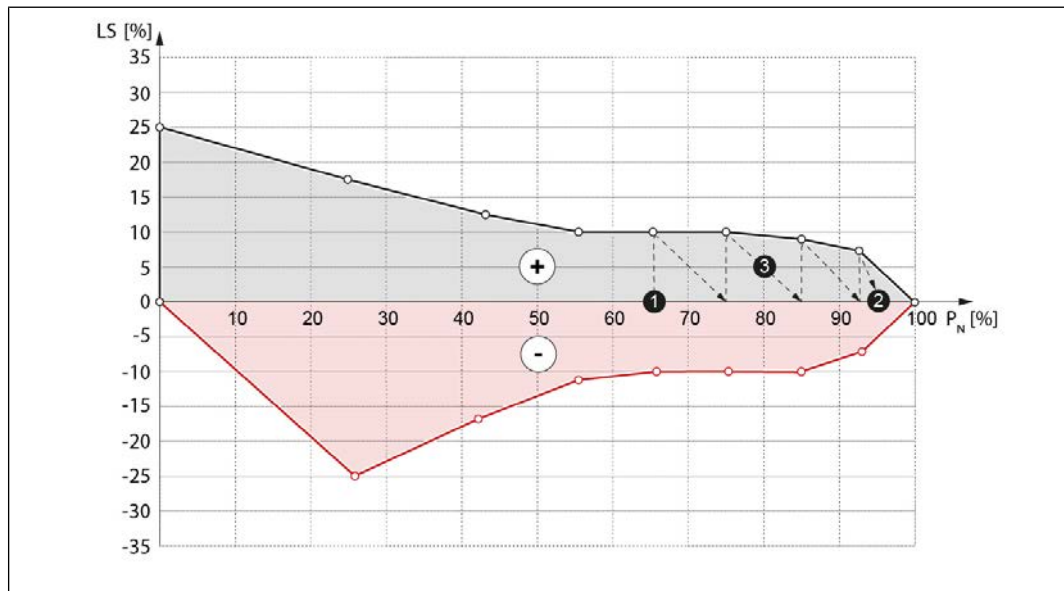
#### 4.8.3.3 Angaben in Diagrammform

Die folgenden Diagramme zeigen die zulässige Lastzuschaltung bzw. Lastabschaltung der Motoren. Auf der Abszisse ist die aktuelle Last der Motoren angegeben. Auf der Ordinate ist die mögliche Lastzuschaltung beziehungsweise die mögliche Lastabschaltung bezogen auf die aktuelle Last angegeben.

### Laststufen ohne Zuordnung einer Genauigkeitsklasse

Das Beispiel in Kapitel [Laststufen ohne Zuordnung einer Ausführungsklasse](#) [ 66] wird nochmals betrachtet. Das folgende Diagramm zeigt im Motorlastbereich, im Bereich der Lastzuschaltung, eine fallende Kurve zwischen 0 % und 55 %. In diesem Lastbereich nimmt die mögliche Lastzuschaltung mit steigender Motorleistung von 25 % bis auf 10 % ab. Im Lastbereich von 55 % bis 75 % beträgt die mögliche Lastzuschaltung 10 %. Über 75 % bis 100 % nimmt die mögliche Lastzuschaltung weiter ab. Bei Erreichen von 100 % Last ist keine weitere Lastzuschaltung möglich. Die Lastabschaltung verhält sich analog.

Beispiel: der aktuelle Betriebspunkt (1) des Aggregats liegt bei 65 % der Nennleistung. Die gewünschte Lastzuschaltung führt zu 95 % der Nennleistung. Dies erfolgt in 4 Schritten mit den Laststufen (LS) 10 %, 10 %, 9 % und 8 %.

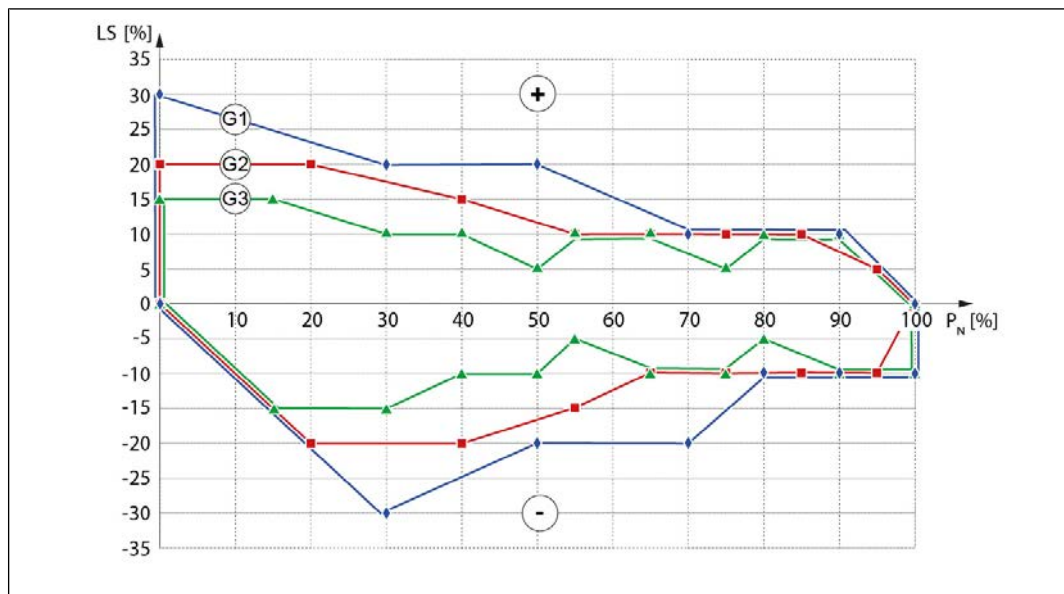


3624240395: Laststufen ohne Ausführungsklassen

(+)	Lastzuschaltung	(-)	Lastabschaltung
$P_N$	Aktuelle Last in Prozent	LS	Laststufe
(bezogen auf die Nennleistung)			

### Laststufen mit Ausführungsklassen nach ISO 8528

Das folgende Diagramm zeigt das Beispiel in Kapitel [Laststufen mit Ausführungsklassen nach ISO 8528](#) [ 67].



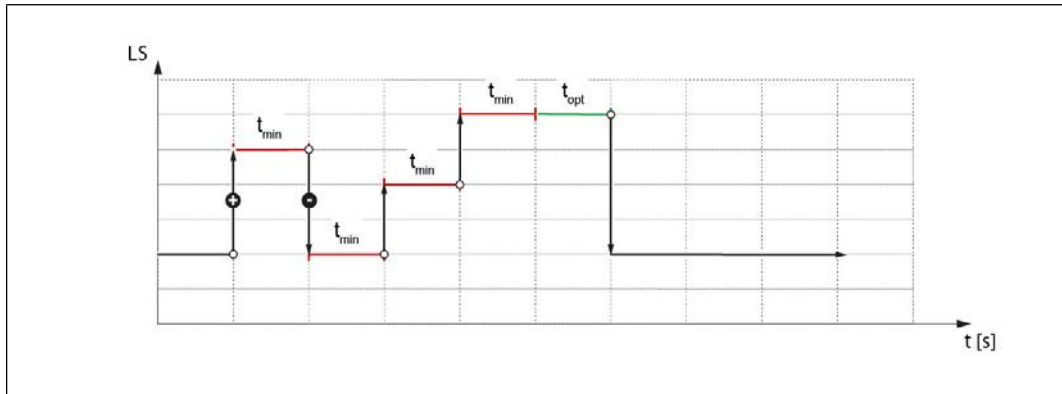
3624239883: Laststufen mit Ausführungsklassen

- |     |  |                |   |
|-----|--|----------------|---|
| (+) | Lastzuschaltung  | (-)            | Lastabschaltung   |
| G   | Ausführungsklassen (G1,G2, G3)<br>(nach ISO 8528)  | P <sub>N</sub> | Ist-Leistung in Prozent<br>(bezogen auf die Nennleistung) |
| LS  | maximal zulässige Lastzu- und Lastabschaltung in Prozent<br>(bezogen auf die Nennleistung) |                |   |

#### 4.8.3.4 Angaben zur Wartezeit

Nach der Laststufe von 0% auf 30% muss eine Wartezeit von mindestens 25 Sekunden ( $t_{\min}$ ) eingehalten werden, bevor die nächste Laststufe von 30% auf 50% eingeleitet werden darf. Die Wartezeit muss für jede Laststufe eingehalten werden (siehe folgende Abbildung).

### Beispiel Lastverlauf mit Wartezeit:



3625220235: Wartezeit

(+)	Lastzuschaltung	(-)	Lastabschaltung
LS	Laststufe	t	Zeit in Sekunden
$t_{\min}$	Mindestwartezeit	$t_{\text{opt}}$	Optionale Wartezeitverlängerung

## 4.9 Start von großen Verbrauchern (Inselbetrieb)

Einige Verbraucher wie Pumpen oder Ventilatoren haben eine effektive Startleistung, welche ein Vielfaches der Nennleistung beträgt. Im Fall einer hohen effektiven Startleistung ist es notwendig, spezielle Startverfahren einzusetzen. Zum Beispiel Stern-/Dreieck-Start oder Sanftanlauf. Bei Verbrauchern mit einem hohen Anfahrmoment ist es manchmal erforderlich Lastbänke oder Batteriespeicher einzusetzen, damit diese großen Verbraucher gestartet werden können. Aus diesem Grund ist es notwendig, die Verbraucher der Kundenanlage zu überprüfen und die Lastzuschaltung und Lastabschaltung während der Projektierung abzustimmen.

## 4.10 Schwarzstartfähigkeit (Inselbetrieb)

Wenn ein Gasaggregat „schwarz gestartet“ wird, startet das Gasaggregat ohne Hilfsantriebsversorgung für die Vorschmierung und die Kühlwasserpumpen. Das Gasaggregat startet direkt, nachdem im TEM-System bzw. TPEM-System der Anforderungskontakt geschlossen ist. Die Kühlwasserpumpen laufen an, sobald die Hilfsantriebsversorgung verfügbar ist. Des Weiteren wird auf eine vorherige Dichtheitskontrolle der Gasregelstrecke verzichtet. Der Schwarzstart ist eine Notfunktion der Gasaggregate und sollte nur für dringende Notfälle verwendet werden. Wegen des hohen Verschleißes des Gasmotors sollte diese Funktion nicht mehr als dreimal im Jahr eingesetzt werden.

Folgende Gasmotoren sind schwarzstartfähig:

- TCG 3016
- TCG 2020
- TCG 2020 K
- TCG 3020

Der Schwarzstart ist eine reine Funktion für den Inselbetrieb und im Netzparallelbetrieb nicht möglich. Der TCG 2032 ist nicht schwarzstartfähig. Diese Baureihe benötigt eine Vorschmierung vor dem Start. Daher wird eine Versorgung für die Hilfsantriebe benötigt, zum Beispiel durch einen Notstromdiesel oder eine USV.

#### 4.11 Abgasemissionen (Inselbetrieb)

Während des Inselbetriebs regelt das TEM-System bzw. TPTEM-System die Abgasemissionen automatisch. Der typische Wert ist  $500 \text{ mg NO}_x/\text{Nm}^3$  (bezogen auf 5 %  $\text{O}_2$ , trocken) oder höher und kann von dem Inbetriebnehmer parametrierbar werden. Die höhere Anreicherung des Gemischs aus Brenngas und Luft bewirkt ein besseres Lastwechselverhalten des Gasmotors, hat jedoch einen höheren  $\text{NO}_x$  Wert zur Folge. Soll im Inselbetrieb der Emissionswert kleiner als  $500 \text{ mg}/\text{Nm}^3$  sein, muss das Gemisch aus Brenngas und Luft magerer eingestellt werden. Die Laststufentabelle muss entsprechend angepasst werden. Die Stufenhöhe muss dadurch verringert werden, woraus resultiert, dass die Anzahl der Stufen von Leerlauf bis Vollast gesteigert wird.

##### Erforderliche Informationen

- [Lastschaltfähigkeit \(Inselbetrieb\)](#) ► 61]

#### 4.12 Wirklastverteilung (Inselparallelbetrieb)

Für den Inselparallelbetrieb einer Anlage mit mehreren Aggregaten ist eine Regelung zur Lastverteilung erforderlich. Diese sollte möglichst als integraler Bestandteil bei der Projektierung der Aggregatesteuerung (TPTEM-/TEM-System) vorgesehen werden. Alternativ ist aber auch eine externe, übergeordnete Regelung möglich.

Eine übergeordnete Steuerung für die Lastverteilung muss für das TPTEM-/TEM-System geeignet sein und mindestens folgende Eigenschaften aufweisen:

- Gemeinsame Frequenzregelung für alle parallel gekoppelten Aggregate
- Analoge Vorgabe der Solldrehzahl zur Leistungsregelung der einzelnen Aggregate
- Parametrierbare PI- bzw. PID-Drehzahlregler

Nur eine geeignete Lastverteilung ermöglicht einen stabilen Inselparallelbetrieb. Basierend auf der Erfahrung von Aggregaten im Inselparallelbetrieb bietet Caterpillar Energy Solutions GmbH für den Inselparallelbetrieb eine Lastverteilungslösung an:

- Lastverteilung über die zentrale Anlagensteuerung (ZAS)
  - Zusätzliche Montageplatte für den Einbau im ZAS
  - Lastabhängige Drehzahlregler-Parametrierung (8-stufig) für dynamische Hochleistungsregelung
  - Varianten für die Inselparallelbetrieb von bis zu 4 Aggregaten oder bis zu 8 Aggregaten (und optionale Steuerung eines Kuppelschalters)



- Weitere Sonderlastverteilungen für mehr als 8 Aggregate sind auf Anfrage möglich
- Lastverteilung über das TPEM Multi Function Relay (TPEM MFR)
  - Zusätzliche Funktion für das TPEM MFR im TPEM Control Cabinet (TPEM CC)
  - Datenaustausch zwischen den Aggregaten über CAN-Bus

Es wird dringend empfohlen, den Inselparallelbetrieb für große Aggregate auf der Grundlage der CES-Lastverteilung zu implementieren. Die Wahl einer unzureichenden Lastverteilungslösung kann beispielsweise zu folgenden Problemen führen:

- Lastschwankungen zwischen den Aggregaten
- Verzögerungen bei der Inbetriebnahme der Anlage und zusätzliche Kosten für Komponenten und Arbeitsaufwand
- Nachrüstungen in der übergeordneten Steuerungslösung

Caterpillar Energy Solutions GmbH ist nicht für Kosten oder Verzögerungen verantwortlich, die durch eine unzureichende Regelung der Lastverteilung entstehen.

### Erforderliche Informationen

- [Inselparallelbetrieb \[► 286\]](#)

## 4.13 Weitere Betriebsarten

Dieses Dokument beschreibt lediglich ausgewählte Bedienmodie, Betriebsarten und Führungsgrößen, die typisch für die Planung von Energieversorgungsanlagen mit Verbrennungsmotoreinheiten sind. Je nach Situation vor Ort können andere Konzepte, Modifikationen oder Kombinationen sinnvoll sein und können bei der Projektierung berücksichtigt werden.

### Weitere Informationen

- [Technische Unterstützung und Dienstleistungen \[► 41\]](#)



## 5 Kraftwerkausführungen

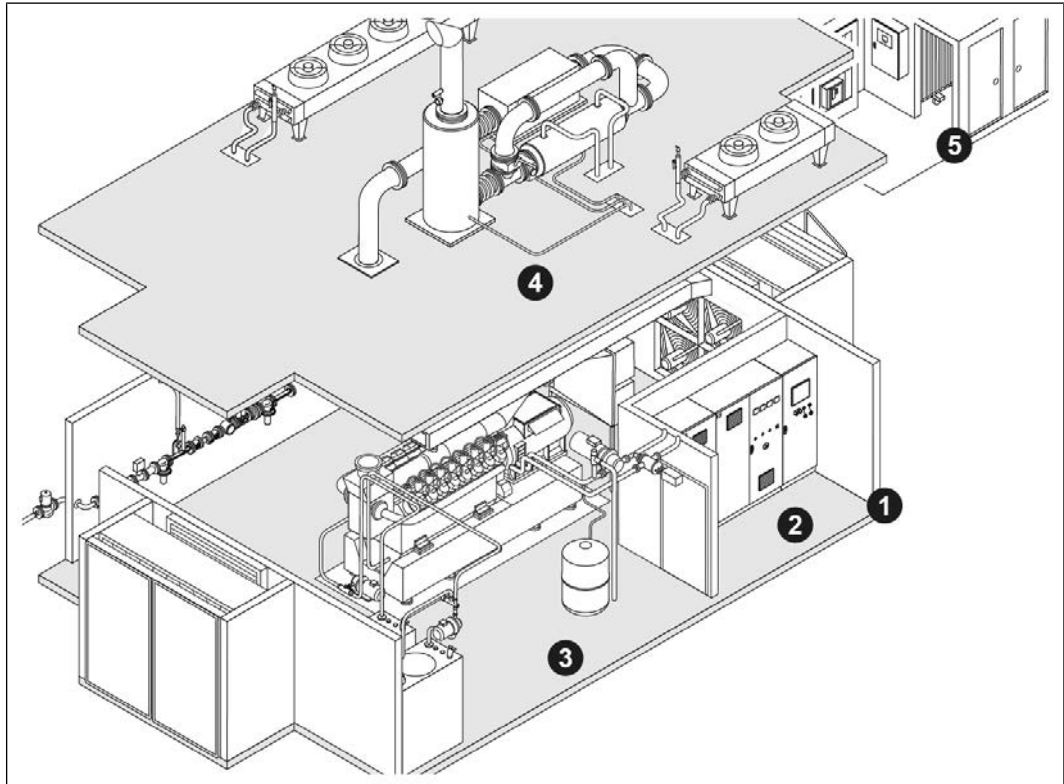
### Inhaltsverzeichnis

5.1	Kraftwerk mit einem Aggregat.....	76
5.1.1	Kraftwerksübersicht .....	76
5.1.2	Aufbau und Funktion.....	77
5.2	Kraftwerk mit mehreren Aggregaten .....	78
5.2.1	Kraftwerksübersicht .....	78
5.2.2	Aufbau und Funktion.....	79
5.3	Container-Kraftwerk .....	79
5.3.1	Kraftwerksübersicht .....	79
5.3.2	Aufbau und Funktion.....	80
5.3.3	Containertransport und Aufstellung .....	80

## 5.1 Kraftwerk mit einem Aggregat

### 5.1.1 Kraftwerksübersicht

Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft ein typisches Kraftwerk dieser Bauart. Sie dient als Einstieg zum Verständnis der Bestandteile einer Energieversorgungsanlage. Um die Übersicht zu erleichtern sind die Proportionen und Platzverhältnisse nicht maßstäblich gewählt.



3522759051: Beispielabbildung in vereinfachter Darstellung

- |   |                               |   |               |
|---|-------------------------------|---|---------------|
| 1 | Gebäude (Maschineneinhausung) | 2 | Schaltanlage  |
| 3 | Aggregat mit Hilfssystemen    | 4 | Dachaufbauten |
| 5 | Übergeordnete Steuerung       |   |               |

### 5.1.2 Aufbau und Funktion

Kraftwerke mit individuellem Aggregat bestehen in der Regel aus dem Gebäude mit den entsprechenden Räumlichkeiten für das Aggregat und die Hilfssysteme. Alle Hilfssysteme sind lediglich für dieses einzelne Aggregat ausgelegt und befinden sich je nach Hilfssystem bzw. dessen Bauteil im gleichen Raum (Gasregelstrecke) oder Nebenraum bzw. außerhalb des Gebäudes.

Eine solche Energieversorgungsanlage erzeugt Niederspannung oder Mittelspannung. Eine Wärmeauskopplung über Wärmetauscher steigert den Wirkungsgrad erheblich. Bei der Planung ist die Wahl der Stromeinspeisung wichtig:

- Nur Netzparallel
- Nur Inselbetrieb
- Netzparallel und Inselbetrieb je nach Situation

Steuerungstechnisch besteht eine solche Energieversorgungsanlage aus:

- der Steuerung für die Verbrennungsmotoreinheit mit den Steuerungs- bzw. Regelungsaufgaben für den Verbrennungsmotor, den Generator, den Hilfssystemen und den zur Verbrennungsmotoreinheit gehörenden Leistungsteil (beispielsweise bei Niederspannungserzeugung den Generatorleistungsschalter)
- der übergeordneten Steuerung für die Energieversorgungsanlage mit den Steuerungs- bzw. Regelungsaufgaben für den Netzanschluss bzw. die Einspeisung in ein Inselnetz und der Ansteuerung der Verbrennungsmotoreinheit mit den entsprechenden Signalen für die Leistungsanforderung

Meistens befindet sich die Schaltanlage für die Verbrennungsmotoreinheit außerhalb des Aggregaterraums in einem Schaltanlagenraum. Die übergeordnete Steuerung bzw. Regelung der Energieversorgungsanlage kann sich in unmittelbarer Nähe befinden oder räumlich entfernt. Da der Funktionsumfang der Regelung für die Energieversorgungsanlage stark von den regionalen Anforderungen der Netzbetreiber abhängt, ist bei der Projektierung zwischen den Beteiligten besonders die Zuständigkeit und die Vorgaben für diese Schnittstelle zu definieren.

Durch das flexible Steuerungskonzept des TEM/TPEM-Systems können bei der Projektierung diverse Konzepte für die Betriebsarten bzw. Führungsgrößen gewählt werden. Auch auf den Kunden optimierte Konzepte sind möglich.

Für den Online-Zugriff auf die Verbrennungsmotoreinheit stehen verschiedene Optionen zur Verfügung.

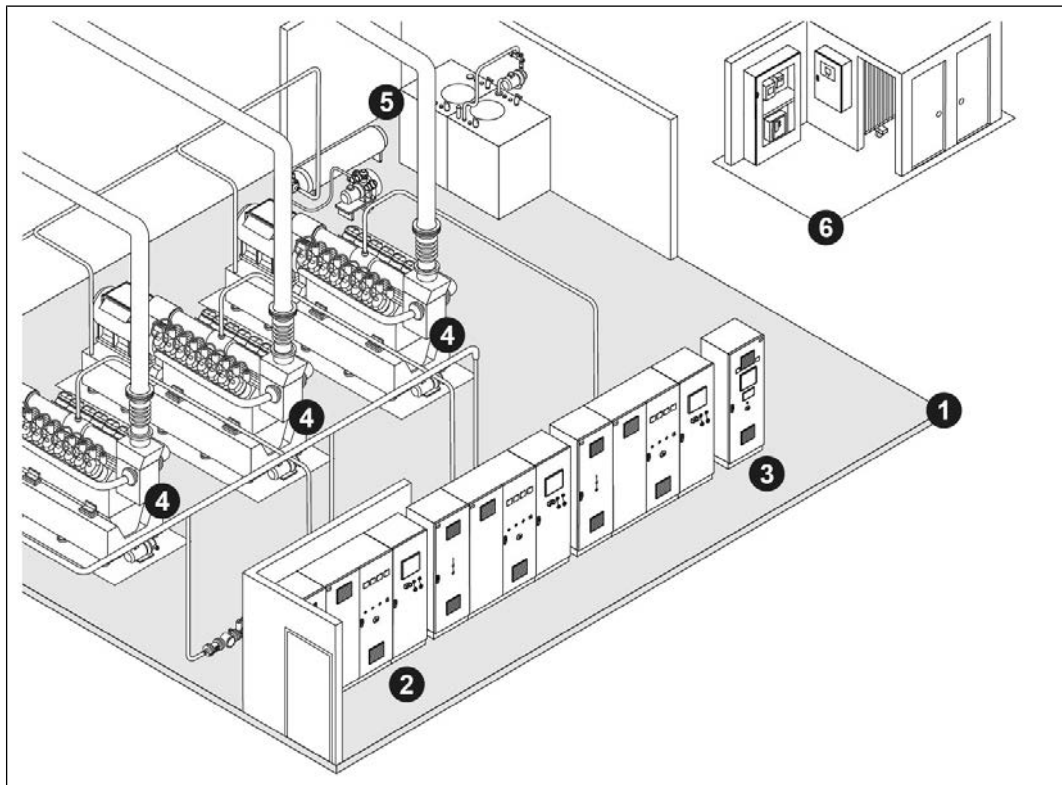
#### Weitere Informationen

- [Übersicht zu Bedienmodus, Betriebsarten und Führungsgröße \[► 52\]](#)
- [Steuerungssysteme und Schaltanlage \[► 251\]](#)
- [Stromnetze und Aggregateanschluss \[► 275\]](#)

## 5.2 Kraftwerk mit mehreren Aggregaten

### 5.2.1 Kraftwerksübersicht

Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft ein typisches Kraftwerk dieser Bauart. Sie dient als Einstieg zum Verständnis der Bestandteile einer Energieversorgungsanlage. Um die Übersicht zu erleichtern sind die Proportionen und Platzverhältnisse nicht maßstäblich gewählt.



3522762379: Beispielabbildung in vereinfachter Darstellung

- |   |                                 |   |                             |
|---|---------------------------------|---|-----------------------------|
| 1 | Gebäude (Maschineneinhausung)   | 2 | Schaltanlage                |
| 3 | Zentrale Anlagensteuerung (ZAS) | 4 | Aggregate mit Hilfssystemen |
| 5 | Zentrale Hilfssysteme           | 6 | Übergeordnete Steuerung     |

### 5.2.2 Aufbau und Funktion

Kraftwerke mit mehreren Verbrennungsmotoreinheiten erweitern das Angebot an erzeugter Leistung und die Möglichkeiten der Energieverteilung.

Im Unterschied zum Kraftwerk mit einzelner Verbrennungsmotoreinheit sind oft einzelne Hilfssysteme wie Schmierölversorgung usw. für die gesamte Energieverteilungsanlage ausgelegt und versorgen alle Verbrennungsmotoreinheiten. Zudem gibt es oft einen gemeinsamen Aggregaterraum, eine gemeinsame Krananlage oder eine gemeinsame Versorgung und Bevorratung von Betriebsstoffen.

Je nach Projektierung und Anzahl der Verbrennungsmotoreinheiten sind die Generatoren an eine Sammelschiene angeschlossen. Bei vielen Verbrennungsmotoreinheiten ist die Sammelschiene oft in Segmente unterteilt und über Kuppelschalter steuerbar.

Zu empfehlen ist die optionale Zentrale Anlagensteuerung (ZAS), die als Schnittstelle zur übergeordneten Steuerung der Energieverteilungsanlage dient. Die Zentrale Anlagensteuerung (ZAS) ermöglicht unter anderem:

- situativ einzelne Aggregate ansteuern
- Lastmanagementsystem
- Zentrale Überwachung und Ansteuerung von gemeinsamen Systemen

Für komplexe Systeme bietet sich auch optional die Implementierung der SCADA-Anwendung an, die über eine Visualisierung der Anlagenteile einen raschen Überblick und Eingriff ermöglicht.

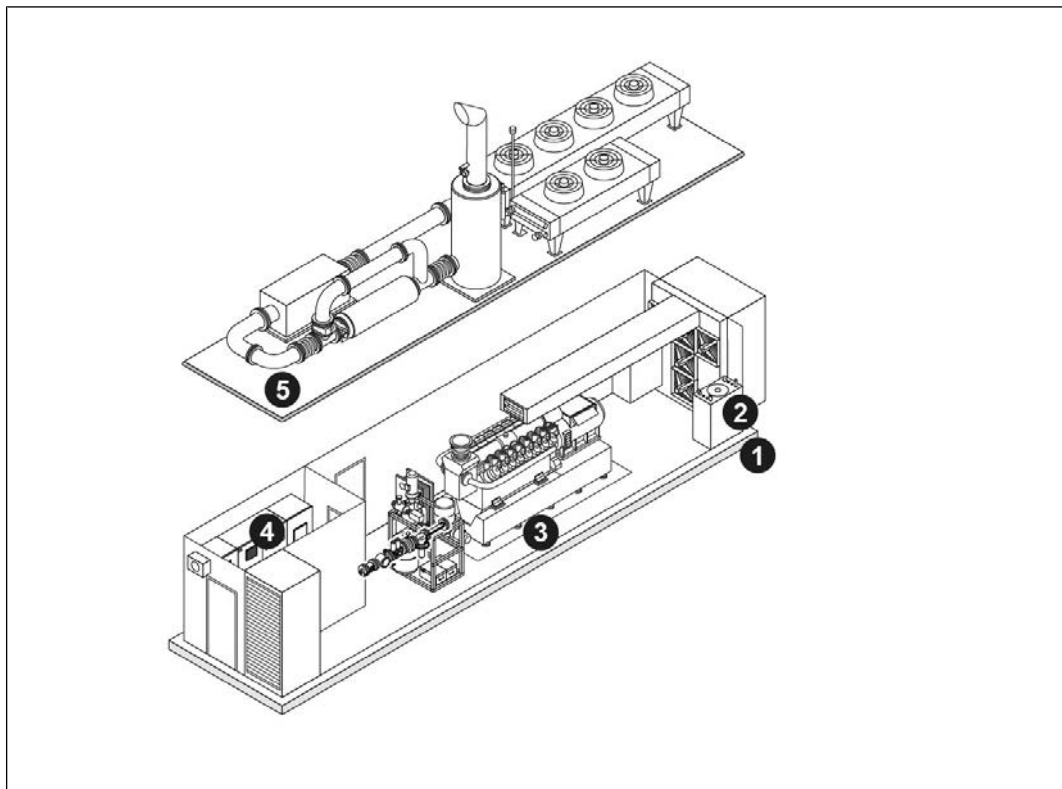
#### Weitere Informationen

- [Zentrale Anlagensteuerung - Zentraler Anlagensteuerungsschrank \(ZAS\) ► 2711](#)

## 5.3 Container-Kraftwerk

### 5.3.1 Kraftwerksübersicht

Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft ein typisches Kraftwerk dieser Bauart. Sie dient als Einstieg zum Verständnis der Bestandteile einer Energieversorgungsanlage. Um die Übersicht zu erleichtern sind die Proportionen und Platzverhältnisse nicht maßstäblich gewählt.



3522760715: Beispielabbildung

- |   |                |   |                                   |
|---|----------------|---|-----------------------------------|
| 1 | Fundament      | 2 | Container als Maschineneinhausung |
| 3 | Aggregaterraum | 4 | Schaltanlagenraum                 |
| 5 | Dachaufbauten  |   |                                   |

### 5.3.2 Aufbau und Funktion

Containerkraftwerke werden in einer Fabrik gefertigt und in wenige Baugruppen zerlegt zum Aufstellungsort transportiert. Dort werden die Baugruppen zur vollständigen Anlage zusammengefügt und an die bauseitigen Schnittstellen wie z. B. Fundament, Brenngasleitung, Leistungsverkabelung, Wärmenetze und ggf. weitere angeschlossen.

Containerkraftwerke können sowohl als Kraftwerke mit nur einem Aggregat als auch als Kraftwerke mit mehreren Aggregaten betrieben werden. Bei mehreren Aggregaten stehen üblicherweise die Containerkraftwerke in relativer Nähe beieinander.

### 5.3.3 Containertransport und Aufstellung

#### 5.3.3.1 Übersicht Containertransport, Containeraufstellung und Montage von Komponenten

Der Transport eines Containers vom Herstellerwerk bis an den Bestimmungsort lässt sich in folgende Schritte einteilen:

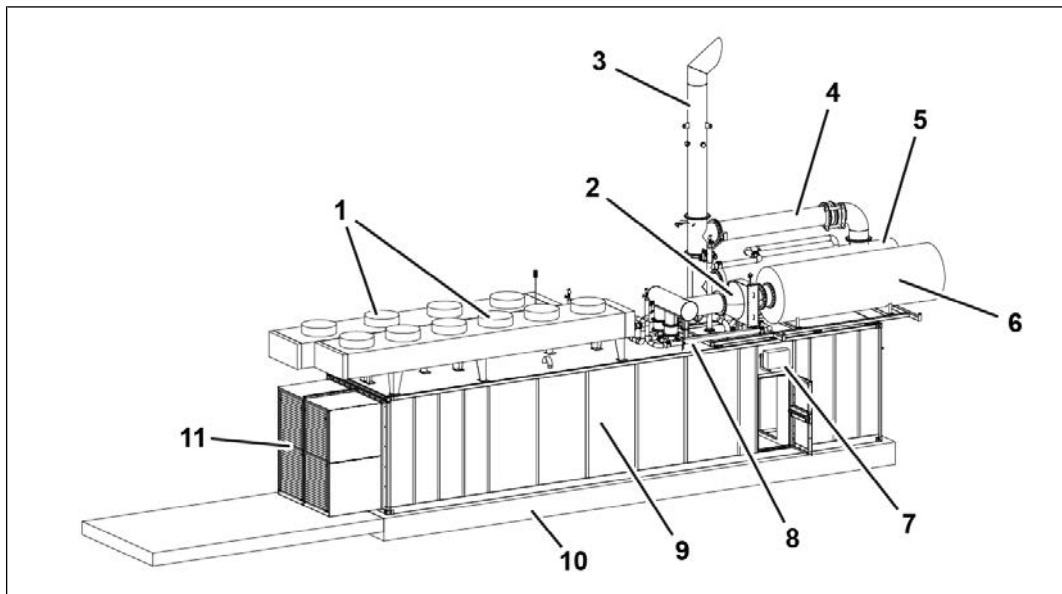
1. Verladen auf LKW mit fest installiertem Kran oder Mobilkran.
2. Transport auf LKW zum Bestimmungsort oder Hafen bei Verschiffung.



3. Umladung im Hafen oder bei Fahrzeugwechsel.
4. Abladen am Bestimmungsort mit Mobilkran oder fest installiertem Kran.
5. Aufstellung auf dem Fundament.

### Montage von Komponenten

Bei Containeranlagen ist das Aggregat fertig montiert und im Container eingebaut. Anlagenkomponenten wie Abgasschalldämpfer und Abgaswärmetauscher sind auf einem gemeinsamen Rahmen oder auf mehreren Rahmen aus Vierkantrohren auf dem Containerdach angeordnet. Diese Rahmen werden erst am Aufstellungsort der Anlage auf dem Containerdach montiert sowie verrohrt und verkabelt.. Für den Transport einer Containeranlage werden die auf dem Dach angeordneten Komponenten abgenommen und neben dem Container als separate Frachten transportiert. Die folgende Abbildung zeigt die Containeranlage fertig montiert, die weiteren Abbildungen zeigen die Aufteilung der Komponenten in einzelne Lose für den Transport. Bei der dargestellten Anlage handelt es sich um einen BHKW-Container.



9692965515

- 1 Rückkühler
- 2 Abgaskatalysator
- 3 Abgaskamin
- 4 Abgasbypass
- 5 Abgaswärmetauscher
- 6 Abgasschalldämpfer
- 7 Klimagerät
- 8 Kühlflüssigkeitsrohre
- 9 Container
- 10 Fundament (bauseits)
- 11 Zuluftkomponenten

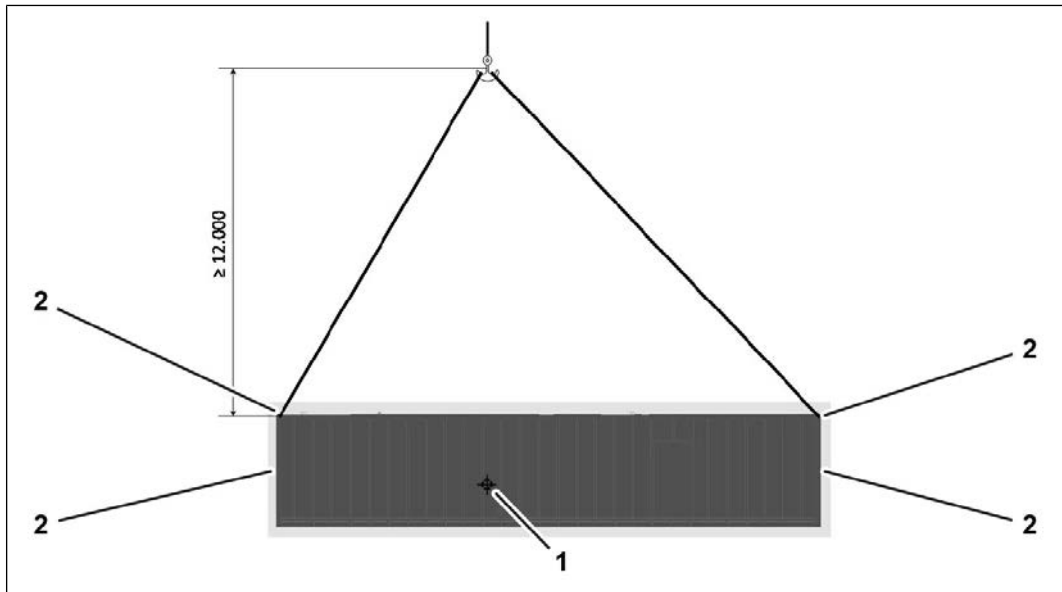
### 5.3.3.2 Anheben

Zum Verladen des Containers für den Transport, beim eventuellen Umladen und zum Entladen auf der Baustelle muss der Container angehoben und an einem Kran hängend bewegt werden.

Die Komponenten innerhalb des Containers, insbesondere das elastisch aufgestellte Aggregat, sind für den Transport gesichert. Das Aggregat wird mithilfe mehrerer Gewindestangen und Unterlegen von Hartholzklötzen zwischen Aggregatgrundrahmen und Fundamentschiene fest verblockt. Zusätzlich ist das Aggregat an den vier Ecken des Grundrahmens mit Spanngurten fest mit an der Containerstruktur angebrachten Halteösen verzurr. Bauteile für Inbetriebnahme oder sonstige Teile, die im Container lose mittransportiert werden, sind ebenfalls für den Transport gesichert. Dennoch muss darauf geachtet werden, dass der Container beim Anheben möglichst gleichmäßig und waagrecht angehoben wird.

Zum Anheben werden die im Dach des Containers eingeschweißten Container-Eckbeschläge als Lastaufnahmepunkte verwendet. Die Seillängen sind so zu wählen, dass sich der Kranhaken in der Ebene des Container-Schwerpunktes befindet. Die Lage des Container-Schwerpunkts ist außen auf der Seitenwand des Containers markiert (siehe folgende Abbildungen).

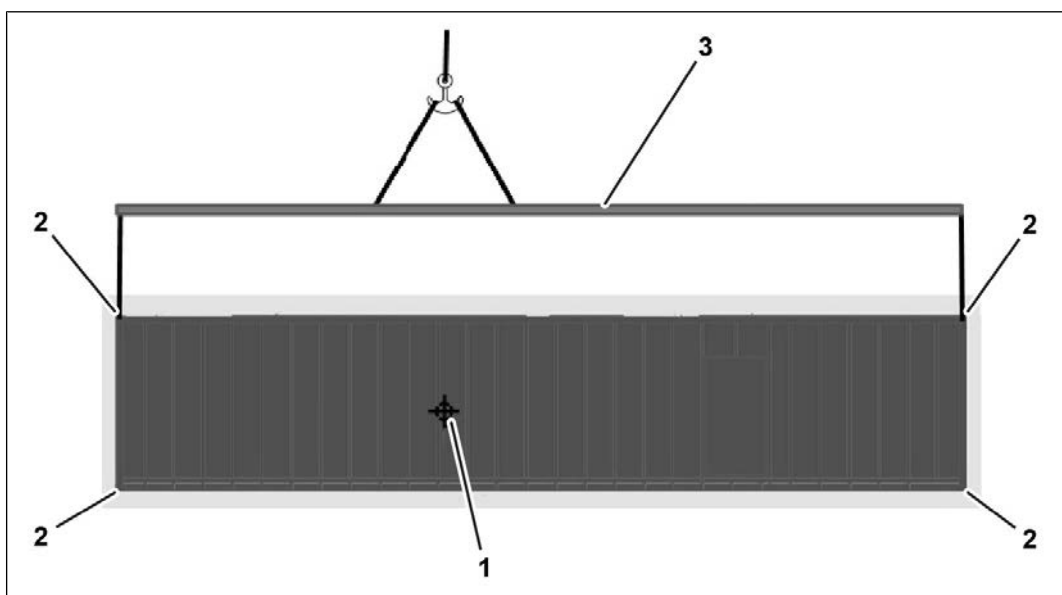
#### Anheben des Containers an den oberen Eckbeschlägen mit Seilen



3720906123: Anheben des Containers an den oberen Eckbeschlägen mit Seilen

- 1      Schwerpunktmarkierung                      2      Containerreckbeschlag

#### Anheben des Containers an den oberen Eckbeschlägen mit Traverse

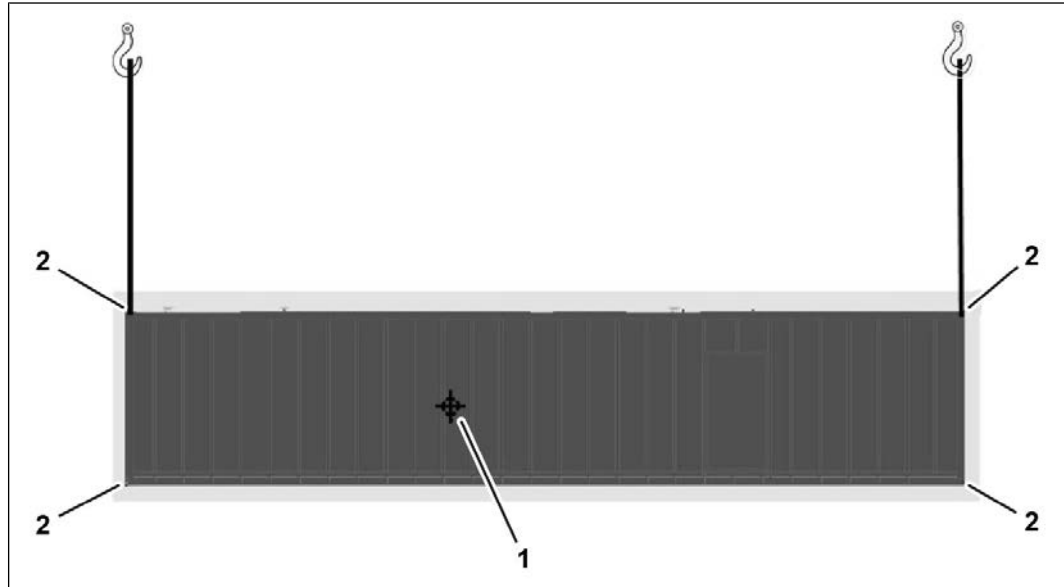


3720908811: Anheben des Containers an den oberen Eckbeschlägen mit Traverse

- 1      Schwerpunktmarkierung                      2      Container-Eckbeschlag

3 Traverse

**Anheben des Containers an den oberen Eckbeschlägen mit zwei Kränen**



3720924299: Anheben des Containers an den oberen Eckbeschlägen mit zwei Kränen

1 Schwerpunktmarkierung

2 Container-Eckbeschlag

### 5.3.3.3 Transport von Containern

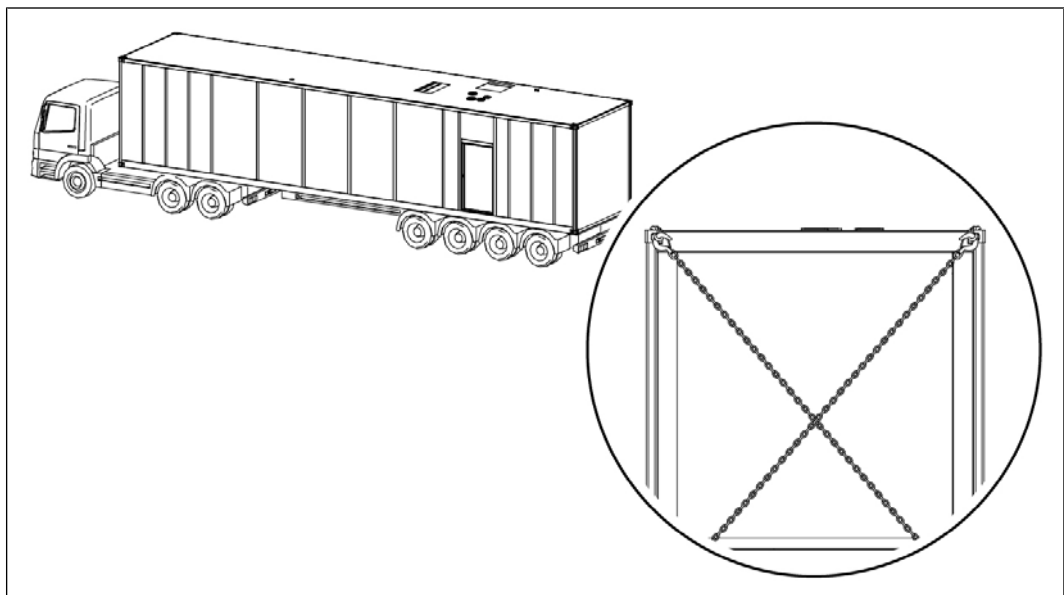
In den meisten Fällen erfolgt der Transport des Containers und des Zubehörs mit LKW direkt zum Bestimmungsort.

Bei Anlagen nach Übersee werden die Container zu einem Seehafen transportiert und im Schiff verladen. Vom Bestimmungshafen aus werden die Container in der Regel wieder per LKW zum jeweiligen Aufstellort transportiert.

Beim Transport des Containers und der Komponenten muss ähnlich wie für das Aggregat beschrieben, eine angemessene und den einschlägigen Vorschriften (z. B. VDI 2700) entsprechende Ladungssicherung erfolgen.

Je nach Spezifikation kann es auch vorkommen, dass die Container für den Seetransport in einer Kiste verpackt werden.

Bei jedem Transport sind sowohl der Container als auch die auf den Rahmen montierten Komponenten zu sichern. Zur Befestigung des Containers auf dem Tieflader können die Container-Eckbeschläge an der Oberseite genutzt werden.



9692966923: Befestigung eines Containers zum Transport auf einem Tieflader

#### Erforderliche Informationen

- [Transport auf Fahrzeugen oder Schiffen](#) ► 112]

### 5.3.3.4 Montageanleitung

Für jede Containeranlage wird mit der Dokumentation eine allgemeine Montageanleitung geliefert. Für den individuellen Auftrag werden spezifische Dokumente für die Montage der Baugruppen, Fundamentabmessungen usw. bereitgestellt.



## 6 Gasmotoraggregat

### Inhaltsverzeichnis

6.1	Aggregateübersicht.....	88
6.1.1	Baureihen .....	88
6.1.2	Leistungsangaben auf den Typenschildern .....	89
6.2	Aufbau und Funktion .....	90
6.2.1	Gasmotor .....	90
6.2.2	Generator.....	93
6.2.3	Aktoren und Sensoren am Gasmotor .....	100
6.3	Transport des Aggregats .....	108
6.3.1	Übersicht.....	108
6.3.2	Verladen mit Kran .....	108
6.3.3	Transport auf Fahrzeugen oder Schiffen .....	112
6.3.4	Umladen und Abladen .....	112
6.3.5	Lagerung von Aggregaten und Anlagenkomponenten .....	113
6.4	Montage des Aggregats .....	113
6.4.1	Allgemein .....	113
6.4.2	Montageschritte .....	114
6.4.3	Aggregat anheben und positionieren.....	114
6.4.4	Schutz des Aggregat .....	115
6.4.5	Elastische Lagerung .....	115
6.4.6	Drehelastische Kupplung.....	116
6.5	Hinweise zur Inbetriebnahme .....	116

## 6.1 Aggregateübersicht

### 6.1.1 Baureihen

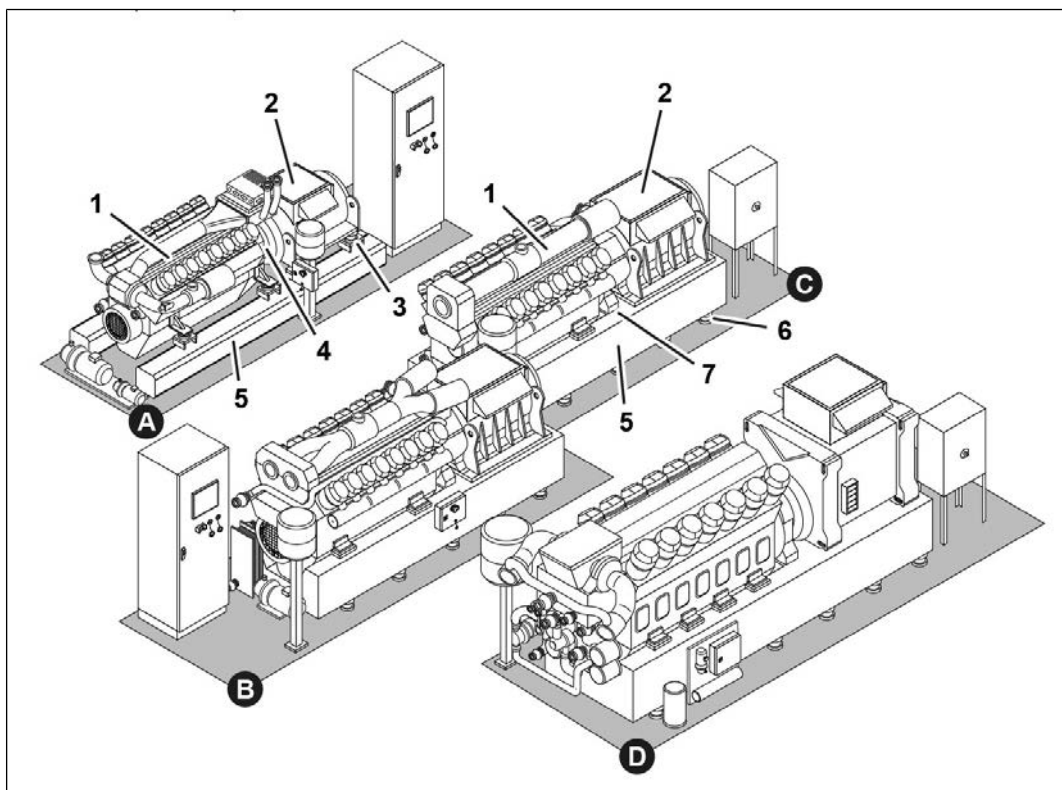
Für den Einsatz in Kraftwerken mit Verbrennungsmotoren bietet CES verschiedene Baureihen von Aggregaten an. Abhängig von der Baureihe erfolgt die Steuerung durch das TEM-System bzw. TPTEM-System.

Um den Anforderungen vor Ort zu entsprechen stehen innerhalb der Baureihen verschiedene Varianten zur Auswahl (beispielsweise Anzahl der Zylinder) sowie diverse Anbauteile. Auf Wunsch sind auch kundenspezifische Sonderlösungen möglich.

#### Hauptkomponenten der Aggregate

Aggregate bestehen aus den Hauptkomponenten Grundrahmen, Gasmotor, Drehelastische Kupplung, Generator und Elastischer Lagerung.

Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft einen Überblick über die typischen Aggregate-Baureihen mit deren Hauptkomponenten. Um die Übersicht zu erleichtern sind die Proportionen nicht maßstäblich gewählt und die Bauteile lediglich skizziert.



3534928523: Beispielabbildung in vereinfachter Darstellung

- |                                      |                                      |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| A Baureihe TCG 3016 mit TPTEM-System | B Baureihe TCG 3020 mit TPTEM-System |
| C Baureihe TCG 2020 mit TEM-System   | D Baureihe TCG 2032 mit TEM-System   |
| 1 Gasmotor                           | 2 Generator                          |
| 3 Elastische Lagerung                | 4 Flanschgehäuse                     |



- |               |                       |
|---------------|-----------------------|
| 5 Grundrahmen | 6 Elastische Lagerung |
| 7 Kupplung    |                       |

Bei den Baureihen TCG 2020, TCG 3020 und TCG 2032 sind Gasmotor (1) und Generator (2) drehelastisch miteinander gekuppelt (7) und starr auf dem Grundrahmen (5) befestigt. Der Grundrahmen (5) steht mittels elastischer Lagerung (6) auf dem Fundament.

Bei der Baureihe TCG 3016 ist der Gasmotor (1) mit dem Generator (2) über ein Flanschgehäuse (4) fest verbunden. Die Drehmomentübertragung vom Motor zum Generator übernimmt eine im Flanschgehäuse befindliche, drehelastische Kupplung. Die über das Flanschgehäuse (4) verbundene Einheit aus Motor (1) und Generator (2) ist mit der elastischen Lagerung (3) auf dem Grundrahmen elastisch gelagert. Der Grundrahmen ist starr auf dem Aggregatfundament aufgestellt. Am Aggregat sind alle elastischen Anschlüsse für die Betriebsstoffsysteme montiert. Hilfsaggregate wie Vorschmierung und Schmieröl-niveau-Überwachung sind am Grundrahmen(5) angebaut.

Eine Vorwärmung ist für jeden Motor vorzusehen. Die Vorwärmung kann je nach Ausführung der Anlage am Aggregat (nur TCG 2032 )oder in der Anlage installiert werden.

#### Technische Daten der Baureihen

Umfangreiche Angaben zu den technischen Daten der einzelnen Baureihen (Abmessungen, Gewicht, Leistung usw.) enthalten die Aggregatdatenblätter und Aggregatezeichnungen.

### 6.1.2 Leistungsangaben auf den Typenschildern

#### 6.1.2.1 Typenschild des Motors

Die Leistung SCN (Dauernutzleistung, nicht überlastbar) für Gasmotoren ist nach DIN 3046-7 angegeben. Auf dem Prüfstand fährt der Gasmotor mit Erdgas. Bei Motoren, die im späteren Betrieb mit anderen Gasen betrieben werden, ist zusätzlich auf dem Typenschild die Leistung für diese Gasart angegeben. Hinter der Leistungsbezeichnung ist die Gasart durch eine Erweiterung berücksichtigt.

Auf dem Typenschild können z. B. folgende Leistungen angegeben sein:

SCN n	Dauernutzleistung bei Erdgasbetrieb; n steht für natural gas (Erdgas). Auf dem Prüfstand fährt man diese Leistung.
SCN b	Dauernutzleistung bei Biogasbetrieb; b steht für Biogas.

Tab. 11: Leistungsangaben auf dem Typenschild

Weitere Erweiterungen können sein:

m	mine gas (Grubengas)
s	sewage gas (Klärgas)
l	landfill gas (Deponiegas)

Tab. 12: Angaben zum Brenngas auf dem Typenschild

### 6.1.2.2 Typenschild des Generators

Nach IEC 60034-1 (DIN EN 60034-1) ist auf dem Typenschild des Generators die Typen-Scheinleistung und der Leistungsfaktor ( $\cos \varphi$ ) des Generators angegeben. Die Angabe ist in kVA (Kilo-Volt-Ampere), der Leistungsfaktor ist dimensionslos.

### 6.1.2.3 Typenschild des Aggregats

Auf dem Typenschild des Aggregats ist die elektrische Nennleistung des Aggregats angegeben. Die Bezeichnung der Leistungsart erfolgt nach ISO 8528-1. Die Angabe der Leistung erfolgt in  $KW_{el}$  (Kilowatt elektrisch).

Aggregate mit Gasmotoren sind für den Dauerbetrieb konzipiert. Auf dem Aggregatety-penschild ist deshalb immer die Leistungsart „COP“ angegeben.

## 6.2 Aufbau und Funktion

### 6.2.1 Gasmotor

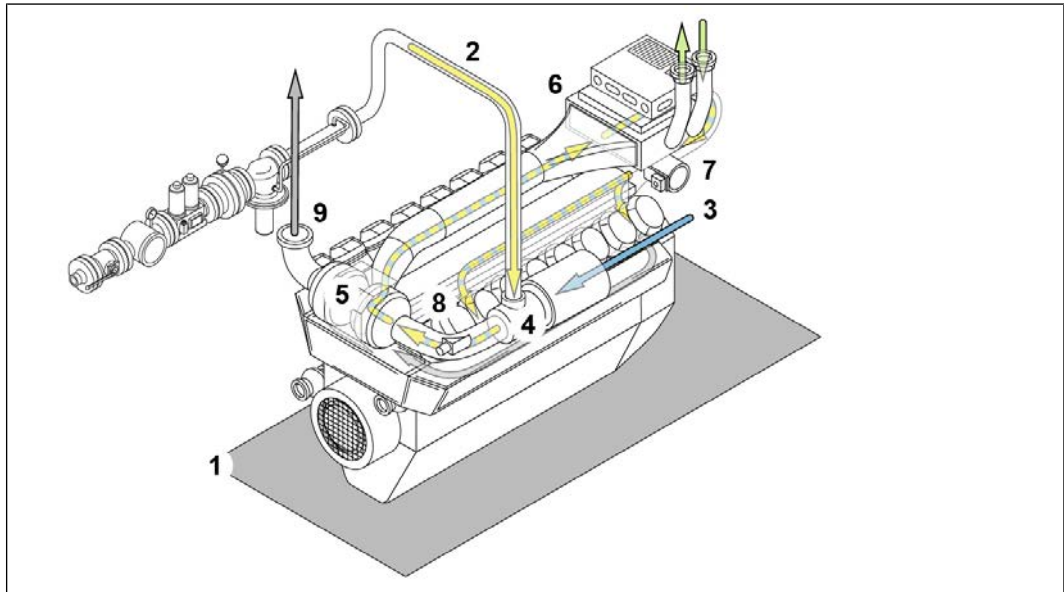
#### Konstruktive Gestaltung der Energieumwandlung

Der Gasmotor (Verbrennungsmotor) **(1)** saugt über das Brenngassystem **(2)** bzw. Ver-brennungsluftsystem **(3)** Brenngas und Verbrennungsluft an. Der Gas-Luft-Mischer **(4)** mischt beides zu einem zündfähigen Brenngas-Verbrennungsluftgemisch. Die Ladegrup-pe **(5)** verdichtet, Gemischkühler **(6)** kühlen und Drosselklappen **(7)** bzw. beim TCG 2032 Drehschieber regulieren das Brenngas-Verbrennungsluftgemisch, das in die Brennräume **(8)** der beiden Zylinderreihen einströmt.

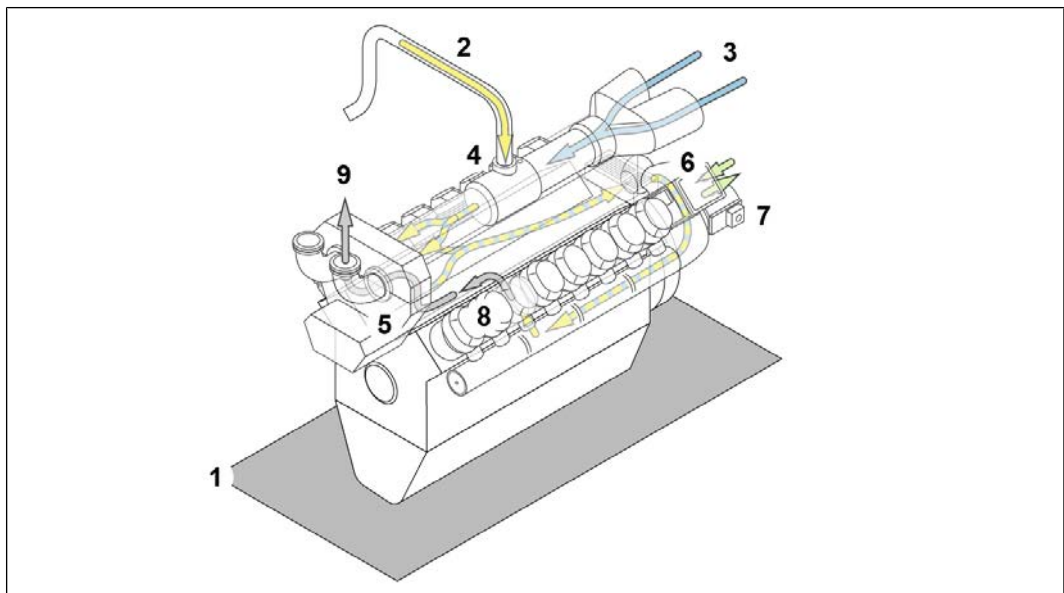
Im Brennraum entzündet die Zündkerze das Gemisch. Der angeschlossene Generator wandelt die Bewegungsenergie in elektrische Energie um. Ein Großteil der bei der Ver-brennung entstehenden thermischen Energie kann als Nutzwärme abgeführt werden. Da-

durch ist ein besonders hoher Gesamtwirkungsgrad der Energieumwandlung möglich. Die bei der Verbrennung entstandenen Abgase gelangen über das Abgassystem **(9)** in die Umgebung.

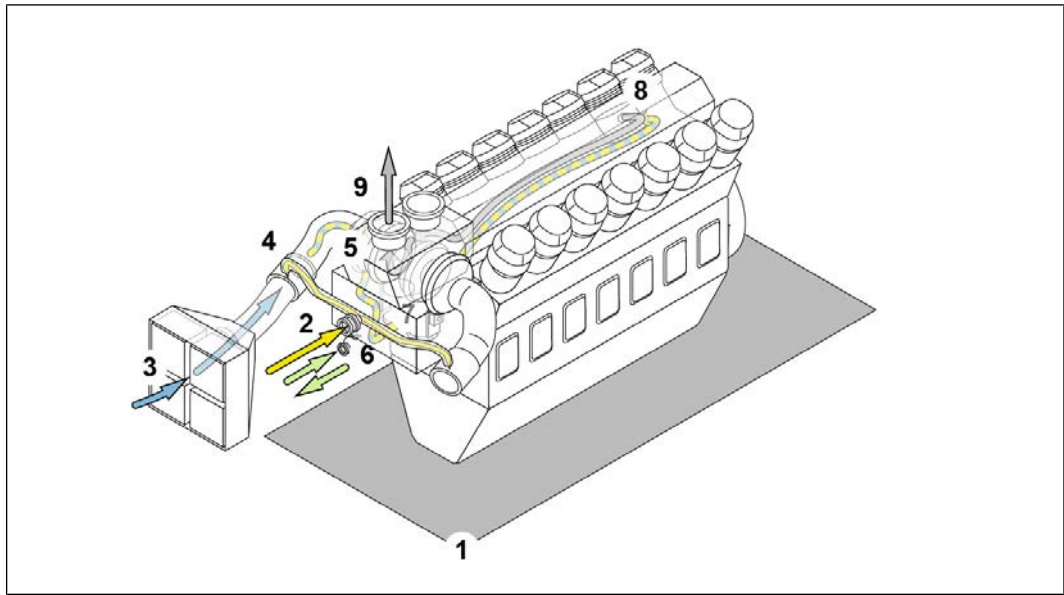
Die Anordnung und Ausführung der Bauteile unterscheidet sich je nach Baugruppe. Die folgenden Abbildungen zeigt in vereinfachter Form die Unterschiede der einzelnen Bau-reihen.



4780300683: Beispielabbildung Energieumwandlung im Gasmotor TCG 3016



3789164427: Beispielabbildung Energieumwandlung im Gasmotor TCG 2020 bzw. TCG 3020



4780301195: Beispielabbildung Energieumwandlung im Gasmotor TCG 2032

### Regelungskonzept

Die Regelung der vom Gasmotor erzeugten mechanischen Leistung ist abhängig von der gewünschten elektrischen Leistung, der Betriebssituation und dem Netzanschluss mit seinen spezifischen Anforderungen an die elektrische Spannungseinspeisung. Grundsätzlich zu unterscheiden sind:

- Drehzahlregelung (überwiegend für Inselbetrieb bzw. Synchronisierung für Netzparallelbetrieb)
- Leistungsregelung (überwiegend für Netzparallelbetrieb)

Als Stellgeräte für die Drehzahlregelung bzw. Leistungsregelung dienen hauptsächlich Drosselklappen bzw. Drehschieber (nur TCG 2032 ) für die Regulierung der Gemischmenge in den Verbrennungsräumen und der Gas-Luft-Mischers für die Regulierung des Mischungsverhältnisses von Brenngas und Verbrennungsluft.

### Betrieb und Service

Für den effizienten Betrieb und einen geringen Ausstoß an Schadstoffen sind die Qualität des Brenngases, der Verbrennungsluft, die Ausführung der Hilfssysteme und der aktuelle technische Zustand des Gasmotors bzw. dessen Einstellungen entscheidend.

### HINWEIS

Neben einer sach- und fachgerechten Projektierung, Montage und Inbetriebnahme empfehlen wir deshalb über die Nutzungsdauer des Produkts die umfassenden Leistungsangebote Ihres zuständigen Servicepartners.

## 6.2.2 Generator

### 6.2.2.1 Allgemein

Zum Einsatz kommen standardmäßig bürstenlose Synchrongeneratoren, die je nach Einsatzfall für den Netzparallelbetrieb bzw. Ersatzstrombetrieb geeignet sind.

Standardmäßig werden je nach Leistungsgröße und vorhandenem Netz Niederspannungs-Generatoren oder Mittelspannungs-Generatoren eingesetzt. Niederspannungs-Generatoren im Bereich von 400 V bis 690 V und Mittelspannungs-Generatoren im Bereich von 4,16 kV bis 13,8 kV. Projektspezifisch kann die Realisierung weiterer Spannungsebenen geprüft werden.

Die Wirkungsgrade der Generatoren liegen je nach Größe und Verschiebungsfaktor  $\cos(\varphi)$  zwischen 95,0 % und 98 % bei Volllast.

So hat z. B. ein 400 kW Generator bei einem  $\cos(\varphi) = 1,0$  einen Wirkungsgrad von 96,6 %. Ein 4.500 kW Mittelspannungs-Generator bei einem  $\cos(\varphi) = 1,0$  einen Wirkungsgrad von 97,9 %. Wird der Generator bei einem  $\cos(\varphi) = 0,8$  betrieben, reduziert sich der Wirkungsgrad um ca. 1 % bis 1,5 %. Zusätzlich haben auch der Betrieb bei Teillast und die Abweichung zwischen Netzspannung und Generatornennspannung Einfluss auf den Wirkungsgrad.

Die Generatoren sind nach DIN VDE 0530 bzw. IEC 60034 für eine Umgebungstemperatur von 40 °C und einer Aufstellungshöhe bis 1000 m ausgelegt. Bei höheren Umgebungstemperaturen bzw. einer höheren Aufstellung kann projektspezifisch geprüft werden, ob eine Reduktion der Nennleistung notwendig ist.

Alle Generatoren können bei voller Wirkleistungsabgabe dauerhaft unter folgenden Bedingungen betrieben werden:

- Frequenzbereich  $f_n$ : +3 %/ -5 % der Nennfrequenz
- Verschiebungsfaktor  $\cos(\varphi)$ : 0,8 übererregt bis 0,95 untererregt

Da Generatoren den  $\cos(\varphi)$  am Netzanschlusspunkt verbessern können, eignen sie sich zur Blindleistungskompensation im Netzparallelbetrieb.

Bei entsprechenden lokalen oder länderspezifischen Anforderungen in den Netzanschlussregeln sind die unterschiedlichen Vorgaben am Anschlusspunkt stets bei der Auslegung zu berücksichtigen. Für den Einsatz außerhalb der genannten Bereiche ist der Generator speziell auszulegen.

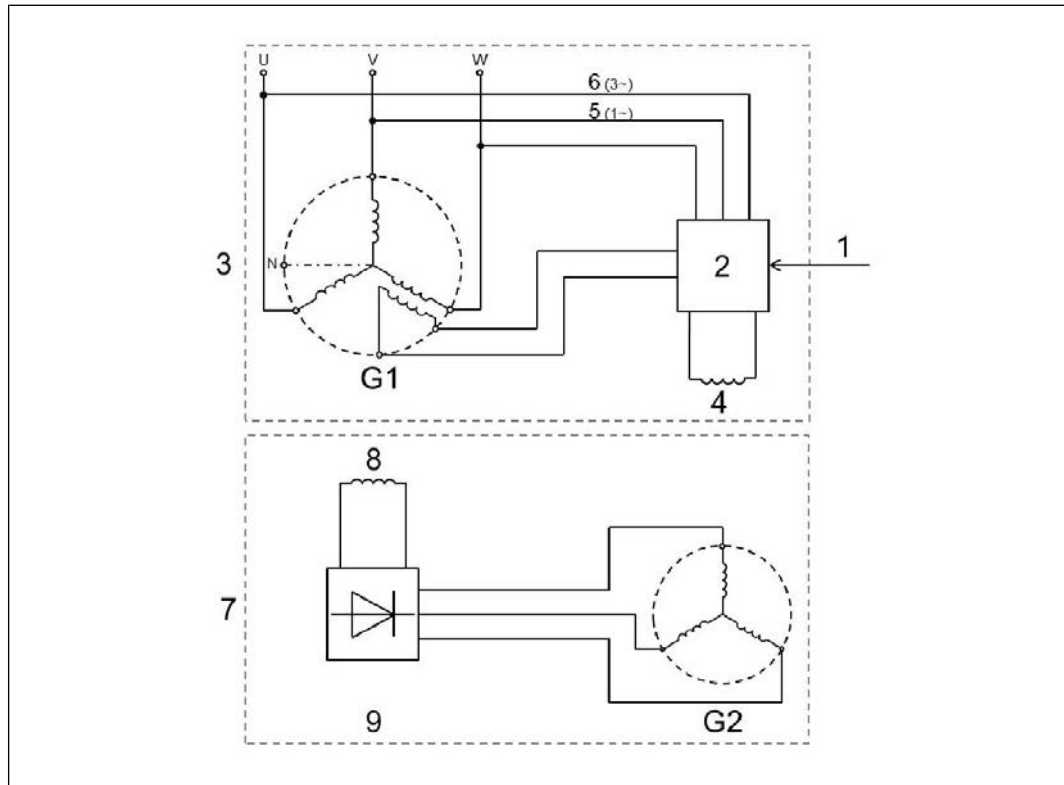
Die max. zulässige Schiefast des Generators ist zu beachten (nach DIN EN 60034 liegt die obere Grenze bei Gegensystemstrom / Nennstrom = 8 %).

### 6.2.2.2 Generatorregelung

Im Inselbetrieb dient der Generatorregler zur Verstellung der Spannung. Im Netzparallelbetrieb regelt der Generatorregler den Leistungsfaktor bzw. die Blindleistung, durch entsprechende Verstellung des Erregerstroms. Das Erregersystem ist bei allen Generatoren bürstenlos ausgeführt. Bei Verwendung eines digitalen Generatorreglers (z. B. ABB Unitrol)

ist es möglich, dem Regler extern Sollwerte vorzugeben. Der Generatorregler ist in der Regel im Generatorklemmenkasten eingebaut. Den systematischen Aufbau zeigt die folgende Abbildung.

#### Generatorregelungssystem (beispielhaft mit Versorgung aus einer Hilfswicklung)



3620722059: Generatorregelungssystem (beispielhaft mit Versorgung aus einer Hilfswicklung)

1	Externer Sollwert	2	Generatorregler
3	Stator	4	Erregerfeld
5	Strommessung	6	Spannungsmessung
7	Rotor	8	Hauptfeld
9	Diodenrad	G1	Hauptmaschine
G2	Erregermaschine		

#### Allgemeine Funktion des Generatorregelungssystems

Die Versorgung des Generatorreglers kann auf mehrere Arten erfolgen: entweder aus einer Hilfswicklung direkt über Spannungswandler von den Stator клемmen oder mittels Permanentmagnetgenerator (PMG). Die prinzipielle Funktionalität des Reglers ist in allen Fällen dieselbe. Der Regler beeinflusst den Erregerstrom der bürstenlosen Drehstrom-Erregermaschine, die als Außenpolmaschine ausgeführt ist. Der Rotor der Erregermaschine ist auf die Welle der Hauptmaschine montiert und liefert ein dem Erregerfeldstrom proportionales Drehspannungssystem. Das Drehspannungssystem wird über die ebenfalls mitrotierende Diodenbrücke gleichgerichtet. Der Ausgangsgleichstrom der Diodenbrücke

wird der Rotorwicklung der Hauptmaschine zugeführt. Die Reaktion auf einen externen Spannungssollwert bzw. Leistungsfaktorsollwert besteht in einer entsprechenden Änderung des Erregerfeldstromes und damit der indirekten Beeinflussung des Hauptfeldstromes.

### **Sollwertvorgabe**

Kommt ein digitaler Generatorregler (z. B. ABB Unitrol) zum Einsatz, sind die Sollwerte für den entsprechenden Regelmodus entweder im Regler einzuparametrieren oder es ist durch fernwirktechnische Anbindung eine externe Vorgabe (z. B. über ein 4...20 mA Analogsignal) zu realisieren. Der Generatorregler misst die Generatorklemmenspannung entweder direkt, oder über Spannungswandler, sowie den Generatorstrom über einen Stromwandler und berechnet daraus den Istwert der Regelgröße. Wie genau die Messung realisiert wird, ist den entsprechenden Generatorschaltplänen zu entnehmen. Im Inselbetrieb ist dies die Spannung, im Netzparallelbetrieb die Blindleistung bzw. der Leistungsfaktor. Über einen Vergleich zwischen Sollwert und Istwert wird der entsprechend auszugebende Erregerfeldstrom berechnet.

#### **6.2.2.3 Generatorschutz**

Zum Schutz der Generatoren sind mindestens die in der ISO 8528-4: 2005 als erforderlich („REQ“) gekennzeichneten Überwachungseinrichtungen einzusetzen.

Diese Überwachungseinrichtungen sind nicht im TEM-System enthalten und müssen extern ausgeführt werden. Das von Caterpillar Energy Solutions lieferbare Multifunktionsrelais TEM MFR beinhaltet neben Synchronisationsfunktionen auch Funktionen zur Überwachung des Generators und Entkopplungsschutzfunktionen an der Erzeugungseinheit.

Nicht enthaltene Funktionen sind bei Bedarf durch ein weiteres Schutzgerät bauseits und

projektbezogen umzusetzen. In Verbindung mit dem Grid Demand Interface (GDI) dient das TEM MFR zur Umsetzung diverser Anforderungen aus Netzanschlussregeln auf der Aggregateebene.

Im TPEM-System übernimmt das Multi-Funktions-Relais (MFR) neben Synchronisationsfunktionen auch Funktionen zur Überwachung des Generators und Entkopplungsschutzfunktionen an der Erzeugungseinheit. Das MFR ist serienmäßig im TPEM Control Cabinet (TPEM CC) eingebaut.

Die internationale Norm ANSI/IEEE C37.2 ordnet u. a. für die Generatorschutzfunktionen feste Nummern zu. Die folgende Tabelle zeigt die Generator-Schutzfunktionen.

Nummer nach ANSI/IEEE C37-2	Bezeichnung	MFR TEM	MFR TPEM (TPEM CC)	LV <sup>1</sup>	MV <sup>2</sup>
59/27	Überspannung/Unterspannung	x	x	x	x
81 O/U	Überfrequenz/Unterfrequenz	x	x	x	x
32	Überlast	x	x	x	x
32 R/F	Rücklast/Minderlast	x	x	x	x
47	Spannungsasymmetrie	x	x	x	x
46	Stromasymmetrie	x	x	x	x
50	Definierter Überstrom	x	x	x	x
51/51V	Abhängiger Überstromzeitschutz	x	x	x	x



Nummer nach ANSI/IEEE C37-2	Bezeichnung	MFR TEM	MFR TPEM (TPEM CC)	LV <sup>1</sup>	MV <sup>2</sup>
87G	Generator-differenzial-schutz				x
50N/51N	Statorerd-schluss-schutz				x
<sup>1</sup> Bei Niederspannungsgeneratoren notwendig ( $U_N \leq 1000 \text{ V}$ ) <sup>2</sup> Bei Mittelspannungsgeneratoren notwendig ( $U_N > 1000 \text{ V}$ )					

Tab. 13: Generatorschutzfunktionen

Alle von CES gelieferten Generatoren sind mit folgenden Sensoren ausgerüstet:

- Temperatursensoren für Wicklungstemperatur
- Temperatursensoren für Generator-Lagertemperatur

Die TEM/TPEM-Steuerung verfügt grundsätzlich über die Funktionalität, die Generatorwicklungstemperaturen sowie die Generatorlagertemperaturen zu überwachen.

Bei Aggregaten der Baureihe TCG 2020 K mit TEM-Steuerung ist die Überwachung der Generatorlagertemperaturen nicht implementiert. In diesen Fällen ist die Überwachung der Generatorlagertemperatur wie folgt zu realisieren:

- Bestellung von zwei parametrierbaren Messwerten im TEM-System
- Überwachung in der kundenseitigen Anlage

#### Weitere Informationen

- [Aufbau und Funktion TPEM-System \[► 262\]](#)
- [TPEM Control Cabinet \(TPEM CC\) \[► 265\]](#)

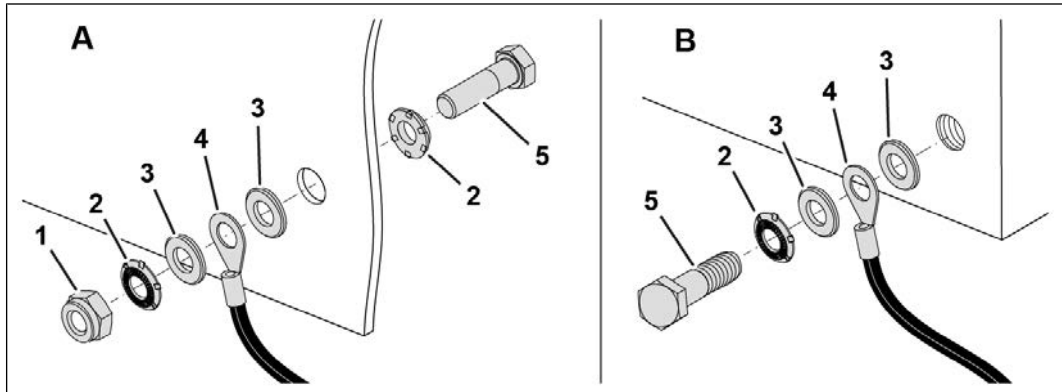
#### 6.2.2.4 Erdung

Bei der Erdung muss der Schutzleiter (PE) und der Schutzpotenzialausgleich betrachtet werden.

#### Schutzleiter

Bei Gehäuseschluss hat der Schutzleiter die Aufgabe, den Fehlerstrom gegen die Erde abzuleiten. Der Anschluss erfolgt am Generatorgehäuse. Hierfür ist an den Generatorfüßen an der Nicht-Antriebsseite jeweils eine Bohrung vorgesehen (siehe folgenden Abschnitt „Anschlüsse am Generator“).

Der Schutzleiter wird vom Generatorgehäuse zum Haupterder der Anlage verlegt. Die Verlegung ist kurzschlussfest auszuführen. Der Anschluss des Schutzleiters ist nach Vorgabe auszuführen (siehe folgende Abbildung).



9692968075: Empfohlene Schraubverbindung eines Schutzleiters

- A Bei Durchgangsbohrungen
- B Bei Gewindebohrungen
- 1 Mutter
- 2 Zahnscheibe
- 3 Unterlegscheibe
- 4 Schutzleiter
- 5 Schraube

Folgendes gilt es zu beachten: Am Anschluss muss die Fläche von Lack und Schmutz befreit sein. Die Zahnscheiben dienen dem Schutz vor Lockerung der Schraubverbindung. Nach neuesten Erkenntnissen ist bei den Zahnscheiben darauf zu achten, dass diese mit einer so genannten Sperrverzahnung ausgeführt sind.

Der Querschnitt des Schutzleiters wird über folgende Formel berechnet:

$$S = \frac{I_k''}{k} \times \sqrt{t}$$

3620721547: Formel Querschnitt des Schutzleiters

- S Querschnitt in mm<sup>2</sup>
- $I_k''$  Anfangskurzschlusswechselstrom in [A]
- k Beiwert, der vom Leitermaterial abhängig ist (z.B. 143 für Kupfer)
- t Zeit, in welcher der Fehlerstrom über den Leiter fließt

Um nicht jeden Fall einzeln betrachten zu müssen, lautet die Empfehlung für den Querschnitt des Schutzleiters bei Niederspannung 240 mm<sup>2</sup> für die Aggregate der Baureihe TCG 3016 sowie 300 mm<sup>2</sup> für die Aggregate der Baureihe TCG 2020 und TCG 3020. Bei

Mittelspannungsaggregaten kann für alle Baureihen ein Querschnitt von  $95 \text{ mm}^2$  verwendet werden. Diese Angaben beziehen sich nur auf Kupferleiter, für andere Materialien muss eine Berechnung erfolgen.

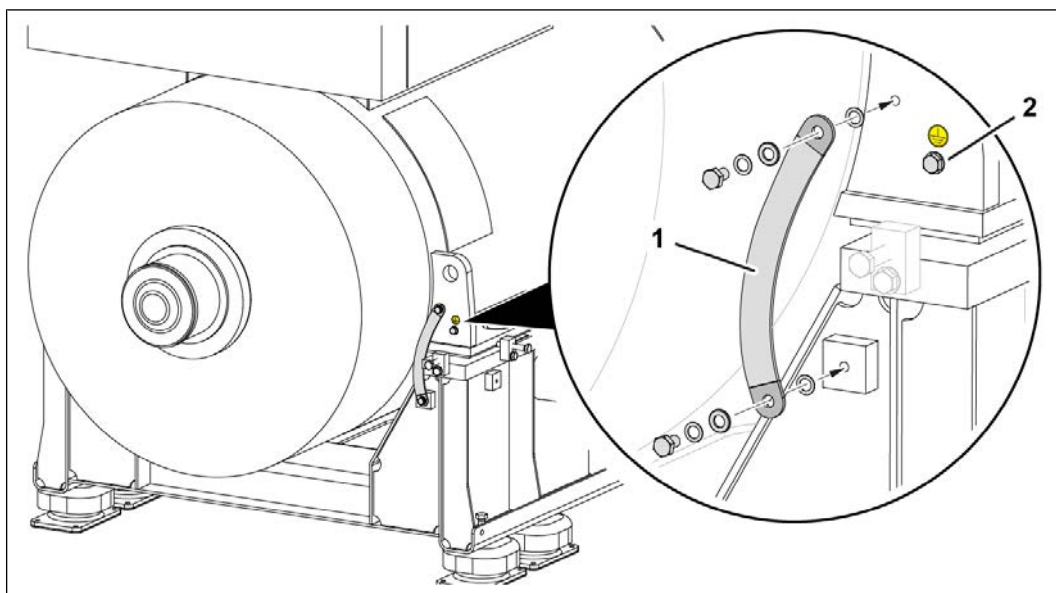
### Schutzpotenzialausgleich

Der Schutzpotenzialausgleich dient als Schutz bei indirektem Berühren. Der Schutzpotenzialausgleich sorgt dafür, dass die Potentialdifferenz zwischen metallischen Teilen stets unter  $50 \text{ V}$  bleibt. Somit fließen im Fehlerfall keine gefährlichen Körperströme, falls eine Person in Kontakt mit dem Aggregat kommt. Der Schutzpotenzialausgleich wird zwischen allen metallischen Teilen und dem Hauptpotenzialausgleich verlegt. Der Generator wird über zwei Erdungsbänder mit dem Aggregategrundrahmen verbunden.

Ebenso werden der Motor, der Kupplungsschutz und weitere metallische Teile über Kupferleiter mit dem Rahmen verbunden. Der Rahmen muss an zwei diagonal gegenüberliegenden Ecken mit jeweils einem Kupferleiter (min.  $70 \text{ mm}^2$ ) auf den Hauptpotenzialausgleich gelegt werden. Ebenso müssen alle metallischen Leitungen (Gas, Wasser, usw.) sowie alle weiteren metallischen Teile im Aggregaterraum in den Potenzialausgleich eingebunden werden. Die Querschnitte sind davon abhängig, ob von dem jeweiligen Teil ein Fehlerstrom ausgehen kann oder nicht, und müssen an die Bedingungen vor Ort angepasst werden.

Die lokalen Vorschriften des EVU oder die Sicherheitsvorschriften sind zu beachten, um sicherzustellen, dass eine korrekte Erdung des Aggregates durchgeführt wird.

### Anschlüsse am Generator



9692969611

- 1 Schutzpotenzialausgleich
- 2 Anschluss für den PE

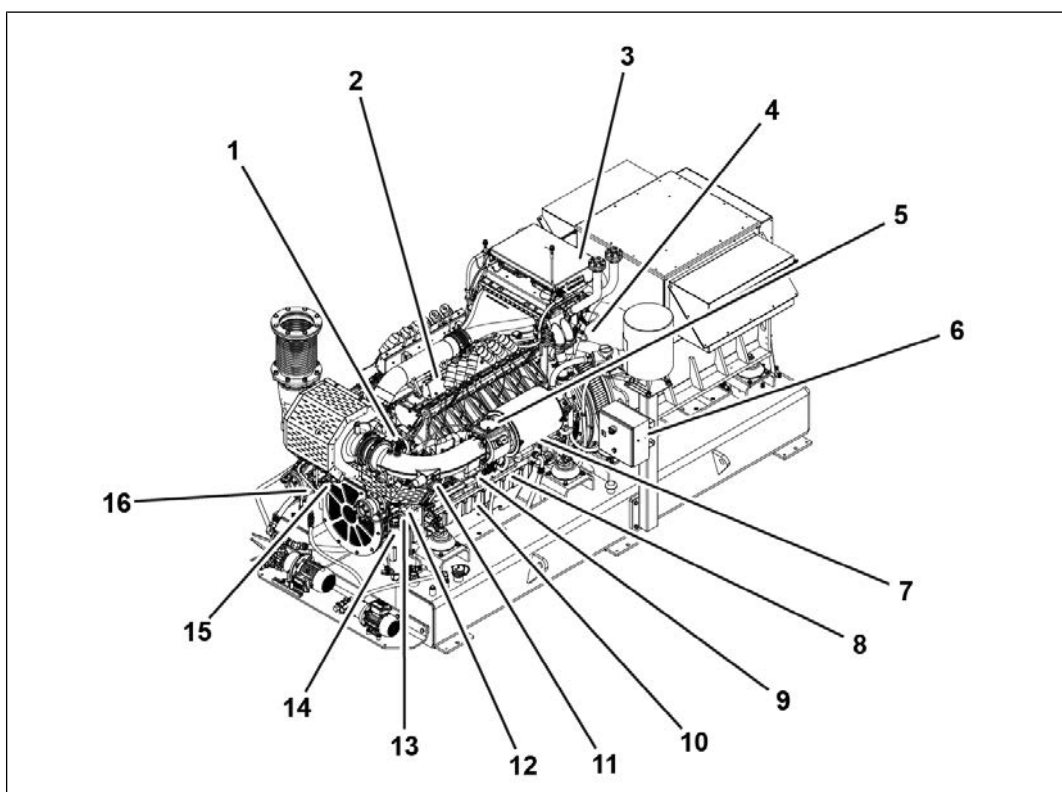
## 6.2.3 Aktoren und Sensoren am Gasmotor

Der Gasmotor ist mit Aktoren und Sensoren (Gebern) zur Überwachung, Steuerung und Regelung ausgerüstet. Die Aktoren und Sensoren sind auf einer Multifunktionsschiene auf Zylinderreihe A und B verkabelt. Von jeder Multifunktionsschiene führen Sammelkabel zum TEM-System bzw. TPEM-System.

Am Gasmotor sind an der Kupferschiene alle zu erdenden Teile angeschlossen. Die Kupferschiene muss mit dem Erdungssystem der Schaltanlage verbunden sein.

### Überblick

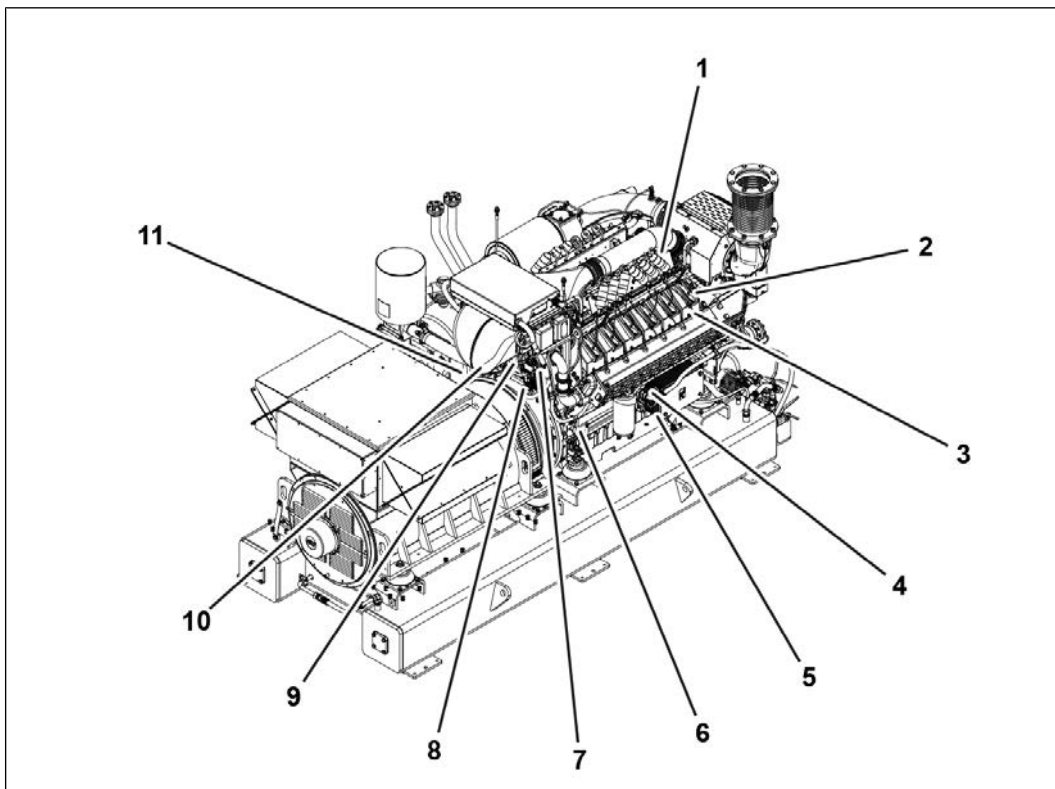
Einen Überblick der Überwachung zeigen die anschließenden Gasmotordarstellungen.



9709937163: TCG 3016 V12

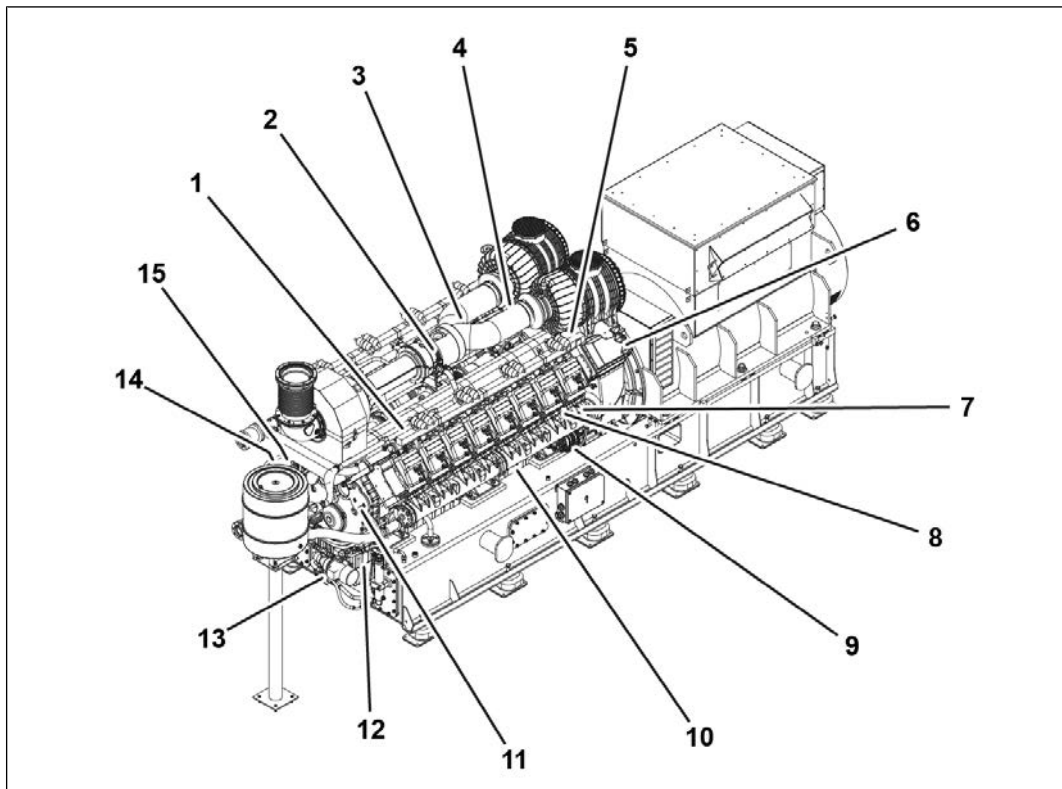
- |    |   |    |   |
|----|---|----|---|
| 1  | Gemisch-Tempersensor vor Abgasturbolader          | 2  | Receiver-Drucksensor  |
| 3  | TPEM Control Unit (TPEM CU)                       | 4  | Kühlflüssigkeits-Tempersensor (Niedertemperaturkreis Eingang) |
| 5  | Näherungsschalter Gasmischerposition              | 6  | TPEM Connection Box   |
| 7  | Starterrelais                                     | 8  | Starter   |
| 9  | Klopfsensor, jeweils ein Sensor für zwei Zylinder | 10 | Steuergerät - Gasmischer                                      |
| 11 | Schrittmotor Gas-Luft-Mischer                     | 12 | Kühlflüssigkeits-Tempersensor (Hochtemperatur Ausgang)        |

- |    |  |    |   |
|----|--|----|---|
| 13 | Kühlflüssigkeits-Drucksensor<br>(Hochtemperatur Ausgang) | 14 | Schmieröl-Niveausensor  |
| 15 | Nockenwellensensor                                       | 16 | Kühlflüssigkeits-Temperatursensor<br>(Hochtemperatur Eingang) |



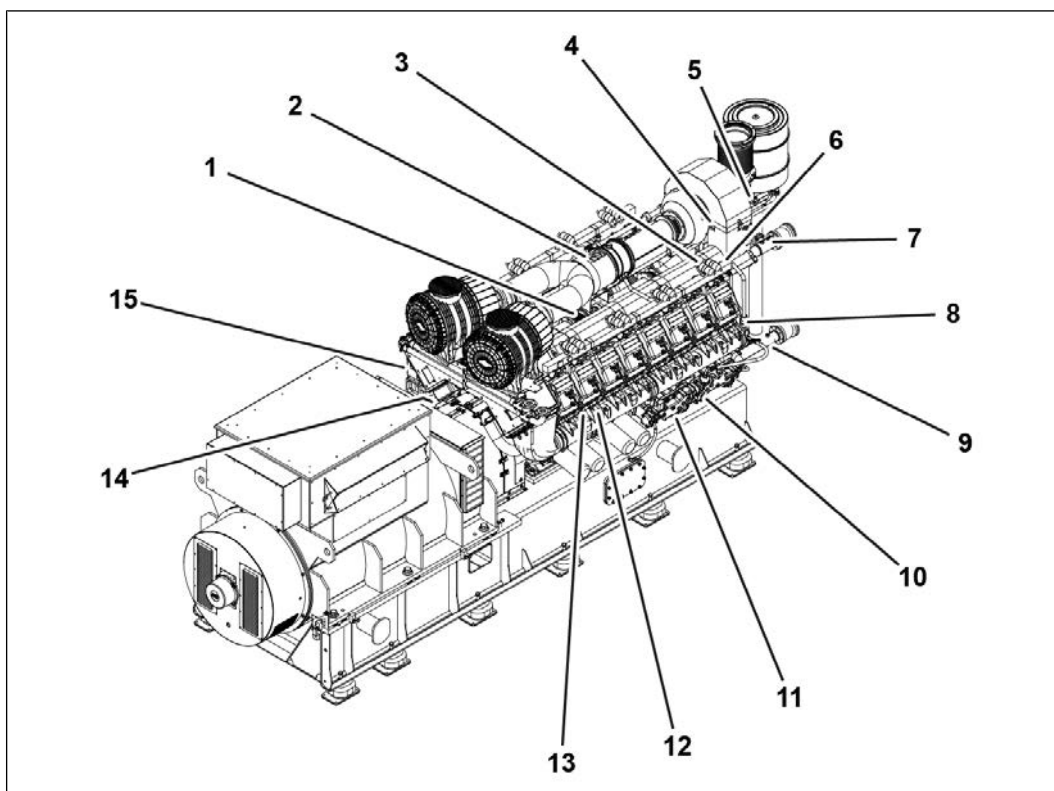
9709937675: TCG 3016 V12

- |    |  |    |   |
|----|--|----|---|
| 1  | Zündspule, jeweils eine Zündspule<br>pro Zylinder                | 2  | Zündkerze, jeweils eine Zündkerze<br>pro Zylinder |
| 3  | Brennraum-Temperatursensor, jeweils 4<br>ein Sensor pro Zylinder | 4  | Schmieröl-Drucksensor                             |
| 5  | Schmieröl-Temperatursensor                                       | 6  | Schwungradsensor                                  |
| 7  | Differenzdrucksensor - Drosselklappe                             | 8  | Steuergerät - Drosselklappe/Waste-<br>gate        |
| 9  | Drosselklappe  | 10 | Receiver-Temperatursensor                         |
| 11 | Starterrelais  |    |   |



9709935115: TCG 2020 V16

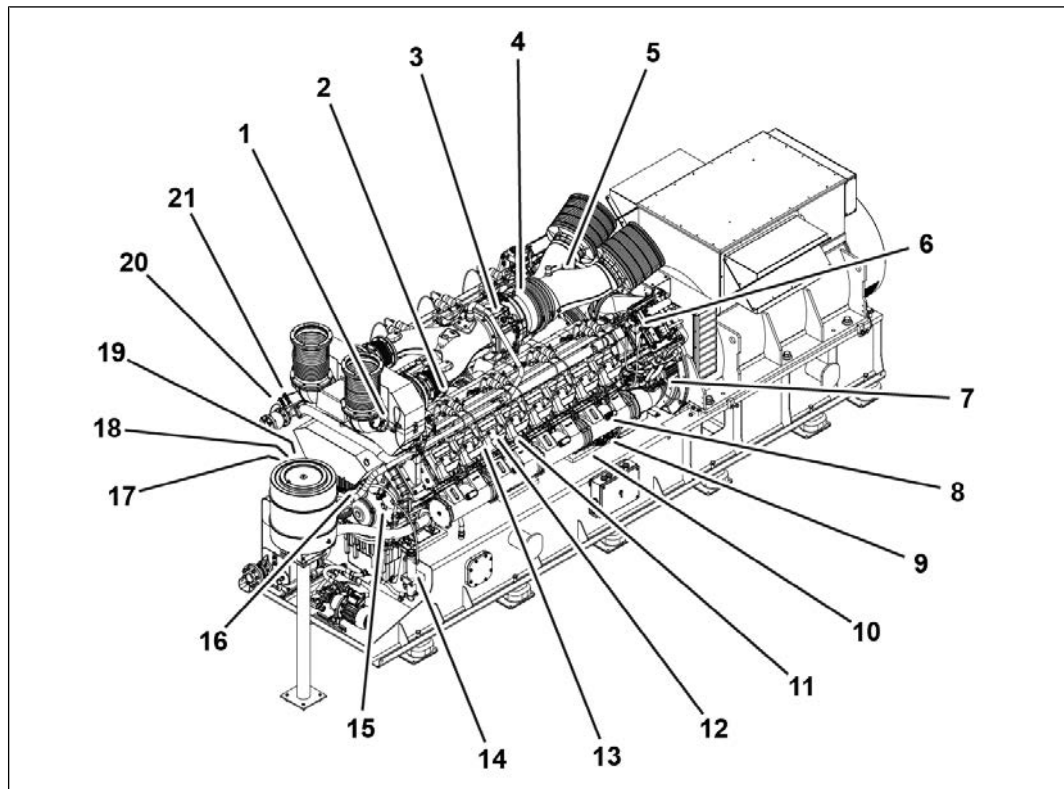
- |    |  |                                    |   |
|----|--|------------------------------------|---|
| 1  | Multifunktionsschiene Zylinderreihe A 2        | Näherungsschalter Gas-Luft-Mischer |   |
| 3  | Ansaugluft-Temperatursensor V16-Motor          | 4                                  | Ansaugluft-Temperatursensor V12-Motor                       |
| 5  | Zündspule, jeweils eine Zündspule pro Zylinder | 6                                  | Kühlflüssigkeits-Temperatursensor vor Gemischkühler         |
| 7  | Klopfsensor, jeweils ein Sensor pro Zylinder   | 8                                  | Brennraum-Temperatursensor, jeweils ein Sensor pro Zylinder |
| 9  | Starter  | 10                                 | Starterrelais   |
| 11 | Kurbelgehäuse-Drucksensor                      | 12                                 | Schmieröl-Niveausensor                                      |
| 13 | Vorschmierpumpe                                | 14                                 | Schmieröl-Drucksensor                                       |
| 15 | Nockenwellensensor                             |                                    |   |



9709935627: TCG 2020 V16

- |    |  |    |  |
|----|--|----|--|
| 1  | Stellgerät   | 2  | Schrittmotor Gas-Luft-Mischer                |
| 3  | Zündspule, jeweils eine Zündspule pro Zylinder             | 4  | Abgasturbolader-Drehzahlsensor               |
| 5  | Abgasturbolader-Temperatursensor                           | 6  | Multifunktionsschiene Zylinderreihe B        |
| 7  | Kühlflüssigkeits-Temperatursensor (Motorausritt)           | 8  | Gemisch-Temperatursensor                     |
| 9  | Kühlflüssigkeits-Temperatursensor (Motoreintritt)          | 10 | Schmieröl-Temperatursensor                   |
| 11 | Schmieröl-Drucksensor                                      | 12 | Klopfsensor, jeweils ein Sensor pro Zylinder |
| 13 | Brennraum-Temperaursensor, jeweils ein Sensor pro Zylinder | 14 | Schwungrad-Impulssensor                      |
| 15 | Zündsteuergerät  |    |  |

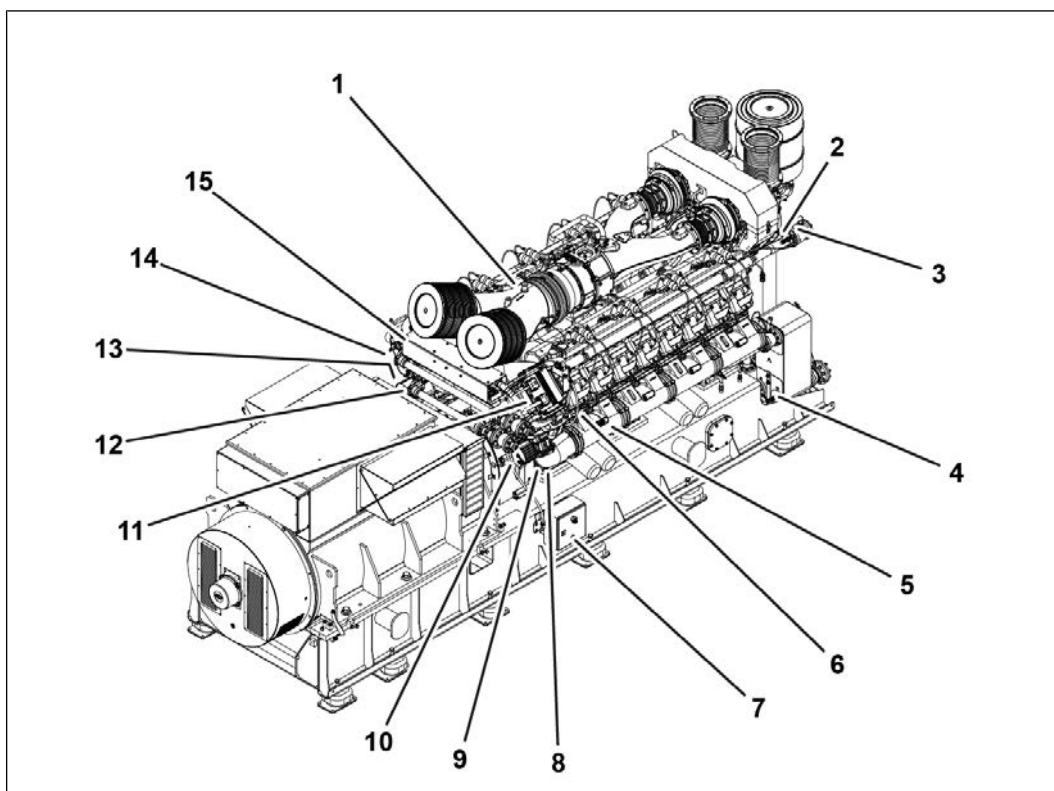




9709938187: TCG 3020 V16

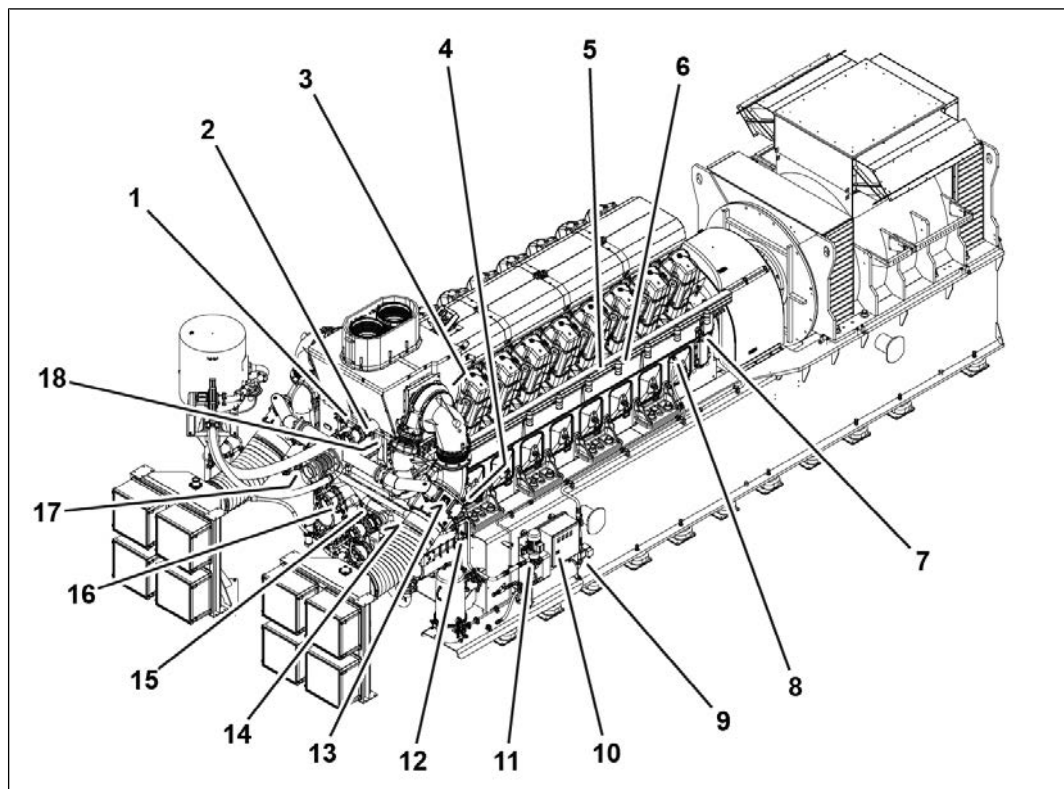
- |    |  |    |  |
|----|--|----|--|
| 1  | Abgasturbolader-Temperatursensor                           | 2  | Zündspule, jeweils eine Zündspule pro Zylinder |
| 3  | Näherungsschalter Gas-Luft-Mischer                         | 4  | Schrittmotor Gas-Luft-Mischer                  |
| 5  | Wartungsanzeiger - Verbrennungs-luftfilter                 | 6  | Steuergerät                                    |
| 7  | Stellgerät - Drosselklappe (Zylinderreihe A)               | 8  | Gemisch-Drucksensor (Zylinderreihe A)          |
| 9  | Starter  | 10 | Starterrelais                                  |
| 11 | Klopfsensor, jeweils ein Sensor pro Zylinder               | 12 | Zündkerze, jeweils eine Zündkerze pro Zylinder |
| 13 | Brennraum-Temperaursensor, jeweils ein Sensor pro Zylinder | 14 | Stecker - Schmieröl-Niveausensor               |
| 15 | Kurbelgehäuse-Drucksensor                                  | 16 | Kühlflüssigkeits-Temperatur (Motoreintritt)    |
| 17 | Nockenwellensensor   | 18 | Stellgerät - Abgaswastegate                    |
| 19 | Kühlflüssigkeits-Temperatursensor vor Gemischkühler        | 20 | Kühlflüssigkeits-Drucksensor (Motorausstritt)  |
| 21 | Kühlflüssigkeits-Temperatursensor (Motorausstritt)         |    |  |





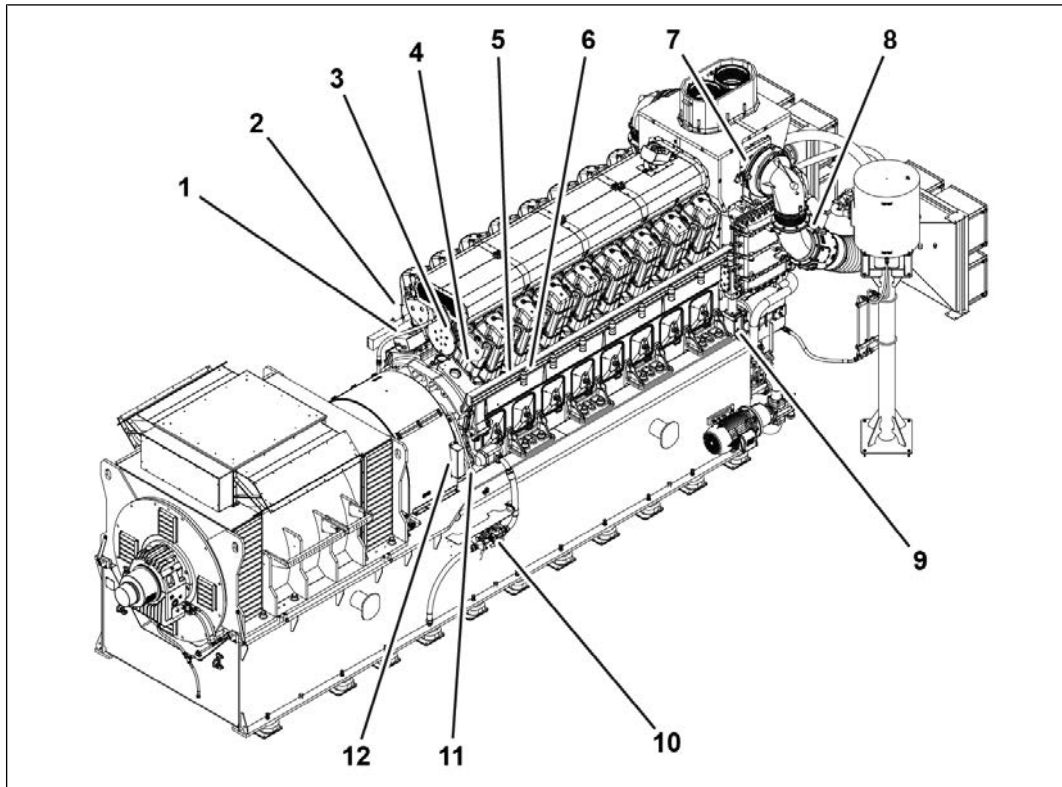
9709938699: TCG 3020 V16

- |    |  |    |  |
|----|--|----|--|
| 1  | Verbrennungsluft-Tempersensor                | 2  | Kühlflüssigkeits-Drucksensor (Motoraustritt)                               |
| 3  | Kühlflüssigkeits-Temperatur (Motoraustritt)  | 4  | Kühlflüssigkeits-Temperatur (Motoreintritt)                                |
| 5  | Gemisch-Drucksensor (Zylinderreihe B)        | 6  | Differenzdrucksensor, Drifferenzdruck über Drosselklappe (Zylinderreihe B) |
| 7  | Klemmenkasten                                | 8  | Schmieröl-Tempersensor   |
| 9  | Schmieröl-Drucksensor                        | 10 | Stellgerät - Drosselklappe (Zylinderreihe B)                               |
| 11 | Steuergerät                                  | 12 | Schwungrad-Impulssensor  |
| 13 | Stellgerät - Drosselklappe (Zylinderreihe A) | 14 | Kühlflüssigkeits-Tempersensor vor Gemischkühler                            |
| 15 | Steuergerät                                  |    |  |



9709936139: TCG 2032 V16

- |    |  |    |   |
|----|--|----|---|
| 1  | Stellgerät   | 2  | Kühlflüssigkeits-Tempersensor (Hochtemperaturkreis Austritt)        |
| 3  | Abgasturbolader-Drehzahlsensor, jeweils ein Sensor pro Abgasturbolader       | 4  | Gemisch-Tempersensor, jeweils ein Sensor pro Gas-Luft-Mischer       |
| 5  | Multifunktionsschiene Zylinderreihe A  | 6  | Zündspule, jeweils eine Zündspule pro Zylinder                      |
| 7  | Nockenwellensensor   | 8  | Kurbelgehäuse-Drucksensor   |
| 9  | Elektrische Pumpe für Vorwärmaggregat (Kühlflüssigkeit)                      | 10 | Elektrisches Vorwärmgerät für Kühlflüssigkeit und Schmieröl         |
| 11 | Elektrische Pumpe für Vorwärmaggregat (Schmieröl)                            | 12 | Schmieröl-Tempersensor  |
| 13 | Schrittmotor Gas-Luft-Mischer, jeweils ein Schrittmotor pro Gas-Luft-Mischer | 14 | Kühlflüssigkeits-Tempersensor (Hochtemperaturkreis Eintritt)        |
| 15 | Schmieröl-Niveausensor   | 16 | Schmieröl-Drucksensor (Schmieröl-druck vor Schmierölfilter)         |
| 17 | Kühlflüssigkeits-Tempersensor (Niedertemperaturkreis Eintritt)               | 18 | Ladegemisch-Drucksensor A-Seite, Gemischkühler - je nach Ausführung |



9709936651: TCG 2032 V16

- |    |   |    |   |
|----|---|----|---|
| 1  | Zündsteuergerät   | 2  | Schmieröl-Drucksensor (Schmieröl-druck nach Filter)   |
| 3  | Ladegemisch-Drucksensor, jeweils ein Sensor für A-Seite und B-Seite Brennraum-Temperatursensor, jeweils ein Sensor pro Zylinder | 4  | Klopfsensor, jeweils ein Sensor pro Zylinder  |
| 5  | Multifunktionsschiene Zylinderreihe B   | 6  | Zündspule, jeweils eine Zündspule pro Zylinder  |
| 7  | Abgasturbolader-Drehzahlsensor, jeweils ein Sensor pro Abgasturbolader  | 8  | Ladegemisch-Temperatursensor, jeweils ein Sensor für A-Seite und B-Seite (V12-Motor: zwischen Zylinder A4 und A5 sowie vor B6; V16-Motor: zwischen Zylinder A6 und A7 sowie vor B8) |
| 9  | Schmieröl-Temperatursensor  | 10 | Magnetventil für Druckluftstarter   |
| 11 | Anlasssicherung für Motortörnvorrichtung  | 12 | Schwungradsensor - Anbauort je nach Ausführung  |

## 6.3 Transport des Aggregats

### 6.3.1 Übersicht

Der Transport eines Aggregats bzw. Containers vom Herstellerwerk bis an den Bestimmungsort lässt sich in folgende Schritte einteilen:

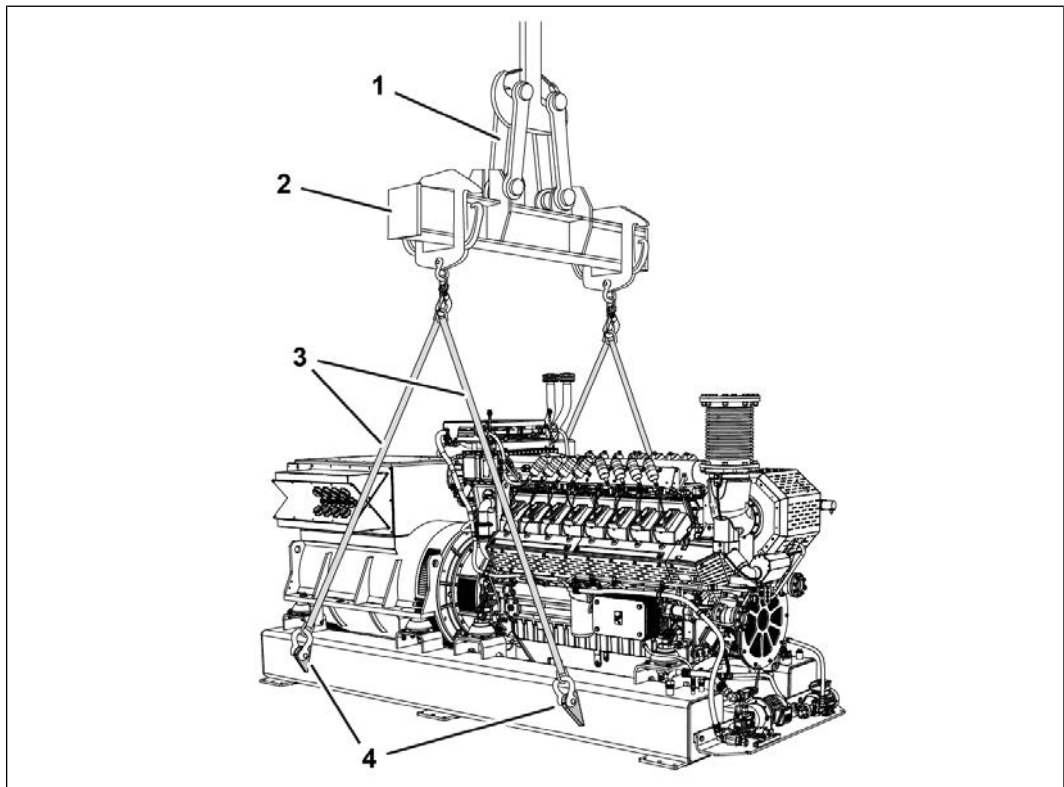
1. Verladen auf LKW mit Mobilkran oder fest installiertem Kran.
2. Transport auf LKW zum Bestimmungsort oder Hafen bei Verschiffung.
3. Umladung im Hafen oder bei Fahrzeugwechsel mit Mobilkran oder fest installiertem Kran.
4. Abladen am Bestimmungsort mit Mobilkran oder fest installiertem Kran.
5. Einbringung bzw. Aufstellung auf dem Fundament mit Mobilkran oder fest installiertem Kran.

### 6.3.2 Verladen mit Kran

Die Verladung der Aggregate im Werk erfolgt entweder mit dem Hallenkran oder mit einem Mobilkran. Die Aggregate sind mit seitlich am Grundrahmen angebrachten Lastaufnahmepunkten versehen. In Ausnahmefällen auch mit zwei unter dem Grundrahmen angebrachten Doppel-T-Trägern, die mit Schenkeln zur Aufnahme des Anschlagmittels (Seile oder Kette) ausgestattet sind. Die Lage der Lastaufnahmepunkte ist symmetrisch zum Schwerpunkt des Aggregats angeordnet. Beim Anheben und der Verwendung von vier gleich langen Seilen oder Ketten schwebt das Aggregat in einer stabilen horizontalen Lage. Das eine Ende der Seil- oder Kettenstränge ist entweder am Kranhaken oder am Tragmittel (z. B. einer Traverse) einzuhaken. Die anderen Enden werden an den Lastaufnahmepunkten befestigt. Die Befestigung muss auch bei unerwarteten Krafteinwirkungen

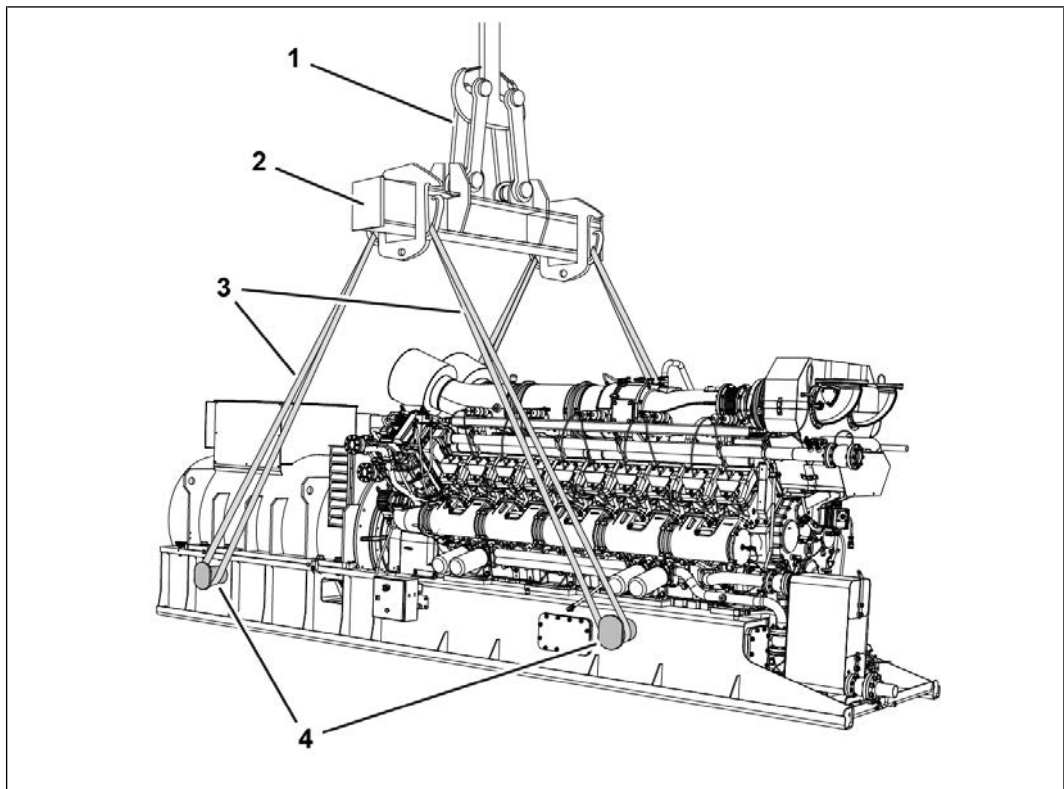
sicher erhalten bleiben. Aus diesem Grund dürfen Seil oder Kettenstränge nur mittels Klemmschuhen (Hebeklemmen) oder mittels Textilschlaufen an den Transporthalterungen befestigt werden.

Die Seile oder Ketten sind so zu führen, dass diese nur an den Lastaufnahmepunkten anliegen. Dies verhindert, dass z. B. Aggregate-Komponenten durch anliegende schräg laufende Seile oder Ketten beschädigt werden. Dazu werden entsprechende Traversen verwendet (siehe folgende Abbildung). Beim Fehlen von passenden Traversen müssen an den Seilen bzw. Ketten Spreizvorrichtungen angebracht werden.



9692964235: Beispielabbildung Aggregat TCG 3016 V16

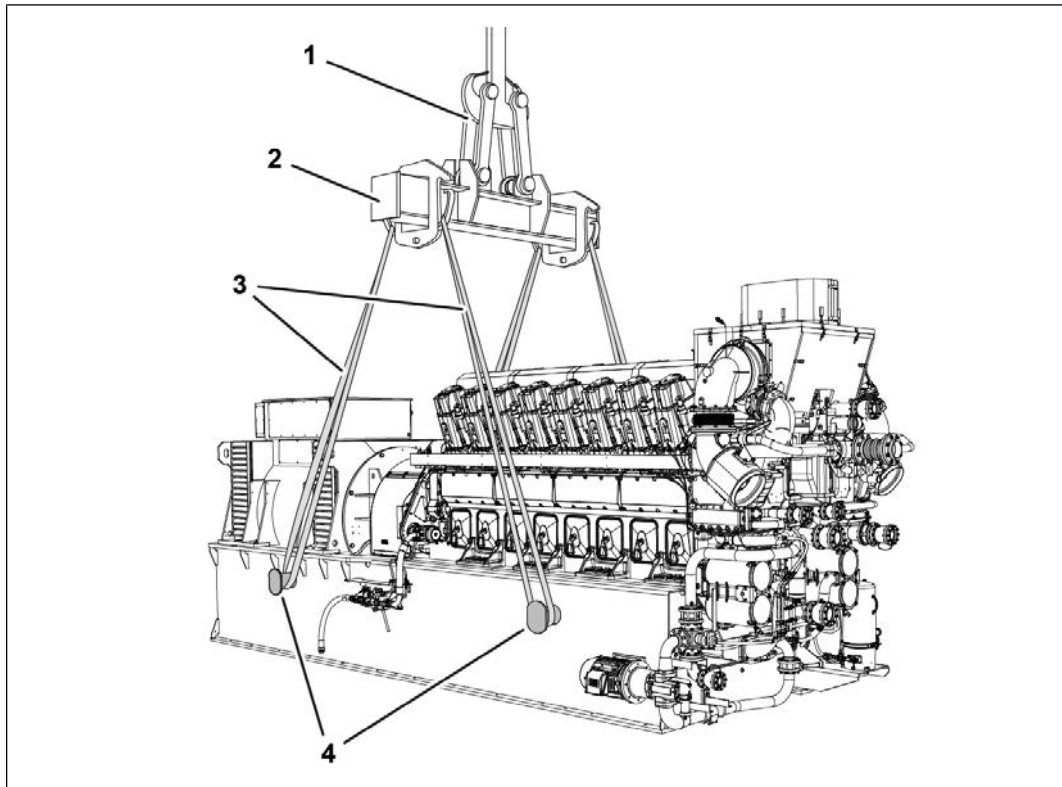
- 1 Kranhaken
- 2 Tragmittel (Traverse)
- 3 Anschlagmittel (Seile oder Kette)
- 4 Lastaufnahmepunkte (Schenkel)



9692964747: Beispielabbildung Aggregat TCG 3020 V20

- 1 Kranhaken
- 2 Tragmittel (Traverse)
- 3 Anschlagmittel (Seile oder Kette)
- 4 Lastaufnahmepunkte (Poller)





9692963723: Beispielabbildung Aggregat TCG 2032 V16

- 1 Kranhaken
- 2 Tragmittel (Traverse)
- 3 Anschlagmittel (Seile oder Kette)
- 4 Lastaufnahmepunkte (Poller)

### Lastaufnahmeeinrichtungen, Hebezeuge und Anschlagmittel

Lastaufnahmeeinrichtungen, Hebezeuge und Anschlagmittel, die beim Heben und Transport schwerer Lasten benutzt werden, unterliegen bei der Herstellung und dem Betrieb der Überwachung und Prüfung nach gesetzlich festgelegten Vorschriften. In der EU gelten die Vorschriften der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) und den berufsgenossenschaftlichen Vorschriften und Regeln (DGUV = Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung). Im Folgenden sind einige wesentliche Punkte aufgeführt.

- Die Einrichtungen zum Heben und Transport dürfen nur von geschulten Personen verwendet werden.
- Die zulässige Belastung der Einrichtungen darf nicht überschritten werden.

Vor jeder Verwendung der Einrichtungen ist der ordnungsgemäße Zustand zu überprüfen. Das heißt, sie dürfen keine Schäden aufweisen, die Sicherheit und Funktion beeinträchtigt (z. B. Bruch, Kerben, Risse, Schnitte, Verschleiß, Verformungen, Schäden infolge Hitzeeinwirkung oder Kälteeinwirkung, etc.).

Die Einrichtungen dürfen durch Stöße nicht überlastet werden.

Seile und Ketten dürfen keine Knoten oder Verwindungen aufweisen. Seile und Ketten dürfen ohne entsprechende Schutzeinrichtungen nicht über scharfe Kanten geführt werden, es ist stets ein Kantenschutz vorzusehen.

Eine unsymmetrische Belastung der Einrichtungen muss vermieden werden.

Die Verkürzung von Seilen und Ketten muss sachgemäß ausgeführt werden.

Das Verladen sollte mit zwei Personen durchgeführt werden.

### **Wartung von Lastaufnahmeeinrichtungen und Hebezeugen**

Die Lastaufnahmeeinrichtungen und Hebezeuge sind durch einen verantwortlichen Sachkundigen in festgelegten Zeitabständen (mindestens jährlich) auf äußere Fehler zu prüfen. Äußere Fehler sind Verformungen, Verschleiß, Korrosion, Anrisse und Bruch.

Bei unzulässigen Mängeln dürfen die Einrichtungen nicht weiter genutzt werden. Bei der Wartung dürfen keine Änderungen vorgenommen werden, welche die Funktion und Tragfähigkeit der Lastaufnahmeeinrichtung beeinträchtigen.

### **Einsatzbeschränkungen von Lastaufnahmeeinrichtungen und Hebezeugen**

Bei hohen bzw. tiefen Temperaturen ist die Tragfähigkeit der Lastaufnahmeeinrichtung entsprechend zu reduzieren.

## **6.3.3 Transport auf Fahrzeugen oder Schiffen**

Beim Transport auf Fahrzeugen oder in Schiffen muss zwischen der Unterseite des Grundrahmens und der Ladefläche eine geeignete Zwischenlage vorgesehen werden. Hier können vorzugsweise handelsübliche Antirutschmatten, Klötze aus Hartgummi oder Holz verwendet werden. Durch das Anbringen von Spanngurten, Zurrketten, Laschen und Hartholzblöcke muss das Aggregat gegen Verrutschen und Kippen gesichert werden. Die Hartholzblöcke sind im Bereich der Federelemente einzusetzen, um diese zu entlasten. Beim Transport muss das Aggregat durch eine geeignete Transportabdeckung gegen Witterungseinflüsse geschützt werden. Bei Seetransport wird eine seemäßige Verpackung vorgesehen.

## **6.3.4 Umladen und Abladen**

Das Umladen und Abladen von Aggregaten erfolgt in der Regel mit Mobilkränen. Im Hinblick auf die Wahl der Hebezeuge und der zu beachtenden Hinweise und Vorschriften gelten die gleichen Regelungen wie für das Verladen der Aggregate beschrieben.

### **Erforderliche Informationen**

- [Verladen mit Kran](#) ► 108]



### 6.3.5 Lagerung von Aggregaten und Anlagenkomponenten

Je nach Ablauf eines Projekts werden Aggregate, Schaltanlagen und Anlagenkomponenten bis zu deren Einbau zwischengelagert.

Bei der Lagerung sind folgende Punkte zu beachten:

- Die Lagerung muss in einem trockenen gut belüfteten Raum erfolgen.
- Der Raum muss beheizt werden, wenn es durch Tageszeit oder Jahreszeit bedingten Temperaturwechsel zu Taupunktunterschreitung kommt.
- Die Lagerung sollte frostsicher erfolgen.

In den technischen Datenblättern für die einzelnen Komponenten werden Lagertemperaturen angegeben, die von den in den Komponenten verbauten Materialien abhängen.

Insbesondere auf dem Transportweg und bei der Zwischenlagerung in Häfen oder bei Spediteuren können die oben genannten Bedingungen nicht immer eingehalten werden. Für eventuell auftretende Schäden durch Frost oder Feuchteeinwirkung wird keine Gewährleistung übernommen.

Gasmotoren erhalten eine Innen-Konservierung und Außen-Konservierung für eine Dauer von 24 Monaten. Überschreitet die Lagerungsdauer die Schutzdauer der Konservierung, muss eine Nachkonservierung erfolgen. Die Schutzdauer der Konservierung ist nur gültig, wenn die oben genannten Punkte bezüglich der Lagerungsbedingungen eingehalten werden.

Generatoren müssen alle 6 Monate gedreht werden, unabhängig davon, ob sie einzeln eingelagert sind oder an einem Aggregat verbaut sind.

Anlagenkomponenten wie zum Beispiel Pumpen oder Ventilatoren müssen ebenfalls in bestimmten Zeitabständen gedreht werden. Vorgaben sind der Herstellerdokumentation zu entnehmen.

Anlagenkomponenten, die auch beim Betrieb der Anlage im Freien aufgestellt werden, können auch im Freien gelagert werden. Das sind z. B. Ventilatorkühler oder Abgas-Schalldämpfer.

## 6.4 Montage des Aggregats

### 6.4.1 Allgemein

Mit diesen Hinweisen ist ein ordnungsgemäßes Einbringen und Einbau des Aggregats in den Aggregateraum gewährleistet und mögliche Folgeschäden durch falsche Montage werden vermieden.

Für den Einbauort und den Anschluss an Hilfssysteme, Leistungskabeln, Rohrleitungen usw. sind die entsprechenden Vorgaben zu beachten.

#### Erforderliche Informationen

- [Gebäude und Installationen \[► 295\]](#)

## 6.4.2 Montageschritte

Das Aggregat muss vor Ort durch eine geeignete Öffnung zum Aufstellungsort im Aggregaterraum gebracht und dort ausgerichtet werden. Zum Heben und Positionieren des Aggregats sind seitlich am Grundrahmen Lastaufnahmepunkte angebracht.

Die Aggregatmontage erfolgt in mehreren Schritten:

1. Fundament prüfen
2. Stellfläche vor der Einbringöffnung vorbereiten
3. Aggregat auf der Stellfläche absetzen
4. Aggregat zum Aufstellort bringen
5. Aggregat am Aufstellort positionieren
6. Aggregat absetzen und Transportmittel entfernen
7. Aggregat anheben und Lagerelemente montieren
8. Aggregat absetzen
9. Aggregat kontrollieren und anschließen

### Erforderliche Informationen

- Betriebsanleitung > Montagehinweis > Aggregateinbringung
  - Aggregat einbringen

## 6.4.3 Aggregat anheben und positionieren

Das Aggregat darf nur an den vorgesehenen Lastaufnahmepunkten angehoben werden. Für die Aufgabe geeignete und freigegebene Lastaufnahmeeinrichtungen, Hebezeuge und Anschlagmittel sind zu verwenden.

### Erforderliche Informationen

- [Verladen mit Kran \[► 108\]](#)

#### 6.4.4 Schutz des Aggregat

Nach dem Aufsetzen und Ausrichten des Aggregates auf dem Fundament und vor Beginn der Verrohrungs- und Verkabelungsarbeiten sollte das Aggregat z. B. mit einer Plane vor Staub und Schmutz geschützt werden.

Zum Schutz der Elektronik und der Lager im Motor und Generator darf am Aggregat generell nicht geschweißt werden!

Am Aggregat angebrachte Teile, wie Geber, Temperaturfühler oder Anbauten wie Pumpen, Filter etc. dürfen nicht als „Leiter“ benutzt werden.

Um den Wert der Anlage und deren Zuverlässigkeit zu erhalten, ist folgendes zu beachten:

- Den Aggregateraum und den Raum für die Schaltanlage staubfrei halten. Staub setzt die Lebensdauer des Motors herab, verkürzt die Standzeit des Generators und beeinträchtigt die Funktion der Steuerung.
- Kondenswasser und feuchte Aggregateräume fördern die Korrosion von Aggregat und Schaltanlage. Hochwertige BHKW-Anlagen erfordern trockene, möglichst beheizte Räume (über 5 °C).
- Der Motor ist werksseitig nach dem Prüfstandslauf einer Innenkonservierung nach Werksnorm unterzogen. Die Standardkonservierung hält für die Dauer von 24 Monaten. Bei längerer Stillstandszeit des Aggregates ist vor der Inbetriebnahme beim Generator der Isolationswiderstand zu prüfen. Bei Feuchtigkeit ist der Generator zu trocknen (Stillstandsheizung oder andere geeignete Maßnahme).
- Wird das Aggregat in einem Container aufgebaut, muss für die Lagerung bzw. Transport das Aggregat vollständig entleert (Frostgefahr) und gegen Verrücken gesichert sein.

#### 6.4.5 Elastische Lagerung

Für die mittlere und große Plattform werden zur elastischen Lagerung der Aggregate standardmäßig Stahlfederkörper verwendet. Diese sind serienmäßig mit einer Nivellierung versehen. Unter der Fußplatte des Lagerelements befindet sich eine Gummipatte, die direkt auf das Fundament aufgesetzt werden kann. Hierbei ist zu beachten, dass die Fundamentoberfläche frei ist von Fett, Schmieröl, Kraftstoff oder anderen Verunreinigungen. Die Fundamentoberfläche muss im Bereich der Elastischen Lagerung eine Toleranz von +/- 2 mm vorweisen. Der Rest der Fundamentoberfläche kann nach dem Standardbauvorschriften für Fundamente ausgelegt sein. Das Fundament darf nicht gefliest sein.

Bei Aggregaten der Baureihe TCG 3016 sind der Gasmotor und der Generator über ein Flanschgehäuse starr verbunden. Die Einheit Gasmotor und Generator wird mit Gummielementen auf einem Grundrahmen gelagert. Der Grundrahmen wird starr auf dem Fundament aufgestellt.

Ein Verschrauben oder Verdübeln der Federelemente mit dem Fundament ist nicht erforderlich. Zur Fixierung des Aggregats auf dem Fundament können die 4 Lagerelemente an den Eckpunkten des Aggregats verschraubt (verdübelt) oder, im Containereinbau, mit Stahlstoppern fixiert werden. Die Anzahl und Anordnung der Federkörper ist in der auftragsbezogenen Aggregatezeichnung angegeben. In der Aggregatezeichnung befindet sich ein Hinweis auf die Einbauvorschrift und Ausrichtvorschrift der verwendeten Stahlfedern. In erdbebenunsicheren Ländern werden an die Lagerung der Aggregate besondere Anforderungen gestellt. Hier müssen die Lager mit dem Fundament verdübelt werden. Diese Verbindung muss unbedingt vom Baustatiker nachgerechnet werden.

Wird das Aggregat in einem Container installiert, muss zum Transport eine Transportsicherung zwischen dem Grundrahmen und den Fundamentplatten im Containerboden montiert werden. Die Transportsicherung verhindert Bewegungen des Aggregats auf den Stahlfederkörpern. Vor Inbetriebnahme des Aggregates müssen die Transportsicherungen wieder demontiert werden.

## 6.4.6 Drehelastische Kupplung

Nach der Ausrichtung des Aggregates auf dem Fundament muss der Planlauf und der Rundlauf der Kupplung gemessen werden.

### Erforderliche Informationen

- Betriebsanleitung > Montagehinweis > Aggregateinbringung
  - Aggregat einbringen

## 6.5 Hinweise zur Inbetriebnahme

Vor der Inbetriebnahme und Übergabe an den Kunden das Aggregat gründlich reinigen.

Folgende Punkte beachten:

- Einstellung der elastischen Lagerelemente prüfen.
- Kupplungsausrichtung prüfen.
- Vorschriftsmäßiger Einbau der Kompensatoren.
- Kühlwasserkompensatoren spannungsfrei.
- Schlauchleitungen mit vorgeschriebenem Biegeradius.
- Abgaskompensator mit vorgeschriebener Vorspannung.
- Kabel mit Zugentlastung und vorgeschriebenen Biegeradius.
- Luftfilter frei von Staub und Schmutz.

## 7 Maschinenraumbelüftung

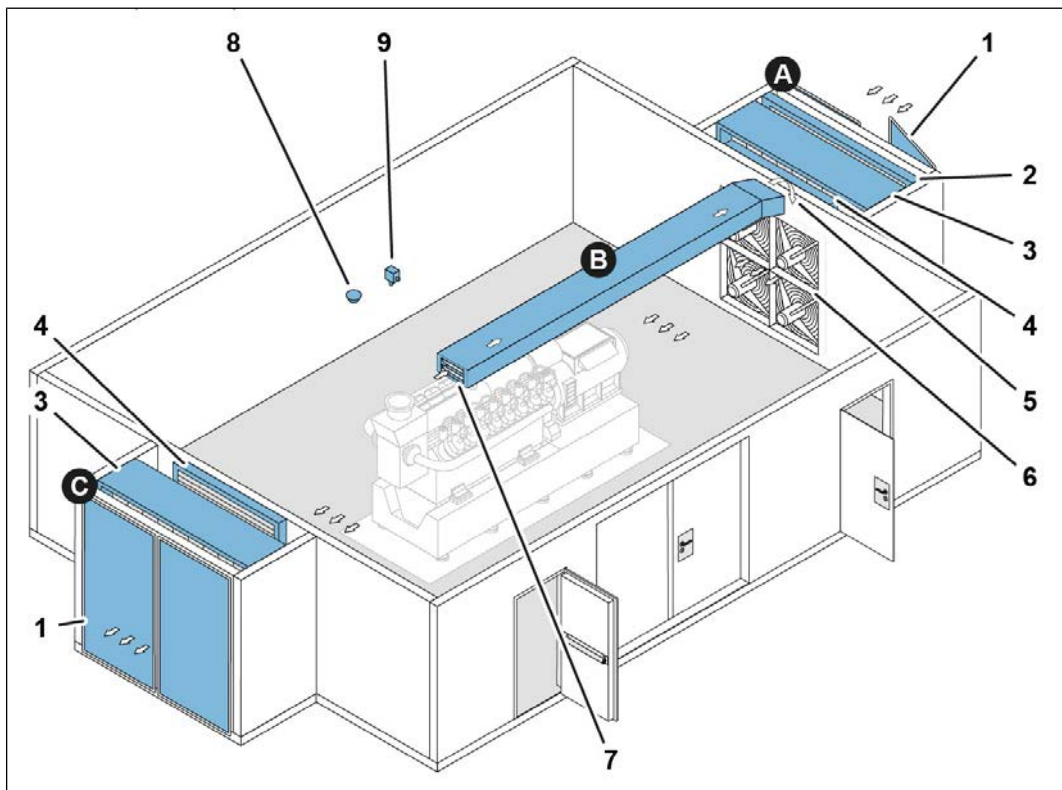
### Inhaltsverzeichnis

7.1	Systemübersicht .....	118
7.2	Aufbau und Funktion .....	119
7.2.1	Maschinenraumbelüftung .....	119
7.2.2	Umluftregelung .....	122
7.2.3	Lüftung mit frequenzgeregelten oder elektronisch kommutierten Ventilatoren (EC) .....	124
7.3	Anforderungen und Richtwerte .....	124
7.3.1	Ermittlung des Luftbedarfs .....	124
7.4	Hinweise zu Planung und Betrieb einer Belüftungsanlage .....	128
7.4.1	Planung .....	128
7.4.2	Betrieb .....	129
7.5	Komponenten des Lüftungssystems .....	129
7.5.1	Hauptkomponenten .....	129
7.5.2	Wetterschutzgitter .....	129
7.5.3	Schalldämmkulissen .....	129
7.5.4	Jalousien .....	130
7.5.5	Filter .....	130
7.5.6	Ventilatoren .....	130
7.5.7	Luftkanäle .....	130
7.5.8	Strömungswächter .....	131
7.5.9	Rauch- und Wärmesensor .....	131
7.5.10	Gassensor .....	131

## 7.1 Systemübersicht

Die schematische Abbildung zeigt und benennt typische Bestandteile und Schnittstellen als Hilfe für den Einstieg. Proportionen sind deshalb nicht maßstäblich, die Anordnung beispielhaft.

### Beispiel: drückendes Lüftungssystem mit Umluft



3620521739: Beispielabbildung in vereinfachter Darstellung

A	Zuluft	B	Umluft
C	Abluft		
1	Wetterschutz- und Vogelschutzgitter	2	Zuluftfilter
3	Schalldämmkulissen	4	Luftklappen
5	Einführung Umluft	6	Zuluftventilatoren
7	Umluftklappe	8	Rauch- und Wärmesensoren
9	Gassensoren		

## 7.2 Aufbau und Funktion

### 7.2.1 Maschinenraumbelüftung

#### 7.2.1.1 Allgemein

Der Maschinenraum wird durch Konvektion und Strahlung der installierten Motoren erwärmt. Des Weiteren gibt es eine Erwärmung durch Generatoren, die Wärmenutzungssysteme und die Rohrleitungssysteme.

Zur Vermeidung unzulässig hoher Temperaturen für die Maschinen, deren Komponenten sowie für die Schaltanlage muss man diese Wärme über ein Lüftungssystem abführen.

Ebenso muss bei Anlagen mit extrem niedrigen Umgebungstemperaturen dafür gesorgt werden, dass die jeweils laut Aggregatdatenblatt vorgeschriebenen Mindestansaugluft-Temperaturen für den Betrieb eingehalten werden. Die Strahlungswärme der Komponenten kann zur Aufwärmung des Maschinenraumes genutzt werden. Das Gebäude sollte hierbei dicht sein und über eine gute Wärmeisolierung verfügen.

Das Belüftungssystem bekommt einerseits durch die Abfuhr der Strahlungswärme im Sommer und andererseits durch Nutzung der Strahlungswärme zur Aufwärmung des Maschinenraums im Winter, besondere Bedeutung.

---

#### HINWEIS

Generell gilt: Ansauglufttemperaturen (sowie die Mindesttemperaturen) laut Aggregat-Datenblättern müssen eingehalten werden!

Es ist sicherzustellen, dass die zulässige Starttemperatur nicht unterschritten wird (siehe Kapitel [Anforderungen an die Verbrennungsluft](#) ► 201)

---

Die Maschinenraumbelüftung hat ebenfalls die Aufgabe, die vom Aggregat benötigte Verbrennungsluftmenge zur Verfügung zu stellen. Bei Mehrmotorenanlagen sollte jedes Aggregat über ein eigenes regelbares Lüftungssystem verfügen.

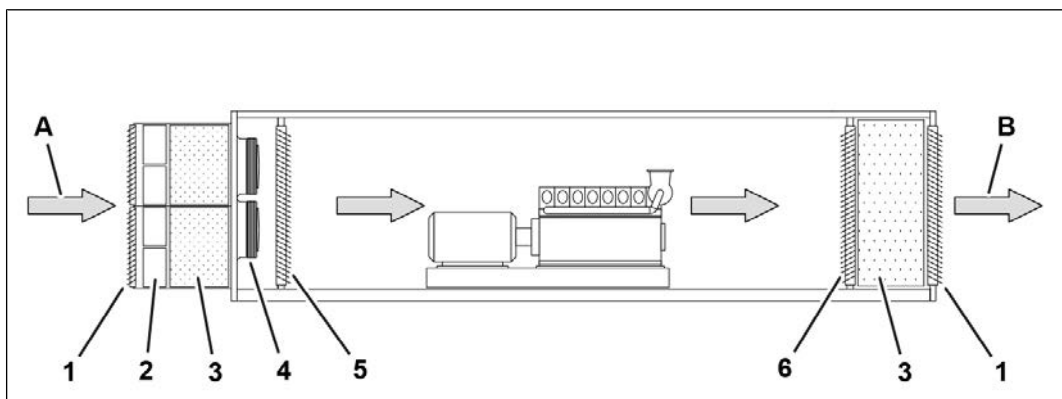
Die ausführbaren Lüftungssysteme für die Maschinenräume lassen sich in drei Arten unterteilen (siehe folgende Abschnitte):

- Drückendes System (empfehlenswert)
- Saugendes System (nicht empfehlenswert)
- Kombiniertes System (empfehlenswert)

## 7.2.1.2 Drückendes System (empfehlenswert)

Aus der Umgebung wird die Luft mit Umgebungstemperatur durch einen Ventilator angesaugt. Die Umgebungsluft wird danach durch den Maschinenraum gedrückt und über Abluftöffnungen wieder der Umgebung zugeführt. Im Maschinenraum herrscht ein Überdruck.

Der Einsatz dieses Systems empfiehlt sich besonders in Umgebungen mit hoher Staubbelastung (Wüstenregionen). Der Überdruck im Maschinenraum vermeidet das Eindringen von Staub durch Undichtigkeiten in der Maschinenhauswand bzw. durch geöffnete Türen oder Fenster. Die eingesetzten Belüftungsanlagen sind mit entsprechenden Filtern zur Staubabscheidung auszurüsten, z. B. Trägheitsfilter, Taschenfilter. Der mit den eingesetzten Zuluftfiltern zu erreichende Abscheidegrad muss dem Abscheidegrad eines Filters der Klasse G3 entsprechen.



9709704459: Lüftungssysteme - Drückendes System

- A Zuluft
- B Abluft
- 1 Wetterschutzgitter
- 2 Zuluftfilter
- 3 Schalldämmkulisie
- 4 Zuluftventilator
- 5 Zuluftjalousie
- 6 Abluftjalousie

### Weitere Informationen

- [Filter](#) [► 130]



### 7.2.1.3 Saugendes System (nicht empfehlenswert)

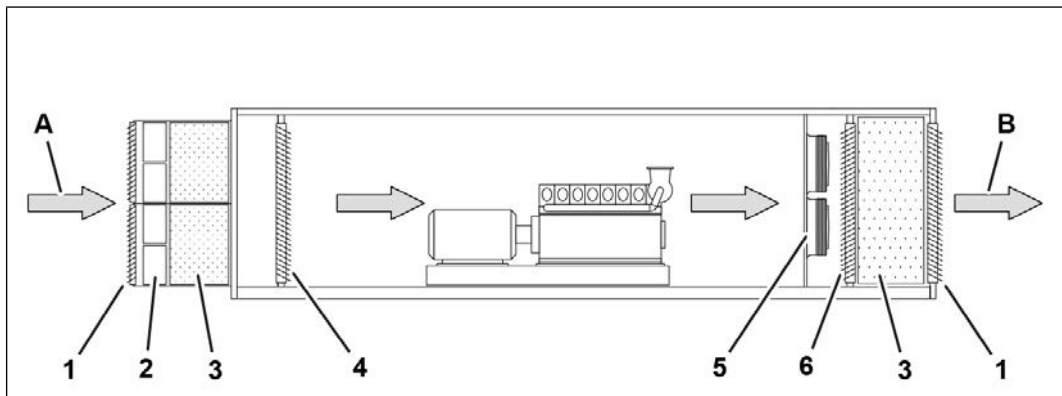
Die Umgebungsluft wird über das Zuluftsystem (Wetterschutzgitter, Filter, Schalldämmkulisie und Jalousie) dem Maschinenraum zugeführt. Die Luft durchströmt den Maschinenraum, wird durch einen Ventilator abgesaugt und der Umgebung wieder zugeführt. In dem Maschinenraum herrscht Unterdruck.

Das Belüftungssystem ist auf der Saugseite so gestaltet, dass der sich im Maschinenraum einstellende Unterdruck deutlich unter 1 mbar liegt. Bei zu hohem Unterdruck im Maschinenraum kann es besonders bei Gasmotorenanlagen, die Verbrennungsluft aus dem Maschinenraum saugen, zu Startschwierigkeiten kommen. Die Gemischbildung ist nicht optimal. Bei zu hohem Unterdruck am Turbolader kann der Wirkungsgrad des Aggregates unter den Garantiewert absinken.

Weiterhin lassen sich die Türen des Maschinenraumes bei zu hohem Unterdruck nur schwer öffnen. Die Maschinenraumtüren sind in der Regel auch Fluchttüren und müssen sich nach außen öffnen.

Die Anlage arbeitet wie ein großer Staubsauger und durch Undichtigkeiten in den Maschinenraumwänden und Maschinenraumfenstern wird ungefilterte Sekundärluft eingetragen. Dies führt auf Dauer zu einer erhöhten Verschmutzung des Maschinenraumes. Der mit den eingesetzten Zuluftfiltern erreichte Abscheidegrad muss dem Abscheidegrad eines Filters der Klasse G3 entsprechen.

Aus den angeführten Gründen sollte man bei der Planung des Belüftungssystem von einem saugenden System absehen.



9709705227: Lüftungssysteme - Saugendes System (nicht empfehlenswert)

- A Zuluft
- B Abluft
- 1 Wetterschutzgitter
- 2 Zuluftfilter
- 3 Schalldämmkulisie
- 4 Zuluftjalousie
- 5 Abluftventilator
- 6 Abluftjalousie

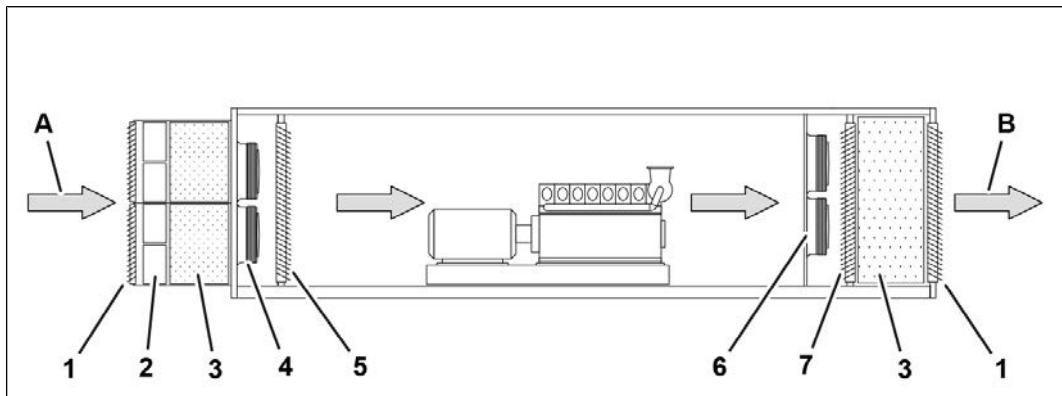
## Weitere Informationen

- [Hinweise zu Planung und Betrieb einer Belüftungsanlage](#) [► 128]
- [Filter](#) [► 130]

### 7.2.1.4 Kombiniertes System (empfehlenswert)

Die Luft für die Maschinenraumbelüftung wird durch einen Zuluftventilator in den Maschinenraum eingeblasen und auf der Abluftseite durch einen weiteren Ventilator abgesaugt. Durch eine geeignete Abstimmung des Zuluftsystems und Abluftsystems entspricht der Luftdruck im Maschinenraum etwa dem Umgebungsdruck.

Dieses System ist auf jeden Fall bei Anlagen anzuwenden, bei denen sowohl auf der Zuluftseite wie auf der Abluftseite erhebliche Druckverluste vorhanden sind. Das ist besonders dort der Fall, wo die Luft für die Maschinenraumbelüftung über weite Strecken angesaugt und wieder abgeführt werden muss. Das gilt auch für Anlagen, bei denen die Komponenten wie Wetterschutzgitter, Schalldämmkulissen, Jalousien und Filter einen hohen Druckverlust aufweisen.



9709705995: Lüftungssysteme - Kombiniertes System (empfehlenswert)

- |   |                    |
|---|--------------------|
| A | Zuluft             |
| B | Abluft             |
| 1 | Wetterschutzgitter |
| 2 | Zuluftfilter       |
| 3 | Schalldämmkulisse  |
| 4 | Zuluftventilator   |
| 5 | Zuluftjalousie     |
| 6 | Abluftventilator   |
| 7 | Abluftjalousie     |

### 7.2.2 Umluftregelung

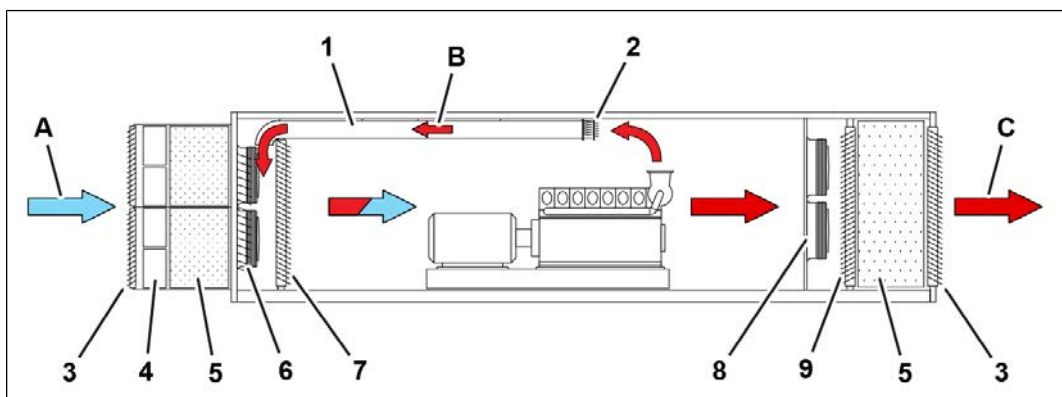
Zur Verhinderung von unzulässig niedrigen Temperaturen im Maschinenraum kann durch Beimischung von Abluft in die Zuluft die Temperatur geregelt werden.

Bei allen Systemen ist die Luftführung so zu gestalten, dass der gesamte Maschinenraum von Luft durchströmt wird. Es dürfen keine Kurzschlussströmungen von der Zuluftöffnung zur Abluftöffnung möglich sein. Es muss eine ausreichende Luftzirkulation an den Wärme abgebenden Komponenten stattfinden. Gegebenenfalls sind Luftkanäle einzubauen, die für eine gezielte Luftführung zu den Einzelkomponenten im Maschinenraum sorgen.

Die Umluftregelung empfiehlt sich grundsätzlich für Anlagen deren Umgebungslufttemperaturen unterhalb der minimal zulässigen Ansauglufttemperatur liegen.

Um die im Maschinenraum anfallende Strahlungswärme und die damit erforderliche Luftmenge möglichst gering zu halten, müssen Schalldämpfer und Abgasleitungen innerhalb des Maschinenraums isoliert sein. Die Isolierung von Abgassystemen ist generell innerhalb von Gebäuden notwendig.

In vielen Fällen wird die Verbrennungsluft der Motoren aus dem Maschinenraum angesaugt. Bei der Auslegung der Zuluftventilatoren ist diese zusätzliche Luftmenge zu berücksichtigen. Je nach Ausführung der Anlage können die Luftfilter des Motors in Bereichen liegen, in denen bereits eine stärkere Erwärmung der Luft stattgefunden hat. In diesen Fällen ist die „kalte“ Luft über separate Lüftungskanäle vor die Luftfilter zu führen.



9709706763: Lüftungssysteme - System mit Umluftregelung (empfehlenswert)

- A Zuluft
- B Umluft
- C Abluft
- 1 Umluftkanal
- 2 Umluftjalousie
- 3 Wetterschutzgitter
- 4 Zuluftfilter
- 5 Schalldämmkulisse
- 6 Zuluftventilator
- 7 Zuluftjalousie
- 8 Abluftventilator
- 9 Abluftjalousie

## 7.2.3 Lüftung mit frequenzgeregelten oder elektronisch kommutierten Ventilatoren (EC)

Bei Gasmotoren muss sich die Ansauglufttemperatur in einem relativ engen Bereich bewegen. Die im Datenblatt angegebene Mindestlufttemperatur darf nicht unterschritten werden, da sonst der Verdichter des Abgasturboladers pumpt. Motoren mit Abgas-Wastegate lassen einen weiteren Bereich der Ansauglufttemperatur zu.

Bei einem auf Sommerbedingungen ausgelegten Ventilator mit fester Drehzahl lassen sich im Winter die geforderten Mindestansaugtemperaturen für den Motor mitunter nicht mehr aufrechterhalten. Durch Anpassung des Belüftungsvolumenstroms und der Nutzung der Strahlungswärme von Motor und Generator kann mit frequenzgeregelten oder elektronisch kommutierten Ventilatoren die Ansauglufttemperatur auch bei sich verändernden Umgebungstemperaturen über eine Regelung in dem zulässigen Bereich gehalten werden. Die Regelung der Ansauglufttemperatur über die Anpassung des Belüftungsvolumenstroms ist nur möglich bis zu minimalen Umgebungslufttemperaturen, die sehr nahe an der minimal zulässigen Ansauglufttemperatur liegen. Bei tieferen Umgebungslufttemperaturen ist ein Umluftsystem erforderlich.

## 7.3 Anforderungen und Richtwerte

### 7.3.1 Ermittlung des Luftbedarfs

#### 7.3.1.1 Übersicht Berechnung

Der für die Auslegung eines Lüftungssystems zu ermittelnde Luftbedarf setzt sich aus folgenden Einzelbedarfen zusammen:

- Verbrennungsluftbedarf des Motors
- Kühlluftbedarf des Motors und der Komponenten
- Strahlungswärmen
  - Motorstrahlungswärme
  - Generatorstrahlungswärme
  - Strahlungswärme der Hilfseinrichtungen
  - Strahlungswärme der Wärmenutzeinheit

Sind die Einzelbedarfe ermittelt lässt sich die nötige Luftmenge ermitteln.

#### 7.3.1.2 Verbrennungsluftbedarf des Motors

Wenn der Motor aus dem Maschinenraum die Verbrennungsluft ansaugt, muss diese über das Belüftungssystem des Maschinenraums zugeführt und bei der Auslegung berücksichtigt werden. Die Verbrennungslufttemperatur ist ein Einflussfaktor für die durch den Motor darstellbare Ortsleistung. Deshalb ist zu gewährleisten, dass die Lufttemperatur im Bereich der Ansaugung den für die Ermittlung der Ortsleistung festgelegten Wert nicht überschreitet, und nicht unterschreitet.

### 7.3.1.3 Kühlluftbedarf des Motors und der Komponenten

Die Strahlungswärme des Motors und des Generators wird über das Belüftungssystem des Maschinenraums abgeführt. Weitere Wärme abstrahlende Komponenten sind Pumpen, Separatoren, Wärmetauscher, Kessel usw.

Wärme abstrahlende Komponenten, die nur intermittierend in Betrieb sind, z. B. Kompressoren, können in den meisten Fällen bei der Ermittlung des Kühlluftbedarfs vernachlässigt werden.

### 7.3.1.4 Ermittlung der Strahlungswärmen

Zur Ermittlung des Luftbedarfs müssen zunächst die Strahlungswärmen von Motor und Generator ermittelt werden.

#### Motorstrahlungswärme

Die Strahlungswärme ( $Q_M$ ) des Motors ist in den aktuellen Datenblättern ausgewiesen.

#### Generatorstrahlungswärme

Die Strahlungswärme des Generators ( $Q_G$ ) ist in den aktuellen Datenblättern angegeben.

#### Strahlungswärme der Hilfseinrichtungen

Die Strahlungswärme der Rohrleitungen, insbesondere der Abgasleitungen, Abgas-Schalldämpfer, Kühler und Pumpenaggregate lassen sich nur mit großem Aufwand ermitteln. Diese Strahlungswärme liegt erfahrungsgemäß bei ca. 10 % der Motorstrahlungswärme.

$$Q_H = 0,1 \times Q_M$$

3714904459: Formel Strahlungswärme Hilfseinrichtungen

$Q_H$ in kW	Strahlungswärme der Hilfseinrichtungen
$Q_M$ in kW	Strahlungswärme des Motors

#### Strahlungswärme der Wärmenutzeinheit

Werden die Bauteile im Aggregaterraum zur Nutzung der Wärmeenergie aufgestellt, so liegt die Strahlungswärme von Kühlwasser- Wärmetauscher und Abgaswärmetauscher erfahrungsgemäß bei ca. 1,5 % der jeweiligen Nutzwärme gemäß Datenblatt.

$$Q_W = 0,015 \times (Q_{KW} + Q_{Abg})$$

3714924555: Formel Strahlungswärme Wärmenutzeinheit

$Q_{WN}$ in kW	Strahlungswärme der Wärmenutzeinheit
$Q_{KW}$ in kW	Motor-Kühlwasser-Wärme
$Q_{Abg}$ in kW	nutzbare Motor-Abgaswärme

### Gesamte Strahlungswärme

Die gesamte Strahlungswärme  $Q_S$  ergibt sich aus den vorgenannten Strahlungsanteilen zu:

$$Q_S = Q_M + Q_G + Q_H + Q_W$$

3714930955: Formel gesamte Strahlungswärme

Über die Maschinenraumwände wird je nach den Umgebungsbedingungen ein Teil der Strahlungswärme abgeführt. Dieser Anteil lässt sich auf Grund der wechselnden Verhältnisse wie z. B. Umgebungstemperatur oder Ausgestaltung der Maschinenraumwände nur schwer ermitteln und wird deshalb nicht berücksichtigt.

### 7.3.1.5 Erforderlicher Luftbedarf (ohne Verbrennungsluftmenge des Motors)

Danach ergibt sich letztendlich der erforderliche Luftbedarf als Funktion der gesamten Strahlungswärme. Zusätzlich in die Berechnung gehen ein die zulässige Temperaturerhöhung der Luft im Maschinenraum und die spezifische Wärmekapazität der Luft:

$$m_{Lerf} = \frac{Q_S \times 3600}{\Delta T \times c_p}$$

3714936715: Formel erforderlicher Luftmassenstrom

$m_{Lerf}$ in kg/h	erforderlicher Luftmassenstrom zur Kühlung
$Q_S$ in kW	gesamte Strahlungswärme
$\Delta T$ in K	zulässige Temperaturerhöhung
$C_p$ in kJ/kgK	spezifische Wärmekapazität der Luft

Die oben angegebene Beziehung liefert den erforderlichen Luftmassenstrom. Zur Ermittlung des erforderlichen Volumenstroms muss die Dichte der Luft berücksichtigt werden. Die Dichte ist von der Lufttemperatur, dem Luftdruck und der relativen Luftfeuchtigkeit abhängig. Der erforderliche Luftvolumenstrom ist:

$$V_{\text{Lerf}} = \frac{m_{\text{Lerf}}}{\rho_L}$$

3714939403: Formel erforderlicher Luftvolumenstrom

$m_{\text{Lerf}}$ in kg/h	erforderlicher Luftmassenstrom
$V_{\text{Lerf}}$ in m <sup>3</sup> /h	erforderlicher Luftvolumenstrom
$\rho_L$ in kg/m <sup>3</sup>	Dichte der Luft z. B. 1,172 kg/m <sup>3</sup> bei 1002 mbar und 25 °C

Der Luftdruck nimmt mit steigender geodätischer Höhe ab. In der folgenden Tabelle sind Drücke und Dichten in Abhängigkeit von Temperatur und geodätischer Höhe angegeben. Die angegebenen Werte gelten für trockene Luft. Bei feuchter Luft nimmt die Dichte mit steigender relativer Luftfeuchtigkeit ab. Die Abnahme der Dichte kann bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 60 % bis zu 10 % betragen.

Luftdruck und Luftdichte in Abhängigkeit von der geodätischen Höhe bei 25 °C								
Geodät. Höhe	Temperatur 25 °C		Geodät. Höhe	Temperatur 25 °C		Geodät. Höhe	Temperatur 25 °C	
in m	mbar	kg/m <sup>3</sup>	in m	mbar	kg/m <sup>3</sup>	in m	mbar	kg/m <sup>3</sup>
0	1013	1,184	700	940	1,099	1800	835	0,976
100	1002	1,172	800	930	1,087	2000	817	0,955
200	991	1,159	900	920	1,075	2200	800	0,935
300	981	1,147	1000	910	1,064	2400	783	0,915
400	970	1,135	1200	890	1,041	2600	766	0,896
500	960	1,122	1400	871	1,019	2800	750	0,877
600	950	1,110	1600	853	0,997	3000	734	0,858

Tab. 14: Luftdruck und Luftdichte in Abhängigkeit der geodätischen Höhe

Die Umrechnung der Dichte auf andere Temperaturen erfolgt nach folgender Gleichung:

$$\rho_L(t) = \rho_L(25\text{ °C}) \times \frac{(273 + 25)}{(273 + t)}$$

3714942091: Umrechnungsformel Dichte

$\rho_L(25\text{ °C})$ in kg/m <sup>3</sup>	Dichte der Luft bei 25 °C
$\rho_L(t)$ in kg/m <sup>3</sup>	Dichte der Luft bei Temperatur t
t in °C	Temperatur der Luft

Bei Anlagen, die aus dem Maschinenraum saugen, ist auf der Zuluftseite die Verbrennungsluftmenge des Motors zusätzlich zu berücksichtigen.

#### Weitere Informationen

- [Verbrennungsluftmenge](#) ► 204]

## 7.4 Hinweise zu Planung und Betrieb einer Belüftungsanlage

### 7.4.1 Planung

Nach der Ermittlung der erforderlichen Lüftungsmengen sind die Öffnungen und Kanäle so auszulegen, dass folgende Luftgeschwindigkeiten eingehalten werden.

Komponente	Luftgeschwindigkeit in m/s
Zuluftöffnung bzw. Ab- luftöffnung	1,5 bis 2,5 bzw. 2,5 bis 4
Lüftungskanal	10 bis 20
Freie Strömungen im Maschinenraum	0,3
Schalldämmstrecke	6 bis 8

Tab. 15: Komponenten und Luftgeschwindigkeiten

Zusätzliche Einschränkungen aufgrund von Strömungsrauschen sind zu berücksichtigen.

#### Luftwechselzahl

Als Kennzahl für ein Belüftungssystem kann auch die Luftwechselzahl dienen. Sie gibt die Anzahl der Luftwechsel pro Stunde an, d. h. wie oft pro Stunde das ganze Luftvolumen des Maschinenraums ausgetauscht wird. Bei Großanlagen im Gebäude sollte gemäß Er-



fahrung eine Luftwechselzahl von 100 nicht überschritten werden. Bei extrem kleinen Maschinenräumen (z. B. Container) oder bei hohen Umgebungstemperaturen werden Luftwechselzahlen bis zu 500 erreicht.

#### 7.4.2 Betrieb

Durch den Betrieb der Belüftungsanlage können auch die Druckverhältnisse am Verbrenungslufteintritt des Motors beeinflusst werden. Das kann so weit gehen, dass beim Start des Motors Probleme auftreten oder der Start nicht möglich ist. In diesen Fällen sind vor dem Start nur die Zuluftjalousien und Abluftjalousien zu öffnen. Die Ventilatoren sind so anzusteuern, dass besonders während der Startphase und dem Synchronisieren des Aggregates keine Druckstöße im Maschinenraum entstehen. Das heißt, die Ventilatoren müssen während der Startphase mit konstanter Drehzahl laufen.

#### Position von Zuluftöffnungen und Abluftöffnungen

Die Zuluftöffnungen sind so zu positionieren, dass möglichst saubere und kühle Luft angesaugt wird. Die Position für den Austritt der Abluft ist so zu wählen, dass die Funktion von anderen Anlagenkomponenten wie z. B. Kühlanlagen durch den warmen Abluftstrom nicht beeinträchtigt ist.

### 7.5 Komponenten des Lüftungssystems

#### 7.5.1 Hauptkomponenten

Die Hauptkomponenten eines Maschinenraum-Lüftungssystems bilden Wetterschutzgitter, Schalldämmkulissen, Jalousien, Filter, Luftkanäle und Ventilatoren.

#### 7.5.2 Wetterschutzgitter

Wetterschutzgitter werden zuluftseitig und ablufseitig an der Außenwand des Maschinengebäudes eingebaut. Sie verhindern das Eintreten von Regen und Schnee in das Belüftungssystem. Ein in das Wetterschutzgitter integriertes Vogelschutzgitter verhindert das Eindringen von Kleintieren in die Anlage.

#### 7.5.3 Schalldämmkulissen

Besonders wenn Anlagen in Wohngebieten oder Gebieten mit festgelegten Lärmgrenzen installiert werden, kann ein erheblicher Aufwand an Schalldämmmaßnahmen im Lüftungssystem der Anlage erforderlich werden. In diesen Fällen sind auf der Zuluftseite und Abluftseite Schalldämmkulissen vorzusehen. Hauptdaten für die Auslegung sind der durch die Kulissen zu fördernde Luftstrom, das erforderliche Schalldämmmaß und die zur Verfügung stehende Kanalöffnung. Danach wird dann die Tiefe der Kulissen, deren Dicke und Abstand zueinander festgelegt. Die Auslegung der Schalldämmkulissen muss von Fachfirmen mit entsprechender Sorgfalt vorgenommen werden. Spätere Nachbesserungen sind bei Nichterreichen der geforderten Werte mit großem Kostenaufwand verbunden.

## 7.5.4 Jalousien

Jalousien sperren die Verbindung des Maschinenraums zur Umgebung über das Lüftungssystem bei Stillstand der Anlage ab. Jalousien verhindern im Winter eine Raumunterkühlung. Die Jalousien werden von der Schaltanlage angesteuert und durch elektrische Antriebe betätigt. In großen Anlagen werden durch gezielte Ansteuerung von Jalousien bestimmte Bereiche der Anlage mit Kühlluft beaufschlagt. Im Winter ist über die Steuerung von Jalousien eine Regelung der Maschinenraumtemperatur möglich.

## 7.5.5 Filter

Generell ist der Einbau von Filtern im Lüftungssystem notwendig. Dieses gilt besonders für Anlagen, die sich auf dem Gelände von Industrieanlagen befinden. In diesen Umgebungen wie z. B. Deponien, Kohlegruben, Zementwerke, Hüttenbetriebe usw., ist die Luft stark verunreinigt. Anlagen in Gebieten, in denen Sandstürme vorkommen, sind ebenso betroffen. Hier ist je nach Spezifikation der Verunreinigung die entsprechende Filterungsart zu wählen. So lassen sich schwere Partikel leicht über Trägheitsfilter abscheiden. Beim Auftreten leichter Fasern sind herkömmliche Gewebefilter vorzusehen, die wegen der relativ großen Luftmengen große Abmessungen erreichen können. Geeignet sind Filter nach DIN EN 779 Filterklasse G3. Bei besonderen Anforderungen muss eine entsprechend höhere Filterklasse gewählt werden. Eine wirksame Filterüberwachung ist vorzusehen.

## 7.5.6 Ventilatoren

Die Ventilatoren sind meist als Axialgebläse – seltener auch als Radialgebläse – ausgeführt. Beide müssen nach der erforderlichen Luftmenge und Druckdifferenz dimensioniert werden. Die Regelung der Maschinenraumtemperatur wird durch eine Änderung der durchgeschleusten Luft erreicht. Durch den Einsatz von Ventilatoren mit variabler Drehzahl oder durch das Zuschalten und Abschalten einzelner Ventilatoren (Sonderfunktion) kann der Luftvolumenstrom verändert werden.

---

### HINWEIS

Bei Verwendung einzelner Ventilatoren ist zu berücksichtigen, dass stehende Ventilatoren – insbesondere Axialmaschinen – durch den Differenzdruck rückwärts angetrieben werden. Bei großen Ventilatoren kann dies zu Problemen führen.

---

Bei der Dimensionierung der Ventilatoren muss die Druckreserve richtig gewählt werden. Es muss sichergestellt sein, dass unter Berücksichtigung der eingebauten Komponenten wie Wetterschutzgitter, Schalldämmkulissen, Jalousien usw. die Auslegungsluftmenge wirklich erreicht wird.

## 7.5.7 Luftkanäle

Je nach Ausführung der Anlage oder der Lage des Maschinenraums innerhalb eines größeren Gebäudes, z. B. im Keller bei Notstromanlagen, muss die Luft für die Maschinenraumbelüftung über größere Strecken herangeführt werden. Hierzu werden Luftkanäle

verwendet. Die Druckverluste in diesen Kanälen sind bei der Auslegung der Ventilatoren zu berücksichtigen. Zur Vermeidung von Kondenswasserbildung sollten außen liegende Luftkanäle isoliert werden.

#### 7.5.8 Strömungswächter

Im Rahmen des Explosionsschutzkonzeptes kann der Einsatz eines oder mehrerer Strömungswächter notwendig sein, um einen Ausfall der Belüftung frühzeitig zu erkennen.

##### Erforderliche Informationen

- [Explosionsschutzkonzept](#) [► 26]

#### 7.5.9 Rauch- und Wärmesensor

Im Rahmen des Brandschutzkonzeptes können Rauch- bzw Wärmesensoren erforderlich sein, um das Risiko eines Brandes zu mindern bzw. dessen Ausbreitung zu beschränken. Die im Falle eines Ansprechens der Sensoren notwendigen Maßnahmen sind im Brandschutzkonzept festgelegt und müssen entsprechend umgesetzt werden.

##### Erforderliche Informationen

- [Brandschutzkonzept](#) [► 24]

#### 7.5.10 Gassensor

Im Rahmen des Explosionsschutzkonzeptes können Gassensoren erforderlich sein, um das Risiko des Entstehens eines zündfähigen Gasgemisches mindern. Die im Falle eines Ansprechens der Sensoren notwendigen Maßnahmen sind im Explosionsschutzkonzept festgelegt und müssen entsprechend umgesetzt werden.

##### Erforderliche Informationen

- [Explosionsschutzkonzept](#) [► 26]



## 8 Motorkühlsysteme

### Inhaltsverzeichnis

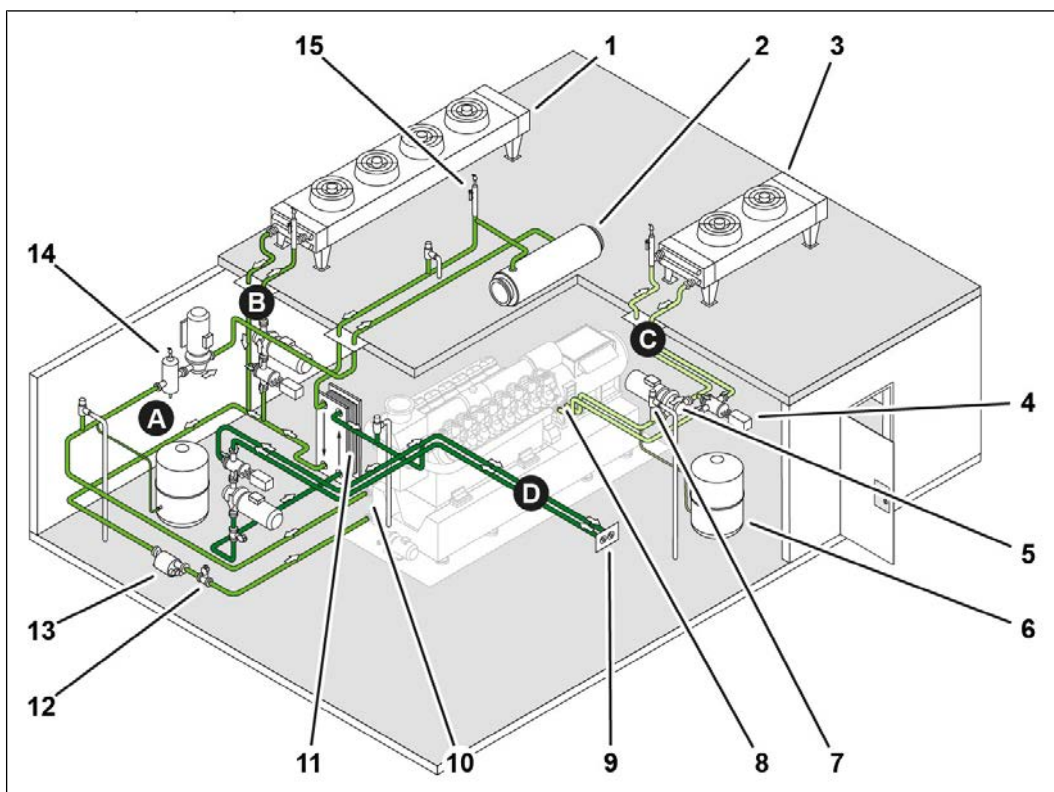
8.1	Systemübersicht .....	135
8.2	Aufbau und Funktion .....	136
8.2.1	Allgemein .....	136
8.2.2	Zweikreiskühlung .....	136
8.2.3	Kühlsysteme bei Gasmotoren.....	136
8.2.4	Beispiele für den Aufbau von Kühlsystemen von Gasmotoren.....	136
8.3	Hinweise zu Planung, Ausführung und Betrieb.....	140
8.3.1	Motorkühlkreis .....	140
8.3.2	Gemischkühlkreis .....	140
8.3.3	Notkühlkreis .....	141
8.3.4	Heizkreis .....	142
8.4	Anforderungen und Richtwerte .....	145
8.4.1	Flüssigkeitsdrücke .....	145
8.4.2	Pumpeneinbaulage .....	147
8.4.3	Max. zulässiges Volumen .....	147
8.4.4	Max. zulässiger Temperaturgradient .....	148
8.5	Komponenten des Kühlwassersystems .....	148
8.5.1	Kühlwasserwärmetauscher.....	148
8.5.2	Abgaswärmetauscher .....	151
8.5.3	Kühlanlagen.....	153
8.5.4	Auslegung der Komponenten - Reserven.....	156
8.5.5	Kältemaschinen .....	157
8.5.6	Kühlflüssigkeitspumpen .....	157
8.5.7	Membranausdehnungsgefäß.....	158
8.5.8	Temperaturregelventile.....	162
8.5.9	Kühlflüssigkeits-Überwachungsgruppe.....	162

---

8.5.10	Kühlflüssigkeitsvorwärmung .....	163
8.5.11	Gas- und Schmutzabscheider .....	165
8.5.12	Rohrleitungen .....	166
8.6	Qualität der Kühlflüssigkeit .....	166
8.7	Entlüftung der Kühlsysteme .....	167

## 8.1 Systemübersicht

Die schematische Abbildung zeigt und benennt typische Bestandteile und Schnittstellen als Hilfe für den Einstieg. Proportionen sind deshalb nicht maßstäblich, die Anordnung beispielhaft.



3620523403: Beispielabbildung in vereinfachter Darstellung

A	Motorkühlkreis	B	Notkühlkreis
C	Gemischkühlkreis	D	Heizkreis
1	Rückkühler Notkühlkreis	2	Abgaswärmetauscher
3	Rückkühler Gemischkühlkreis	4	3-Wege-Ventil
5	Umwälz-Kühlflüssigkeitspumpe	6	Membranausdehnungsgefäß
7	Sicherheitsventil	8	Anschluss Aggregat (je nach Motor- typ)
9	Anschluss externer Heizkreis	10	Anschluss Aggregat (je nach Motor- typ)
11	Plattenwärmetauscher	12	Drosselventil
13	Elektrische Vorheizung	14	Gas- und Schmutzabscheider
15	Überwachungsgruppe		

## 8.2 Aufbau und Funktion

### 8.2.1 Allgemein

Die zum Einsatz kommenden Kühlsysteme haben Kühlflüssigkeit als Betriebsstoff und sind motorseitig gesehen geschlossene Systeme. Aggregatmotoren verwenden eine Zweikreiskühlung. Der Aufbau muss nach den nachfolgenden Darstellungen erfolgen. Abweichungen davon bedürfen der schriftlichen Genehmigung. Das technische Rundschreiben TR 2091 „Vorschrift für Kühlflüssigkeit“ ist zu beachten.

### 8.2.2 Zweikreiskühlung

Die Motoren haben neben dem Motorkühlkreis zusätzlich einen Gemischkühlkreis auf niedrigerem Temperaturniveau. Auf Grund des niedrigen Temperaturniveaus wird die Wärme aus dem Gemischkühlkreis in der Regel über einen Radiatorkühler oder Kühlturm mit separatem Kreis an die Umgebung abgegeben.

### 8.2.3 Kühlsysteme bei Gasmotoren

Bei allen Gasmotoren der Baureihe TCG 3016, TCG 2020, TCG 3020 und TCG 2032 ist der Gemischkühler zweistufig ausgeführt. Die HT-Stufe ist in den Motorkühlkreis eingebunden, die NT-Stufe in den Gemischkühlkreis.

Bei den Baureihen TCG 3020 und TCG 2032 ist der Schmierölkühler nicht am Motor angebaut.

Bei der Baureihe TCG 3020 ist der Schmierölkühler auf der Vorderseite des Aggregates auf dem Grundrahmen angebaut und auf der Öl- und Kühlflüssigkeitsseite mit dem Motor verbunden. Der Schmierölkühler ist immer in den Motorkühlkreis eingebunden.

Bei der Baureihe TCG 2032 wird der Schmierölkühler in der Anlage separat installiert. Hier kann der Schmierölkühler (je nach Aufbau des Gesamtsystems) kühlflüssigkeitsseitig im Motorkühlkreis, im Gemischkühlkreis oder im Heizkreis installiert sein.

Die Hinweise zum Schmierölkühler sind zu beachten.

#### Erforderliche Informationen

- [Schmierölsystem](#) [► 191]

### 8.2.4 Beispiele für den Aufbau von Kühlsystemen von Gasmotoren

Ein anlagenseitiger Wärmetauscher überträgt die durch die Kühlflüssigkeit aufgenommene Wärme zur Nutzung in einem Heizkreis oder einem anderen technischen Prozess. Ist keine Wärmenutzung vorhanden, muss die Wärme über einen Radiatorkühler oder Kühlturm an die Umgebung abgeführt werden.

**Es ist nicht zulässig, mit der Flüssigkeit des Kühlturms direkt durch den Motor zu fahren.** Hier ist ein Entkoppelungswärmetauscher oder geschlossener Kühlturm vorzusehen.

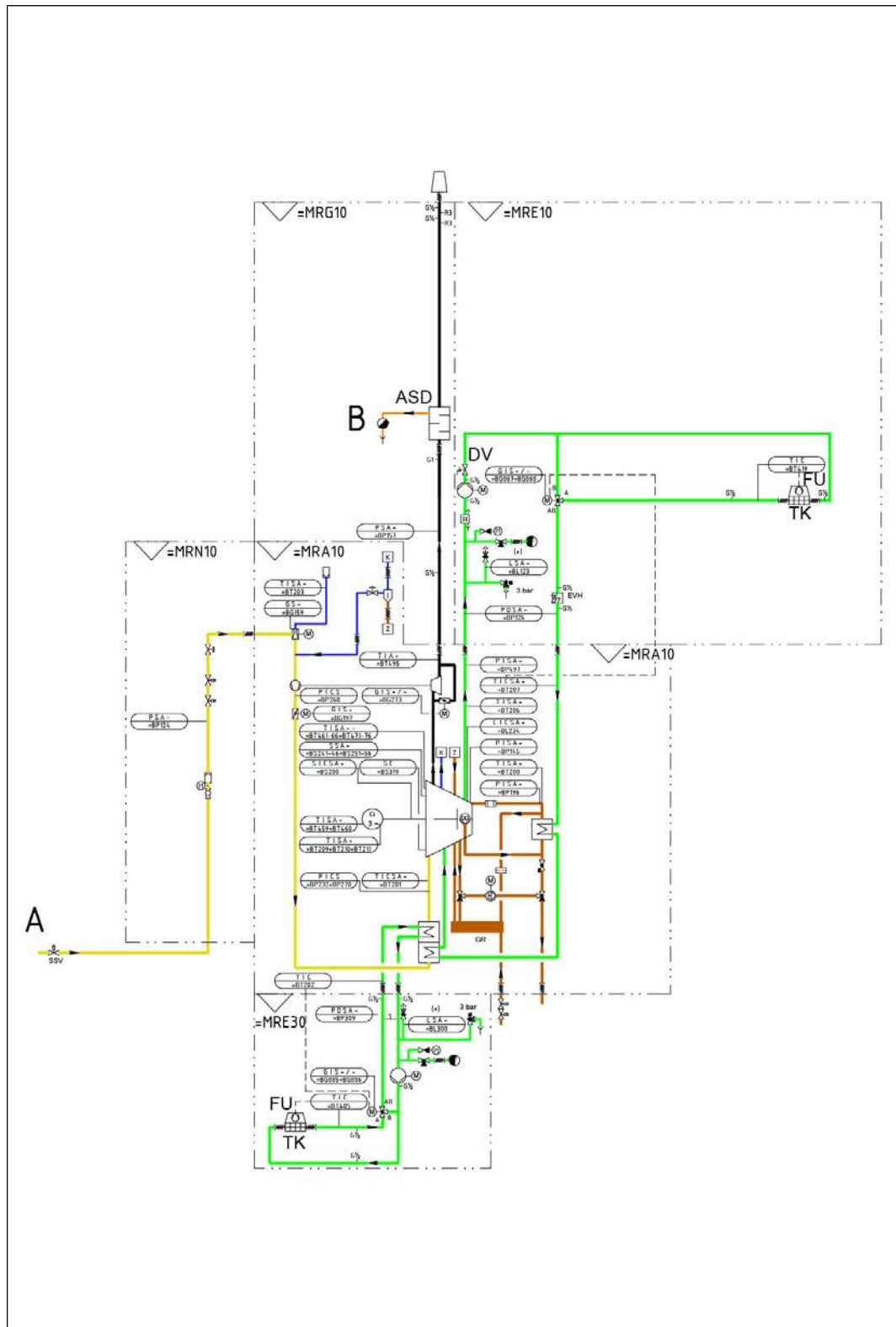


Generell geregelt wird die Eintrittstemperatur der Kühlflüssigkeit in den Gasmotor. Je nach Ausführung der Anlage ist der Temperaturregler direkt im Motorkühlkreis oder im Heizkreis installiert. Als Kühlflüssigkeitspumpen werden immer elektrisch angetriebene Pumpen verwendet. Die Feineinstellung des Kühlflüssigkeitsdurchflusses erfolgt mit einer einstellbaren Drossel oder über eine angepasste, fixierte Pumpendrehzahl.

Die Volumenausdehnung wird in einem Membranausdehnungsgefäß aufgenommen. Das Niveau der Kühlkreise wird jeweils mit einem Sicherheitsventil, einem Entlüftungsventil und einer Wassermangelsicherung überwacht. Das Entlüftungsventil und die Wassermangelsicherung sind dabei am höchsten Punkt des Kühlkreises zu platzieren

Wie der Motorkühlkreis ist auch der Gemischkühlkreis mit einer elektrisch angetriebenen Umwälzpumpe, Membranausdehnungsgefäß, Überwachungsgruppe und Temperaturregler ausgeführt. Es ist nicht gestattet, bei Mehrmotorenanlagen die Motorkühlkreise miteinander zu verbinden, da ansonsten keine eindeutige Regelung der jeweiligen Motoreintrittstemperatur gewährleistet werden kann.

### Beispiel für ein Kühlsystem ohne Wärmenutzung

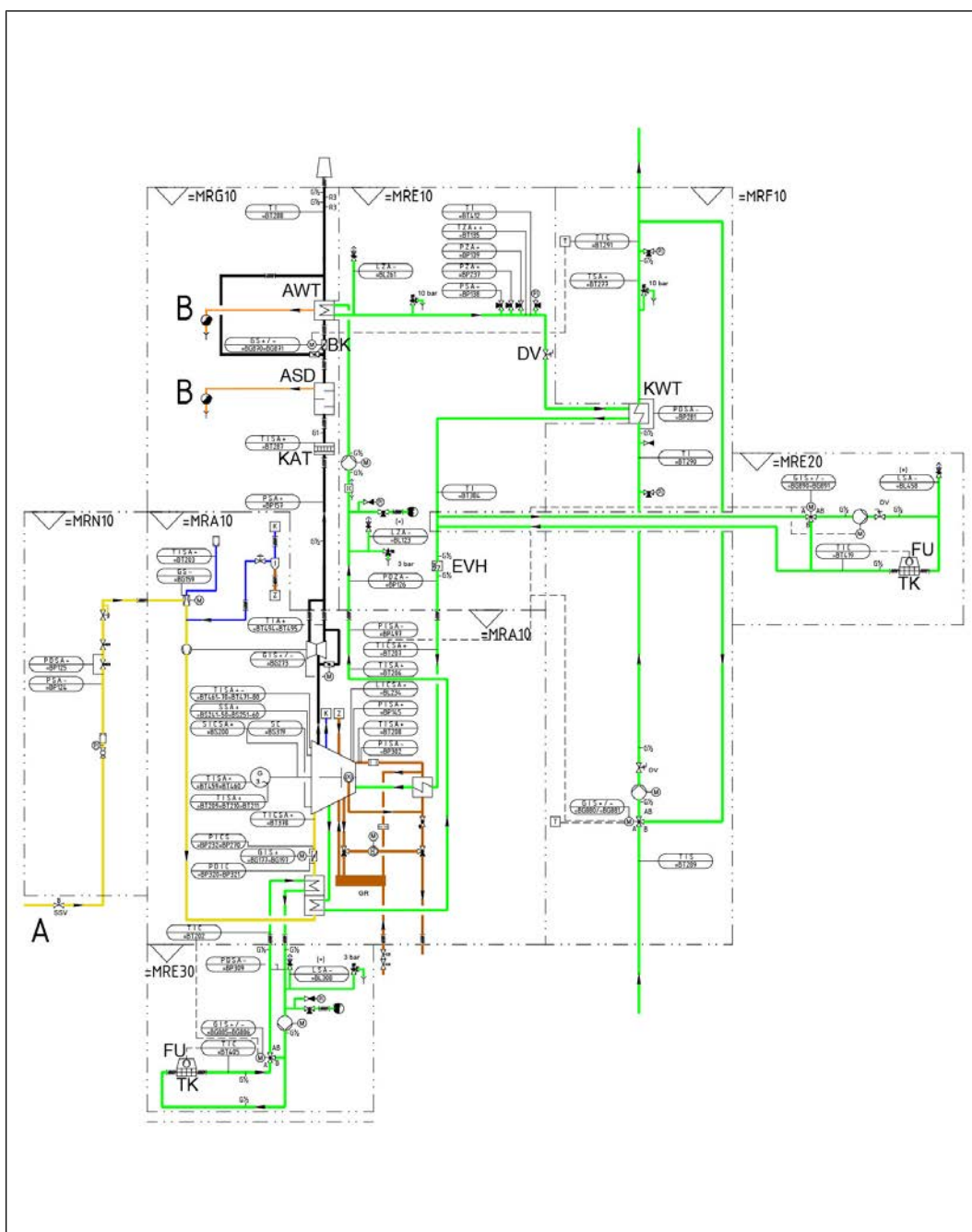


3621261067: Fließbild Anlage ohne Wärmenutzung

A	Brenngas	ASD	Abgasschalldämpfer
B	Kondensat	DV	Drosselventil

MRA10	Aggregat	EVH	elektrische Vorheizung
MRE10	Motorkühlung	FU	Frequenzumrichter
MRE30	Gemischkühlung	TK	Tischkühler
MRG10	Abgassystem		
MRN10	Gasregelstrecke		

### Beispiel für ein Kühlsystem mit Wärmenutzung



3621260171: Fließbild Anlage mit Wärmenutzung

A Brenngas ASD Abgasschalldämpfer

B	Kondensat	AWT	Abgaswärmetauscher
MRA10	Aggregat	BK	Bypassklappe
MRE10	Motorkühlung	DV	Drosselventil
MRE20	Notkühlung	EVH	elektrische Vorheizung
MRE30	Gemischkühlung	FU	Frequenzumrichter
MRF10	Wärmeverwertung	KAT	Katalysator
MRG10	Abgassystem	KWT	Kühlflüssigkeit-Wärmetauscher
MRN10	Gasregelstrecke	TK	Tischkühler

## 8.3 Hinweise zu Planung, Ausführung und Betrieb

### 8.3.1 Motorkühlkreis

Der Motorkühlkreis führt hauptsächlich die Wärme aus der HT-Stufe des Gemischkühlers, der Zylinderkühlung und der Schmierölkühlung ab. Die Wärme kann aufgrund des hohen Temperaturniveaus gut in einen Heizkreis übertragen werden. Der Volumenstrom ist, unabhängig von der Motorlast, gemäß den Angaben auf dem Aggregatedatenblatt einzustellen.

### 8.3.2 Gemischkühlkreis

Der Gemischkühlkreis führt die Wärme aus der NT-Stufe ab. Aufgrund des niedrigen Temperaturniveaus wird die Wärme an die Umgebung abgegeben oder in einem Niedertemperaturheizkreis genutzt.

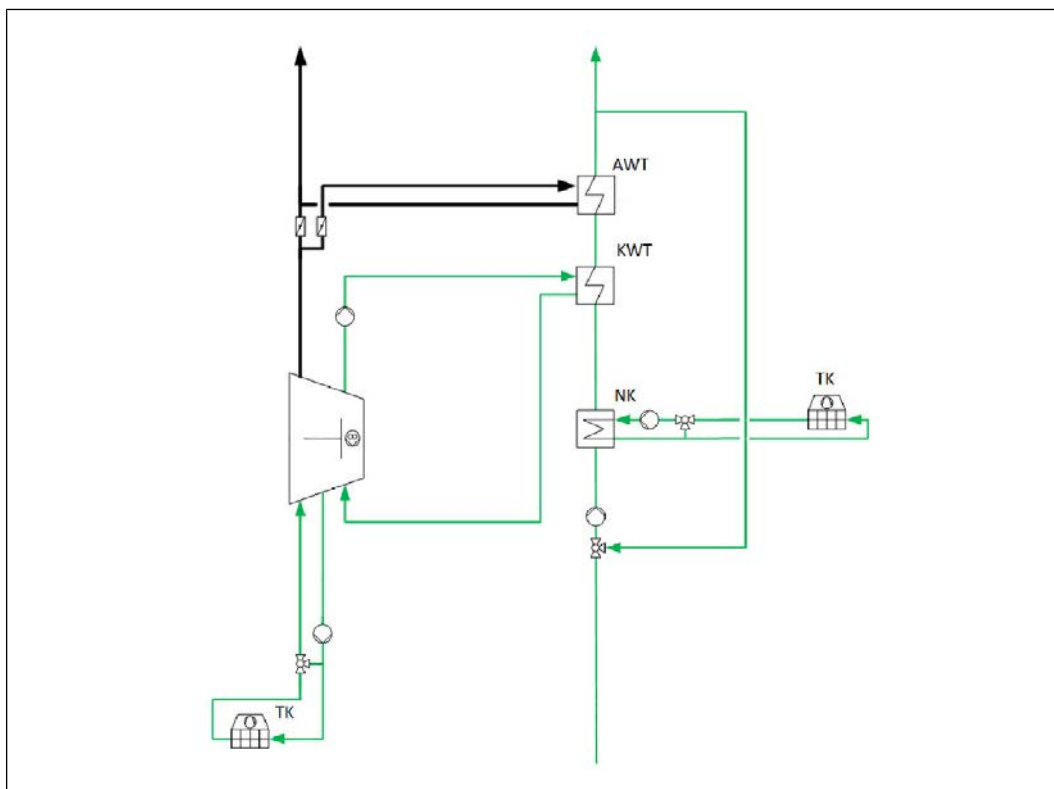
#### Anlagen mit Propan als Brenngas

Aufgrund der hohen Klopfnegung beim Betrieb mit Propan ist eine niedrige Eintrittstemperatur in den Gemischkühler am Motor gemäß Aggregatedatenblatt notwendig. Neben der Einhaltung der allgemeinen Vorgaben zum Aufbau der Kühlkreise müssen die folgenden Punkte bei der Planung der Anlage eingehalten werden:

- Öffnungszeit bzw. Schließzeit 3-Wege-Ventil < 65 s (komplett offen nach komplett geschlossen)
- Kompakt aufgebauter Gemischkühlkreis; es sind kurze Rohrleitungen zwischen Pumpe, 3-Wegeventil und Aggregat vorzusehen
- Kurze Rohrleitungslängen zu den Rückkühlern
- Im Gemischkühlkreis ist der Temperatursensor nach Rückkühler direkt am Austritt des Rückkühlers vorzusehen (max. 1 m entfernt)
- Im Gemischkühlkreis müssen die Ventilatoren der Rückkühler mit stufenloser Drehzahlregelung ausgerüstet sein. Eine Stufenschaltung ist nicht zulässig.

### 8.3.3 Notkühlkreis

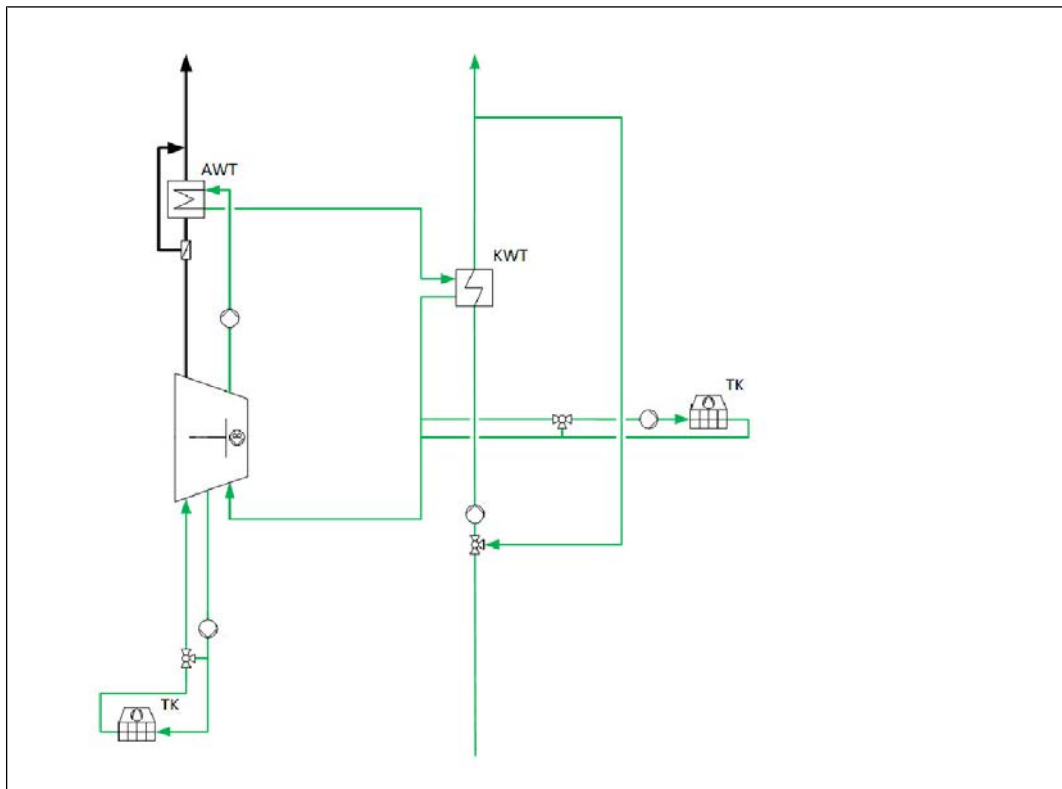
In Anlagen, in denen die Wärmeabfuhr über den Heizkreis nicht immer gewährleistet ist, aber dennoch die elektrische Leistung des Aggregats zur Verfügung stehen muss, wird die vom Motor erzeugte Wärme über den so genannten Notkühlkreis abgeführt. Die Einbindung des Notkühlkreises hängt von dem jeweiligen Anlagenaufbau ab. Je nach Anordnung des Abgaswärmetauschers oder auch des anlagenseitigen Schmierölkühlers bei Anlagen mit TCG 2032 muss die Notkühlung so eingebunden werden, dass auch der Betrieb dieser Komponenten ohne Wärmeabfuhr über den Heizkreis sicher gewährleistet ist. Die Wärmeabfuhr erfolgt normalerweise über einen im Heizkreis eingebundenen Notkühl-Wärmetauscher, der an einen Tischkühler oder Kühlturm angeschlossen ist (siehe folgende Abbildung). Bei der Pumpendimensionierung sind der um die Leistungsreserve erhöhte Volumenstrom und der damit verbundene höhere Druckverlust zu berücksichtigen.



3622801419: Notkühlung mit Koppelwärmetauscher im Heizkreis

AWT	Abgaswärmetauscher	KWT	Kühlwasser-Wärmetauscher
NK	Notkühler	TK	Tischkühler

Wenn die vom Motor produzierte Wärme, d. h. Motorkühlwasserwärme, Abgas und Schmieröl (bei TCG 2032) über einen Wärmetauscher in den Heizkreis übertragen wird, kann der Notkühler ohne zusätzlichen Koppelwärmetauscher direkt im Motorkühlkreis eingebunden werden (siehe folgende Abbildung).



3622801931: Direkte Einbindung der Notkühlung im Motorkreis

AWT	Abgaswärmetauscher	KWT	Kühlwasser-Wärmetauscher
TK	Tischkühler		

### 8.3.4 Heizkreis

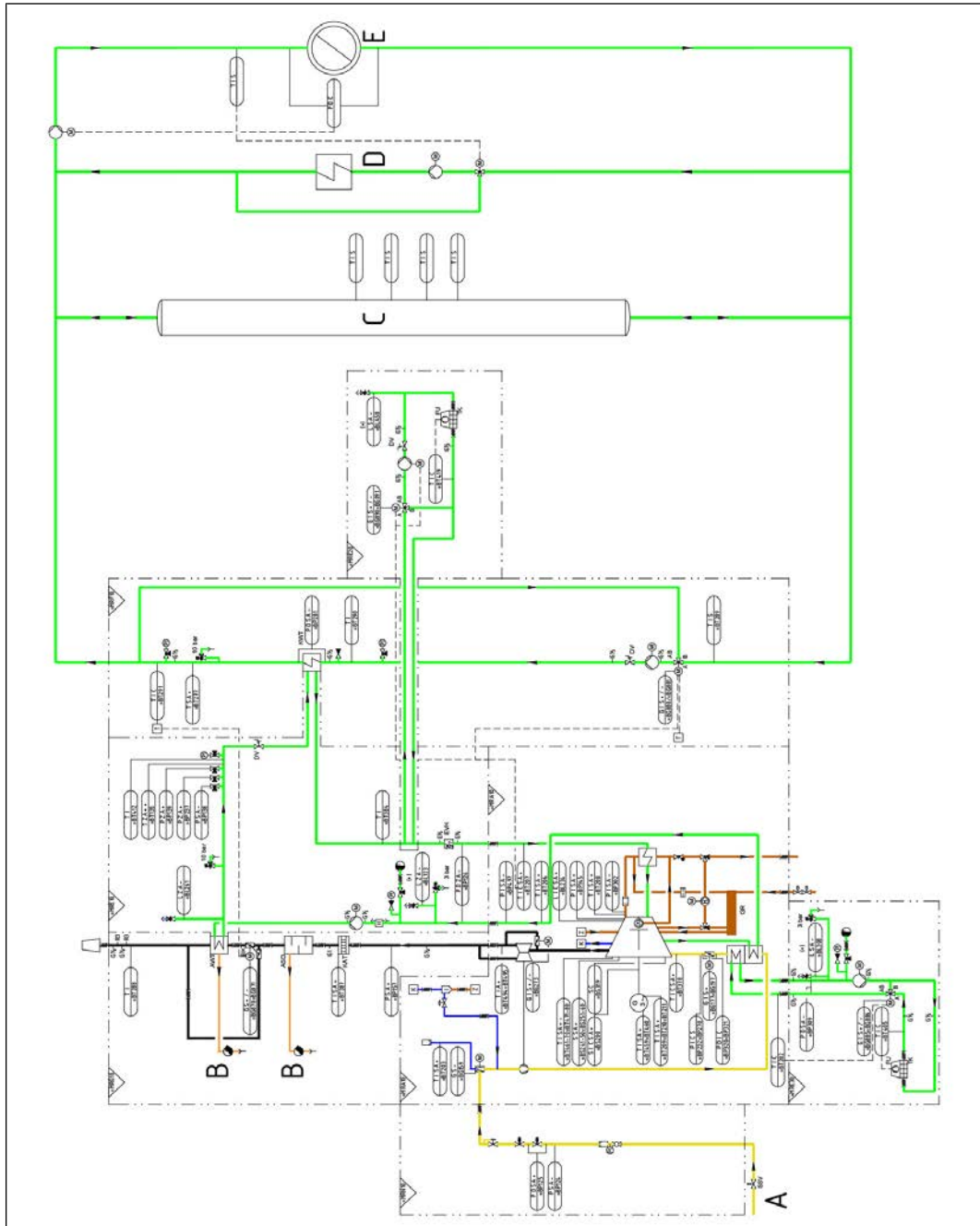
#### Übersicht Heizkreis

Bei Anlagen mit Wärmeverwertung wird die durch den Motor erzeugte Wärme an den Heizkreis übertragen. Die Hauptkomponenten auf der BHKW-seitigen Heizkreiseinbindung sind der Kühlwasser-Wärmetauscher, der Abgaswärmetauscher, die Umwälzpumpe, das Drosselventil und das 3-Wege-Ventil für die Temperaturregelung.

Die von dem Motor abgegebene Wärmeleistung im Kühlwasser und im Abgas sowie die dazugehörigen Durchflussmengen und Temperaturdifferenzen stehen für die Motoren bei den jeweiligen Betriebsarten fest. Die Fördermenge der Umwälzpumpe im Heizkreis wird durch die Temperaturdifferenz zwischen Vorlauf und Rücklauf des Heizkreises festgelegt. Bei der Pumpendimensionierung sind der um die Leistungsreserve erhöhte Volumenstrom und der damit verbundene höhere Druckverlust zu berücksichtigen (siehe Abbildung „RI-Fließbild für Anlage mit Wärmenutzung“; Systemgrenze MRF10 in [Beispiele für den Aufbau von Kühlsystemen von Gasmotoren](#) ► 136]).

Der Heizkreis ist so aufzubauen, dass unabhängig von Stellvorgängen und Regelvorgängen die Durchströmung im wärmeerzeugenden Zweig des Heiznetzes ohne Schwankungen im Differenzdruck sichergestellt ist. Eine hydraulische Trennung der wärmeerzeugen-

den und wärmenutzenden Seite des Heiznetzes erreicht man durch eine hydraulische Weiche. Die Funktion einer hydraulischen Entkoppelung können Wärmespeicher übernehmen (siehe folgende Abbildung).



3622802443: Fließbild mit hydraulischer Entkopplung

A	Brenngas	ASD	Abgasschalldämpfer
B	Kondensat	AWT	Abgaswärmetauscher
C	Wärmespeicher	BK	Bypassklappe
D	Kessel	DV	Drosselventil
E	Verbraucher	EVH	elektrische Vorheizung

MRA10	Aggregat	FU	Frequenzumrichter
MRE10	Motorkühlung	KAT	Katalysator
MRE20	Notkühlung	KWT	Kühlflüssigkeit-Wärmetauscher
MRE30	Gemischkühlung	NK	Notkühler
MRF10	Wärmeverwertung	TK	Tischkühler
MRG10	Abgassystem		
MRN10	Gasregelstrecke		

## Kühlbetriebsstoff im Heizkreis

Der Heizkreis ist ein geschlossener Kreis. Auch in diesem Kreis ist eine gewisse Wasserqualität einzuhalten. Die erforderliche Wasserqualität ist in TR 2091 beschrieben. Besonders Sauerstoff, Chloride und Schwefelwasserstoff fördern die Korrosion im System. Gelöste Salze fallen an den Stellen höheren Wärmeüberganges als Kristalle aus und führen hier zu Ablagerungen, die sich negativ auf den Wärmeübergang auswirken (z. B. Kesselstein). Besonders im Abgaswärmetauscher besteht wegen der hohen Wassertemperaturen an den Wärmeübergangsstellen die Gefahr von kristallinen Ablagerungen.

Diese Phänomene können durch Zugabe von Inhibitoren in den Heizwasser-Betriebsstoff und durch die Wahl geeigneter Wärmetauscher-Werkstoffe reduziert werden. Dieses ist für den jeweiligen Anwendungsfall zu untersuchen. Wird der Abgaswärmetauscher in den Heizkreis eingebunden und entspricht die Heizwasserqualität nicht dem technischen Rundschreiben für Kühlflüssigkeit, Mindestanforderungen an die Wasserqualität von Heizkreisen, so ist ein eigener Koppelkreis mit zusätzlichem Wärmetauscher zwischen Abgaswärmetauscher und Wärmeabnehmer vorzusehen. Somit wird der Abgaswärmetauscher vor evtl. Beschädigungen durch Verunreinigung im Heizwasser geschützt.

## Direkte Einbindung von Motorkühlkreisen in den Heizkreis

Bei manchen Anwendungen, z. B. zur Einhaltung eines hohen Temperaturniveaus, verzichtet man auf einen Wärmetauscher zur Entkoppelung von Motorkühlkreis oder Gemischkühlkreis vom jeweiligen Heizkreis. Diese Fälle erfordern die strikte Einhaltung folgender Bedingungen:

- Einhaltung der Kühlwasserqualität gemäß Technischem Rundschreiben TR 2091
- Der maximale Kühlwasserdruck am Motor- und NT-Gemischkühleraustritt darf den Einstelldruck des Sicherheitsventiles nicht überschreiten (siehe Kapitel [Flüssigkeitsdrücke](#) ► 145]).
- Die Kühlsysteme müssen geschlossen sein und über eine zuverlässige Leckageerkennung verfügen.
- Systeme mit automatischer Kühlwassernachspeisung sind nicht zulässig.
- Im Motorkühlkreis darf ein Kühlflüssigkeitsvolumen von 3,5 m³ nicht überschritten werden.



**HINWEIS**

Kühlwasserleckagen am Gemischkühler können zum Wassereintrag in den Brennraum führen und Motorschäden verursachen. Bei der Erkennung von Wassermangel muss man daher die Ursache ermitteln. Erst nach Ausschluss einer Leckage am Motor ist die Fortsetzung des Motorbetriebes zulässig.

**Auslegungsvorschriften für den Heizkreis**

Für die Auslegung des Heizkreises gelten die regionalen Vorschriften für Wasserheizungsanlagen und Dampfkesselanlagen. Dies können z. B. folgende sein:

DIN EN 12828	Heizungssysteme in Gebäuden (für max. Betriebstemperaturen bis 105 °C). Sofern bei Planung und Bau von Wärmeerzeugungsanlagen Absicherungstemperaturen > 110 °C notwendig sind, empfehlen wir die vorherige Absprache mit dem TÜV oder anderen zuständigen Behörden. Dort kann die gewünschte und für die Festlegung der Prüffristen (BetrSichV) erforderliche Ausrüstung abgestimmt werden.
DIN EN 12953	Großwasserraumkessel

Tab. 16: Auslegungsvorschriften für den Heizkreis

Je nach Vorlauftemperatur im Heizwasserkreis (90 °C, 100 °C oder 120 °C) muss für den Schutz und die Sicherheitskette des Abgaswärmetauschers und die Absicherung des Heizkreises die entsprechende Geberbestückung eingesetzt werden. Die Gebersignale werden im TEM-System bzw. TPPEM-System verarbeitet.

Für die Überwachungssysteme (Geber mit Signalverarbeitung im TEM/TPPEM-System) wurde vom TÜV eine Freigabe erteilt, sodass die bei jeder Anlage durchzuführenden Einzelprüfungen durch den TÜV zügig abgewickelt werden können.

## 8.4 Anforderungen und Richtwerte

### 8.4.1 Flüssigkeitsdrücke

Alle Drücke für Flüssigkeiten sind in bar Überdruck angegeben. Alle Wärmetauscher, Pumpen und Tischkühler sind standardmäßig für 10 bar ausgelegt, der Schmieröl-Wärmetauscher des TCG 2032 für 16 bar.

#### **Minimaler Druck im Motorkühlkreis bei 3 bar Sicherheitsventil**

Die folgenden Angaben gelten nicht für den Motorkühlkreis der Baureihe TCG 2032B.

Alle Gasmotoren haben im Motorkühlkreis eine Überwachung des Drucks am Kühlflüssigkeitsaustritt. Der angestrebte Betriebsdruck am Motorausstritt ist ca. 2,5 bar. Der minimal erforderliche Betriebsdruck ist 2 bar, bzw. 2,2 bar bei der Baureihe TCG 3020.

Die Angaben zu den zulässigen Drücken am Motorausstritt auf dem Aggregatedatenblatt sind zu beachten.

Es gibt jeweils zwei motorspezifische Grenzwerte bei einer Druckunterschreitung am Motorausstritt. Der obere Grenzwert der Druckunterschreitung führt zu einer Warnung. Der untere Grenzwert der Druckunterschreitung führt zu einer Abschaltung des Motors.

Die Membranausdehngefäße sollten so dimensioniert werden, dass bei stehender kalter Anlage ein statischer Gasvordruck von mindestens 1,5 bar und ein Fülldruck von mindestens 2 bar am Motorausstritt eingehalten wird (siehe Kapitel [Membranausdehnungsgefäß](#) [▶ 158]).

### **Maximaler Druck im Motorkühlkreis bei 3 bar Sicherheitsventil**

Die folgenden Angaben gelten nicht für den Motorkühlkreis der Baureihe TCG 2032B.

Bei der Berücksichtigung einer Kühlflüssigkeitsvorlage von 10 bis 15 % des Kühlflüssigkeitsinhaltes wird bei kaltem System ein Fülldruck von ca. 2 bar erreicht. Unter diesen Bedingungen erreicht der Druck am Motorausstritt beim Betrieb des Motors den angestrebten Wert von ca. 2,5 bar. Zur Vermeidung von Kavitation im Kühlsystem muss insbesondere im Motorkühlkreis ein Druck von ca. 2,5 bar am Motorausstritt eingehalten werden.

Der maximal zulässige Druck am Motorausstritt liegt bei 2,5 bar. Das unmittelbar nach Motorausstritt einzubauende Sicherheitsventil öffnet bei 3 bar.

Hoher Kühlflüssigkeitsdruck vermindert die Neigung zu Kavitation in Bereichen des Kühlkreises, an denen hohe Strömungsgeschwindigkeiten bei gleichzeitig hohen Mediumtemperaturen herrschen. Daher ist es sinnvoll, den Motor auf dem maximal zulässigen Druckniveau zu betreiben.

### **Minimaler Druck im Motorkühlkreis bei Baureihe TCG 2032B mit 4 bar Sicherheitsventil**

Aggregate der Baureihe TCG 2032B haben jeweils eine Drucküberwachung im Motorkühlkreis am Kühlflüssigkeitseintritt und am Kühlflüssigkeitsaustritt.

Der angestrebte Betriebsdruck am Kühlflüssigkeitseintritt liegt bei 5,0 bar bis 5,2 bar, der minimal erforderliche Betriebsdruck am Kühlflüssigkeitseintritt ist 4,5 bar. Der minimal erforderliche Betriebsdruck am Motorausstritt ist 3,1 bar.

Es gibt jeweils zwei Grenzwerte bei einer Druckunterschreitung am Kühlflüssigkeitseintritt und Kühlflüssigkeitsaustritt. Der obere Grenzwert der Druckunterschreitung führt zu einer Warnung. Der untere Grenzwert der Druckunterschreitung führt zu einer Abschaltung des Motors.

Die Membranausdehngefäße sollten so dimensioniert werden, dass bei stehender, kalter Anlage ein statischer Gasvordruck von mindestens 2,3 bar und ein Fülldruck von mindestens 2,8 bar am Motoraustritt eingehalten wird (siehe Kapitel [Membranausdehnungsgefäß](#) [▶ 158]).

#### **Maximaler Druck im Motorkühlkreis der Baureihe TCG 2032B mit 4 bar Sicherheitsventil**

Bei der Berücksichtigung einer Kühlflüssigkeitsvorlage von 25 Liter bis 50 Liter wird bei kaltem System ein Fülldruck von ca. 2,8 bar erreicht. Unter diesen Bedingungen erreicht der Druck am Motoraustritt beim Betrieb des Motors den angestrebten Wert von ca. 3,3 bar. Zur Vermeidung von Kavitation im Kühlsystem muss insbesondere im Motorkühlkreis ein Druck von ca. 3,3 bar mit maximalen Abweichungen von +0,1 bar und -0,2 bar am Motoraustritt eingehalten werden.

Der maximal zulässige Druck am Motoraustritt liegt bei 3,4 bar. Das unmittelbar nach Motoraustritt einzubauende Sicherheitsventil öffnet bei 4 bar.

Der maximal zulässige Betriebsdruck am Kühlflüssigkeitseintritt des Aggregats liegt bei 5,5 bar. Es gibt einen Grenzwert bei dessen Überschreitung das Aggregat automatisch abschaltet.

Um mögliche Frühauslösungen des Sicherheitsventils nach Motor zu vermeiden, muss der Druck am Motoraustritt bei laufender Kühlflüssigkeitspumpe auf ca. 3,4 bar relativ begrenzt werden. Sollten dadurch die angestrebten 5,0 bar relativ Eingangsdruck nicht erreicht werden, ist dies zu akzeptieren. Hoher Kühlflüssigkeitsdruck vermindert die Neigung zu Kavitation in Bereichen des Kühlkreises, an denen hohe Strömungsgeschwindigkeiten bei gleichzeitig hohen Mediumtemperaturen herrschen. Daher ist es sinnvoll, den Motor auf dem maximal zulässigen Druckniveau zu betreiben.

#### **8.4.2 Pumpeneinbaulage**

Ergeben sich durch externe Widerstände im Motorkreis (Wärmetauscher, Regelventile usw.) hohe Druckverluste, muss die Pumpe auf der Motoraustrittseite installiert werden. Der maximal bzw. minimal zulässige Druck auf der Motoraustrittseite wird sonst nicht eingehalten.

#### **8.4.3 Max. zulässiges Volumen**

Im Motorkühlkreis darf ein Kühlflüssigkeitsvolumen von 3,5 m<sup>3</sup> nicht überschritten werden. Bei Einbindung eines Abgaswärmetauschers in den Motorkühlkreis müssen zusätzlich die Anforderungen des Herstellers eingehalten werden.

#### 8.4.4 Max. zulässiger Temperaturgradient

Werden die sekundärseitigen Eintrittstemperaturen von Motorkühlkreis, Gemischkühlkreis und Notkühlkreis sowie die Heizkreiseintrittstemperatur kundenseitig geregelt, ist die max. zulässige Temperaturänderungsgeschwindigkeit von 1 K/min einzuhalten. Dies ist notwendig, um ein stabiles Regelverhalten zu gewährleisten, die externen Störeinflüsse werden begrenzt.

#### HINWEIS

Grundsätzlich bei allen Kühlern und Pumpen eine ausreichende Reserve vorsehen.

### 8.5 Komponenten des Kühlwassersystems

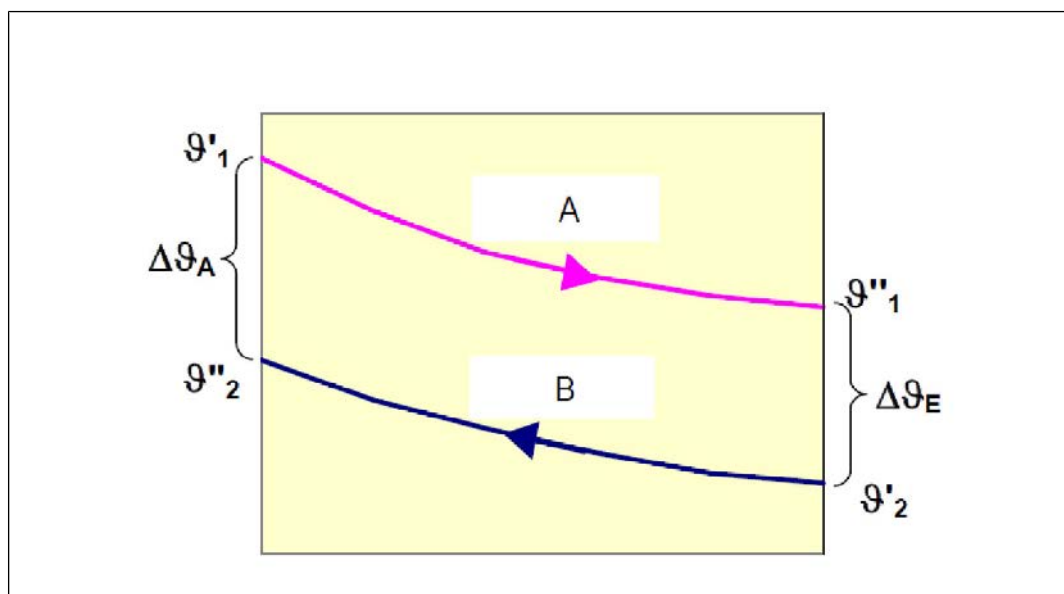
#### 8.5.1 Kühlwasserwärmetauscher

Eine ausreichende Leistungsreserve und Flächenreserve ist zu berücksichtigen (siehe folgende Abbildung).

Die vorgegebenen Motoreintrittstemperaturen und Motoraustrittstemperaturen sind zu beachten (siehe Motordatenblatt).

Die sekundärseitigen Temperaturen sind so zu wählen, dass der Kühlwasserwärmetauscher mindestens eine logarithmische Temperaturdifferenz von 4 K hat und die Eintrittstemperaturdifferenz bzw. Austrittstemperaturdifferenz mindestens 2 K beträgt.

Bei flüssigen Kühlbetriebsstoffen auf der Sekundärseite werden Plattenwärmetauscher oder Röhrenkühler eingesetzt. Plattenwärmetauscher sind sehr kompakt und leicht zu reinigen. Die Leistung kann durch Veränderung der Plattenanzahl in gewissen Grenzen nachträglich variiert werden.



3621645323: Logarithmische Temperaturdifferenz

$$\Delta\Theta = \frac{\Delta\vartheta_A - \Delta\vartheta_E}{\ln\left(\frac{\Delta\vartheta_A}{\Delta\vartheta_E}\right)}$$

3621645835: Formel Logarithmische Temperaturdifferenz

A Betriebsstoff 1

B Betriebsstoff 2

ln Natürlicher Logarithmus

$\Delta\Theta$  Logarithmische Temperaturdifferenz

### Beispiel

Ein Motorkühlwasser-Wärmetauscher im Heizkreis hat folgende Auslegungsdaten:

Motorseite:	Eintrittstemperatur $\vartheta'_1$		90 °C
	Austrittstemperatur $\vartheta''_1$		84 °C
Heizkreisseite:	Eintrittstemperatur $\vartheta'_2$		70 °C
	Austrittstemperatur $\vartheta''_2$		85 °C
Dann ergeben sich:	$\Delta\vartheta_A$	90 °C – 85 °C	= 5 K
	$\Delta\vartheta_E$	84 °C – 70 °C	= 14 K
	$\Delta\vartheta_A - \Delta\vartheta_E$	5 K – 14 K	= -9 K
	$\ln(\Delta\vartheta_A / \Delta\vartheta_E)$	$\ln(5 / 14)$	= -1,0296
	$\Delta\Theta$	-9 K / -1,0296	= 8,74 K

Dieser Plattenwärmetauscher erfüllt damit die Mindestvorgaben:

$\Delta\varphi \geq 4\text{K}$ ,  $\Delta\vartheta_A \geq 2\text{K}$  und  $\Delta\vartheta_E \geq 2\text{K}$ .

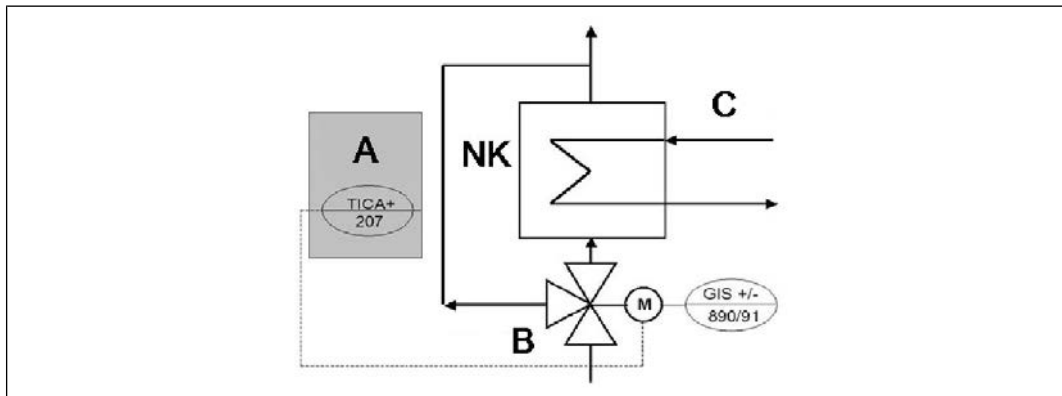
### Einbindung Kühlwasserwärmetauscher bei Notkühlung mit Rohwasser

Der Temperaturgradient auf der Rohwasserseite sollte nicht mehr als  $\pm 1\text{ K/min}$  betragen.

Für die Stellantriebe hat der I/O Controller des TEM/TPPEM-Systems digitale Ausgänge für  $\pm (24\text{ V-Signal})$  um das Ventil zu öffnen bzw. zu schließen. Die Ventillaufzeit (von Anschlag zu Anschlag) muss, um eine sinnvolle Regelung zu ermöglichen, etwa 1 Minute betragen.

### Richtiger Aufbau

Wenn die Notkühlung mit Rohwasser gekühlt werden soll, dann sollte man die Regelung der primärseitigen Notkühler-Austrittstemperatur auch auf der Primärseite durchführen (siehe folgende Abbildung). Dadurch ist der Kühler nur mit warmem Wasser durchströmt, wenn Überschusswärme abgeführt wird. Der Volumenstrom auf der Sekundärseite muss so gewählt werden, dass eine Austrittstemperatur von ca. 45 °C nicht überschritten wird.

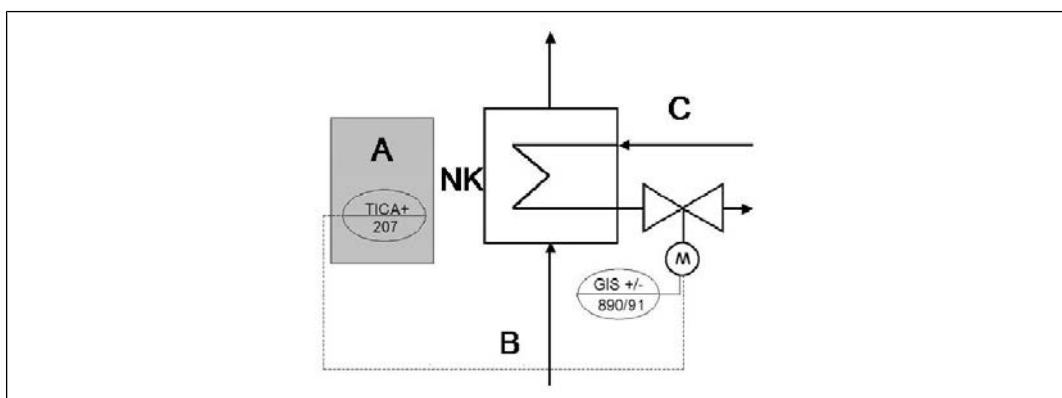


3621646347: Einbindung Kühlwasserwärmetauscher bei Notkühlung mit Rohwasser (richtig)

- |   |                |    |   |
|---|----------------|----|---|
| A | Motorkühlkreis | B  | Primärseite (Motorkreis bzw. Heizkreis) |
| C | Sekundärseite  | NK | Notkühler                               |

## Falscher Aufbau

Man sollte die Regelung keinesfalls nach der folgenden Abbildung durchführen. Bei dieser Abbildung ist der Notkühlplatten-Wärmetauscher ständig von Warmwasser durchflossen. Dadurch kann das sekundärseitige Rohwasser, je nach Durchflussmenge, die Warmwassertemperatur erreichen. Der Plattenwärmetauscher verkalkt mit der Zeit.



3621646859: Einbindung Kühlwasserwärmetauscher bei Notkühlung mit Rohwasser (falsch)

- |   |                |    |   |
|---|----------------|----|---|
| A | Motorkühlkreis | B  | Primärseite (Motorkreis bzw. Heizkreis) |
| C | Sekundärseite  | NK | Notkühler                               |

### 8.5.2 Abgaswärmetauscher

Abgaswärmetauscher werden genutzt, um Abgaswärme aufzunehmen und einer Wärmenutzung zuzuführen. Dabei kühlt das Abgas in Abhängigkeit von der abgeführten Wärme ab.

Bei der Festlegung der Abgas-Abkühltemperatur muss der Anteil von  $H_2S$  und Schwefel im Brenngas berücksichtigt werden. Dadurch vermeidet man saures Kondensat, das den Abgaswärmetauscher beschädigt.

- Erforderliche Informationen: [Allgemeine Planungshinweise](#) ► 209]

Empfohlene Abgasabkühltemperaturen	
Erdgas	$\geq 120\text{ °C}$
Klärgas	$\geq 150\text{ °C}$
Deponiegas und NAWARO Gas	$\geq 180\text{ °C}$

Tab. 17: Empfohlene Abgasabkühltemperaturen

Um eine ausreichende Kühlung des Abgaswärmetauschers zu gewährleisten, sind die ist der vom Hersteller vorgegebenen Angaben zum Mindestvolumenstrom und Mindestdruck einzuhalten. Nach dem Abschalten des Aggregats ist ein Pumpennachlauf erforderlich, um die Stauwärme im Abgaswärmetauscher an das Wasser abzuführen. Diese Funktion ist im TEM/TPEM-System vorgesehen.

Leistungsreserve und Flächenreserve sind entsprechend Tabelle [Auslegung der Komponenten - Reserven](#) ► 156] zu berücksichtigen.

#### Betrieb

- Die Abgastemperatur nach Abgaswärmetauscher bei erdgasbetriebenen Motoren liegt normalerweise bei  $120\text{ °C}$ . Bei Einsatz eines Niedertemperatur Abgaswärmetauschers können Abgasrückkühltemperaturen  $< 100\text{ °C}$  erreicht werden.
- Die Abgastemperatur nach Abgaswärmetauscher bei Bio-, Klär- und Deponiegasen und anderen Sondergasen soll  $180\text{ °C}$  nicht unterschreiten
- Zur Verhinderung von Korrosionsschäden muss im Abgassystem die Taupunktunterschreitung und damit die Kondensation von Säuren und Wasser im Betrieb sicher vermieden werden
- Generell ist bei allen Anlagen, bei denen Abgaswärmetauscher über dem Motor angeordnet sind, eine ausreichend große kontinuierliche Kondensatableitung vorzusehen. Neben der Kondensatableitung wird dadurch verhindert, dass bei einem Wasserdurchbruch im Abgaswärmetauscher über die Abgasleitung Wasser in den Motor gelangt

- Schwefelwasserstoff im Brenngas kann zu Schäden und zur Zerstörung des Abgaswärmetauschers führen. Die genannten Hinweise sind zu beachten und die Grenzwerte einzuhalten
  - Erforderliche Informationen: [Schwefeloxide im Abgas](#) [► 219])
- Die Wasserqualitäten bezüglich der Heizwasseranforderungen sind einzuhalten (siehe TR 2091 „Technisches Rundschreiben für Kühlflüssigkeit“)
- In großen Heizkreisen besteht die Gefahr, dass die Mindestanforderungen an die Wasserqualität nicht immer eingehalten werden. In diesem Fall wird der Aufbau eines kleinen geschlossenen Koppelkreislaufs zwischen Abgaswärmetauscher und Heizkreis dringend empfohlen
- Bei erhöhtem Chloridionengehalt und erhöhten Vorlauftemperaturen im Heizkreis neigen die üblicherweise in den Abgaswärmetauschern verwendeten Rohre aus Edelstahl zu Spannungsrisskorrosion, die zur Zerstörung des Abgaswärmetauschers führen kann. Deshalb ist bei Direkteinbindung des Abgaswärmetauschers in den Heizkreis und Wassertemperaturen > 110 °C ein Abgaswärmetauscher mit Wasser führenden Bauteilen (Rohre, Rohrplatte und Mantel) in Normalstahl vorzusehen, wenn keine Einschränkungen auf der Abgasseite dagegen sprechen
  - Erforderliche Informationen: [Heizkreis](#) [► 142] und besonders die Angaben unter **„Kühlbetriebsstoffe im Heizkreis“**)
- Die Abgaswärmetauscher dehnen sich bei Betriebstemperatur aus. Dementsprechend müssen Loslager und Kompensatoren vorgesehen werden
- Die Herstellerangaben zu den minimalen und maximalen Volumenströmen und Drücken sind zwingend einzuhalten. Insbesondere bei Heizkreisen mit niedrigen Drücken, z. B. durch Einbindung eines drucklosen Wärmespeichers, kann es je nach Position des Abgaswärmetauschers zu unzulässig niedrigen Drücken kommen. Besonders bei Niedertemperatur-Abgaswärmetauschern die im Heizkreis vor der Rücklauftemperaturanhebung eingebunden sind, muss sichergestellt sein, dass der Mindestvolumenstrom eingehalten wird.

## Weitere Planungshinweise

In der Regel werden Abgaswärmetauscher in Edelstahl (1.4571 oder gleichwertig) ausgeführt.

Bei Anlagen, die mit Klärgas, Deponiegas oder anderen Sondergasen betrieben werden, sind bei der Werkstoffauswahl ggf. erhöhte Gehalte von z. B. Schwefelsäure, Salzsäure und Flusssäure im Abgas zu beachten. Diese Säuren wirken stark korrosiv und können auch zu Schäden an Edelstahl-Abgaswärmetauschern führen. Bei der Gefahr von erhöhter Konzentration von Chlor und anderen halogenierten Stoffen im Brenngas besteht die Gefahr von örtlicher Korrosion (Lochfraß, Spannungskorrosion). Deshalb sollten hier ggf. statt dünnwandigem Edelstahl dickwandiges Material aus niedrig legiertem Kesselstahl eingesetzt werden. Dieser Stahl ist unempfindlicher gegen Lochfraß und Spannungskorrosion.



### 8.5.3 Kühlanlagen

#### 8.5.3.1 Allgemein

Die Kühlanlage muss die anfallende Wärme bei der maximalen Umgebungstemperatur abführen können.

Bei Luft als sekundärseitigem Kühlbetriebsstoff werden Ventilator Kühlanlagen und Kühltürme verwendet. Ventilator Kühlanlagen können bis zu einer gewissen Größenordnung als Stirnkühler (vertikal angeordnetes Kühlnetz) ausgeführt werden, größere Anlagen werden als Tischkühler ausgeführt.

Der mitunter hohe Geräuschpegel der Lüfter muss bei der Installation der Anlagen in Wohngebieten berücksichtigt werden. Hier können entweder langsam laufende Lüfter eingesetzt werden oder es werden spezielle Geräuschkürmaßnahmen erforderlich.

#### 8.5.3.2 Tischkühler

Leistungsreserve und Flächenreserve sind zu berücksichtigen (siehe Tabelle [Auslegung der Komponenten - Reserven](#) [► 156]). Bei Verschmutzungsgefahr durch die Umgebung (z. B. Blätter, Pollen, Sand, Kohlenstaub) müssen die Abstände der Lamellen so vergrößert werden, dass die Kühlerfläche nicht zu schnell zugesetzt wird. Verschmutzung führt zu einer Verschlechterung des Wärmeübergangs und die Wärme kann nicht mehr abgeführt werden. Bei Luftkühlern ist wegen der Frostgefahr Frostschutzmittel im Kühlwasser vorzusehen.

Ab einer Tischkühler-Aufstellhöhe von 15 Metern über Motor ist ein Koppelwärmetauscher zwischen Motor und Tischkühler einzubauen. Damit werden die maximal zulässigen Betriebsdrücke im Motor nicht überschritten (siehe Kapitel [Flüssigkeitsdrücke](#) [► 145]). Auch wird ein Unterdruck in der Kühlflüssigkeit am Tischkühler vermieden.

#### **Tischkühlerregelung**

Die Leistung der Tischkühler hängt von der Umgebungstemperatur und der Anzahl bzw. der Drehzahl der laufenden Lüfter ab. Bei Regelung der Tischkühlerleistung über die Anzahl der laufenden Lüfter spricht man von Stufenregelung. Bei Regelung der Tischkühlerleistung über die Drehzahl der Lüfter von FU-Regelung bzw. EC-Regelung. Die FU-Regelung und die EC-Regelung bieten den Vorteil der kontinuierlichen Anpassung der Kühlerleistung an die abzuführende Wärmeleistung.

Für die verschiedenen Motortypen ist die Tischkühlerregelung für die einzelnen Kühlkreise entsprechend Tabelle [Auslegung der Komponenten - Reserven](#) [► 156] auszuführen.

Für die Abführung der Wärme im Gemischkühlkreis und/oder Motorkühlkreis bzw. Notkühlkreis über Tischkühler ist für die Gasmotoren nachfolgende Zuordnung zu beachten.

Tischkühlerregelung			
	Kühler GK	Kühler MK	Kühler NK
TCG 2032	FU/EC geregelt	FU/EC geregelt	FU/EC geregelt
TCG 2020	FU/EC geregelt	FU/EC geregelt	FU/EC geregelt
TCG 3020	FU/EC geregelt	FU/EC geregelt	FU/EC geregelt
TCG 3016	FU/EC geregelt	≥ 6 Stufen	≥ 6 Stufen
EC = Elektronisch kommutiert; FU = Frequenzumrichter; GK = Gemischkühlkreis; MK = Motorkühlkreis; NK = Notkühlkreis			

Tab. 18: Tischkühlerregelung

Zusammenfassend, bei allen Gasmotoren ist die Wärme im Gemischkühlkreis über frequenzgeregelter Tischkühler abzuführen. Die Motoren TCG 3016 können zur Kühlung im MK und NK mit einem mindestens 6-stufigen Kühler (6 Lüfter) ausgerüstet werden. Weniger Stufen sind nicht zulässig. Alternativ wird die FU bzw. EC-geregelte Variante empfohlen. Für sehr kalte Umgebungsbedingungen, d.h. regelmäßig niedrige Temperaturen unter -15 °C sind alle Kühlkreisläufe FU bzw. EC geregelt auszuführen. Nur so ist sichergestellt, dass unter allen Umgebungsbedingungen die erforderlichen Randbedingungen für den Gasmotor eingehalten werden.

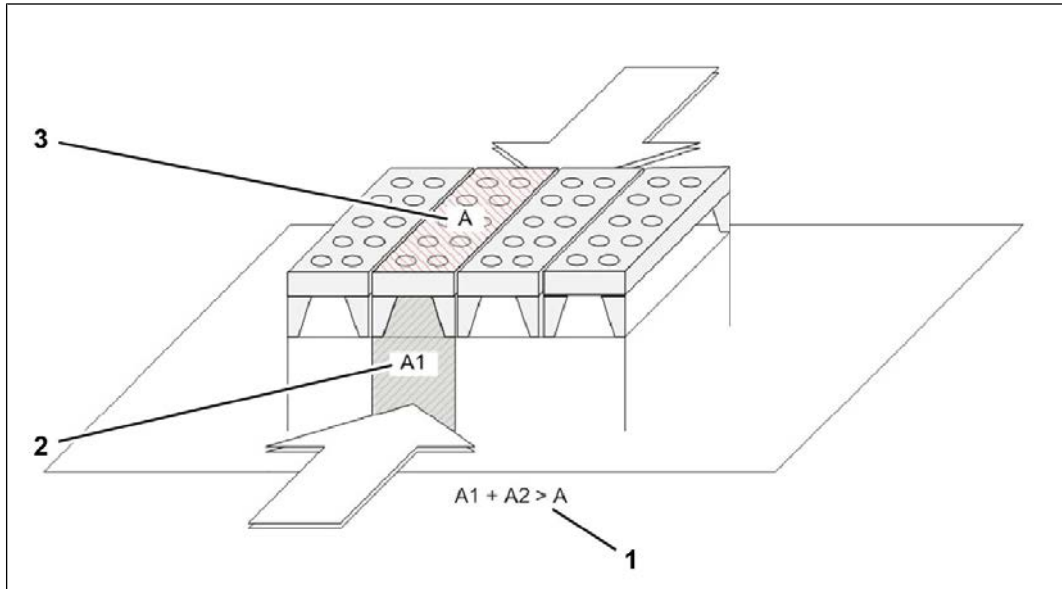
### Sandwich-Tischkühler (nur bei reinen Stromerzeugungsanlagen)

Eine Sonderbauform des Tischkühlers ist der Sandwich-Tischkühler, bei dem zwei getrennte Kühlerstufen übereinander angeordnet sind und durch gemeinsame Lüfter mit Luft versorgt werden. Die erste Stufe ist die NT-Stufe (NT=Niedertemperatur), die zweite Stufe die HT-Stufe (HT=Hochtemperatur). In der NT-Stufe wird in der Regel die Gemischwärme abgeführt, in der HT-Stufe die Motor-Kühlflüssigkeitswärme. Ein Einsatz dieser Kühlerbauart ist nur bei reinen Stromerzeugungsanlagen zulässig. Es kommt nur bei reinen Strommodulen zu einer angemessenen gleichmäßigen Beaufschlagung der HT- und NT-Kühlerstufe im Tischkühler. Bei Anlagen mit Wärmenutzung wird die HT-Kühlstufe eines Sandwich-Tischkühlers als Notkühler verwendet. Die Drehzahl der Lüfter wird bei Wärmenutzung (keine oder kaum Wärmeabfuhr über die Notkühlung) durch die im NT-Kreis abzuführende Gemischwärme bestimmt. Hierdurch bedingt ist der Notkühler (HT-Stufe des Sandwich-Tischkühlers) bei teilweiser Beanspruchung der Notkühlleistung zu groß und kann zu Instabilität in der Kühlflüssigkeits-Temperaturregelung führen. Deshalb wird dem Einsatz dieser Kühlerbauart bei Anlagen mit Wärmenutzung nicht zugestimmt.

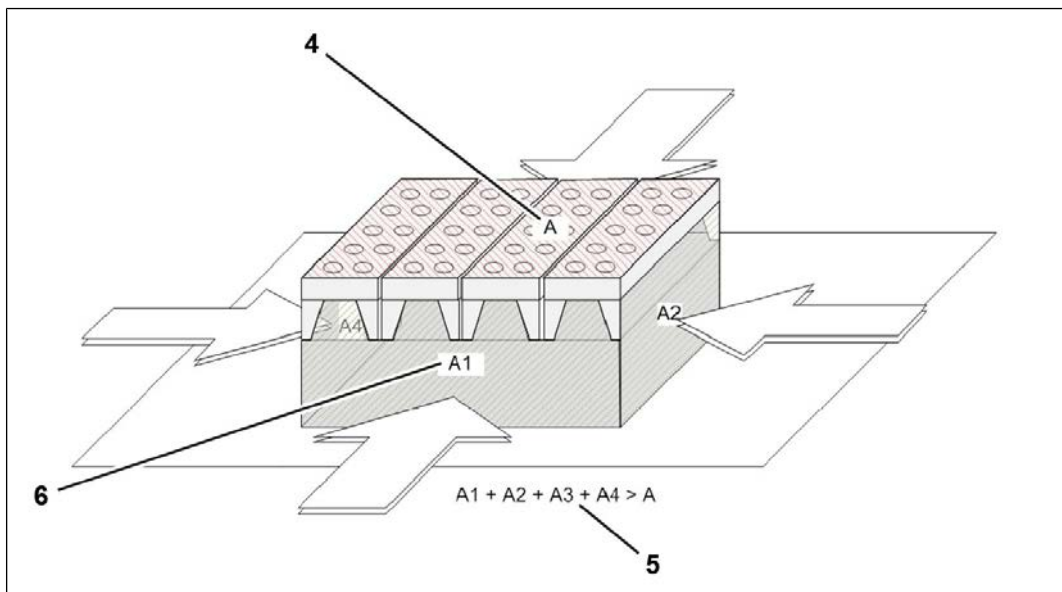
### Aufstellung und Auslegung von Tischkühlern

Bei der Tischkühleraufstellung ist zu beachten, dass die Aufstellhöhe über dem Boden für eine gute Luftzuführung ausreicht. Die freie Zuströmfläche für die Luftzufuhr muss mindestens der Grundfläche des Tischkühlers entsprechen. Bei mehreren Kühlern ist der Kurzschluss von Luftströmen zu vermeiden. Tischkühler sollten dafür entweder bündig neben-

einander oder mit ausreichend Platz dazwischen aufgestellt werden. Dabei die Tischkühler ausreichend hochstellen, sodass an den freien Seiten die benötigte Zuströmfläche für die Luftzufuhr gewährleistet.



3622799371: Aufstellung von Tischkühlern



3622799883: Aufstellung von Tischkühlern

- |   |  |   |   |
|---|--|---|---|
| 1 | $A1 + A2 > A$                            | 2 | Zuströmfläche der Kühlluft A1 und A2 (nicht sichtbar) für diesen Tischkühler      |
| 3 | Grundfläche eines einzelnen Tischkühlers | 4 | Grundfläche aller Tischkühler   |
| 5 | $A1 + A2 + A3 + A4 > A$                  | 6 | Zuströmfläche der Kühlluft A1, A2 und A3 (nicht sichtbar) und A4 (nicht sichtbar) |

## 8.5.3.3 Kühltürme

Kühltürme nutzen den Verdampfungskühleffekt von Wasser zur Kühlung aus und kommen in geschlossener oder offener Bauweise zur Anwendung. Beim offenen Kühlturm verdampft ein Teil des umlaufenden Kühlwassers (ca. 3 %). Die verdampfte Wassermenge muss immer nachdosiert werden. Zusätzlich muss eine Abschlammung vorgesehen werden. Dadurch wird im Kühlturm eine unzulässige Aufkonzentration von im Ergänzungswasser gelösten Salzen vermieden.

Bei allen Motorkühlkreisen kommt aufbereitetes Wasser mit Korrosionsschutz und/oder Frostschutz zum Einsatz. Diese Kühlkreise dürfen nur über einen Entkoppelungswärmetauscher an einen offenen Kühlturm angeschlossen werden.

Bei offenen Nasskühltürmen muss der Plattenwärmetauscher öfter gereinigt werden, da sich im Kühlturmwasser Algen bilden. Algen setzen sich auf den Platten des Wärmetauschers ab. Je dicker die Algenschicht im Plattenwärmetauscher wird, umso schlechter wird der Wärmeübergang. Bei den zu kühlenden Kreisen wird keine Wärme mehr abgeführt.

Bei geschlossenen Kühltürmen werden die Kühlwasserrohre mit Wasser besprüht. Das Wasser verdunstet und eine Abkühlung des Betriebsstoffs im Rohr wird erreicht. Da in dem eigentlichen Kühlkreis kein Wasserverlust auftritt, können die geschlossenen Kühltürme direkt an den Motorkühlkreis angeschlossen werden. Die wichtigsten Auslegungsparameter für den wirtschaftlichen Betrieb eines Kühlturms sind die Lufttemperatur und vor allem die Luftfeuchtigkeit.

## 8.5.4 Auslegung der Komponenten - Reserven

Bei der Auslegung der Komponenten für das Kühlflüssigkeitssystem müssen Reserven berücksichtigt werden. Die in den Datenblättern angegebenen Wärmemengen sind Nennwerte, die keine Toleranz für eventuellen Brennstoffmehrverbrauch berücksichtigen. In der folgenden Tabelle sind die Reserven für Leistung und Fläche angegeben, die bei der Auslegung berücksichtigt werden müssen.

Reserven für Leistung und Fläche		
Komponente	Leistungsreserve [%]	Flächenreserve [%]
Wärmetauscher Wasser/Wasser	15	5
Wärmetauscher Wasser/Öl	15	5
Ventilator Kühler	15	5
Abgaswärmetauscher	7	10 bei Erdgas

Reserven für Leistung und Fläche		
		0 bei Biogas, Klärgas und Deponiegas etc.

Tab. 19: Komponenten und Reserven für Leistung und Fläche

Beispiel: In dem Datenblatt für den TCG 2020 V20 ist eine Kühlflüssigkeitswärme von 1000 kW angegeben. Ergebnis: Der Kühlflüssigkeitswärmetauscher muss dann für eine Leistung von 1150 kW mit einer Flächenreserve von 5 % ausgelegt werden.

### 8.5.5 Kältemaschinen

Kältemaschinen sollten möglichst nicht direkt in den Motorkühlkreis eingebunden werden. Durch Leckagen kann z. B. Li Br in den Motorkühlkreis strömen. Das vermeidet ein Koppelwärmetauscher im Motorkühlkreis. Es gibt Anwendungsfälle, bei denen das geforderte Wasser-Temperaturniveau der Kältemaschine nur durch direkte Einbindung in den Kühlflüssigkeitskreis des Motors dargestellt werden kann. Für diesen Einsatzfall müssen folgende Bedingungen eingehalten werden:

Die Anforderungen an die Kühlflüssigkeitsqualität des Motors, Korrosionsschutz oder Gefrierschutz einhalten.

Die vom Motorenhersteller frei gegebenen Kühlflüssigkeitszusätze müssen auch für die Kältemaschine frei gegeben sein.

Durch Leckagen im Wärmetauscher der Kältemaschine wird sowohl das Kältesystem als auch der Motor geschädigt. Für diese Schäden übernimmt der Motorenhersteller keine Haftung.

### 8.5.6 Kühlflüssigkeitspumpen

Bei allen Baureihen muss über den gesamten Lastbereich im Motor-Kühlflüssigkeitskreis und im Gemischkreis (MK und GK) ein fester Volumenstrom eingehalten werden. Daher werden in der Regel von Elektromotoren angetriebene Kühlflüssigkeitspumpen mit festen und der Netzfrequenz entsprechenden Drehzahlen eingesetzt. Wenn Pumpen mit frequenzregelbaren Elektromotoren eingesetzt werden, müssen diese auf eine feste und dem Anlagenbetriebspunkt entsprechende Drehzahl eingestellt werden.

Bei Anlagen mit Wärmeverwertung aus der Kühlflüssigkeit müssen die Motoreintrittstemperatur und die Motoraustrittstemperatur zur Erzielung möglichst hoher Wirkungsgrade und Bauteilstandzeiten genau eingehalten werden. Um die erforderlichen Fördermengen und die je nach Anlage benötigten Förderhöhen individuell besser abzustimmen, werden

bei diesen Anlagen auf den Betriebspunkt angepasste Elektropumpen verwendet. Bei der Auslegung von Wärmetauschern und Tischkühlern sind vorgegebene Leistungsreserven zu berücksichtigen.

- Erforderliche Informationen: [Auslegung der Komponenten - Reserven](#) ► 156]

Diese Wärmemehrleistung muss durch einen erhöhten Volumenstrom berücksichtigt werden, unter Beibehaltung der Auslegungstemperaturen. Bei der Pumpendimensionierung sind der um die Leistungsreserve erhöhte Volumenstrom und auch die damit verbundenen höheren Druckverluste zu berücksichtigen. Um die gewünschte Auslegungstemperaturspreizung zu erreichen, muss bei Pumpen mit frequenzregelbaren Antriebsmotoren die Drehzahl für den Auslegungspunkt fest eingestellt werden. Bei Pumpen mit nicht regelbaren Antriebsmotoren wird die Kühlflüssigkeitsmenge über eine Drosselarmatur genau eingestellt.

In Heizkreisen mit Rücklauftemperaturanhebung über ein 3-Wege-Ventil werden im Allgemeinen auch Elektropumpen mit festen Drehzahlen eingesetzt. Spezielle Anforderungen im Heizkreis, z. B. Einhaltung einer konstanten Vorlauftemperatur im Teillastbereich des Aggregats, lassen sich mitunter nur durch einen variablen Volumenstrom im Heizkreis darstellen. In diesen Fällen werden Pumpen mit frequenzgeregelten Elektromotoren eingesetzt. Wenn in diesen Heizkreisen Abgaswärmetauscher eingebaut sind, muss sichergestellt sein, dass der für den Abgaswärmetauscher angegebene Mindestvolumenstrom in keinem Betriebspunkt unterschritten wird. Andernfalls kann der Abgaswärmetauscher überhitzen und beschädigt werden.

Generell werden Blockpumpen in Inline-Bauweise mit Norm-Motoren eingesetzt. Die Abdichtung des Förderraums übernimmt eine ungekühlte Gleitringdichtung. Die Pumpen dürfen nicht trocken betrieben werden, da bei Trockenlauf die Gleitringdichtung beschädigt wird. Auch bei der Befüllung der Kühlflüssigkeitssysteme muss darauf geachtet werden, dass vorkonditioniertes Kühlflüssigkeit eingefüllt wird. Reines Frostschutzmittel kann die Gleitringdichtung ebenfalls beschädigen. Der zulässige Mindesteingangsdruck auf der Pumpensaugseite muss zur Vermeidung von Kavitation eingehalten werden.

## 8.5.7 Membranausdehnungsgefäß

Zum Ausgleich der Volumenausdehnung bei Erwärmung der Kühlflüssigkeit werden im Kühlsystem Membranausdehnungsgefäße vorgesehen. Die Volumenausdehnung der Kühlflüssigkeit wird bei Erwärmung durch das Zusammendrücken einer Gasblase kompensiert. Der daraus resultierende statische Druckanstieg im System ist von der Größe des gewählten Ausdehnungsgefäßes abhängig. Ausdehnungsgefäße müssen an der Saugseite der Pumpe angeschlossen werden. Beim Einsatz eines Membranausdehnungsgefäßes ist der Kühlflüssigkeitskreis gegen Überdruck mit einem Sicherheitsventil abzusichern. Im Motorkühlkreis und Gemischkühlkreis werden Sicherheitsventile mit 3,0 bar Ansprechdruck eingesetzt, bei Motoren der Baureihe TCG 2032B Sicherheitsventile mit 4,0 bar Ansprechdruck.

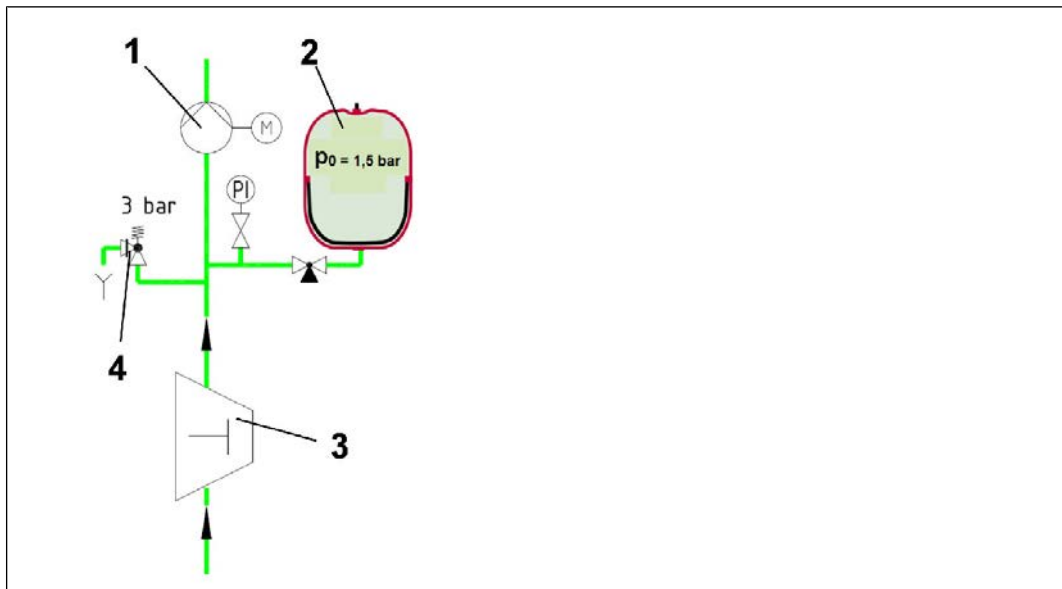
Der Einbauort muss möglichst nah am Motorkühlflüssigkeitsaustritt sein. Es dürfen sich keine Absperrorgane zwischen Aggregat und Sicherheitsventil befinden. Es wird empfohlen, eine Länge der Zuleitung zum MAG von 2 m nicht zu überschreiten. Bei der Auslegung des Ausdehnungsgefäßes sind der statische Druck, der Strömungsdruckverlust zwischen dem Sicherheitsventil und dem Ausdehnungsgefäß und der Kühlflüssigkeitsvorlage zu berücksichtigen. Die Kühlflüssigkeitsvorlage in dem Motorkühlkreis und Gemischkühlkreis sollte ca. 10 bis 15 % des Kühlflüssigkeitsinhaltes betragen, darf aber 20 Liter nicht unterschreiten. Die so entstehende Mischtemperatur im Membranausdehnungsgefäß während des Anlagenbetriebs darf 65 °C nicht überschreiten. Dadurch kann auf die Verwendung eines Vorschaltgefäßes verzichtet werden.

Die folgenden Abbildungen zeigen zur Verdeutlichung die Druckverhältnisse im Membranausdehnungsgefäß. Hier sind die Bedingungen im Kühlkreis vor dem Befüllen, nach dem Befüllen und beim Betrieb dargestellt.

#### Vor dem Befüllen des Kühlkreises

Das Membranausdehnungsgefäß ist mit einem Gasvordruck  $p_0$  von 1,5 bar mit Stickstoff gefüllt.

Die Gummimembran liegt an der Wand an.



3622802955: Vor dem Befüllen des Kühlkreises

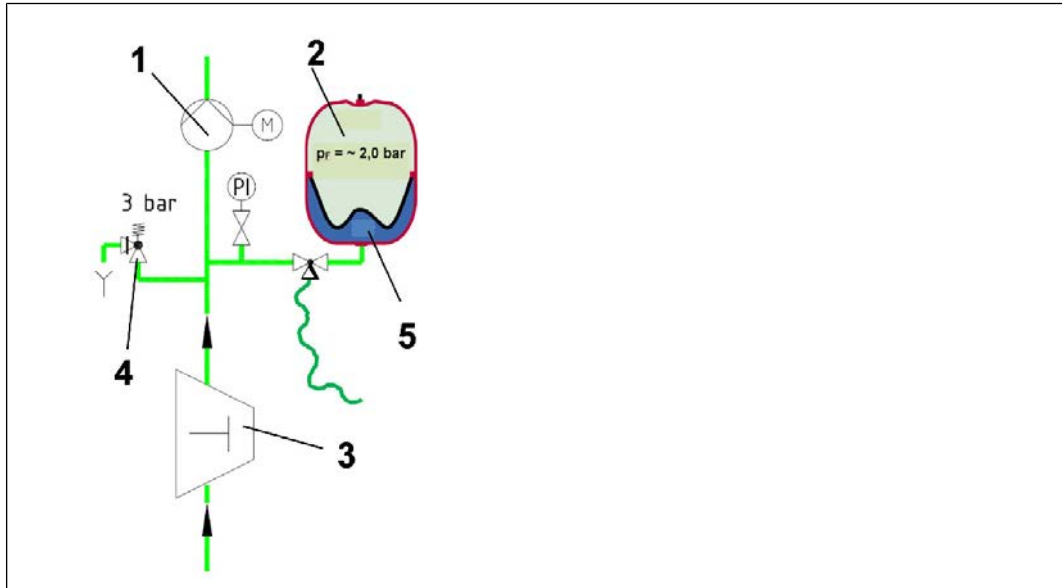
- |   |                       |   |                         |
|---|-----------------------|---|-------------------------|
| 1 | Kühlflüssigkeitspumpe | 2 | Membranausdehnungsgefäß |
| 3 | Gasmotor              | 4 | Sicherheitsventil       |

#### Befüllen des Kühlkreises

Beim Befüllen des Kühlkreises überschreitet der Druck auf der Kühlflüssigkeitsseite den Gasvordruck in der Gasblase.

Es strömt Kühlflüssigkeit in das Membranausdehnungsgefäß und der Druck erhöht sich auf den Fülldruck  $p_F$ .

Das Membranausdehnungsgefäß wird so dimensioniert, dass eine Kühlflüssigkeitsvorlage im Bereich von 10 % bis 15 % des Kühlflüssigkeitsinhaltes bei kaltem Zustand der Anlage im Membranausdehnungsgefäß vorhanden ist. Der Fülldruck  $p_F$  ist ca. 2 bar.



3622803467: Befüllen des Kühlkreises

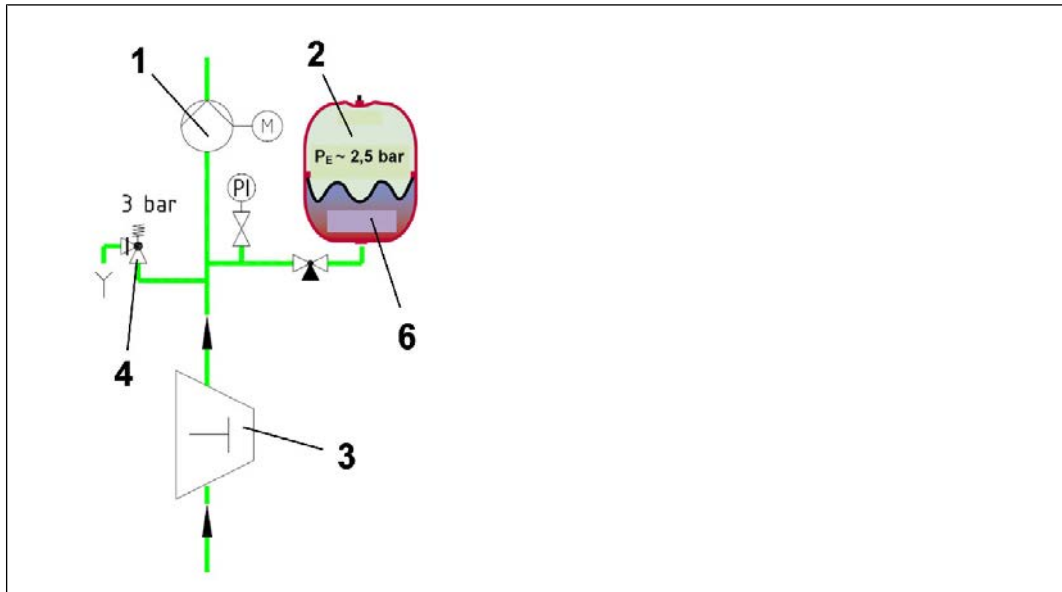
- 5 Kühlflüssigkeitsvorlage bei kaltem System

## Bedingungen beim Betrieb des Motors

Unter Betriebsbedingungen erwärmt sich das Kühlmittel und dehnt sich aus.

Das Ausdehnungsvolumen führt im Membranausdehnungsgefäß zu einer weiteren Druck-erhöhung. Es stellt sich ein Enddruck  $p_E$  von ca. 2,5 bar ein.





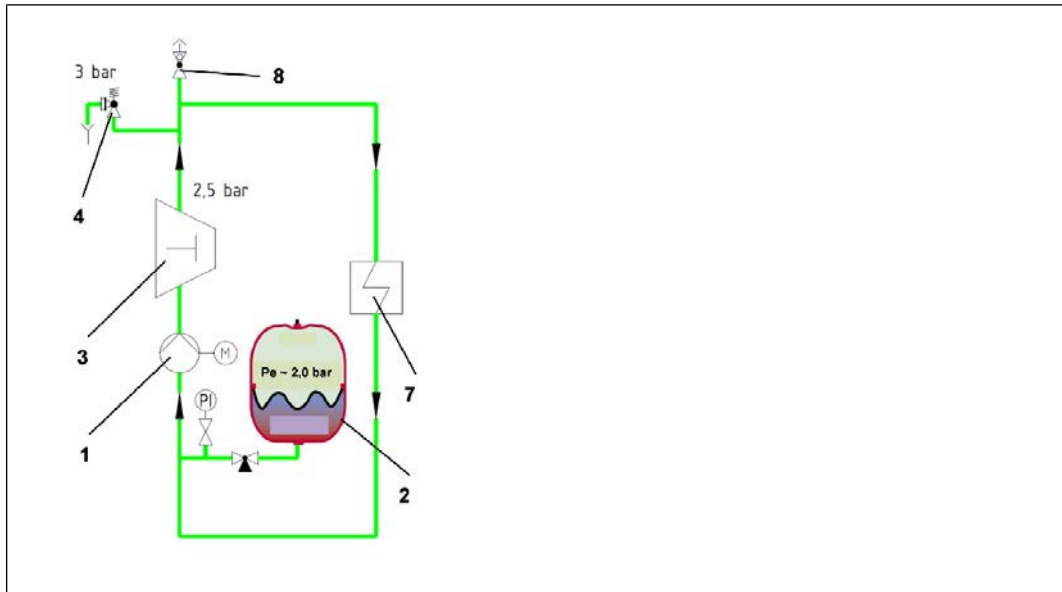
3622803979: Bedingungen beim Betrieb des Motors

- 6      Kühlflüssigkeitsvorlage bei betriebs-  
warmem System

#### Pumpe am Motoreintritt

Beim Einbau der Kühlmittelpumpe am Eintritt des Gasmotors muss das Membranausdehnungsgefäß auch am Motoreintritt vor der Kühlmittelpumpe eingebaut werden. Der beim Betrieb erreichte Druck am Motoraustritt muss aber weiterhin ca. 2,5 bar betragen. In diesem Fall muss bei der Auslegung des Membranausdehnungsgefäßes der Druckverlust über den Komponenten berücksichtigt werden, die zwischen dem Motoraustritt und dem Membranausdehnungsgefäß angeordnet sind. In der Abbildung ist das z. B. ein Kühlflüssigkeitswärmetauscher. In diesem Fall muss der Enddruck im Membranausdehnungsgefäß geringer sein.

Bei der Anordnung des Membranausdehnungsgefäßes am Motoreintritt führt das zu einem größeren Membranausdehnungsgefäß, da für die Kompensation des Ausdehnungsvolumens eine geringere Druckdifferenz ausgenutzt werden kann.



3622804491: Pumpe am Motoreintritt

7      Kühlflüssigkeitswärmetauscher      8      Entlüftungsventil

### 8.5.8 Temperaturregelventile

Temperaturregelventile sind mit elektronischem Regler und elektrischem Stellantrieb ausgeführt. Temperaturregelventile können die eingestellte Temperatur auf einen konstanten Sollwert regeln. Die Regelgröße kann in einem fremden Kreis liegen. Genaue Temperaturregelung ist besonders bei Anlagen mit Wärmeverwertung und gleichzeitiger Forderung nach hohem Gesamtwirkungsgrad nötig. Die Nennweiten der Temperaturregelventile sind so festzulegen, dass der Druckverlust über das Ventil bei der jeweiligen Nenn-Durchflussmenge im Bereich von 0,2 bar bis 0,5 bar im Durchgang (Bypass geschlossen) liegt.

Temperaturregelventil und Temperatursensor müssen möglichst nah zueinander (Messstelle der Regelgröße) installiert werden. Lange Rohrleitungsstrecken zwischen Temperaturregelventil und Temperatursensor sind zu vermeiden.

### 8.5.9 Kühlflüssigkeits-Überwachungsgruppe

In der Kühlflüssigkeits-Überwachungsgruppe sind drei Funktionen integriert: Absicherung gegen Überdruck Entlüftung des Kühlkreises und Kühlflüssigkeitsniveau-Überwachung. Die Kühlflüssigkeits-Überwachungsgruppe muss unmittelbar nach dem Motor eingebaut werden, da diese die Absicherung gegen Überdruck enthält. Gibt es einen Punkt im System, der höher liegt, als der Motorausstritt, müssen Entlüfter und Kühlwasserniveau-Überwachung an diesem Punkt installiert werden. Bei Motoren der Baureihe TCG 3016 müssen Entlüftungsleitungen zur Überwachungsgruppe geführt werden. Zusätzlich ist es notwendig, den Kühlflüssigkeitsdurchfluss des Motors mittels Differenzdruck zu überwachen.

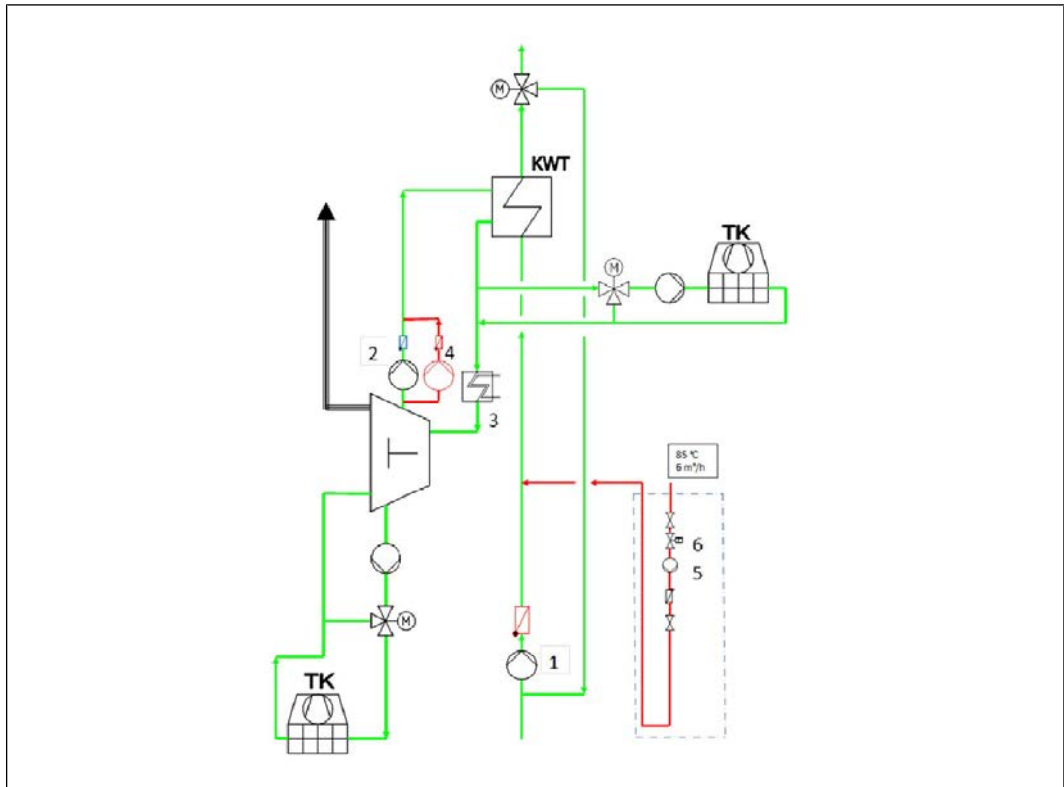
### 8.5.10 Kühlflüssigkeitsvorwärmung

Gasmotorenaggregate sind für einen sicheren Start des Motors grundsätzlich mit einer Kühlflüssigkeitsvorwärmung auszurüsten. Als Vorwärmung für die Motorkühlflüssigkeit und Öl kommen beim TCG 2032 komplette Vorwärmaggregate mit Pumpe, Wärmetauscher mit Heizstäben und elektrischer Regelung zum Einsatz. Für die Baureihen TCG 3016, TCG 2020 und TCG 3020 wurde eine Vorheizung entwickelt, die vor dem Motor in die Kühlflüssigkeitsleitung eingebaut wird. Als Umwälzpumpe wird die elektrisch angetriebene Kühlflüssigkeitspumpe benutzt. Die Regelung erfolgt über das TEM/TPEM-System.

#### Kühlflüssigkeitsvorwärmung bei Aggregaten im Flexbetrieb

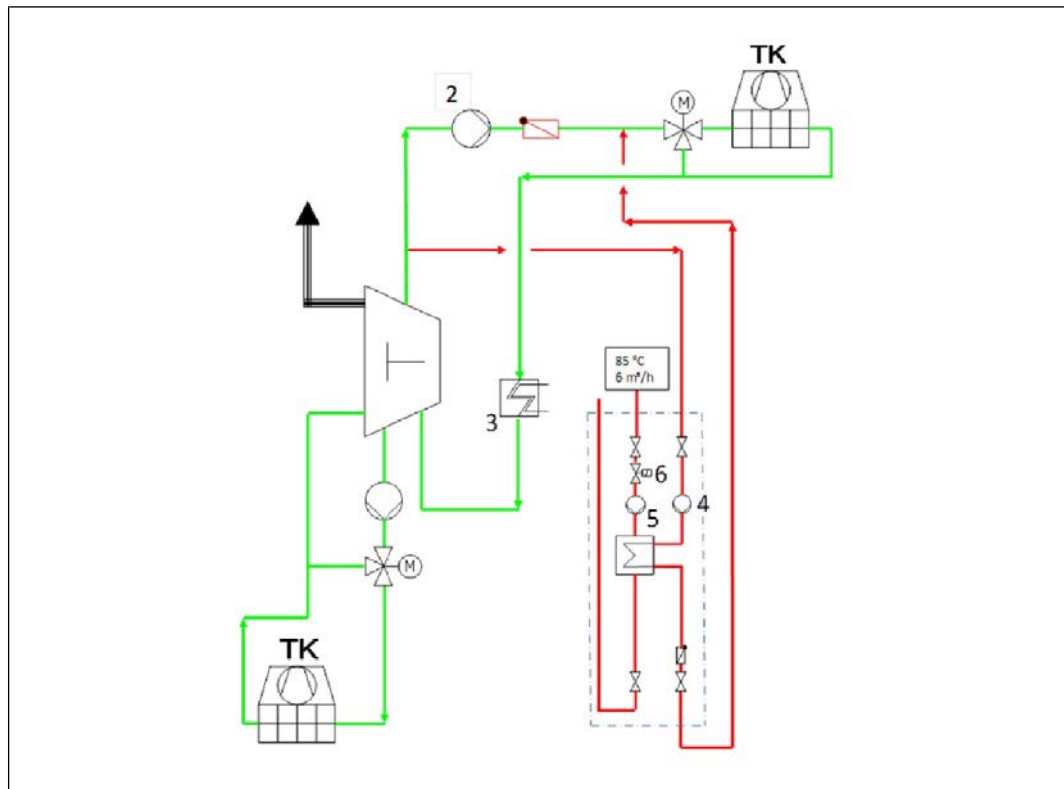
Wie bereits erwähnt, werden bei der Bereitstellung von Regelenergie Anpassungen bei der Kühlflüssigkeits-Vorwärmung und Vorschmierung zur Garantie der Startbereitschaft der Gasmotorenaggregate erforderlich (siehe Kapitel [Bereitstellung von Regelenergie](#) [► 58]).

Schnelles Hochfahren und anschließende Lastübernahme erfordern es, dass die Aggregate bzw. das komplette Motorkühlsystem ständig auf Temperaturen über 60 °C vorgewärmt sind. Wenn warme Kühlflüssigkeit aus einem externen Heizungssystem zur Verfügung steht, kann dieses zur Warmhaltung der Aggregate genutzt werden. Bei BHKW-Aggregaten wird der Kühlflüssigkeitswärmetauscher als Wärmeüberträger genutzt, die Kühlflüssigkeitszirkulation wird dabei von hocheffizienten Nassläuferpumpen übernommen. Die herkömmliche elektrische Vorwärmung mit Zuschaltung der Motor-Kühlflüssigkeitspumpe hat in diesem Falle nur eine Back-up-Funktion. Bei Strom-Modulen wird zur Wärmeübertragung ein zusätzlicher kleiner Wärmetauscher in das System eingebunden. Damit wird der Verbrauch von elektrischer Energie für die Vorwärmung während der Stillstandsphasen der Gasmotorenaggregate klein gehalten. Den prinzipiellen Aufbau einer „Flex-Vorwärmung“ zeigen die folgenden Abbildungen. Die Steuerung der Vorwärmung wird im Hlifsantriebeschrank (HAS) umgesetzt.



3622800907: Flex-Vorwärmung BHKW-Aggregat

- |    |                        |     |  |
|----|------------------------|-----|--|
| 1  | Pumpe Heizkreis        | 2   | Pumpe Motorkreis                       |
| 3  | Elektrische Vorheizung | 4   | Umwälzpumpe Motorkreis                 |
| 5  | Umwälzpumpe Heizkreis  | 6   | Magnetventil                           |
| TK | Tischkühler            | KWT | Kühlflüssigkeits(wasser)-Wärmetauscher |



3622800395: Flex-Vorwärmung Strommodul

-	-	2	Pumpe Motorkreis
3	Elektrische Vorheizung	4	Umwälzpumpe Motorkreis
5	Umwälzpumpe Vorwärmkreis	6	Magnetventil
TK	Tischkühler		

### 8.5.11 Gas- und Schmutzabscheider

Ein Gerät zur kombinierten Gas- und Schmutzabscheidung ist im Motorkühlkreis vorzusehen. Das Gerät entfernt zuverlässig auch kleinste Gasblasen und Schmutz aus dem System. Dies führt zu einer besseren Kühlflüssigkeitsqualität. Korrosion, Kavitation und Erosion werden deutlich verringert. Geräte mit radial angeordneten Netzen werden nicht empfohlen. Hier setzen sich die Netze während des Betriebs mit Schmutz zu, die Funktion des Gerätes wird beeinträchtigt.

Die bevorzugte Einbauposition des Gerätes ist am Motorausstritt auf der Saugseite der Kühlflüssigkeitspumpe.

Für die von CES eingesetzten und vertriebenen Gas- und Schmutzabscheider gelten folgende Planungshinweise.

#### Montage

Die Installation muss am Ort des geringsten Systemdrucks, d. h. in Strömungsrichtung als erstes Bauteil vor Kühlflüssigkeitspumpe erfolgen, da nur dort die maximal mögliche Gasabscheidung erfolgen kann.

Der Abscheider darf nicht zwischen Motor und Sicherheitsventil eingebaut werden, da sonst die Absicherung des Motors nicht mehr ausreichend gegeben ist.

Die Länge der geraden horizontalen Rohrleitung vor dem Eintrittsflansch des Abscheiders muss  $3 \times DN$ , aber mindestens 30 cm, betragen. Nur so kann sich eine wenig turbulente Strömung einstellen, die gute Abscheideergebnisse bringen kann.

### **Betrieb**

Der Abscheider entgast während des Betriebs den Kühlkreis selbsttätig.

Ein Ablassen von Schmutz kann ohne Unterbrechung des Anlagenbetriebs erfolgen.

Um effektiv Gas und Schmutz abscheiden zu können, darf eine Geschwindigkeit von 3 m/s am Eintritt in den Abscheider nicht überschritten werden.

### **Instandhaltung**

Auf ausreichende Platzverhältnisse für Instandhaltungsarbeiten achten. Die Bedienelemente müssen leicht zugänglich sein.

Für einen eventuellen Austausch von Anbauteilen müssen jeweils mindestens 10 cm oberhalb und unterhalb des Abscheiders Freiraum verbleiben.

## **8.5.12 Rohrleitungen**

Die Rohrleitungen für die Kühlflüssigkeitssysteme sind grundsätzlich aus nahtlosem Stahlrohr auszuführen. Verzinkte Stahlrohre und Kupferrohre sind nicht zugelassen.

- Erforderliche Informationen: [Rohrleitungen](#) ► 347]

**Bei der Dimensionierung der Rohrleitungen sind folgende Richtwerte einzuhalten:**

Strömungsgeschwindigkeit anlagenseitig:  $< 3,5 \text{ m/s}$ .

Die wirtschaftliche Geschwindigkeit für Flüssigkeiten in Rohrleitungen von DN 50 bis DN 300 ist in der Größenordnung von 2 m/s.

Der Strömungsdruckverlust im jeweiligen Kühlkreis muss bei dem Auslegungsvolumenstrom unter der Förderhöhe der eingesetzten Pumpe liegen.

Die Rohrleitungen sind kurz und spannungsfrei zu verlegen. Alle Komponenten müssen fest installiert und wenn erforderlich schwingungsmäßig entkoppelt sein. Scharfe Rohrkrümmer und Rohrverengungen sind zu vermeiden. Werkstoffe für Dichtungen, Gummimuffen und Schlauchleitungen müssen gegen Korrosionsschutzmittel, Frostschutzmittel und gegen äußere Einwirkungen durch Schmieröl beständig sein.

## **8.6 Qualität der Kühlflüssigkeit**

Bei flüssigkeitsgekühlten Motoren ist die Kühlflüssigkeit aufzubereiten und zu überwachen, da ansonsten Schäden durch Korrosion, Kavitation oder Gefrieren auftreten können.

In dem technischen Rundschreiben für Kühlflüssigkeit TR 2091 sind umfassende Angaben zu Wasserqualität, Korrosionsschutzmittel und Gefrierschutzmittel gemacht. Außerdem sind die freigegebenen Kühlmittelzusätze der namhaften Hersteller angegeben. Es dürfen keine anderen als die freigegebenen eingesetzt werden.

Über lange Laufzeiten von Gasmotoren kommt es insbesondere im Motorkreis durch Ausgasung zu Wasserverlust. Zur Einhaltung von den für den Betrieb günstigen Druckverhältnissen muss Kühlmedium nachgefüllt werden. Hierzu darf nur ein Kühlmedium mit der richtigen Spezifikation verwendet werden.

## 8.7 Entlüftung der Kühlsysteme

Das Kühlsystem muss ständig entlüftet werden.

In Anlagen mit Membranausdehnungsgefäßen erfolgt die Entlüftung über das in der Überwachungsgruppe integrierte oder ein in der Rohrleitung eingebautes Entlüftungsventil. Die Leitungsführung ist so zu gestalten, dass Luftsäcke im System vermieden werden. Entlüfter sind an den Hochpunkten vorzusehen. Insbesondere für einen ständig entlüfteten Motorkühlkreis ist eine automatische Entlüftung am Motoraustritt erforderlich. Für einen sicheren und von Druckstößen freien Betrieb des Kühlsystems ist es unbedingt erforderlich, dass das System einwandfrei entlüftet ist bzw. im Kühlkreis befindliches Gas von selbstständig aus dem Kühlkreis abgelassen wird.





## 9 Brenngassystem

### Inhaltsverzeichnis

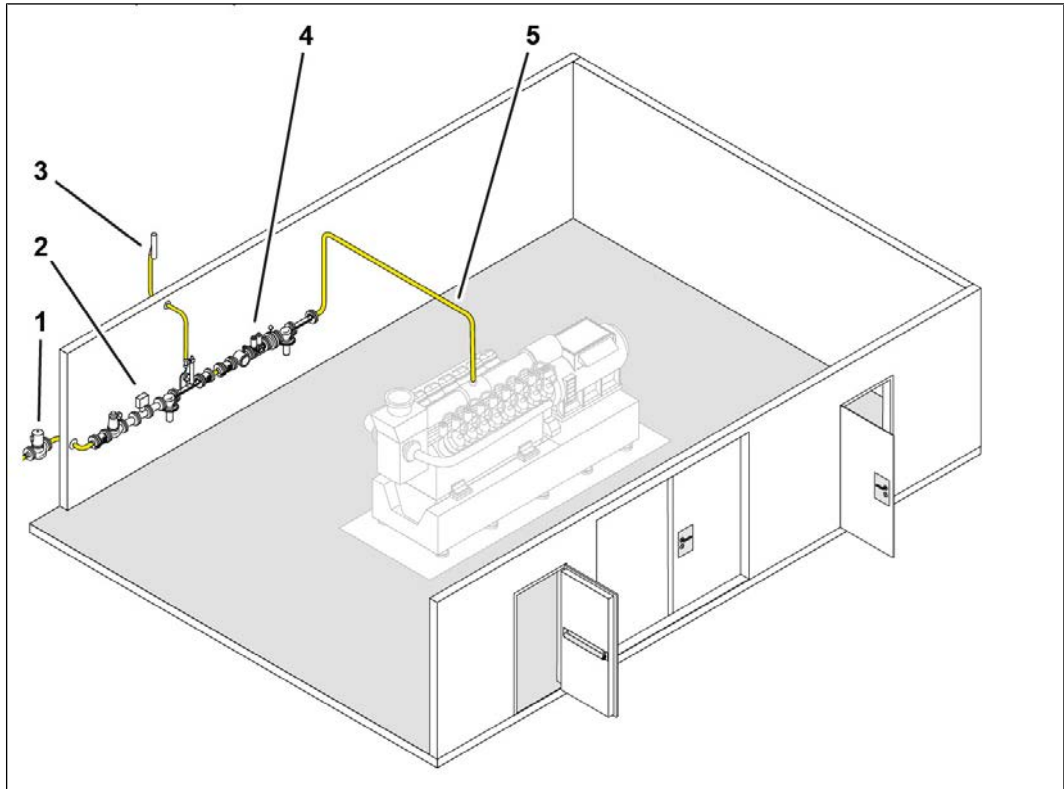
9.1	Systemübersicht .....	171
9.2	Aufbau und Funktion .....	171
9.3	Brenngase .....	172
9.3.1	Allgemein .....	172
9.3.2	Übersicht Brenngasarten .....	172
9.3.3	Die Methanzahl .....	173
9.3.4	Begleitgase und Begleitstoffe .....	173
9.3.5	Wasserdampf, Kohlenwasserstoffe und Staub im Gas .....	174
9.3.6	CH <sub>4</sub> -Messung .....	174
9.4	Anforderungen und Richtwerte .....	174
9.4.1	Vorschriften .....	174
9.5	Komponenten Brenngassystem .....	176
9.5.1	Gaskühl Trocknung .....	176
9.5.2	Aktivkohlefilter .....	176
9.5.3	Gemischaufbereitung .....	178
9.5.4	Hinweise zur Montage von Gasregelstrecken .....	179
9.5.5	Brenngassystem bei Mehrmotorenanlagen und hohen Gasdrücken .....	181
9.5.6	Schnellschlussventil (SSV) .....	182
9.5.7	Vordruck-Gasregelstrecken .....	182
9.5.8	Nulldruck-Gasregelstrecken .....	183
9.5.9	Zweigasbetrieb .....	186
9.5.10	Atmungsleitungen und Abblaseleitungen .....	187
9.5.11	Gasmischer .....	188
9.5.12	Drosselklappe .....	189
9.6	Hinweise zum Brenngassystem .....	189
9.6.1	Anfahren von Biogasanlagen .....	189

---

9.6.2	Wartung, Instandhaltung.....	190
-------	------------------------------	-----

## 9.1 Systemübersicht

Die schematische Abbildung zeigt und benennt typische Bestandteile und Schnittstellen als Hilfe für den Einstieg. Proportionen sind deshalb nicht maßstäblich, die Anordnung beispielhaft.



3620523915: Beispielabbildung in vereinfachter Darstellung

- |   |                                  |   |                           |
|---|----------------------------------|---|---------------------------|
| 1 | Schnellschlussventil (SSV)       | 2 | Vordruck-Gasregelstrecke  |
| 3 | Ausblaseöffnung mit Gasausbläser | 4 | Nulldruck-Gasregelstrecke |
| 5 | Leitung zum Verbrennungsmotor    |   |                           |

## 9.2 Aufbau und Funktion

Die mit brennbaren Gasen betriebenen Motoren arbeiten als 4-Takt-Motoren nach dem Otto-Prinzip. Das Brenngas-Luft-Gemisch wird dem Brennraum zugeführt. Die Verbrennung wird durch Fremdzündung über eine Zündkerze eingeleitet.

Der Druck des zugeführten Brenngases muss dem Luftdruck entsprechen. Die Druckregelung erfolgt durch eine Gasregelstrecke. Bei Bedarf ist der Gasregelstrecke noch eine Vordruckregelstrecke vorgeschaltet. Schnittstelle zum Gasnetz ist eine Absperrarmatur.

## 9.3 Brenngase

### 9.3.1 Allgemein

Beim Einsatz von üblichem Brenngas in Gasmotoren entstehen weniger Schadstoffe und Aschen als bei flüssigen Brennstoffen. Voraussetzung ist, dass das Brenngas den Anforderungen des Aggregatherstellers entspricht. Wegen der Explosionsgefahr gelten besondere Sicherheitsvorschriften.

Die Hauptbestandteile der üblichen Brenngase sind Kohlenwasserstoffe (Methan, Ethan, Butan und Propan) sowie Stickstoff und Kohlendioxid. Bei der Verbrennung reagiert das Gas-Luftgemisch und es entsteht Abgas, das schädliche Bestandteile enthält.

Die Mindesteigenschaften von Brenngasen sind gemäß den Angaben im technischen Rundschreiben für Brenngas (TR 3017) einzuhalten.

### 9.3.2 Übersicht Brenngasarten

#### Erdgas

Erdgas ist ein brennbares Naturgas mit einem hohen Heizwert, das in unterirdischen Lagerstätten vorkommt. Erdgase bestehen hauptsächlich aus Methan, unterscheiden sich aber in ihrer weiteren chemischen Zusammensetzung je nach Fundstätte.

#### LNG

LNG (Liquified Natural Gas) ist verflüssigtes Erdgas. Die Verflüssigung erfolgt durch Kompression und Kühlung.

#### Propan

Propan hat einen deutlich höheren Heizwert als Erdgas und liegt schon bei niedrigen Drücken flüssig vor. Für den Einsatz im Gasmotor muss das flüssige Propan verdampft werden. Dabei darf es nicht zu einer Aufkonzentration einzelner Bestandteile kommen.

- Erforderliche Informationen: [Gemischkühlkreis](#) ► 140]

#### Schwachgase

Als Brenngase kommt auch Klärgas, Deponiegas und Biogas zum Einsatz. Wegen ihres geringeren Heizwerts gegenüber Erdgas bezeichnet man z. B. Klärgas, Deponiegas und Biogas auch als Schwachgase.

#### Erdgas-Wasserstoff Gemisch mit bis zu 25 vol.% Wasserstoff

Als Brenngas kann auch ein Gemisch aus Erdgas und Wasserstoff mit bis zu 25 vol.% Wasserstoff verwendet werden. Hier sind unter anderem besondere Anforderungen an die Ausstattung der Gasregelstrecke zu beachten. Hinsichtlich Explosionsdruck und Explosionsgruppe ist das Erdgas-Wasserstoff Gemisch mit bis zu 25 vol.% Wasserstoff wie reines Erdgas eingestuft.

### Sondergase

Für den Einsatz der Motoren mit Sondergasen wie z. B. Erdölbegleitgas, Grubengas, Synthesegas usw. ist Rücksprache mit dem Aggregathersteller zu halten.

#### 9.3.3 Die Methanzahl

Für die Verwendung eines Gases im Gasmotor ist die Klopfestigkeit eine wichtige Eigenschaft. Das heißt, das Gasgemisch darf sich nicht vor der Zündung selbst entzünden und nicht nach der Zündung schlagartig durch Selbstzündeffekte detonieren.

Die Klopfestigkeit eines Gases wird nach der Methanzahl bewertet. Die Methanzahl gibt an, wann ein zu beurteilendes Brenngas im Prüfmotor die gleichen Klopfeigenschaften zeigt wie ein Vergleichsgemisch aus einer Mischung von Methan und Wasserstoff. Für einen klopf sicheren Betrieb der eingesetzten Gase muss die Methanzahl nach den Datenblättern eingehalten werden. Die Methanzahl für ein Brenngas kann anhand einer Gasanalyse ermittelt werden. In einer Arbeitskarte ist die Vorgehensweise bei der Entnahme von Gasproben beschrieben. Diese Arbeitskarte ist allen Betriebsanleitungen beigelegt.

#### 9.3.4 Begleitgase und Begleitstoffe

Begleitgase sind bei Klärgasen und Biogas in erster Linie Schwefelwasserstoffanteile. Deponiegase sind insbesondere durch Chlor-Kohlenwasserstoffe und Fluor-Kohlenwasserstoffe kontaminiert. Dadurch treten bei der Verbrennung schweflige Säure, Salzsäure und Fluorsäure in den Verbrennungsgasen auf. Diese Säuren sind für das Triebwerk, die Ölstandzeit und das gesamte Abgassystem schädlich. Zur Vermeidung von Schäden im anlagenseitigen Abgassystem durch Taupunktunterschreitung von Säuren dürfen diese Abgase nicht unter 180 °C abgekühlt werden. Bei Abkühlung unter 180 °C muss das Brenngas entsprechend aufbereitet werden (z. B. Entschwefelung).

Deponiegase sind außerdem häufig mit gasförmigen Siloxanen verunreinigt. Siloxane fallen bei der Verbrennung im Gasmotor als Siliziumdioxid aus und bilden Ablagerungen. Diese Ablagerungen führen ebenfalls zu vorzeitigem Verschleiß an Triebwerk, Kolben und Laufbuchsen. Hier ist eine Gasaufbereitung unumgänglich. In dem technischen Rundschreiben für Brenngas sind die Mindesteigenschaften von Brenngasen dargestellt. Diese Angaben beziehen sich nur auf den Betrieb der Gase in den Motoren. Wenn Anlagen mit Katalysatoren im Abgassystem ausgerüstet werden, müssen zu den angegebenen Mindesteigenschaften für den Motor weitere Einschränkungen je nach ausgewähltem Katalysationsverfahren berücksichtigt werden. In der Regel ist eine Gasaufbereitung vorzusehen.

Die zur Anwendung kommenden Gase müssen auf diese Schadstoffe hin genau untersucht und anhand der Grenzwerte beurteilt werden.

### 9.3.5 Wasserdampf, Kohlenwasserstoffe und Staub im Gas

In allen auftretenden Betriebszuständen, auch bei kalt gestartetem Motor, ist eine spontane Kondensation im Motor auszuschließen, daher muss der Wasserdampfgehalt im Motor beschränkt werden. Dämpfe höherer Kohlenwasserstoffe führen zu einer Absenkung der Methanzahl. Bei Kondensation dieser Dämpfe im Ansaugtrakt kommt es zu einer heterogenen Tröpfchenverbrennung. Es besteht die Gefahr einer klopfenden Verbrennung. Auch die Abgasreinigungsvorschriften sind dann nicht mehr einzuhalten. Um eine spontane Kondensation zu vermeiden ist sicher zu stellen, dass im gesamten Brenngassystem die relative Feuchte aller Stoffe des Brenngases, bei höchstem Druck und niedrigster Temperatur, unter 80 % liegt und eine Unterschreitung des Taupunkts ausgeschlossen werden kann. Höhere Feuchtegrenzwerte für Wasser müssen genehmigt werden. Die erforderliche Gastemperatur gemäß TR 3017 muss eingehalten werden. Einige Gase, zum Beispiel Flüssiggase, Erdölbegleitgas, etc., gemäß TR 3017, erfordern eine höhere Gastemperatur, die im gesamten Leitungsverlauf nach der Verdampfung einzuhalten ist, beispielsweise durch eine Begleitheizung.

In Gaszuleitungssystemen, in denen trotz Einhaltung der Grenzwerte gemäß TR 3017 Kondensat anfallen kann, muss dieses Kondensat durch geeignete Maßnahmen abgeführt werden, wie z. B. Kondensatschächte am Tiefpunkt der Gasleitung.

Der maximale Staubgehalt (Konzentrationsangaben und Korngrößen) im Brenngas ist gemäß TR 3017 einzuhalten. Höhere Staubgehalte dieser Korngröße führen neben möglichen Ablagerungen zu einer stärkeren Verschmutzung des Schmieröls, wodurch auch der Verschleiß erhöht wird.

### 9.3.6 CH<sub>4</sub>-Messung

Bei Brenngasen, deren Methangehalt während des Motorbetriebs schwanken kann, also z. B.: bei Grubengas, Biogas und andere „Schwachgasen“, aber üblicherweise nicht bei Erdgas, ist eine kontinuierliche Messung der Methankonzentration im Brenngas erforderlich. Die Methankonzentration muss als analoger Eingangswert für das TEM/TPEM-Steuerungssystem vom Kunden bereitgestellt werden. Dies betrifft auch Anwendungen, bei denen ein Mischbetrieb mit zwei verschiedenen Brenngasen stattfindet. Weitere Details bezüglich der Änderung des Heizwerts sind in dem TR 3017 zu finden.

## 9.4 Anforderungen und Richtwerte

### 9.4.1 Vorschriften

Bei der Installation von Gasleitungen und Komponenten in dem Gassystem sind erhöhte sicherheitstechnische Auflagen zu beachten.

Hier sind bei der Ausführung von Arbeiten am System als auch bei der Auswahl von Komponenten die Vorschriften nach DIN, TRD, DVGW usw. einzuhalten. Die wichtigsten Vorschriften sind folgende:

DIN 6280-14	Blockheizkraftwerke mit Hubkolben-Verbrennungsmotoren - Grundlagen, Anforderungen, Komponenten, Ausführungen und Wartung
DIN 6280-15	Blockheizkraftwerke mit Hubkolben-Verbrennungsmotoren - Prüfungen
DIN EN 161	Automatische Absperrventile für Gasbrenner und Gasgeräte
DIN EN 14382	Sicherheitseinrichtungen für Gas-Druckregelanlagen und -einrichtungen - Gas-Sicherheitsabsperreinrichtungen für Betriebsdrücke bis 100 bar
DIN EN 16678	Automatische Stellgeräte
DVGW G 262	Nutzung von Gasen aus regenerativen Quellen in der öffentlichen Gasversorgung
DVGW G 491	Gas-Druckregelanlagen für Eingangsdrücke über 4 bar bis 100 bar
DVGW G 493/I	Qualifikationskriterien für Hersteller von Gas-Druckregel- und Messanlagen
DVGW G 495	Gasanlagen Betrieb und Instandhaltung
DVGW G 600	Technische Regeln für Gasinstallation
GUV-R 127	Sicherheitsregeln für Deponien
GUV 17.5	Sicherheitsregeln für Abwasserbehandlungsanlagen - Bau und Ausrüstung
DGUV I 203-092	Arbeitssicherheit beim Betrieb von Gasanlagen

Tab. 20: Wichtige Vorschriften für Brenngassysteme

Nach der Installation der Gasleitung und Armaturen muss durch einen Sachkundigen die fachgerechte und den gesetzlichen Vorschriften entsprechende Montage bestätigt werden.

Vor Inbetriebnahme der Gasregelstrecke ist ein entsprechender Antrag rechtzeitig an die zuständige Behörde zu stellen.

## 9.5 Komponenten Brenngassystem

### 9.5.1 Gaskühlrocknung

Für alle biogenen Sondergase und alle Gase, die die Grenze von 80 % relativer Feuchte überschreiten, muss das Brenngas getrocknet werden. Eine technisch sinnvolle Variante dazu ist die Gaskühlrocknung. Biogas (aus nachwachsenden Rohstoffen), Klärgas und Deponiegas sind in der Regel Feuchte gesättigt und damit zu feucht zur direkten Nutzung. Als Nebeneffekt der Gaskühlrocknung werden auch Schadstoffe aus dem Gas ausgewaschen. Speziell wasserlösliche Stoffe (z. B. Ammoniak) finden sich im Kondensat wieder.

Der minimale Aufbau einer Gaskühlrocknung besteht aus einer Gaskühlung, einer Tropfenabscheidung und einer Erwärmung des Gases. Die Gaskühlung, meist mit einem Kaltwassersatz ausgeführt, senkt den Taupunkt und damit den absoluten Feuchtegehalt im Brenngas. Die Tropfenabscheidung muss gewährleisten, dass auch kleine Tropfen, die vom Gasstrom mitgerissen werden, abgetrennt werden und in der Nacherwärmung nicht wieder verdampfen. Die Nacherwärmung verändert zwar die absolute Feuchte nicht, dafür aber die relative. Erst mit diesem Schritt wird das Gas getrocknet. Die Nacherwärmung besteht entweder aus einem wasserbeheizten Gaserwärmer, einem Gas-Gas-Wärmetauscher, der die Wärme des in die Kühlung eintretenden Gases nutzt oder aus dem Wärmeeintrag eines Verdichters.

Andere Aufbauten sind möglich, wenn die Funktion gewährleistet ist. Erdverlegte Gasleitungen machen in den Leistungsklassen, in denen der Aggregate-Hersteller Produkte anbietet, wenig Sinn. Sie sind in der Regel nicht geeignet das Gas über das ganze Jahr zu kühlen.

### 9.5.2 Aktivkohlefilter

Zur Feinentschwefelung von Biogas hat sich die dotierte bzw. imprägnierte Aktivkohle durchgesetzt. Auch biologische Verfahren können recht zuverlässig und günstig die höheren Schwefelwasserstoff-Frachten im Biogas abbauen. Biologische Verfahren reichen aber in der Regel nicht aus, das Biogas so weit zu entschwefeln, dass gefahrlos ein Oxidationskatalysator mit anschließendem Abgaswärmetauscher im Abgastrakt verbaut werden kann.

Die dotierte bzw. imprägnierte Aktivkohle (häufig Kalium-Jodid) adsorbiert den Schwefelwasserstoff ( $H_2S$ ) an der Kohleoberfläche und oxidiert ihn dort katalytisch zu Elementarschwefel (S).  $H_2S$  als Gas kann auch wieder desorbiert werden. Ein Grund dafür kann ein warmes oder feuchtes Brenngas sein, z.B. durch den Ausfall der Gaskühlrocknung. Elementarschwefel als Feststoff kann nicht desorbiert werden. Durch diese chemische Reaktion ist also der Schwefel stärker auf der Kohle gebunden. Daneben ist auch die Beladungsfähigkeit der Aktivkohle höher. So liegt die Beladungsfähigkeit bei guten Aktivkohlen un-



ter guten Betriebsbedingungen bei 500 g Schwefel pro 1 kg Aktivkohle und mehr (siehe Herstellerangaben). Dadurch sind auf vielen Biogasanlagen verhältnismäßig große Standzeiten von 2000 Bh bis 8000 Bh zu erreichen.

Wenn die Aktivkohle von der Gasströmung (Anströmgeschwindigkeit und Druckverlust) richtig ausgelegt ist und die notwendigen Verweilzeiten des Brenngases in der Aktivkohleschicht eingehalten werden, ist iodierte Aktivkohle in der Lage, die  $\text{H}_2\text{S}$ -Fracht so weit abzusinken, dass diese mit Feldmesstechnik nicht mehr nachweisbar ist. Dieser Reinigungsgrad hält sich über die gesamte Standzeit. Die Reaktivität der Aktivkohle ist sehr hoch, sodass die Aktivkohle gedanklich in drei Schichten geteilt werden kann:

- Unbeladene Aktivkohle vor der Adsorptionszone
- Adsorptionszone, in der die Adsorption stattfindet (klein im Verhältnis zum Behälter)
- Beladene Schicht hinter der aktiven Schicht.

Die Adsorptionszone wandert in Gasströmungsrichtung durch den Adsorber. Am Gasaustritt kann durch Messung der  $\text{H}_2\text{S}$ -Gehalte diese Wanderung der Adsorptionszone nicht gemessen werden.

Es besteht also keine Möglichkeit, am Austritt die Beladung des Adsorbers festzustellen. Wenn die Adsorptionszone den Austritt aus dem Adsorber erreicht, steigt die  $\text{H}_2\text{S}$ -Fracht innerhalb weniger Tage auf die volle Eingangskonzentration. Dieser Vorgang heißt Durchbruch und muss, weil er so schnell verläuft, technisch verhindert werden.

Eine Möglichkeit ist, eine permanente  $\text{H}_2\text{S}$ -Überwachung in der Aktivkohleschicht mit etwas Abstand zum Gasaustritt vorzusehen, sodass durch Beprobung des Gases aus der Aktivkohleschicht eine Vorwarnung erzeugt werden kann. Dadurch kann vor dem Durchbruch der Adsorptionsfront durch die Aktivkohle die Aktivkohle gewechselt werden, wobei immer auch eine gewisse Menge nicht beladener Aktivkohle entsorgt werden muss.

Ein anderer Ansatz ist es, zwei getrennte Aktivkohleschüttungen vorzuhalten. Einen Arbeitsfilter, in dem adsorbiert wird und einen Polizeifilter, der bei Durchbruch des Arbeitsfilters sicherstellt, dass das Gas weiterhin fein entschwefelt wird. Mit einer kontinuierlichen  $\text{H}_2\text{S}$ -Konzentrationsmessung zwischen den beiden Schichten ist eine Aussage zum Durchbruch des Arbeitsfilters möglich. Bei einem Wechsel wird der Arbeitsfilter, der jetzt voll beladen ist, entsorgt. Der Polizeifilter wird neuer Arbeitsfilter und der Polizeifilter wird mit frischer Aktivkohle gefüllt. Dies kann durch Umfüllen oder durch ein entsprechendes Klappensystem realisiert werden. Wenn der Polizeifilter groß genug ausgeführt wird (z. B. so groß wie der Arbeitsfilter), kann der Wechsel des Arbeitsfilters hinausgezögert werden. Dadurch kann der Aktivkohlewechsel mit Wartungsarbeiten am Motor synchronisiert werden.

Die Aktivkohle darf nicht mit einem Bypass gebrückt werden können. Erstens ist dann schlecht nachzuweisen, dass dieser Bypass nicht betätigt worden ist und damit das Brenngas die geforderte Qualität hatte. Und zweitens reichen auch kurze Betriebszeiten mit  $\text{H}_2\text{S}$ -haltigem Brenngas, um durch den Abgaskatalysator Schwefelsäure zu bilden, die im Abgaswärmetauscher kondensiert.

Die Beladungsfähigkeit der Aktivkohle ist auch abhängig von Gasfeuchte und Gastemperatur. Im Allgemeinen sollte das Gas getrocknet werden. Das Gas sollte aber nicht zu trocken und auch nicht zu kalt sein, da hierdurch die chemische Reaktion auf der Oberfläche der Aktivkohle gebremst wird. Die genauen Zielwerte sind den Datenblättern der Aktivkohlen zu entnehmen. Hier ist besonders zu erwähnen, dass das Brenngas je nach Aktivkohle über einen gewissen Sauerstoffgehalt verfügen muss. Der geforderte Sauerstoffgehalt liegt in der Größenordnung von 1 Volumenprozent. Brenngase, die nicht über einen entsprechenden Mindest-Sauerstoffgehalt verfügen, müssen zur Gewährleistung einer sicheren Funktion des Aktivkohlefilters mit Sauerstoff angereichert werden.

Wegen der besser kontrollierbaren Gaszustände sollte bei einem Einsatz von Aktivkohle eine Gaskühltrocknung mit Nacherwärmung zur Konditionierung vorgeschaltet werden.

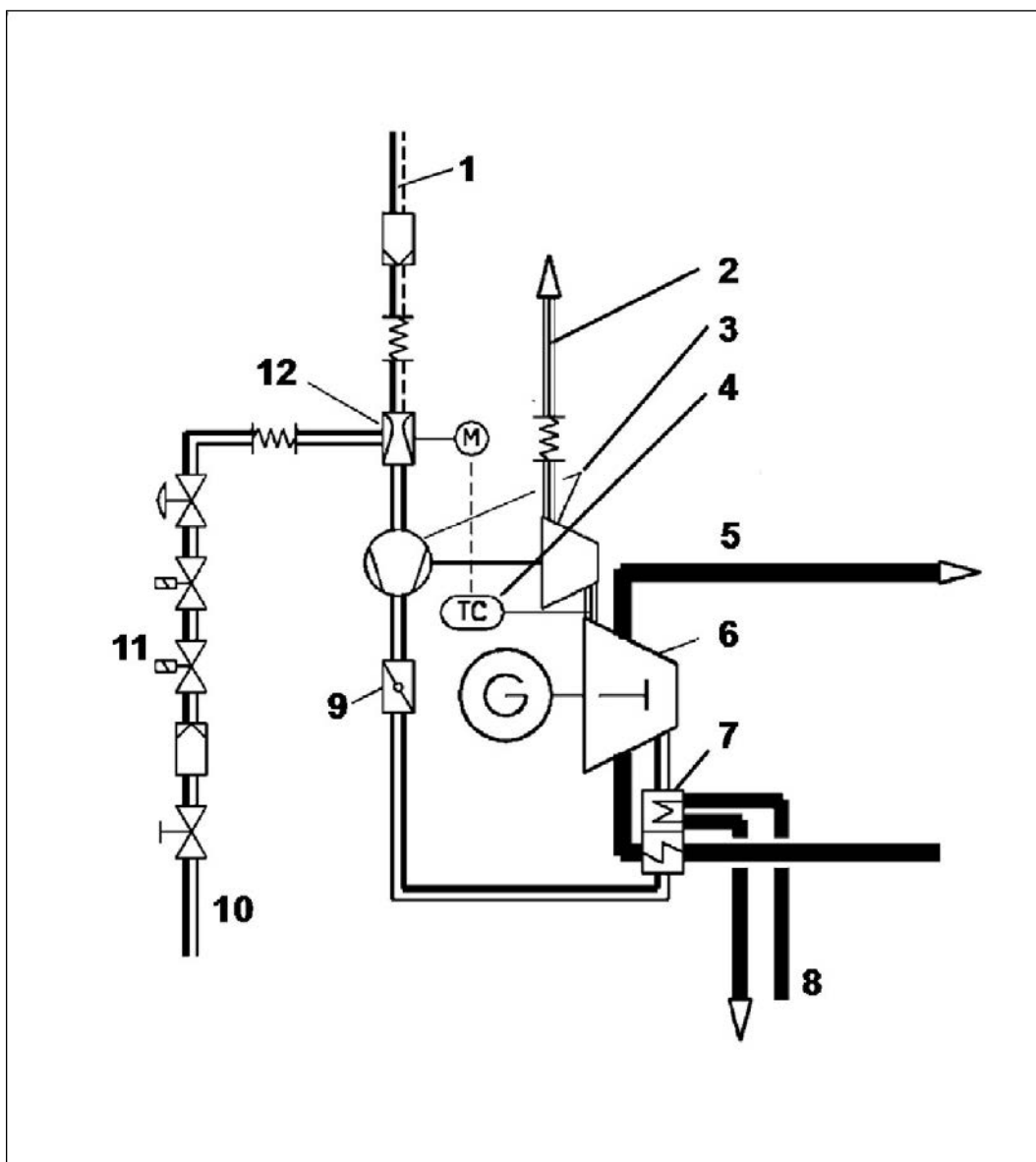
Nicht mit der  $H_2S$ -Adsorption zu vergleichen ist die Adsorption von siliziumorganischen Kohlenwasserstoffen. Diese finden sich in Klärgas und Deponiegas und teilweise auch im Brenngas von Biogasanlagen, die der Abfallverwertung dienen.

Für siliziumorganische Verbindungen werden nicht dotierte Aktivkohlen eingesetzt. Diese adsorbieren die Schadstoffe auf der Oberfläche. Dort findet aber keine chemische Reaktion statt, sodass die adsorbierten Stoffe auch wieder desorbiert werden können.

Zwei weitere Hürden sind, dass erstens die Beladungsfähigkeit für Kohlenwasserstoffe nicht sehr hoch ist und eher in der Größenordnung von Prozenten liegt, zweitens nicht nur siliziumorganische Verbindungen adsorbiert werden, sondern alle Kohlenwasserstoffe adsorbiert werden (obwohl reine Kohlenwasserstoffe in der motorischen Verbrennung keine Probleme erzeugen und deswegen nicht abgereinigt werden müssten). Während also für die Feinentschwefelung ein zuverlässiges wirtschaftliches System zur Verfügung steht, ist die Entfernung anderer Schadstoffe mittels Aktivkohle deutlich aufwändiger und kostspieliger, sodass hier eine entsprechende Abwägung gemacht werden muss.

### **9.5.3 Gemischaufbereitung**

Die Regelung der Abgasemissionen des Gasmotors wird über eine Gasgemisch-Steuerung durchgeführt. Die Hauptkomponenten für die Aufbereitung des Gas-Luftgemisches vor dem Eintritt in den Brennraum sind die Gasregelstrecke, der Venturimischer und die Drosselklappe. Die folgende Abbildung zeigt u. a. die Komponenten der Gemischaufbereitung bei Magerverbrennung.



3644642955: Prinzip der Magerverbrennung mit Turboaufladung, Zweikreis-Kühlung und Brennraumtemperaturregelung

- |    |                  |    |  |
|----|------------------|----|--|
| 1  | Verbrennungsluft | 2  | Abgas                                      |
| 3  | Turbolader       | 4  | Brennraum-Temperaturmessung                |
| 5  | Kühlwasser       | 6  | Motor                                      |
| 7  | Gemischkühler    | 8  | NT-Gemisch-Kühlwasser                      |
| 9  | Drosselklappe    | 10 | Gas  |
| 11 | Gasregelstrecke  | 12 | Mischer mit Stellmotor für Gemischregelung |

#### 9.5.4 Hinweise zur Montage von Gasregelstrecken

Für den Betrieb der Gasmotoren dürfen generell nur vom Aggregate-Hersteller frei gegebene Gasregelstrecken eingesetzt werden.

Es dürfen nur von Caterpillar Energy Solutions GmbH frei gegebene Gasschläuche eingesetzt werden.

Die Nennweite eines Gasschlauchs, sowie von Rohrleitungen und Rohrbögen darf die Ausgangsnennweite der Nulldruck-Gasregelstrecke nicht unterschreiten.

Die Gasregelstrecke ist im gleichen Raum wie der Gasmotor anzuordnen, damit der Gasdruckregler auf Veränderungen des Ansaugluftdrucks reagieren kann. Die Öffnung der Atemleitung des Gasdruckreglers (Mengenregelventil) muss sich ebenfalls im gleichen Raum befinden wie der Gasmotor. Beim Einsatz von aggressiven Gasen wie etwa Klärgas, Biogas oder Deponiegas darf für gasführende Teile kein Buntmetall (Messing) verwendet werden.

Gas-Druckregelgeräte und Rohrleitungen sind, ohne Verspannungen einzubauen. Der Pfeil auf dem Stellgliedgehäuse muss in Durchflussrichtung zeigen. Die Einbaulage der Gasregelstrecke ist waagrecht. Regler und Kontrollgeräte sind grundsätzlich in Normal-lage anzuordnen.

Abblasleitungen vom Sicherheitsabblaseventil (SBV) sind mit ausreichendem Querschnitt aus dem Maschinenraum ins Freie zu führen.

Die Gasregelstrecken sind möglichst nahe an dem Gasmotor anzuordnen.

Folgende maximale Abstände von Austritt Nulldruck-Gasregelstrecke bis Eintritt Gas-Luft-Mischer sind einzuhalten:

Baureihe	Inselbetrieb		Netzparallelbetrieb	
	Anschluss mit Kompensator	Anschluss mit Gasschlauch	Anschluss mit Kompensator	Anschluss mit Gasschlauch
TCG 3016, TCG 2020, TCG 3020	max. 1,5 Meter	Nur Gasschlauch ohne weitere Rohrleitungen	max. 3 Meter und max. 3 Rohrbögen (90°)	Nur Gasschlauch ohne weitere Rohrleitungen
TCG 2032	max. 1,5 Meter	Nicht zulässig	max. 3 Meter und max. 3 Rohrbögen (90°)	Nicht zulässig

Für den Fall, dass eine Flammendurchschlagsicherung verbaut ist und die Größe der Gasregelstrecke DN 65 unterschreitet, wird der maximale Abstand zwischen Austritt Gasregelstrecke und Eintritt Gas-Luft-Mischer am Motor auf  $50 \times \text{„Leitungsgröße (DN)“}$  reduziert (Beispiel für DN 50:  $50 \times 50 \text{ mm} = 2,5 \text{ m}$ ).

Der Anschluss am Motor erfolgt über einen flexiblen Schlauch, der als 90°-Bogen verlegt wird, oder einem speziell dafür ausgelegten Kompensator, welcher spannungsfrei eingebaut werden muss. Der Kompensator kann gegebenenfalls mit einem 90° Krümmer zwischen Gasmischer und Kompensator kombiniert werden. Direkt vor dem flexiblen Schlauch oder Kompensator muss eine als Festpunkt ausgeführte Rohrhalterung vorgesehen werden. Der Abstand vom diesem Festpunkt, zum Schlauch oder Kompensator soll nicht größer als  $3 \times DN$  gewählt werden. Die übrige Gasleitung und die Gasregelstrecke müssen ebenfalls fachgerecht gehalten werden, damit keine Vibrationen oder Schwingungen auf die Gasregelstrecke einwirken können.

Je nach Ausrüstung der Anlage kann in der Zuleitung zu den Motoren vor der Regelstrecke ein Gasmengenzähler installiert werden.

Die Auswertegeräte für die Temperaturüberwachung bei der Flammdurchschlagsicherung, für das SAV in der Vordruck-Gasregelstrecke und für die Gasmengenzähler sind in die Schaltanlage einzubauen.

Zur Absicherung der Gasmotorenanlage muss in der Gasanschlussleitung außerhalb des Maschinenraums an einer ungefährdeten Stelle eine von Hand bedienbare Absperrvorrichtung vorhanden sein. Diese Absperrinrichtung ist im Gefahrenfall schnell zu schließen. Es werden fernbedienbare Ventile mit ständig zur Verfügung stehender Hilfsenergie (z. B. Schließfeder) empfohlen.

### Hinweise

Da vor dem Eintritt in den Gasmotor keine weitere Filterung des Gases erfolgt, muss die Leitung zwischen Gasregelstrecke und Gasmischer innen gesäubert werden (siehe [Allgemein \[► 113\]](#)).

In Brenngasgemischen, die auch Sauerstoff als Komponente enthalten (z. B. Klärgas, Biogas und Deponiegas), kann es zu Rückzündungen in der Gasleitung kommen. Auch bei Brenngasen, bei denen der Eintrag von Sauerstoff nicht ausgeschlossen werden kann besteht die Gefahr einer Rückzündung. Um ein Durchschlagen einer Flamme in die gaszuführende Leitung zu vermeiden, sind Flammdurchschlagsicherungen mit Temperaturüberwachung in den Standard-Gasregelstrecken auszuwählen.

Bei Flüssiggasen (z. B. Propan) kann es z. B. bei Tankvorgängen oder Wartungsarbeiten zu einem Sauerstoffeintrag ins Brenngas kommen. In diesen Fällen müssen geeignete Maßnahmen getroffen werden, um eine Rückzündung in die Gasstrecke auszuschließen.

Wenn die Sauerstofffreiheit des Brenngases nicht garantiert werden kann, ist eine für die Gasart zugelassene Flammendurchschlagsicherung mit Temperaturüberwachung notwendig.

### 9.5.5 Brenngassystem bei Mehrmotorenanlagen und hohen Gasdrücken

Bei Mehrmotorenanlagen, die an ein Gasnetz mit höheren Vordrücken (0,5 ... 10 bar) angeschlossen sind, wird empfohlen, jedes Aggregat mit einer Vordruck-Gasregelstrecke und Nulldruck-Gasregelstrecke auszurüsten. Diese Ausführung hat den Vorteil, dass die

Gassammelleitung zu den Aggregaten mit einem kleineren Querschnitt ausgeführt werden kann. Weiterhin hat das System eine höhere Stabilität gegenüber Druckschwankungen, die durch das Anstellen und Abstellen von einzelnen Aggregaten hervorgerufen werden.

Es ist nicht empfehlenswert, mehrere Aggregate mit einer Vordruck-Gasregelstrecke zu betreiben. Werden dennoch mehrere Aggregate von einer Vordruck-Gasregelstrecke gespeist, ist diese so zu dimensionieren, dass bei Volllast aller Aggregate der Maximaldurchfluss sichergestellt ist. Weiterhin ist sicherzustellen, dass bei minimalem Brenngasdurchfluss der Vordruckregler außerhalb des Kleinlastpumpens betrieben wird, z. B. bei Betrieb von nur einem Aggregat im Leerlauf, und Stillstand der übrigen gespeisten Aggregate.

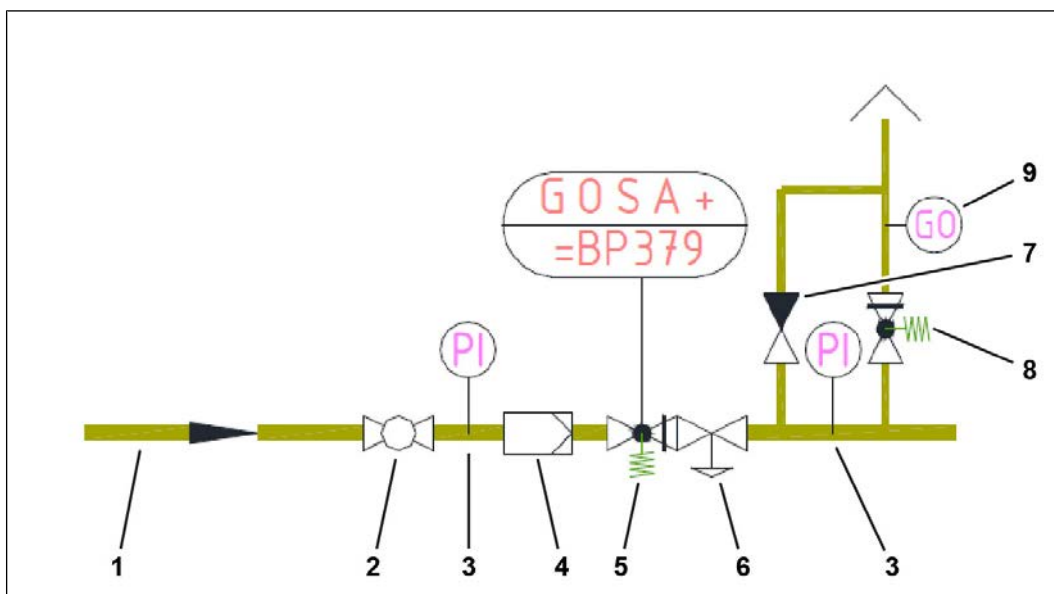
#### **9.5.6 Schnellschlussventil (SSV)**

Vor dem Gasregelstreckensystem ist, unabhängig vom verwendeten Brenngas, zwingend ein Schnellschlussventil (SSV) erforderlich. Dieses SSV bewirkt, dass bei einer Leckage, oder einem vorleckfreiem Bruch, die Havariegasmenge im Aggregaterraum begrenzt wird und die Gasversorgung zu einer selbstversiegenden Quelle wird. Das SSV muss außerhalb des Aggregaterraums, aber sollte möglichst nahe vor den Gasregelstrecken installiert werden, um die Gasmenge in der Rohrleitung zwischen SSV und Aggregat gering zu halten.

#### **9.5.7 Vordruck-Gasregelstrecken**

Die Vordruck-Gasregelstrecke reduziert den Gasdruck auf unter 200 mbar. Die Hauptkomponenten der Vordruck-Gasregelstrecke sind der Kugelhahn am Eintritt, der Brenngasfilter, der Gasdruckregler mit Sicherheitsabsperrentil (SAV) und das Sicherheitsabblaseventil (SBV). Das Sicherheitsabsperrentil schließt die Gaszufuhr ab, wenn der Ausgangsdruck hinter der Vordruck-Gasregelstrecke den eingestellten Grenzwert überschreitet. Kleinere Druckstöße, die z. B. beim Schließen der Magnetventile in der nachgeschalteten Nulldruck-Gasregelstrecke auftreten, werden durch Öffnen des Sicherheitsabblaseventils gegen Federkraft abgefangen.

Den prinzipiellen Aufbau einer Vordruck-Gasregelstrecke zeigt die folgende Abbildung.



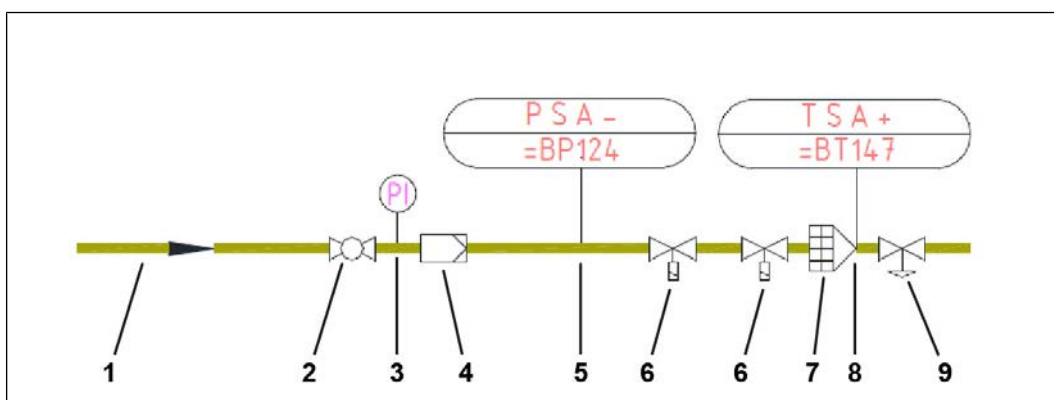
3642287243: Vordruck-Gasregelstrecke

- |                                 |                                  |
|---------------------------------|----------------------------------|
| 1 Brenngas                      | 2 Kugelhahn                      |
| 3 Manometer                     | 4 Brenngasfilter                 |
| 5 Sicherheitsabsperrentil (SAV) | 6 Gasdruckregler                 |
| 7 Kugelhahn zum Entlüften       | 8 Sicherheitsabblaseventil (SBV) |
| 9 Leckgasanzeiger               |                                  |

### 9.5.8 Nulldruck-Gasregelstrecken

Vor der Mischung von Brenngas und Luft im Venturimischer muss die Druckgleichheit von Brenngas und Luft hergestellt werden. Das wird von dem Membran-Nulldruckregler in der Nulldruck-Gasregelstrecke übernommen.

Den prinzipiellen Aufbau einer Nulldruck-Gasregelstrecke zeigt die folgende Abbildung.



3642576651: Nulldruck-Gasregelstrecke

- |             |                  |
|-------------|------------------|
| 1 Brenngas  | 2 Kugelhahn      |
| 3 Manometer | 4 Brenngasfilter |
|             | 6 Kugelhahn      |
|             | 6 Kugelhahn      |
|             | 7 TSA + =BT147   |
|             | 8 Kugelhahn      |
|             | 9 Kugelhahn      |

5	Druckwächter	6	Magnetventil
7	Flammendurchschlagsicherung (projektspezifisch)	8	Temperatursensor (projektspezifisch)
9	Gasdruckregler		

Am Eintritt einer Nulldruck-Gasregelstrecke befindet sich ein manuell zu betätigender Kugelhahn. Danach ist zum Schutz vor Unreinheiten ein Brenngasfilter eingebaut. Der Filtereinsatz besteht aus einer Filtermatte. Vor den Magnetventilen ist immer ein Druckwächter (min.) angebaut. Danach folgen zwei Absperrventile, die je nach Nennweite als Magnetventile oder als pneumatisch betätigte Ventile ausgeführt sind. Kann ein Einbruch von Sauerstoff in das Brenngas nicht sicher verhindert werden, ist eine kurzbrannnsichere bidirektionale Flammendurchschlagsicherung nach DIN EN ISO 16852 vorzusehen. Diese Flammendurchschlagsicherung ist nach den Absperrventilen und vor dem Gasdruckregler zu installieren. Schließlich folgt der Gasdruckregler. Der Gasdruckregler ist als Regler ohne Hilfsenergie ausgeführt. Je nach den für die Anlage geforderten Sicherheitsauflagen kann die Gasregelstrecke mit einer Dichtheitskontrolle, oder einem Zwischenentlüftungsventil bzw. einem Druckwächter (max.) ausgerüstet werden.

Die Nulldruck-Gasregelstrecken können mit einem Vordruck von bis zu 200 mbar betrieben werden. Bei höheren Vordrücken ist entweder ein Vordruckregler (Eingangsdruk < 500 mbar) oder eine Vordruck-Gasregelstrecke (Eingangsdruk > 500 mbar) erforderlich.

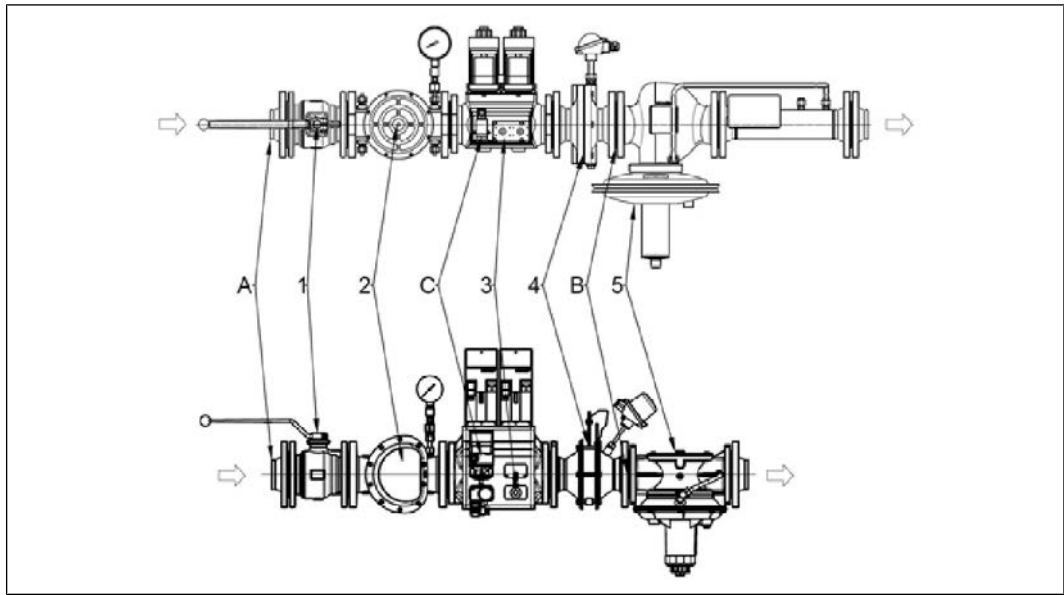
## Anforderungen an die Gaszufuhr zur Nulldruck-Gasregelstrecke

Für einen störungsfreien Betrieb des Gasmotors ist ein Mindestgasdruck von ca. 10 mbar bis 20 mbar direkt am Eintritt des Gasdruckregler der Nulldruck-Gasregelstrecke zu gewährleisten (siehe folgende Abbildung, Position B). Der Mindestdruck berechnet sich aus dem KG-Wert des Reglers, dem trockenem Durchfluss bei Volllast und dem Gasäquivalentfaktor, wenn die Gasart und damit die Gasdichte abweichend von Erdgas ist. Basierend auf dem Mindestgasdruck am Eintritt des Gasdruckregler ist der Mindestgasdruck vor der Nulldruck-Gasregelstrecke durch den Aufbau der Nulldruck-Gasregelstrecke definiert (siehe folgende Abbildung).

Der erforderliche relative Mindestdruck am Eintritt der Nulldruck-Gasregelstrecke (siehe folgende Abbildung, Pos. A) ist von folgenden Faktoren abhängig:

- Volumenstrom Brenngas
- Temperatur Brenngas
- Relative Feuchte Brenngas
- Dichte Brenngas
- Gasäquivalentfaktor, wenn abweichend zu Erdgas
- Nennweite der Nulldruck-Gasregelstrecke
- Summe Druckverluste der Einzelbauteile der Nulldruck-Gasregelstrecke





3642579851: Nulldruck-Gasregelstrecke

- |   |                                  |   |  |
|---|----------------------------------|---|--|
| 1 | Kugelhahn                        | 2 | Brenngasfilter                             |
| 3 | Magnetventil                     | 4 | Flammendurchschlagsicherung                |
| 5 | Gasdruckregler                   | A | Brenngaseintritt Nulldruck-Gasregelstrecke |
| B | Brenngaseintritt Nulldruckregler | C | Druckwächter                               |

Jede Nulldruck-Gasregelstrecke enthält einstellbaren Druckwächter (min.). Der Druckwächter (min.) muss so eingestellt werden, dass mit diesem Vordruck ein störungsfreier Betrieb des Gasmotors bei Volllast gewährleistet ist. Eine Unterschreitung des eingestellten Mindestdrucks verhindert den Aggregatstart oder führt zur Abstellung des Aggregats. Der Einbauort des Druckwächters ist in der Regel zwischen Brenngasfilter und den Magnetventilen (siehe obige Abbildung, Pos. C). Der am Eintritt der Nulldruck-Gasregelstrecke zu gewährleistende Vordruck muss also größer sein als der Einstellwert des Druckwächters plus dem Druckverlust der vorgelagerten Bauteile bei Volllast.

Der Mindestgasvordruck gemäß der aktuell gültigen SPI ist erforderlich.

Laständerungen bei steilen Netzparallelrampen und bei Lastsprüngen im Inselbetrieb führen am Gasmotor zu Veränderungen im Brenngasverbrauch und damit auch zu Veränderungen des Druckverlustes über die Nulldruck-Gasregelstrecke. Diese Veränderungen sollen sich nach Möglichkeit nicht oder nur im begrenzten Rahmen auf den Vordruck vor der Nulldruck-Gasregelstrecke auswirken. Dies gilt in gleicher Weise auch beim Start des Gasmotors. Hier ist die zeitliche Änderung des Gasvolumenstroms am größten. Deshalb muss ein Puffervolumen zwischen der Nulldruck-Gasregelstrecke und der Gasversorgung vorgehalten werden. Das Puffervolumen sollte in der Größenordnung von  $1 \text{ m}^3 \text{ i. N.}$  (im Normzustand) pro  $1000 \text{ m}^3 \text{ i. N.} / \text{h}$  Gasverbrauch liegen. Als Puffervolumen kann die Rohr-

leitung zwischen der Gasversorgung und der Nulldruck-Gasregelstrecke angesehen werden. Bei Biogasanlagen übernehmen diese Funktion z. B. die Aktivkohlefilter, die normalerweise zwischen Brenngasverdichter und Nulldruck-Gasregelstrecke eingebaut sind.

**Beispiel:**

Ein Gasmotoren-Aggregat hat einen Erdgasverbrauch von  $480 \text{ m}^3 \text{ i. N.} / \text{h}$ , der Brenngasvordruck beträgt 100 mbar. Wenn man die Rohrleitung vor der Nulldruck-Gasregelstrecke als Puffervolumen ansieht und die Nennweite der Leitung mit DN 125 ansetzt, ergibt sich eine Leitungslänge von ca. 35,6 m.

Um das vorgelagerte Netz so kurz wie möglich zu halten, kann auch der Eingangsdruck erhöht werden, was dann aber ggf. zum Einsatz einer Vordruck-Gasregelstrecke führt.

Nulldruck-Gasregelstrecken werden im Betrieb mit einem max. Eingangsdruck von 200 mbar beaufschlagt, das Optimum für den Aggregatebetrieb liegt bei ca. 150 mbar. Die Komponenten sind aber für Erdgas für einen maximalen Druck von 500 mbar ausgelegt. Bei Bio- und Sondergasregelstrecken liegt der maximale Druck je nach eingesetzter Flammendurchschlagsicherung bei 200 ... 400 mbar. Bei Systemen mit Eingangsdrücken größer als 200 mbar und kleiner als 500 mbar Überdruck reichen daher einstufige Vordruckregler aus, um den Druck auf den Eingangsdruck der Nulldruck-Gasregelstrecke zu reduzieren. Bei Vordrücken größer 500 mbar ist der Einbau einer Vordruck-Gasregelstrecke mit Sicherheitsabsperrentil (SAV) und Sicherheitsabblaseventil (SBV) erforderlich. Vorregler sind in der Regel direkt in der Nulldruck-Gasregelstrecke nach dem Brenngasfilter eingebaut. Vordruck-Gasregelstrecken sind in unmittelbarer Nähe vor Nulldruck-Gasregelstrecken installiert. Vordruckregler und Vordruck-Gasregelstrecken sind zusammen mit den Nulldruck-Gasregelstrecken als Gesamtsystem abgestimmt. In diesen Fällen gilt die Forderung nach dem einzuhaltenden Puffervolumen vor der Nulldruck-Gasregelstrecke nicht.

## 9.5.9 Zweigasbetrieb

### Zweigasbetrieb mit Umschaltung im Stillstand

Jede Gasart benötigt eine eigene Gasregelstrecke mit Filterung, Absperrventilen und der genauen Druckhaltung. Die beiden Gasarten werden nach dem Durchströmen der Gasregelstrecken über getrennte oder eine gemeinsame Rohrleitung dem Motor zugeführt.

Bedingt durch die unterschiedlichen Heizwerte oder Vordrucke der beiden Gase können sich starke Unterschiede bei den Nennweiten der Gasregelstrecken und damit auch bei den Nennweiten der Verbindungsleitungen zum Gasmischer am Motor ergeben. Hier muss besonders darauf geachtet werden, dass das Totvolumen zwischen Gasregelstrecken und Gasmischer am Motor für die jeweilige Betriebsart möglichst klein gehalten wird. Deshalb ist es besonders bei großen Nennweitenunterschieden erforderlich, dass die beiden Gasleitungen zum Gasmischer in der Nennweite der jeweiligen Gasregelstrecke verlegt und erst unmittelbar vor dem Gasmischer zusammengeführt werden.

Getrennte Leitungen sind vorzusehen, wenn der Nennweitenunterschied zwischen den beiden Leitungen größer oder gleich zwei Nennweiten ist.

Bei ungünstigen Konstellationen kann die Interaktion zwischen den Membranen der beiden Nulldruckregler zu permanenten Druckschwankungen in dem Gasvolumen zwischen den Nulldruck-Gasregelstrecken und dem Gas-Luft-Mischer führen. Das kann so weit führen, dass ein stabiler Betrieb des Gasmotors nicht möglich ist. In diesen Fällen muss in der jeweiligen Brenngasleitung eine weitere automatische Absperreinrichtung vor dem Gas-Luft-Mischer vorgesehen werden.

Zweigasbetrieb ist nur mit einem Multigasemischer (verstellbarer Spalt) möglich. Das Umschalten von einer Gasart in die andere erfolgt bei Stillstand des Motors durch Umschalten der Magnetventile an den Gasregelstrecken.

### **Zweigasmischbetrieb**

Ein Zweigasmischbetrieb dient dem gleichzeitigen Betrieb mit einem Brenngasgemisch aus zwei Brenngasarten und dem kontinuierlichen Wechsel zwischen zwei Brenngasarten im Betrieb ohne Abstellen des Aggregats.

Im Zweigasmischbetrieb lässt sich das Aggregat mit Mischungsverhältnissen zwischen ca. 10 Vol.-% und 90 Vol.-% Gasart A sowie ca. 10 Vol.-% und 90 Vol.-% Gasart B betreiben. Ein Betrieb mit 100 Vol.-% Gasart A oder 100 Vol.-% Gasart B ist ebenfalls möglich.

Für den Zweigasmischbetrieb wird eine Gasmischanlage benötigt. Die Ansteuerung dieser muss über zum Aggregate gehörende Anlagensteuerung (TEM/TPPEM-System) erfolgen. Die Steuerung der Gasmischanlage durch das TEM/TPPEM-System ist als offener Regelkreis ohne Rückkopplung eines Messwertes ausgeführt. Nach der Gasmischanlage wird nur eine Nulldruck-Gasregelstrecke eingesetzt, welche für das schwächere der beiden Brenngase ausgelegt ist.

Ein Zweigasmischbetrieb stellt erhöhte Anforderungen an die mindestens benötigten Gas-eingangsrücke in die Gasmischanlage. Der Aggregate-Start kann gegebenenfalls nur mit einem der beiden Gase erfolgen, ein Starten mit Mischgas ist nicht möglich.

Ein Zweigasmischbetrieb ist ausschließlich im Netzparallelbetrieb zulässig. Er ist nur nach der Synchronisierung mit dem Stromnetz und ab ca. 40 % elektrischer Leistung möglich. Es kann dabei zu Einschränkungen bezüglich der maximal möglichen elektrischen Leistung und zu Schwankungen der Stickoxid-Emissionen kommen.

## **9.5.10 Atmungsleitungen und Abblaseleitungen**

Die Öffnung der Atemleitungen der Nulldruckregler muss sich im gleichen Raum befinden wie der Gasmotor. Bei Vordruckreglern mit Sicherheitsmembran kann die Atemleitung ins Freie entfallen.

Ansonsten gilt folgendes:

Leitungen zur Atmosphäre sind ohne Querschnittsverengung (Druckverlust beachten) in der vom Hersteller des Gasdruckreglers und der Sicherheitseinrichtung vorgesehenen Dimensionierung zu verlegen.

Atmungsleitungen dürfen nicht absperrenbar sein. Abblaseleitungen dürfen grundsätzlich nicht mit Atmungsleitungen in eine Sammelleitung zusammengeführt werden. Ausgenommen sind Leitungen zur Atmosphäre an Geräten, in denen Atmungsabblaseeinrichtungen und Sicherheitsabblaseeinrichtungen apparativ zusammengefasst sind.

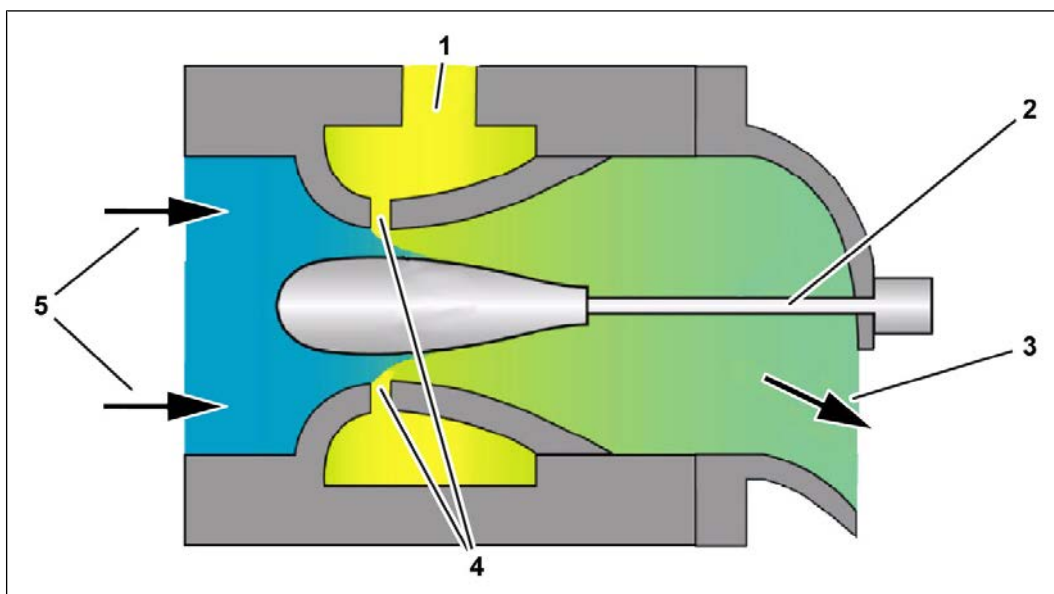
Gemäß DVGW-Merkblatt G 491 gilt: Atmungsleitungen und Abblaseleitungen sind ins Freie zu führen. Die an den Austrittsstellen freigesetzten Gase sind gefahrlos abzuführen. Innerhalb der explosionsgefährdeten Bereiche an Ausblaseöffnungen dürfen sich keine Zündquellen befinden. Weiterhin müssen die Ausblaseöffnungen gegen das Eindringen von Fremdstoffen, die eine Verstopfung oder eine Störung der Geräte bewirken können, geschützt sein. Hinweise zur Gestaltung der Gasausbläser und zur Ermittlung der explosionsgefährdeten Bereiche an Ausblaseöffnungen von Leitungen zur Atmosphäre sind im DVGW-Merkblatt G 442 angegeben. Gegebenenfalls sind andere national gültige Regelwerke anzuwenden.

#### 9.5.11 Gasmischer

Die Mischung von Luft und Gas erfolgt im Mischer. Der Mischer ist als Venturi-Rohr ausgeführt. Dabei strömt die Luft durch eine düsenartige Verengung und danach durch einen sich allmählich erweiternden Diffusor. In der Verengung wird die Strömung beschleunigt und im Diffusor wieder möglichst verlustarm verzögert. Bei der Beschleunigung in der Verengung (Düse) entsteht Unterdruck, sodass im engsten Querschnitt an einem Spalt das Gas selbsttätig dazu gesaugt wird. Bei der anschließenden Verzögerung steigt der Druck wieder auf nahezu Atmosphärendruck an, sodass der Mischvorgang ohne großen Druckverlust stattfindet.

Der Vorteil dieser Mischungsart ist, dass die Mengen von Luft und Gas zueinander im gleichen Verhältnis bleiben, auch wenn sich für eine Leistungsveränderung die Drosselklappenstellung und damit auch der zentrale Luftmassenstrom ändert.

Zum Einsatz kommt ein Multigas-Mischer, bei dem die Spaltgeometrie im Mischer selbst über einen Stellmotor verändert wird. Voraussetzung für die exakte Beibehaltung des Mischungsverhältnisses Gas zu Luft ist, dass der Gasdruck vor dem Zumischspalt gleich dem Luftdruck vor dem Venturi-Rohr ist. Die folgende Abbildung zeigt das Prinzip eines Gas-Luftmischers mit verstellbarem Spalt.



3642584331: Multigas-Mischer

- |   |                          |   |                                      |
|---|--------------------------|---|--------------------------------------|
| 1 | Gaseintritt              | 2 | Verbindungsgestänge zum Schrittmotor |
| 3 | Gas-Luft-Gemischaustritt | 4 | Gasspalt                             |
| 5 | Lufteintritt             |   |                                      |

### 9.5.12 Drosselklappe

Über die Drosselklappe wird die Menge des verdichteten Gemisches zum Motor und damit letzten Endes die vom Motor abgegebene Leistung bzw. Drehzahl geregelt.

## 9.6 Hinweise zum Brenngassystem

### 9.6.1 Anfahren von Biogasanlagen

Wenn in der Anfangsphase noch kein Biogas vorhanden ist, kann man zum Anfahren Alternativgase verwenden. Zulässige Alternativgase und Motoreinstellungen sind in einem technischen Rundschreiben festgehalten.

Durch die eingeschränkte maximale mechanische Leistung und ggf. höheren Heizwert  $H_i$  des Alternativgases ist die installierte Biogas-Regelstrecke normalerweise ein paar Nummern zu groß. Aus diesem Grund muss der Eingangsdruck des Alternativgases möglichst niedrig einstellbar sein (ca. 5 mbar bis 30 mbar).

Der Einsatz von festen Blenden zur Absenkung des Eingangsdrucks ist nicht möglich (zu geringer Volumenstrom beim Start bzw. im Leerlauf).

Die entsprechende Verstellung des Nulldruckreglers muss durch einen autorisierten Inbetriebnehmer durchgeführt werden.

### 9.6.2 Wartung, Instandhaltung

Bei Arbeiten an Gasleitungen sind u.a. die DGUV I 203-092 und das DVGW-Arbeitsblatt G 491 und G 495 oder andere national gültige Regelwerke zu beachten. Insbesondere ist zu beachten, dass Arbeiten am Gassystem (z. B. Öffnen einer Gasregelstrecke, Demontage und Wartung eines Gerätes) nur in drucklosem Zustand erfolgen darf und nur von unterwiesenen und qualifizierten Fachkräften durchgeführt werden darf. Bei den Instandhaltungsintervallen sind die für den jeweiligen Betrieb vom Gerätehersteller angegebenen Empfehlungen für die Durchführung von Sichtkontrolle, Inspektion, Funktionsprüfung und Wartung unbedingt einzuhalten.

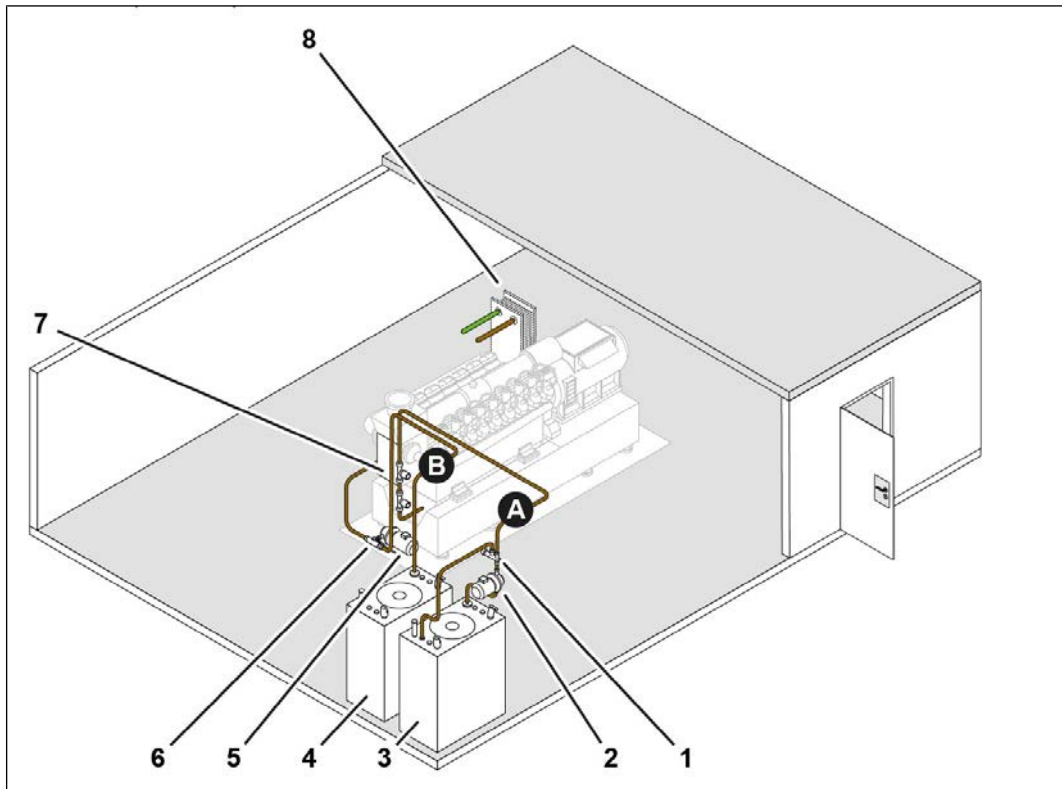
## 10 Schmierölsystem

### Inhaltsverzeichnis

10.1	Systemübersicht .....	192
10.2	Aufbau und Funktion .....	192
10.2.1	Aggregat .....	192
10.2.2	Anlage .....	193
10.3	Anforderungen und Richtwerte .....	194
10.3.1	Gasmotoren .....	194
10.3.2	Frischöltank .....	194
10.3.3	Altöltank .....	194
10.3.4	Tagestank .....	194
10.3.5	Containeranwendung .....	195
10.4	Komponenten Schmierölsystem .....	195
10.4.1	Einführung .....	195
10.4.2	Motorvorschmierung .....	195
10.4.3	Kurbelgehäuseentlüftung .....	195
10.5	Schmieröl .....	196
10.5.1	Schmierölsorten .....	196
10.5.2	Schmieröl bei Biogasanwendungen .....	196
10.5.3	Schmierölwechsel, Schmierölnachfüllung .....	196

## 10.1 Systemübersicht

Die schematische Abbildung zeigt und benennt typische Bestandteile und Schnittstellen als Hilfe für den Einstieg. Proportionen sind deshalb nicht maßstäblich, die Anordnung beispielhaft.



3620526731: Beispielabbildung in vereinfachter Darstellung

A	Frischölsystem	B	Altölsystem
1	Überströmventil	2	Frischölpumpe
3	Frischöltank	4	Altöltank
5	Vorschmierpumpe	6	3-Wege-Ventil
7	Schmierölmagnetventile	8	Externer Schmieröl-Plattenwärmetauscher (nur bei TCG 3032)

## 10.2 Aufbau und Funktion

### 10.2.1 Aggregat

Die Schmierölsysteme der Motoren sind als Nasssumpfschmierung ausgeführt. Die folgende Tabelle zeigt die für die Motorbaureihen angewandten Schmierölsysteme.

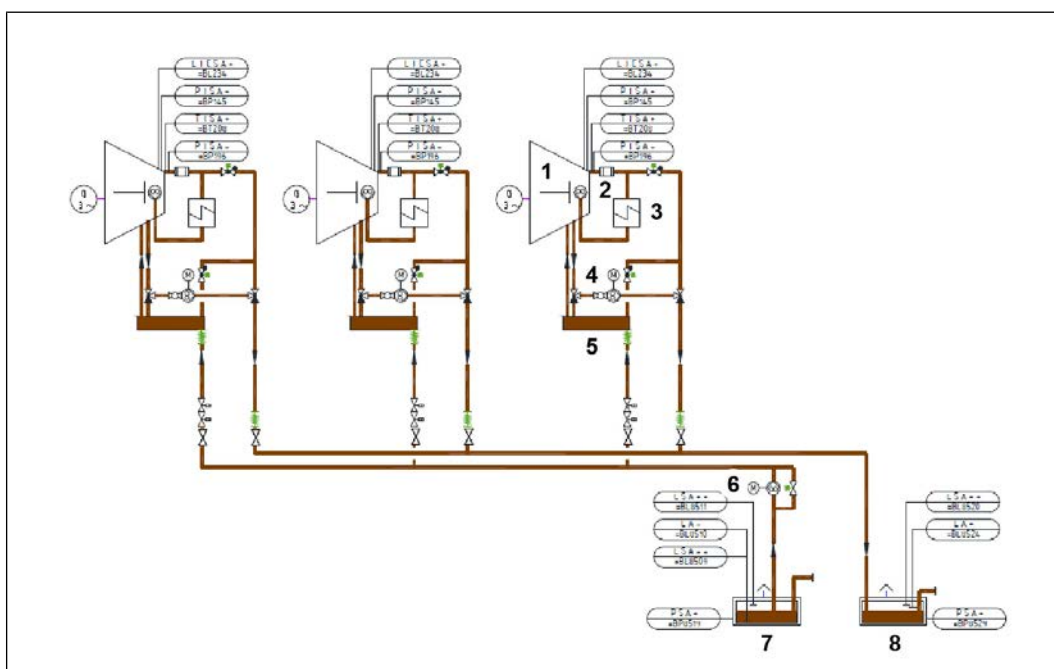


Motortyp	Nasssumpf Ölwanne am Motor	Erweiterter Öltank im Grundrahmen	Frischöltank im Grundrah- men	Externer Öl- tank in der Anlage
TCG 3016	X	X	X	
TCG 2020	X	X		
TCG 3020	X	X		
TCG 2032	X			

Tab. 21: Motortypen und Schmierölsysteme

## 10.2.2 Anlage

Das Schmierölsystem der Anlage ist abhängig von der Auslegung.



3689774987: Schmierölsystem einer Anlage

- |   |                    |   |                 |
|---|--------------------|---|-----------------|
| 1 | Gasmotor           | 2 | Schmierölfilter |
| 3 | Schmierölkühler    | 4 | Vorschmierpumpe |
| 5 | Grundrahmen Öltank | 6 | Frischölpumpe   |
| 7 | Frischöltank       | 8 | Altöltank       |

## 10.3 Anforderungen und Richtwerte

### 10.3.1 Gasmotoren

Bei der Baureihe TCG 2032 sind die Komponenten für den externen Schmierölkreislauf (z. B. Wärmetauscher) auf dem Niveau des Aggregatefundamentes oder tiefer anzuordnen. Diese Anordnung verhindert bei stehender Maschine den Rücklauf von Öl aus diesen Komponenten in die Ölwanne. Bei Anlagen mit TCG 2032 sollte der externe Schmierölkühler möglichst nahe an dem Aggregat aufgestellt werden. Dadurch wird in dem anlagenseitigen System die Schmierölmenge möglichst klein gehalten.

In die Rohrleitungen zwischen dem Aggregat und dem Schmierölkühler dürfen keine Absperrorgane eingebaut werden. Die Nennweite der Rohrleitungen muss mindestens DN 125 betragen, der Nenndruck der Leitungen mindestens 16 bar. Externe Schmierölkühler, inklusive Einbauteile, sind ebenfalls auf mindestens 16 bar auszulegen. Die Schmierölleitungen zwischen Aggregat und Schmierölkühler müssen unterhalb des Niveaus vom Schmierölaustritt am Aggregat verlegt werden. Für den Fall, dass der obere Anschluss am Schmierölkühler höher liegt als der Schmierölaustritt am Aggregat, müssen die Leitungen unterhalb dieses Niveaus verlegt werden.

Bei Verwendung von synthetischem Öl ist auf Materialien zu achten, die für esterbasiertes Öl zugelassen sind.

Der Ölkühler sollte nicht direkt vor den Luftfiltern des Motors installiert werden, da die Strahlungswärme des Ölkühlers die Verbrennungslufttemperatur beeinflussen kann. In diesen Fällen muss der Wärmetauscher isoliert werden.

Die bei Gasmotoren an den Motoren angebauten Schmierölfilter sind für den Betrieb gemäß Wartungsplan ausgelegt. Zur Schmierölaufbereitung ist keine weitere Maßnahme anlagenseitig nötig.

### 10.3.2 Frischöltank

Der Frischöltank sollte so angeordnet sein, dass er sich durch Schwerkraft nicht in den Motor entleeren kann. Im Allgemeinen erfolgt die Schmierölnachfüllung mit einer Zahnradpumpe und definierter Nachfüllmenge. Gegenüber einer Nachfüllung mit Schwerkraft hat diese Ausführung Vorzüge. Die Größe der Vorrattanks richtet sich nach der Betriebsart der Anlage und der damit verbundenen Ölbevorratung. Als minimale Größe empfiehlt sich die Menge eines Ölwechsels plus die Verbrauchsmenge für zwei Ölwechselintervalle.

### 10.3.3 Altöltank

Als minimale Größe empfiehlt sich die Menge von zwei Ölwechseln.

### 10.3.4 Tagestank

Falls ein Tagestank für die Nachfüllung vorgesehen wird, ist er für die Verbrauchsmenge von ca. 200 Bh auszulegen (z. B. für TCG 2032 ca. 600 dm<sup>3</sup>).

### 10.3.5 Containeranwendung

In Containern ist das Platzangebot, je nach eingebautem Aggregat und Zubehör, mehr oder weniger stark eingeschränkt. Bei diesem Platzangebot können die oben gemachten Empfehlungen für die Größe von Frischöltank und Altöltank nur bedingt eingehalten werden.

## 10.4 Komponenten Schmierölsystem

### 10.4.1 Einführung

Alle Motorbaureihen verfügen über angebaute Schmieröldruckpumpen, die Schmierölfiltration und Schmierölkühlung erfolgt über am Motor angebaute oder externe Filter und Ölkühler.

### 10.4.2 Motorvorschmierung

Für alle Motortypen ist generell eine Vorschmierung vorgesehen. Die Vorschmierung reduziert den Motorverschleiß deutlich. Zur Vorschmierung werden elektrisch angetriebene Vorschmierpumpenaggregate eingesetzt. Die Vorschmieraggregate sind am Aggregatgrundrahmen oder an der Ölwanne angebaut. Das Schmieröl durchfließt beim Vorschmieren alle im Schmierölsystem eingebauten Komponenten zwischen Ölpumpe und Motor (Filter, Kühler). Die Fördermengen und Förderdrücke der Pumpenaggregate sind auf den jeweiligen Motortyp abgestimmt.

Die Vorschmierung der Motoren erfolgt beim Stillstand der Motoren unmittelbar vor dem Start. Optional kann auch eine so genannte Intervallvorschmierung vorgesehen werden. D. h. der Motor wird in festgelegten Intervallen im Stillstand für eine definierte Zeit vorgeschmiert.

Bei Anlagen mit Gasmotoren übernimmt die Steuerung der Vorschmierung das TEM-System bzw. TPEM-System. Bei laufendem Motor ist die Vorschmierung nicht aktiv. Die Baureihe TCG 2032 hat keine Intervallvorschmierung und muss vor jedem Start vorgeschmiert werden.

### 10.4.3 Kurbelgehäuseentlüftung

Die Motoren aller Baureihen verfügen über eine geschlossene Kurbelgehäuseentlüftung. Kurbelgehäusedämpfe gelangen hierbei über einen Ölabscheider zurück in die Verbrennungsluft- bzw. Gemischleitung.

Das abgeschiedene Schmieröl fließt zurück in den Kurbelraum.

Bei einigen Aggregaten wird zur Unterstützung der Kurbelgehäuseentlüftung zusätzlich ein Sauggebläse eingesetzt.

## 10.5 Schmieröl

### 10.5.1 Schmierölsorten

In dem technischen Rundschreiben TR 2105 für Schmieröl sind die Schmieröle der namhaften Lieferanten aufgelistet. Nur diese Schmieröle sind für den Betrieb bei den Gasmotoren freigegeben. Andere Schmieröle dürfen ohne Freigabe nicht eingesetzt werden. Im Rundschreiben TR 2105 finden sich auch Angaben zu Schmieröl-Wechselintervallen, Gebrauchtöl-Analysen und über die Wartung der am Motor angebauten Schmierölfilter.

Vor Inbetriebnahme muss eine Analyse des gelieferten Frischöls mit der Werkspezifikation des Herstellers verglichen werden.

### 10.5.2 Schmieröl bei Biogasanwendungen

In dem technischen Rundschreiben TR 2135 „Optimierung des Ölmanagements bei Biogasanwendungen“ sind für die Gasmotoren zusätzliche Hinweise für das Schmieröl bei Biogas angegeben.

### 10.5.3 Schmierölwechsel, Schmierölnachfüllung

Gemäß der Betriebsanleitung des jeweiligen Motors sind Schmierölwechsel durchzuführen und bei Dauerbetriebsaggregaten muss der Schmierölverbrauch durch Nachfüllen von frischem Schmieröl kompensiert werden. Bei dem Schmierölwechsel ist darauf zu achten, dass auch das Öl in den anlagenseitigen Komponenten wie z. B. Rohrleitungen, Wärmetauscher usw. gewechselt wird. Dazu sind an den jeweils tiefsten Stellen des anlagenseitigen Systems Ablassmöglichkeiten für das Schmieröl vorzusehen. Je nach Anlagenaufbau ist es zweckmäßig, eine fest installierte oder mobile Entleerpumpe vorzusehen.

Aus dem Frischöltank erfolgt die Nachfüllung mit frischem Schmieröl mit der Nachfüllpumpe. Die Schmierölnachfüllung erfolgt entweder von Hand oder automatisch. Bei Anlagen mit Gasmotoren steuert das TEM-System bzw. TPPEM-System die Schmierölnachfüllung.

In der Schmierölnachfüll-Leitung sind vor dem Motor zwei Magnetventile in Reihe eingebaut. Bei Erreichen des Min.-Niveaus in der Ölwanne öffnet das TEM-System bzw. TPPEM-System die Magnetventile (und/oder startet die Nachfüllpumpe) und füllt so Schmieröl nach. Wird das Max.-Niveau erreicht, schließen die Magnetventile (und/oder stoppt die Nachfüllpumpe).

Bei Nachfüllung durch Schwerkraft aus dem Tagestank ist darauf zu achten, dass die Leitungen einen entsprechend großen Querschnitt haben und das Öl durch Kälte nicht zu zäh wird.

Das Entleeren der Schmierölwanne erfolgt mit der Vorschmierpumpe.

Durch Umlegen des in der Leitung nach der Vorschmierpumpe eingebauten Dreiwegehahnes wird das Altöl in den Altölbehälter gepumpt. Mit der Ölnachfüllpumpe wird danach frisches Öl eingefüllt. Der Dreiwegehahn hinter der Vorschmierpumpe wird wieder in die Position „Vorschmieren“ umgelegt. Betätigen der Vorschmierpumpe füllt das komplette Schmierölsystem wieder mit Schmieröl.

#### HINWEIS

Beim Umgang und bei der Lagerung von Frischölen bzw. Altölen sind die jeweiligen Sicherheitsvorschriften und sonstigen gesetzlichen Vorschriften unbedingt zu beachten.



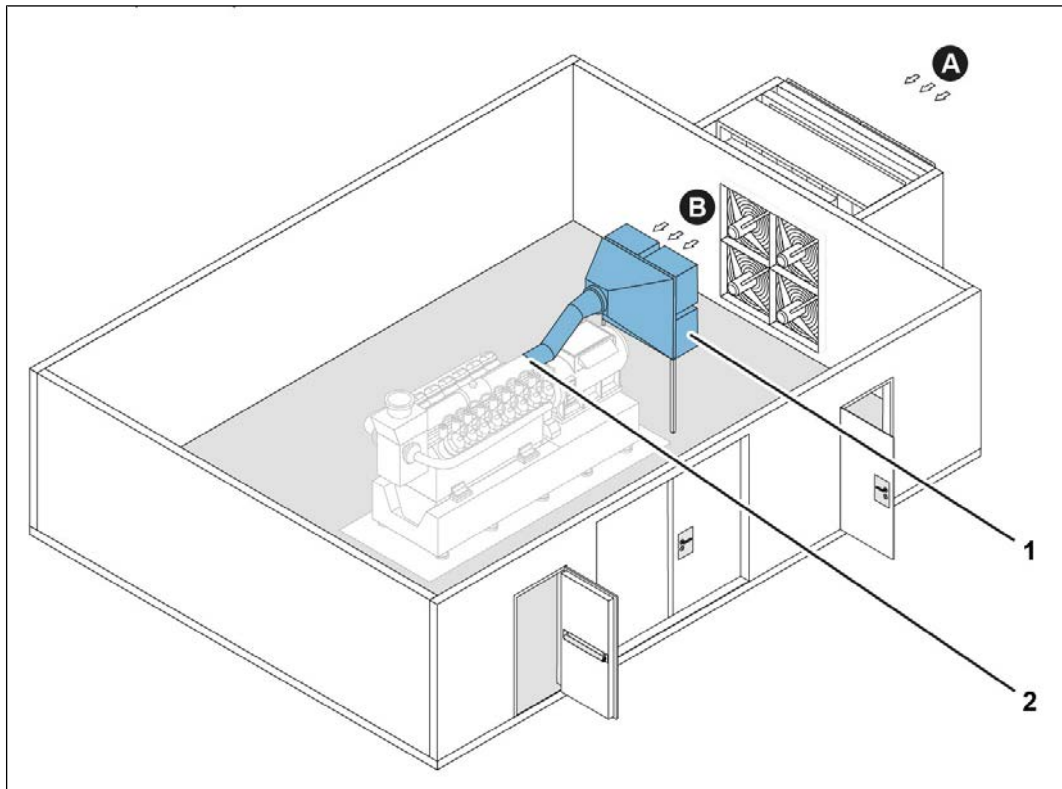
# 11 Verbrennungsluftsystem

## Inhaltsverzeichnis

11.1	Systemübersicht .....	200
11.2	Aufbau und Funktion .....	200
11.2.1	Definition Umgebungsluft.....	200
11.2.2	Definition Verbrennungsluft .....	201
11.3	Anforderungen und Richtwerte .....	201
11.3.1	Anforderungen an die Verbrennungsluft.....	201
11.3.2	Zusammensetzung der Verbrennungsluft.....	202
11.3.3	Schädliche Komponenten in der Verbrennungsluft .....	202
11.3.4	Filterung der Verbrennungsluft .....	203
11.3.5	Tropenbedingungen.....	204
11.3.6	Verbrennungsluftmenge .....	204
11.4	Komponenten des Verbrennungsluftsystems .....	205
11.4.1	Filterungsarten für die Verbrennungsluft .....	205
11.4.2	Schalldämpfer .....	205
11.4.3	Verbrennungsluftleitung.....	205
11.5	Druckverluste .....	206

## 11.1 Systemübersicht

Die schematische Abbildung zeigt und benennt typische Bestandteile und Schnittstellen als Hilfe für den Einstieg. Proportionen sind deshalb nicht maßstäblich, die Anordnung beispielhaft.



3620528395: Beispielabbildung in vereinfachter Darstellung

A	Umgebungsluft	B	Verbrennungsluft
1	Verbrennungsluftfilter	2	Verbrennungsluftleitung

## 11.2 Aufbau und Funktion

### 11.2.1 Definition Umgebungsluft

Die Luft in der freien Umwelt bezeichnet man als Umgebungsluft.

Die Umgebungsluft versorgt die Gasmotorenanlage mit der für die Kühlung und Verbrennung erforderlichen Luftmenge.

Die Umgebungslufttemperatur wird ausschließlich im Freien und immer in zwei Meter Höhe über Grund gemessen. Die Messung darf nur abgeschattet und somit nicht in der prallen Sonne erfolgen. Einflüsse durch Wärmestrahlung (zum Beispiel durch eine Hauswand) müssen ebenfalls vermieden werden.

In Abhängigkeit der Gestaltung des Anlagen-Belüftungssystems kann es zu einer Erhöhung oder auch Absenkung gegenüber der gemessenen Umgebungslufttemperatur kommen.



## 11.2.2 Definition Verbrennungsluft

Als Verbrennungsluft (oder auch Ansaugluft) wird jene Luft bezeichnet, die sich unmittelbar vor dem Verbrennungsluftfilter des Gasmotors befindet.

Die Temperatur der Verbrennungsluft kann von der Temperatur der Umgebungsluft abweichen.

## 11.3 Anforderungen und Richtwerte

### 11.3.1 Anforderungen an die Verbrennungsluft

In den Datenblättern wird die elektrische Klemmenleistung entsprechend der Norm ISO 8528-1 angegeben. In dieser Norm sind bezüglich der Verbrennungsluftparameter folgende Normbezugsbedingungen festgelegt:

Lufttemperatur	298 K (25 °C)
Luftdruck	1000 mbar (100 kPa)
Relative Luftfeuchte	30 %

Tab. 22: Normbezugsbedingungen für Verbrennungsluft

Die Leistungsangabe in den Datenblättern kann von den Normbezugsbedingungen gemäß obiger Tabelle abweichen.

In Abhängigkeit der tatsächlichen Aufstellbedingungen sind auf den Datenblättern die kundenspezifischen Bezugsbedingungen aufgeführt.

Start und Betrieb des Motors: Anforderungen bezüglich der Verbrennungslufttemperatur:

- Beim Start des Motors darf die auf dem Datenblatt angegebene minimal zulässige Verbrennungslufttemperatur nicht unterschritten werden
- Beim Betrieb des Motors sind die Verbrennungslufttemperaturen (Minimum / Auslegung) gemäß Datenblatt bzw. RI-Fließbild einzuhalten
- Bei vorhandener Luftvorwärmung muss die dem Motor zugeführte Verbrennungsluft für Bank A und Bank B die gleiche Temperatur haben

Einfluss von Betriebsbedingungen, die von den auf dem Aggregate-Datenblatt angegebenen Bezugsbedingungen abweichen:

- Verbrennungslufttemperaturen, welche die auf dem Aggregate-Datenblatt angegebene minimal zulässige Verbrennungslufttemperatur unterschreiten, können aufgrund Verdichterpumpen mit hierdurch bedingter klopfender Verbrennung zu massiven Schäden am Turbolader und am Motor führen
- Aufstellhöhen, welche die auf dem Aggregate-Datenblatt aufgeführte Höhe deutlich unterschreiten, können zu massiven Motorschäden führen
- Verbrennungslufttemperaturen und Aufstellhöhen, die nach oben von den Bezugsbedingungen abweichen, können zu einer Leistungsreduktion führen

### 11.3.2 Zusammensetzung der Verbrennungsluft

Bei der Verbrennungsluft geht man von der normalen Zusammensetzung trockener Luft plus einem Anteil Wasserdampf aus.

#### Relative Luftfeuchte

Die relative Luftfeuchte ist ein prozentuales Verhältnismaß. Sie beschreibt, wie stark die Verbrennungsluft gesättigt ist und wie nah sich der Zustand der Verbrennungsluft an der Sättigungslinie befindet.

Zusammen mit der Angabe der bei der Messung der relativen Feuchte vorherrschenden Lufttemperatur und des Luftdruckes kann die Masse des Wasserdampfanteils in der Luft bestimmt werden.



#### Zerstörungsgefahr von Bauteilen

Hohe Kondensatmengen können zu Schäden am Motor führen

Für die Bestimmung der Motoreinstellwerte oder auch Betriebsgrenzen des Motors ist eine möglichst genaue Angabe der Vorort maximal auftretenden relativen Luftfeuchte erforderlich (zusammen mit der hierzu gehörenden Lufttemperatur und dem entsprechenden Luftdruck oder der Motoraufstellhöhe)

Ein hoher Wasserdampfanteil in der Verbrennungsluft kann gegebenenfalls zur Kondensation des Wasserdampfes im Verbrennungsluft- bzw. Gemischsystem des Motors führen

#### Hauptbestandteile von trockener Luft

In der folgenden Tabelle sind in der Höhe von Normalnull (NN) die Hauptbestandteile trockener Luft angegeben. (In Summe 99,999 Volumen-%. Bei den restlichen 0,001 Volumen-% handelt es sich um so genannte Spurengase; insbesondere Edelgase).

Hauptbestandteile trockener Luft	
Gas	Volumenanteile
Stickstoff N <sub>2</sub>	78,084 %
Sauerstoff O <sub>2</sub>	20,946 %
Kohlendioxid CO <sub>2</sub>	0,035 %
Argon Ar	0,934 %
Summe	99,999 %

Tab. 23: Hauptbestandteile trockener Luft

### 11.3.3 Schädliche Komponenten in der Verbrennungsluft

Die Verbrennungsluft muss frei sein von Säure oder Basen bildenden Bestandteilen.

Säurebildner wie  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{HCl}$  oder  $\text{HF}$  (aber auch andere entsprechende Stoffe) sind in der Verbrennungsluft grundsätzlich nicht zugelassen.

Durch das Auftreten von Prozessgasen oder auch Feststoffkomponenten, z. B. aus nahegelegenen Industriebetrieben oder chemischen Anlagen, kann die Zusammensetzung der Verbrennungsluft negativ beeinflusst werden.

In der aktuellen Version des Technischen Rundschreibens TR 2132 „Vorschrift für Verbrennungsluft“ sind die entsprechenden schädlichen Komponenten und die maximal zulässigen Anteile in der Verbrennungsluft aufgeführt.

---

#### **HINWEIS**

Enthält bereits das Brenngas schädliche Komponenten, dann reduzieren sich die zulässigen Anteile in der Verbrennungsluft um die im Brenngas vorhanden Anteile.

Erforderliche Informationen: Aktuelles Technisches Rundschreiben TR 3017 „Vorschrift für Brenngase“

---

#### **Einfluss der schädlichen Komponenten auf die Wartungsintervalle und Anlagenbauteile**

Die im TR 2132 genannten schädlichen Komponenten beeinflussen die Wartungsintervalle des Motors und die Motorlebensdauer negativ. Weiterhin können durch diese Stoffe auch nachgeschaltete Emissionsminderungssysteme beschädigt oder sogar zerstört werden.

Das Verbrennungsluftsystem ist daher stets so auszulegen, dass keine Verbrennungsluft aus Bereichen mit Belastung durch schädliche Begleitgase angesaugt werden kann.

### **11.3.4 Filterung der Verbrennungsluft**

In der Verbrennungsluft enthaltener feiner Sand, Staub oder sonstige Partikel verringern durch erhöhten Bauteilverschleiß die Lebensdauer des Motors wesentlich. Daher ist eine wirksame und hochwertige Filterung der Verbrennungsluft erforderlich.

Im aktuellen Technischen Rundschreiben TR 2132 „TR Vorschrift für Verbrennungsluft“ sind die hierfür grundsätzlich empfohlenen Verbrennungsluftfilter aufgeführt.

## 11.3.5 Tropenbedingungen

### Allgemeines

Beim Einsatz von hoch aufgeladenen Verbrennungsmotoren mit Ladeluft- oder Gemischkühlung kann in Abhängigkeit der Umgebungsbedingungen (hohe Lufttemperaturen zusammen mit hoher relativer Luftfeuchtigkeit) der mit der Verbrennungsluft angesaugte Wasserdampf zu flüssigem Wasser auskondensieren.

Dieses Kondensat führt zu Korrosion und Verschleiß an den entsprechenden Bauteilen (ab Eintritt in den Ladeluft- / Gemischkühler). Sind in der Verbrennungsluft zusätzlich noch säure- oder basenbildende Begleitgase enthalten, erhöht sich die Korrosion der entsprechenden Bauteile um ein Vielfaches.

- Erforderliche Informationen: [Schädliche Komponenten in der Verbrennungsluft](#) [► 202]

Für einen solchen Tropenbetrieb gibt es für viele Motorvarianten eine Tropenausführung. Neben korrosionsresistenteren Werkstoffen wird bei diesen Ausführungen das Kondensat durch ein Kondensatabscheidesystem abgeschieden. Diese Maßnahmen verringern deutlich das Korrosionsrisiko und tragen erheblich zu einer Erhöhung der Bauteillebensdauer bei.

Der Betrieb und die Wartung dieser Abscheidesysteme erfolgt gemäß den Anleitungen in den jeweiligen Betriebsanleitungen.

### Zur besonderen Beachtung

- Die Kondensatleitungen zwischen Aggregat und Kondensatsammelbehälter oder Kanalsystem müssen stetig fallend verlegt sein
- Zusammen mit dem Kondensat oder bei Fehlfunktion eines Kondensatableiters tritt brennbares Gemisch aus. Daher muss der Kondensatsammelbehälter oder das Kanalsystem zwingend über eine hinreichend dimensionierte Entlüftung ins Freie verfügen
- Erforderliche Informationen: Betriebsanleitung zum Gasmotor, besonders die entsprechende Montagehinweise

## 11.3.6 Verbrennungsluftmenge

Die für die Verbrennung erforderliche Verbrennungsluftmenge ist von mehreren Parametern abhängig, insbesondere von der Brenngaszusammensetzung und dem erforderlichen Verbrennungsluftverhältnis zur Darstellung der gewünschten  $\text{NO}_x$ -Emission.

Die Verbrennungsluftmengen sind den anlagenspezifischen Aggregatdatenblättern zu entnehmen.

## 11.4 Komponenten des Verbrennungsluftsystems

### 11.4.1 Filterungsarten für die Verbrennungsluft

Die standardmäßig eingebauten Verbrennungsluftfilter sind als Plattenfilter, Taschenfilter oder Rundfilter ausgeführt.

In Abhängigkeit der Motorbaureihe sind die Verbrennungsluftfilter entweder in entsprechenden Filtergehäusen direkt am Aggregat angebaut oder vor dem Aggregat aufgestellt.

Die Anzahl der am Aggregat verbauten Verbrennungsluftfilter ist baureihenabhängig.

Mit zunehmender Verschmutzung des Verbrennungsluftfilters steigt der Druckverlust über den Filter.

Mögliche Auswirkungen eines erhöhten Druckverlustes auf den Motorbetrieb können sein:

- Ein leicht erhöhter Brennstoffverbrauch
- Im Extremfall: Verdichterpumpen, wodurch ein sicherer Betrieb des Aggregates nicht mehr möglich ist und Schäden am Turbolader auftreten können

Grundsätzlich ist bei den Filtern eine Differenzdrucküberwachung bzw. Differenzdruckanzeige vorgesehen. Zur Vermeidung der negativen Auswirkungen auf den Motorbetrieb bei zu hohen Differenzdrücken sind diese Anzeigen regelmäßig zu kontrollieren und der Luftfilter im Bedarfsfall zu erneuern.

### 11.4.2 Schalldämpfer

Bei Verbrennungsluftfiltern, die außerhalb des Aggregateraums aufgestellt sind, überträgt insbesondere die Verbrennungsluftleitung das Verdichtergeräusch nach außen. Das Verdichtergeräusch macht sich als hochfrequentes Pfeifen bemerkbar.

In diesen Fällen müssen in den Verbrennungsluftleitungen Schalldämpfer vorgesehen werden, die den jeweiligen Auflagen entsprechend zu dimensionieren sind.

### 11.4.3 Verbrennungsluftleitung

Wenn die Verbrennungsluftfilter nicht am Motor angebaut sind, dann muss eine Verbrennungsluftleitung zwischen Verbrennungsluftfilter und Motor installiert werden.

Für diese Leitung sind glatte und saubere Rohre zu verwenden (z. B. lackierte oder verzinkte Rohre).

In der Ansaugleitung müssen alle Verbindungsstellen zwischen Verbrennungsluftfilter und Motoranschluss luftdicht sein.

Wenn die Ansaugleitung mit Gefälle zum Motor hin verlegt ist, dann ist vor dem Motor ein Wassersack mit Ablassmöglichkeit vorzusehen.

Die Richtgröße für die Dimensionierung der Verbrennungsluftleitung ist die Strömungsgeschwindigkeit der Verbrennungsluft. Diese Geschwindigkeit sollte  $< 20 \text{ m/s}$  sein.

## 11.5 Druckverluste

Im Verbrennungsluftsystem verursachen Rohrleitungen, Bögen, Filter, Schalldämpfer etc. einen Druckverlust. Der bei Nennvolumenstrom auftretende Druckverlust darf festgelegte Werte nicht überschreiten.

Die maximal zulässigen Druckverluste sind im aktuellen Technischen Rundschreiben TR 2132 „Vorschrift für Verbrennungsluft“ aufgeführt.

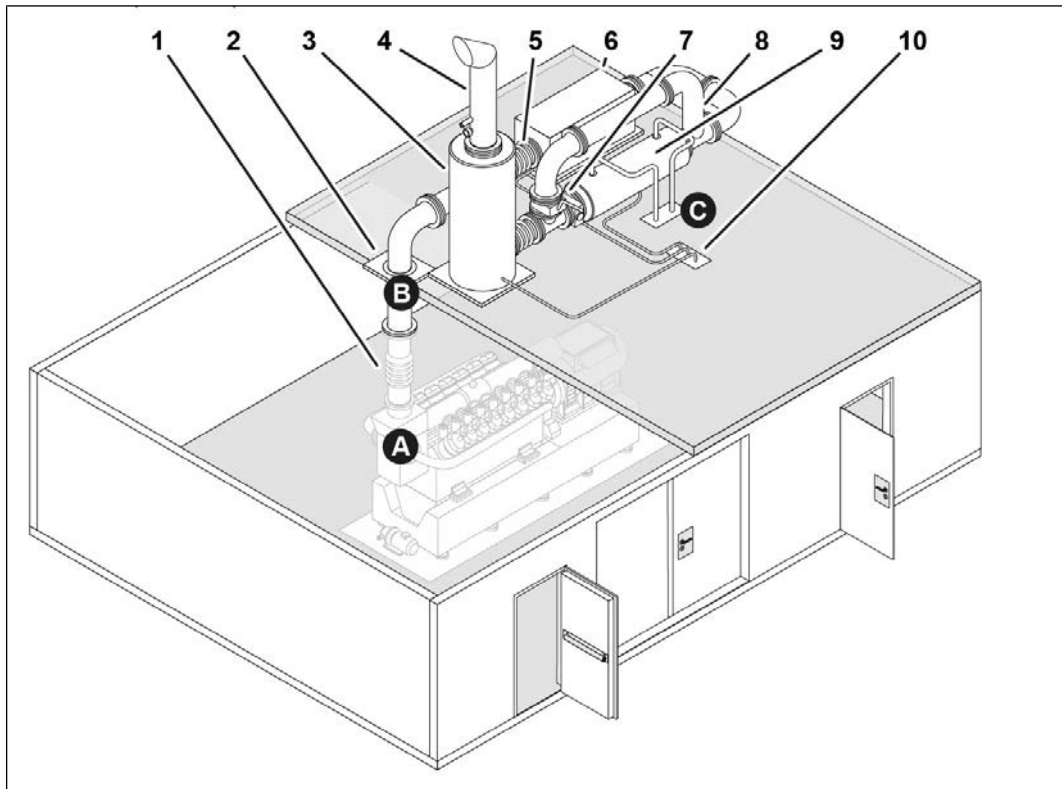
## 12 Abgassystem

### Inhaltsverzeichnis

12.1	Systemübersicht .....	208
12.2	Aufbau und Funktion .....	209
12.3	Allgemeine Planungshinweise .....	209
12.3.1	Lebenszyklus .....	209
12.3.2	Abgasgegendruck .....	210
12.3.3	Abgasemissionen .....	213
12.3.4	Abgasrohrleitungen .....	218
12.3.5	Isolierung .....	219
12.3.6	Schwefeloxide im Abgas .....	219
12.3.7	Siliziumoxid im Abgas .....	225
12.3.8	Deflagration .....	226
12.3.9	Abgasmessstutzen .....	230
12.4	Komponenten und Bauteile .....	231
12.4.1	Oxidationskatalysator .....	231
12.4.2	SCR-Katalysator mit integriertem Oxidationskatalysator .....	233
12.4.3	SCR-Katalysator ohne integrierten Oxidationskatalysator .....	238
12.4.4	Abgasschalldämpfer .....	238
12.4.5	Abgasklappen .....	239
12.4.6	Abgaskamin .....	243

## 12.1 Systemübersicht

Die schematische Abbildung zeigt und benennt typische Bestandteile und Schnittstellen als Hilfe für den Einstieg. Proportionen sind deshalb nicht maßstäblich, die Anordnung beispielhaft.



3620530059: Beispielabbildung in vereinfachter Darstellung

A	Verbrennungsmotor	B	Abgassystem Energieverteilungseinheit
C	Kühlflüssigkeitssystem: Heizkreis		
1	Schnittstelle zum Abgassystem	2	Rohrdurchführung (je nach Projektierung)
3	Abgasschalldämpfer (je nach Projektierung horizontal oder vertikal)	4	Abgaskamin
5	Abgaskompensator	6	Abgaskatalysator (je nach Projektierung)
7	Abgasklappenkombination für Bypass (je nach Projektierung bei Abgaswärmetauscher)	8	Abgasbypass (je nach Projektierung bei Abgaswärmetauscher)
9	Abgaswärmetauscher mit Anschluss zum Heizkreis (je nach Projektierung)	10	Kondensatleitungen



## 12.2 Aufbau und Funktion

Das Abgassystem führt die Verbrennungsabgase vom Motor ab und leitet diese meist an dessen Ende in die Atmosphäre. Bestandteile des Abgassystems sind oft Komponenten zur Minderung der Abgasschallemissionen sowie Komponenten zur Minderung der Schadstoffkonzentrationen im Abgas. Das Abgassystem beinhaltet die komplette Abgasleitung und eingebaute Komponenten.

Zur Erfüllung der am Aufstellort der Anlage geltenden Bestimmungen muss die Gestaltung des Abgassystems diesen Bestimmungen gerecht werden. Die Bestimmungen beziehen sich hauptsächlich auf die Abgasemission und auf die Schallemission.

Wenn durch innermotorische Maßnahmen die Anforderungen an die Abgasemissionen nicht erfüllt werden können, muss eine Abgasbehandlung z. B. mit Hilfe von Abgaskatalysatoren erfolgen. Die Abgasschallemissionen werden durch den Einbau von Schalldämpfern vermindert.

Jeder Motor ist mit einem eigenen Abgassystem auszurüsten.

## 12.3 Allgemeine Planungshinweise

### 12.3.1 Lebenszyklus

#### Montage

- Für das Heben von Abgaskomponenten sollen besonders an großen und schweren Abgaskomponenten Hebeösen vorgesehen werden. Bei einem eventuellen späteren Austausch sind diese ebenfalls nützlich.
- Beim Aufstellen von Abgaskomponenten wie Schalldämpfern und Katalysatorgehäusen ist zu vermeiden, dass diese über die Füße gekippt werden. Dies würde wahrscheinlich zur Beschädigung dieser Bauteile führen. Vorhandene Füße sind nur für die geplante Einbaubelastung vorgesehen.
- Der Kunde muss spätestens bei der Bestellung die Einbausituation der Bauteile angeben.
- Werden die Bauteile nicht fest auf dem Fundament bzw. auf einem Stahlbau angeschraubt, besitzen diese einen Fuß mit einem Gleitlager. Bei der Montage muss genügend Gleitmittel zwischen Gleitplatte und Fußplatte vorhanden sein. Durch gelegentliche Kontrolle ist sicherzustellen, dass auch beim späteren Betrieb die Platten ausreichend geschmiert sind.
- Ein unerlaubtes Festziehen von Loslagern hat meist zur Folge, dass durch thermische Ausdehnung im Betrieb der Anlage Komponenten des Abgassystems beschädigt oder zerstört werden.

## Betrieb

Wenn Abgaskomponenten für den Berührschutz und zur Verminderung von Wärmeverlusten bereits isoliert sind, ist in der Regel kein zusätzlicher Körperschallschutz mehr notwendig. Eine Ausnahme bildet die Befestigung des Abgassystems:

- Bei der Befestigung von Abgaskomponenten ist darauf zu achten, das ggf. Körperschall beim Betrieb der Anlage ausgehend vom Abgassystem übertragen werden und stören kann. Der Einsatz von schwingungsentkoppelnden Elementen an den Füßen der Aufhängungen von Abgaskomponenten kann hilfreich sein
- Insbesondere beim Start der Anlage kann es zur Kondensation von Wasser im Abgassystem kommen. Daher sind an Stellen, wo sich Kondensat im System sammeln kann, dauerhafte Kondensatabläufe vorzusehen. Jede einzelne Kondensatleitung kann dann beispielsweise in einen Siphon geleitet werden. Die Wassersäule muss mit ausreichender Sicherheit jeder Zeit gegen den Abgasgegendruck wirken, um auszuschließen, dass heißes Abgas durch die Kondensatleitungen strömt
- Bei der Materialauswahl für die Abgasleitung und bei der Auswahl der Bauteile im Abgassystem ist die Abgastemperaturen im Teillastbereich zu beachten und die ausreichende chemische Beständigkeit zu berücksichtigen, da es sonst zu Leitungsbrüchen mit Abgasleckagen kommen kann

## Instandhaltung

- Durch regelmäßige Kontrolle ist sicherzustellen, dass Gleitlager ausreichend geschmiert sind.
- Es ist ausreichend Platz im Bereich von Wartungsöffnungen und ein sicherer Zugang zu diesen einzuplanen. Ist zum Beispiel ein Abgaswärmetauscher vorgesehen, ist darauf zu achten, dass ausreichender Platz vorhanden ist, um ggf. die Abgasrohre reinigen zu können.

### 12.3.2 Abgasgegendruck

Der wichtigste Auslegungsparameter für die Dimensionierung des Abgassystems ist neben dem Abgasmassenstrom und der Abgastemperatur der zulässige Abgasgegendruck. Überschreitungen oder Unterschreitung des zulässigen Abgasgegendrucks haben einen erheblichen Einfluss auf die Leistung, den Brennstoffverbrauch und die thermische Belastung des Motors. Der Abgasgegendruck wird bei Volllast unmittelbar hinter der Turbine des Abgasturboladers gemessen. Der zulässige Abgasgegendruck darf nicht über- oder unterschritten werden.

Der Abgasgegendruck entsteht z. B. durch den Strömungswiderstand in Rohrleitungen, Kompensatoren, Abgaswärmetauschern, Katalysatoren, Schalldämpfern, Regenhauben und Kaminen. Alle Strömungswiderstände müssen bei der Ermittlung des Abgasgegendrucks berücksichtigt werden. Die Strömungswiderstände in den Abgasrohrleitungen und Rohrleitungsbögen können in Abhängigkeit vom Abgasvolumenstrom mit dem folgenden Diagramm ermittelt werden. Für die im Abgassystem eingebauten Komponenten sind die

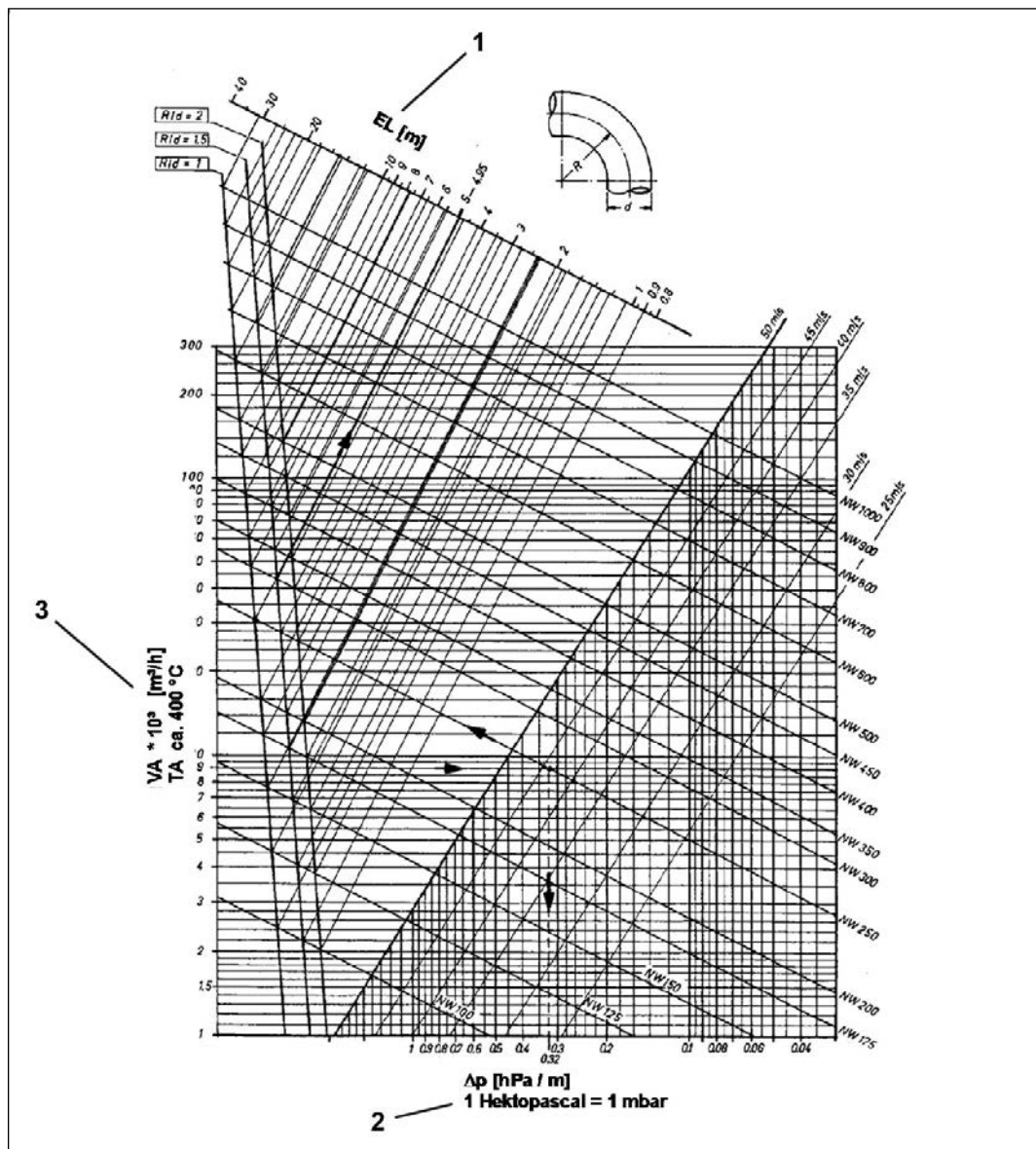
Strömungswiderstände den Datenblättern für diese Komponenten zu entnehmen. Die zulässigen Abgasgegendrucke der einzelnen Motorbaureihen sind in der unten stehenden Tabelle aufgeführt.

<b>Motorbaureihe</b>	<b>Zulässiger Abgasgegendruck in mbar bei 100% Motorlast</b>
TCG 3016	30 bis 50
TCG 2020 K	30 bis 50
TCG 3020	30 bis 50
TCG 2032	30 bis 50

*Tab. 24: Abgasgegendruck*

Je nach Motorkonfiguration können auch höhere Abgasgegendrucke möglich sein.

Für die Auslegung des Abgassystems sind die Angaben aus den Datenblättern für die einzelnen Motorbaureihen zu berücksichtigen. Eine gute Richtgröße für die Auslegung des Abgassystems ist auch die Geschwindigkeit des Abgases im Abgasrohr. Die Geschwindigkeit sollte im Bereich von 20 m/s bis 35 m/s liegen.



3759358987: Strömungswiderstände für Abgas-Rohrleitungen

- |    |   |    |  |
|----|---|----|--|
| 1  | EL: Ersatzlänge für Rohrbogen 90°       | 2  | $\Delta p$ : Druckverlust pro Meter gerade Rohrleitung |
| 3  | VA: Abgasvolumenstrom                   | TA | Abgasbezugstemperatur                                  |
| NW | Nennweite des Abgasrohres in Millimeter | R  | Radius des Bogens                                      |
| d  | Rohrdurchmesser in Millimeter           |    |  |

### Beispiel zur Abbildung

Gegeben

Abgasvolumenstrom  $VA = 9000 \text{ m}^3/\text{h}$

Gerade Rohrleitung  $l = 10 \text{ m}$

3 Bögen 90° mit  $R/d = 1$

Gesucht	Dp der Rohrleitung
Lösung	NW 250 bei ca. 44 m/s
	$\Delta p = 0,32 \text{ hPa/m}$ gerades Rohr
	Ersatzlänge für einen Bogen 4,95 m
Gesamtrohrlänge ( $L_{\text{ges}}$ )	$10 + (3 \times 4,95) = 24,85 \text{ m}$
Druckverlust ( $\Delta p_{\text{ges}}$ )	$24,85 \times 0,32 = 8 \text{ hPa (mbar)}$

### 12.3.3 Abgasemissionen

Alle Gasmotoren von CES arbeiten nach dem Magerverbrennungsprinzip. Durch das Magerverbrennungsprinzip sind die Emission von Schadstoffen im Abgas sehr gering. In Abhängigkeit von den örtlichen Vorschriften müssen Grenzwerte für bestimmte Schadstoffe wie z. B. Stickoxide und Kohlenmonoxid eingehalten werden.

Können durch Einstellungen am Motor Grenzwerte nicht unterschritten werden, so müssen Verfahren zur Minderung der Schadstoffemissionen eingesetzt werden. Möglich ist der Einsatz von Oxidations- und SCR-Katalysatoren.

#### Abgasemissionen nach der 44. BImSchV in Deutschland

Die 44. BImSchV löste die TA-Luft im Juni 2019 ab. Danach sind für Magermotoren mit gasförmigen Brennstoffen in §16 unter anderem folgende Emissionsgrenzwerte festgelegt:

Gasart	Komponente im Abgas	Grenzwert nach TA-Luft 2002	Grenzwert nach 44. BImSchV §16	Gültig für Neuanlagen ab
Klärgas, Grubengas	NO <sub>x</sub>	500	500	
	CO	650	500	20.06.2019
	HCOH	60	20	01.01.2020
Biogas	NO <sub>x</sub>	500	100	01.01.2023
	CO	650	500	01.01.2025
	HCOH	60	20	01.01.2020
Deponiegas	NO <sub>x</sub>	500	500	
	CO	650	650	
	HCOH	60	40	20.06.2019

Gasart	Komponente im Abgas	Grenzwert nach TA-Luft 2002	Grenzwert nach 44. BImSchV §16	Gültig für Neuanlagen ab
Erdgas	NO <sub>x</sub>	500	100	01.01.2025
	CO	300	250	01.01.2025
	HCOH	60	20	01.01.2020
	NO <sub>x</sub>	500	500	
	CO	650	500	20.06.2019

Tab. 25: Grenzwerte für Abgasemissionen

Die Gültigkeit dieser Verordnung ist für Neuanlagen und Bestandsanlagen unterschiedlich geregelt. So gelten z. B. die Grenzwerte der Verordnung für Neuanlagen mit Erdgasbetrieb ab dem 01.01.2025, für Anlagen mit Biogasbetrieb ab dem 01.01.2023. Für Bestandsanlagen gelten die Grenzwerte erst ab 2029 und später. Als Bestandsanlagen gelten Anlagen, die vor dem 20.12.2018 in Betrieb gingen und für die bereits vor dem 19.12.2017 eine Genehmigung nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz erteilt wurde. Als Neuanlagen gelten Anlagen, die nach dem 20.12.2018 in Betrieb gingen.

Die Grenzwerte nach der alten TA-Luft lassen sich durch den Einsatz eines Oxidationskatalysators im Abgassystem einhalten. Die Reaktion im Oxidationskatalysator vermindert Kohlenmonoxid und Formaldehyd entsprechend. Für die zulässige Emission von Stickoxiden sorgt eine entsprechende Motoreinstellung.

Die nach der neuen 44. BImSchV geforderte Stickoxidemission von 100 mg/Nm<sup>3</sup> kann mit motorische Einstellungen nicht dargestellt werden. Es kommen daher SCR-Katalysatoren im Abgassystem zum Einsatz. Dabei werden durch selektive katalytische Reduktion (SCR)

die Stickoxide unter Zumischung einer Harnstofflösung in Stickstoff und Wasser umgewandelt. Die Minderung von Kohlenmonoxid und Formaldehyd erfolgt wie bisher in einem nachgeschalteten Oxidationskatalysator.

Weiterhin darf nach der 44. BImSchV bei allen Anwendungen die Emission an organischen Stoffen im Abgas, angegeben als Gesamtkohlenstoff, den Grenzwert von  $1300 \text{ mg/Nm}^3$  nicht überschreiten.

Abgasanlagen, die selektive katalytische Reduktion zur Verminderung der Emissionen nutzen, sind so einzustellen, dass die Emission an Ammoniak weniger als  $30 \text{ mg/Nm}^3$  beträgt.

Die 44. BImSchV ist die Umsetzung der EU-Richtlinie (EU) 2015/2193 für Deutschland. Für Anlagen außerhalb des EU-Raums gelten andere Bestimmungen bezüglich der Einhaltung von Emissionsgrenzwerten im Abgas.

Die 44. BImSchV §24 fordert in Abs. 7, dass Betreiber von Gasmotorenanlagen nach dem Magergasprinzip die Emissionen an Stickstoffoxiden im Abgas eines jeden Motors mit geeigneten qualitativen Messeinrichtungen als Tagesmittelwert überwachen und dokumentieren. Dies kann beispielsweise über  $\text{NO}_x$ -Sensoren erfolgen. Um diese Forderung umzusetzen, sind alle im Geltungsbereich der 44. BImSchV im Betrieb befindlichen Gasmotorenanlagen mit einer Überwachung der Stickoxidemission auszurüsten. Dabei ist es unerheblich, wann welche Grenzwerte gültig sind. Dies gilt für Neuanlagen und für Bestandsanlagen. Die Einhaltung des aktuell gültigen Grenzwertes muss nach den Vorgaben der 44. BImSchV dokumentiert werden.

### Messposition am Gasmotor

Die Messung der Abgasemission bei Gasmotoren mit einem Abgasturbolader erfolgt hinter dem Abgasturbolader nach einer Abgasleitungslänge von mindestens  $5 \times$  Abgasrohrdurchmesser.

Die Messung der Abgasemission bei Gasmotoren mit mehreren parallelen Abgasturboladern erfolgt hinter der Zusammenführung des gesamten Abgases nach einer Abgasleitungslänge von mindestens  $5 \times$  Abgasrohrdurchmesser.

Zusätzlich sind die regionalen Vorgaben zur Abgasemissionsmessung zu beachten.

- Erforderliche Informationen: [Abgasmessstutzen](#) ► 230]

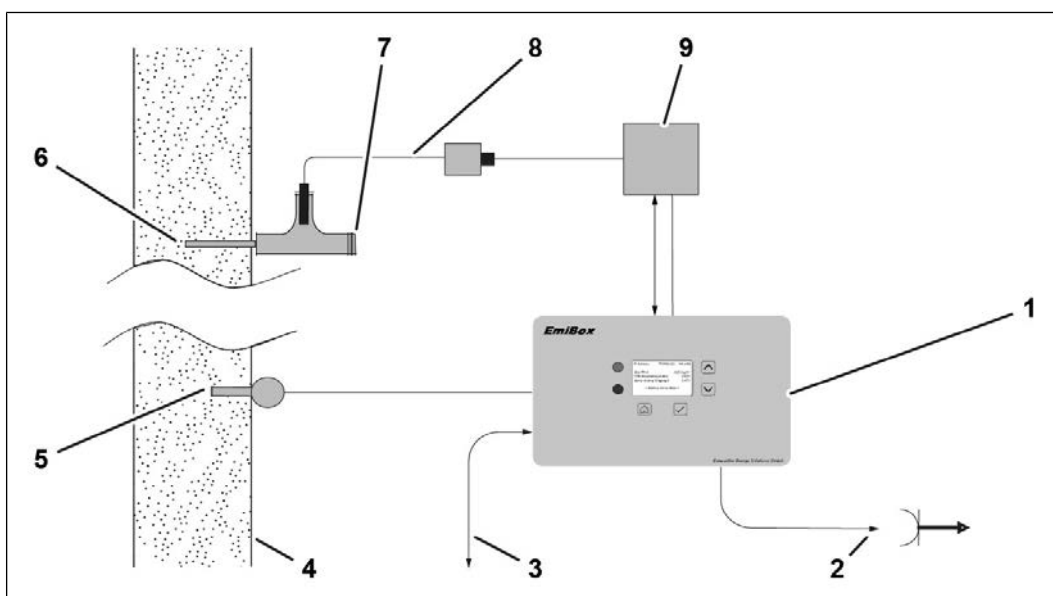
### Messung der Stickoxidemission

CES bietet je nach eingesetzter Motorsteuerung eine entsprechende Ausrüstung zur Messung der Stickoxidemission an. Für Anlagen mit dem TEM-System erfolgt die Aufzeichnung, Auswertung und Speicherung der Messdaten in der EmiBox. Anlagen mit dem TPTEM-System bieten die Möglichkeit, die Messdaten innerhalb des TPTEM-Systems aufzuzeichnen, auszuwerten und zu speichern. Die Bestandteile der Messdatenerfassung ( $\text{NO}_x$ -Sensor, Messlanze und Anschlusszubehör) ist bei beiden Ausführungen gleich.

### Messung der Stickoxidemission mit EmiBox – Anlagen mit TEM-System

Den prinzipiellen Messaufbau zeigt die folgende Abbildung.

Die EmiBox bietet die Anschlussmöglichkeiten an PC oder Netzwerk. In erster Linie dient sie dazu, die nach der 44. BImSchV geforderten Daten aufzunehmen und zu speichern. Dies sind die Tagesmittelwerte für die Stickoxidemission, bezogen auf einen Sauerstoffgehalt von 5% im trockenen Abgas. Der NO<sub>x</sub>-Sensor misst neben der Stickoxidemission auch den Sauerstoffgehalt im Abgas. Die Umrechnung auf den Bezugssauerstoffgehalt erfolgt in der EmiBox.



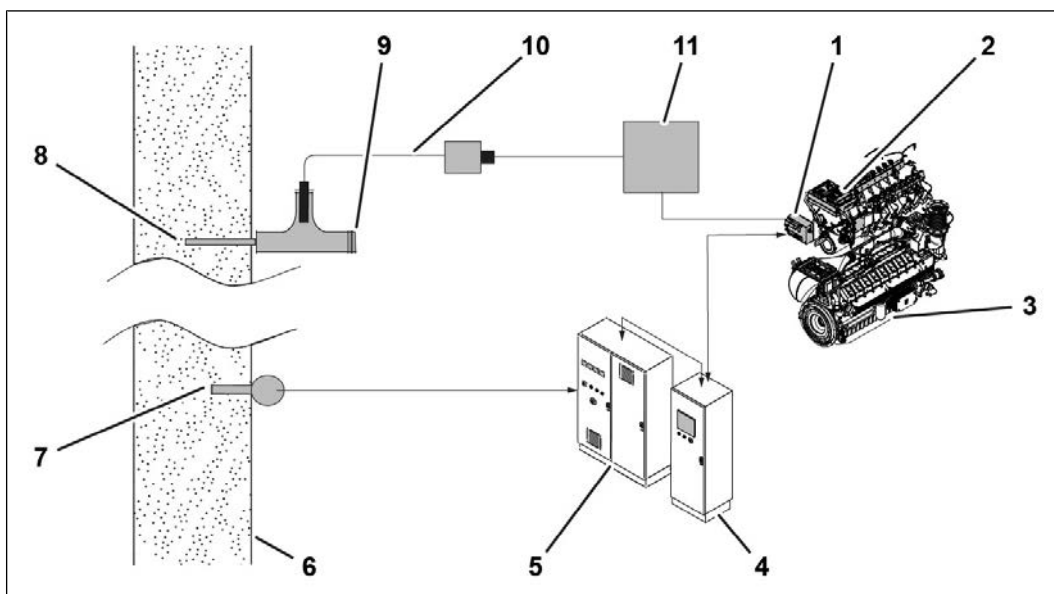
3759380875: Messung der Stickoxidemission mit der EmiBox beim TEM-System

- |   |                      |   |   |
|---|----------------------|---|---|
| 1 | EmiBox               | 2 | Stromversorgung                         |
| 3 | Signalleitung        | 4 | Abgasleitung                            |
| 5 | Temperatursensor     | 6 | Messlanze                               |
| 7 | Anschlusszubehör     | 8 | NO <sub>x</sub> -Sensor mit Steuergerät |
| 9 | Sensorverbindungsbox |   |   |

### Messung der Stickoxidemission – Anlagen mit TPEM-System

Bei Anlagen mit dem TPEM-System wird die Funktionalität der EmiBox vom TPEM-System direkt übernommen. Die Peripherie beispielsweise NO<sub>x</sub>-Sensor, Messlanze und Anschlussteile bleiben unverändert. Für den Anschluss des NO<sub>x</sub>-Sensors ist eine Umrüstung in der TPEM CU bzw. TPEM CB erforderlich. Die dazu benötigten Klemmen, Stecker und Schalter sind Bestandteil des Lieferumfangs für die NO<sub>x</sub>-Messung. Den prinzipiellen Messaufbau zeigt die folgende Abbildung.



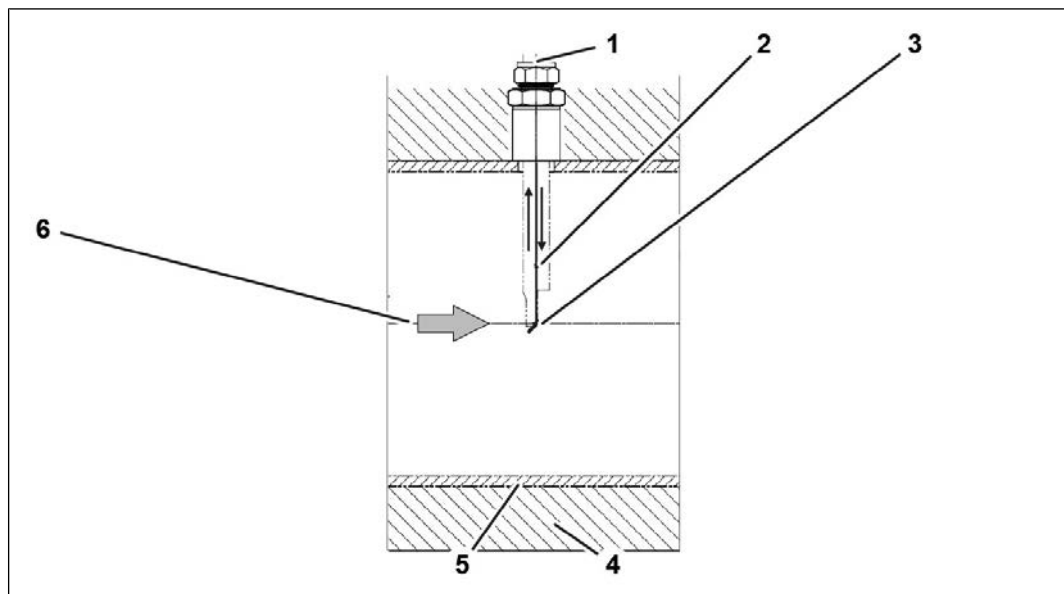


3759383563: Messung der Stickoxid-Emission beim TPEM-System

- |    |                                       |    |   |
|----|---------------------------------------|----|---|
| 1  | TPEM Connection Box                   | 2  | TPEM CU                                 |
| 3  | Beispielmotor                         | 4  | TPEM Control Cabinet (TPEM CC)          |
| 5  | Schaltschrank (z. B. HAS) mit TPEM I/ | 6  | Abgasleitung                            |
|    | O-Controller (TPEM IO)                |    |   |
| 7  | Temperatursensor                      | 8  | Messlanze                               |
| 9  | Anschlusszubör                        | 10 | NO <sub>x</sub> -Sensor mit Steuergerät |
| 11 | Sensorverbindungsbox                  |    |   |

### Hinweise zum Anschluss des NO<sub>x</sub>-Sensors im Abgassystem

Der NO<sub>x</sub>-Sensor befindet sich außerhalb der Abgasleitung. Eine Messlanze ragt in die Abgasleitung. Die Messlanze besteht aus einem Rohr, in das ein Trennblech eingeführt ist. Dadurch entstehen zwei Strömungskanäle für die ständige Zuleitung und Ableitung von Abgas am Sensor. Am offenen Ende der Lanze ist das Trennblech entgegen der Strömungsrichtung zu einem Löffel abgewinkelt. Zur einwandfreien Funktion der Sonde ist es wichtig, dass die Achse der Sonde senkrecht zur Strömungsrichtung des Abgases liegt. Der Löffel muss in der Mitte des Abgasrohres sitzen und exakt gegen die Strömungsrichtung ausgerichtet sein (siehe folgende Abbildung). Der Einbauwinkel der Messlanze darf nur so gewählt werden, dass dieser oberhalb der Horizontalen liegt, um das Hineinfließen von Kondensat zu verhindern.



3759386251: Einbau und Ausrichtung der Messlanze in das Abgasrohr

- |   |                             |   |               |
|---|-----------------------------|---|---------------|
| 1 | Zum NO <sub>x</sub> -Sensor | 2 | Messlanze     |
| 3 | Mitte der Abgasleitung      | 4 | Isolierung    |
| 5 | Abgasrohr                   | 6 | Abgasströmung |

#### 12.3.4 Abgasrohrleitungen

Wegen der relativ hohen Abgastemperaturen ist die Wärmeausdehnung besonders groß (ca. 1 mm/m bis 1,5 mm/m bei 100 °C). Zur Vermeidung unzulässig hoher Spannungen in den Abgasrohren müssen an geeigneten Stellen Kompensatoren vorgesehen werden. Die Kompensatoren gleichen die Wärmeausdehnung der Abgasrohre und Komponenten aus.

Die Abstützungen der Abgasleitung sind der Leitungsverlegung entsprechend als Festlager und Loslager anzulegen. Sie dürfen nicht am Abgasturbolader bzw. Motor abgestützt werden. Der erste Festpunkt ist direkt nach dem Kompensator am Turboladerausstritt vorzusehen.

Besonders in das Abgassystem eingebaute Komponenten sind vor Spannungen zu schützen. Durch den Einbau von Kompensatoren am Eintritt und Austritt von Wärmetauschern, Katalysatoren, Schalldämpfer usw. werden diese von Spannungen durch Ausdehnung der Abgasrohre geschützt. Die Abgaskompensatoren sind gemäß den Richtlinien des Herstellers einzubauen. Der zulässige Axialversatz und Lateralversatz ist einzuhalten.

#### Erforderliche Informationen

- [Isolierung](#) [► 219]

### 12.3.5 Isolierung

Wegen der hohen Betriebstemperaturen wird das Abgassystem durchgehend mit einer Isolierung versehen. Lediglich bei im Freien verlegten Rohrleitungen ist für die Abgasleitungen nach Abgaswärmetauscher ein Berührungsschutz ausreichend. Bei der Ausführung der Isolierung der Abgasleitungen muss folgender Punkt beachtet werden.

Im Bereich von Flanschverbindungen und Revisionsöffnungen muss die Isolierung so ausgeführt sein, dass sie leicht demontierbar und wieder montierbar ist. Dies ist erforderlich, weil die Schrauben an den Flanschverbindungen und Inspektionsöffnungen nach den ersten 50 Betriebsstunden kontrolliert und gegebenenfalls nachgezogen werden müssen. Das gilt auch für den weiteren Betrieb, wenn an einer Flanschverbindung oder einer Inspektionsöffnung eine Leckage auftritt.

### 12.3.6 Schwefeloxide im Abgas

Einige Brenngase insbesondere Biogase können  $H_2S$  in geringen bis sehr hohen Mengen enthalten.  $H_2S$  hat das Potenzial, Schäden an Motor und Anlage zu verursachen.

$H_2S$  im Brenngas wird durch die Verbrennung im Motor zu  $SO_2$  und geringen Mengen  $SO_3$  und Wasser oxidiert. Wird ein Oxidationskatalysator im Abgassystem betrieben, kann  $SO_2$  zu  $SO_3$  oxidieren.  $SO_2$  kann mit Wasser schweflige Säure und  $SO_3$  Schwefelsäure bilden. Schweflige Säure und Schwefelsäure können in Abhängigkeit von deren Konzentration den Taupunkt des Abgases weit nach oben setzen. D. h. durch Anwesenheit von  $SO_2$  und  $SO_3$  im Abgas kann es zu Kondensation von schwefliger Säure und Schwefelsäure bei hohen Temperaturen kommen. Insbesondere an Abgaswärmetauschern sowie beim Start und Abstellen des Motors kann es dann zur Kondensation der Säuren kommen.

Diese Säuren greifen in Abhängigkeit von deren Konzentration das Abgassystem an. Es kann zu mehr oder weniger starker Korrosion bis hin zur Zerstörung von Bauteilen kommen.

Insbesondere an Abgaswärmetauschern ist neben dem Korrosionsangriff durch die Säuren, häufig eine Belagsbildung aus Säuren, Reaktionsprodukten des Säureangriffs und Schmierölaschen zu beobachten. Damit geht meist ein deutlicher Anstieg des Abgasdruckverlustes des Abgaswärmetauschers und der Abgasaustrittstemperatur einher.

Bei der genannten Problematik spielen die Wassereintrittstemperatur und die Abgasaustrittstemperatur des Abgaswärmetauschers eine entscheidende Rolle. Die Wassertemperatur hat einen starken Einfluss auf die Wandtemperatur des Wärmetauschers. Ist also die Wassertemperatur niedrig, so stellt sich eine entsprechend niedrige Wandtemperatur ein, die nur wenig oberhalb der Wassertemperatur liegt. Je niedriger die Wassertempera-

tur ist, desto höher ist das Risiko der Taupunktunterschreitung. Daher gelten folgende Grenzen in Bezug auf die Abgas- und Wassertemperatur des Abgaswärmetauschers für die genannten typischen Fälle.

---

## HINWEIS

Alle Angaben zu den Grenzen des Einsatzes für Abgaswärmetauscher und Katalysatoren gelten nur, sofern projektbezogen keine strengeren Grenzen genannt werden!

---

### Fall 1

1. Kein Oxidationskatalysator ist vor Abgaswärmetauscher verbaut
  2.  $\text{H}_2\text{S}$  im Brenngas: < 200 ppm (selten gilt  $\text{H}_2\text{S}$ : < 10 ppm. Dies ist projektspezifisch zu prüfen!)
- Auslegung des Abgaswärmetauscher auf eine Abgasaustrittstemperatur von  $\geq 180^\circ\text{C}$  ohne Flächenreserve
  - Die Wassereintrittstemperatur im Abgaswärmetauscher muss  $\geq 80^\circ\text{C}$  betragen

### Fall 2

1. Ein Oxidationskatalysator ist vor Abgaswärmetauscher verbaut
2.  $\text{H}_2\text{S}$  im Brenngas: < 5 ppm<sup>1</sup>

#### Biogas

- Auslegung des Abgaswärmetauscher auf eine Abgasaustrittstemperatur von  $\geq 180^\circ\text{C}$  ohne Flächenreserve (selten gelten  $\geq 100^\circ\text{C}$  – dies ist projektspezifisch zu prüfen!)
- Dabei gilt, dass die Wassereintrittstemperatur im Abgaswärmetauscher  $\geq 80^\circ\text{C}$  beträgt

#### Erdgas

- Auslegung des Abgaswärmetauscher auf eine Abgasaustrittstemperatur von  $\geq 100^\circ\text{C}$  ohne Flächenreserve
- dabei gilt, dass die Wassereintrittstemperatur im Abgaswärmetauscher  $\geq 80^\circ\text{C}$  beträgt

### Fall 3

1. Ein Oxidationskatalysator ist vor Abgaswärmetauscher verbaut
  2.  $\text{H}_2\text{S}$  im Brenngas: < 10 ppm
- Auslegung des Abgaswärmetauscher auf eine Abgasaustrittstemperatur von  $\geq 180^\circ\text{C}$  ohne Flächenreserve
  - Dabei gilt, dass die Wassereintrittstemperatur im Abgaswärmetauscher  $\geq 80^\circ\text{C}$  beträgt

Der Einsatz von Brennwert-Abgaswärmetauschern oder Abgaswärmetauschen unter Betriebsbedingungen mit niedrigeren Wasser- und Abgastemperaturen ist prinzipiell möglich, muss aber zuvor unbedingt mit dem Hersteller des Systems abgestimmt werden. Generell ist davon auszugehen, dass dann Brenngas technisch frei von  $H_2S$  sein muss. Dabei gilt: bei  $< 5$  ppm  $H_2S$  im Brenngas gilt das Brenngas als „technisch frei von  $H_2S$ “. Auch Spitzen von  $H_2S$  oberhalb von 5 ppm sind nicht erlaubt. Die Brenngasentschwefelung muss durchbruchssicher ausgeführt sein.

$SO_2$  und  $SO_3$  haben keine schädliche Wirkung auf das katalytisch wirksame Material von SCR- und Oxidationskatalysatoren.

Um abschätzen zu können, welche  $SO_x$ -Konzentrationen im Abgas aus bekannten  $H_2S$ -Konzentrationen im Brenngas resultieren, können bei Magermotoren mit der Luftzahl 1,7 und den Umgebungsbedingungen 20 °C und 60% relative Luftfeuchte folgende grobe Aussagen getroffen werden.

	H <sub>2</sub> S im Brenngas		Summe aus SO <sub>2</sub> und SO <sub>3</sub> im Abgas	
	ppm	mg/Nm <sup>3</sup>	ppm	mg/Nm <sup>3</sup>
Erdgas 80 – 100 % CH <sub>4</sub>	10	13,9	1,1	3,6
Biogas 50 % CH <sub>4</sub>	10	13,9	0,6	1,9

Tab. 26: Schwefeloxide im Abgas

	Ohne Abgaswärmenutzung	Mit Abgaswärmenutzung (Abgaswärmetauscher)
Kein Katalysator	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>&lt; 200</math> ppm <math>H_2S</math> im Brenngas empfohlen.</li> <li>Ab 200 ppm <math>H_2S</math> im Brenngas kann es zu erheblicher Kondensation von schwefliger Säure kommen, infolgedessen muss mit Korrosion</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>&lt; 200</math> ppm <math>H_2S</math> im Brenngas empfohlen.</li> <li>Selten gelten <math>&lt; 10</math> ppm <math>H_2S</math> – projektspezifisch zu prüfen!</li> <li>Ab 200 ppm <math>H_2S</math> im Brenngas kann es zu erheblicher Kondensation von Schwefliger Säure kommen, infolgedessen muss mit Korrosion und Belagsbildung im Abgassystem gerechnet werden.</li> </ul>

	Ohne Abgaswärmenutzung	Mit Abgaswärmenutzung (Abgaswärmetauscher)
	<p>und Belagsbildung im Abgassystem gerechnet werden.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Bei H<sub>2</sub>S-Gehalten weit oberhalb von 200 ppm treten massive Anlagenstörungen und irreversible Korrosionsschäden innerhalb kürzester Zeit auf.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Beim Einsatz des Abgaswärmetauschers muss ab 200 ppm H<sub>2</sub>S mit verstärkter Korrosion und Belagsbildung im Abgaswärmetauscher und nachgelagerten Abgaskomponenten gerechnet werden.</li> <li>Bei H<sub>2</sub>S-Gehalten oberhalb von 200 ppm treten massive Anlagenstörungen und irreversible Korrosionsschäden innerhalb kürzester Zeit auf.</li> </ul>
Oxidationskatalysator	<ul style="list-style-type: none"> <li>&lt; 20 ppm H<sub>2</sub>S im Brenngas empfohlen.</li> <li>Ab 20 ppm H<sub>2</sub>S im Brenngas kann es zu Kondensation von Schwefliger Säure und im Katalysator gebildeter Schwefelsäure kommen, infolgedessen muss mit Korrosion und Belagsbildung im Abgassystem gerechnet werden.</li> <li>Bei H<sub>2</sub>S-Gehalten weit oberhalb von 20 ppm treten massive Anlagenstörungen und irreversible Korrosionsschäden innerhalb kürzester Zeit auf.</li> <li>Kurzzeitige H<sub>2</sub>S-Spitzen im Brenngas zwischen 20 und 1000 ppm führen zu keiner signifikanten Erhöhung des Risikos für Schäden an der Anlage, solange diese in Summe 100 h/a bezogen auf 8000 Betriebsstunden im Jahr nicht überschreiten.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&lt;10 ppm H<sub>2</sub>S im Brenngas zwingend vorgeschrieben.</li> <li>Ab 10 ppm H<sub>2</sub>S im Brenngas kann es zu erheblicher Kondensation von Schwefliger Säure und im Katalysator gebildeter Schwefelsäure kommen, infolgedessen muss mit Korrosion und Belagsbildung im Abgassystem gerechnet werden. Besonders an Abgaswärmetauscher und nachgelagerte Abgaskomponenten können irreversible Korrosionsschäden und Belagsbildung auftreten.</li> <li>Auch kurzzeitige H<sub>2</sub>S-Spitzen im Brenngas über 10 ppm sind nicht zulässig.</li> </ul>

	<b>Ohne Abgaswärmenutzung</b>	<b>Mit Abgaswärmenutzung (Abgaswärmetauscher)</b>
	<p>Wird die Gasmotorenanlagen mit weniger als 8000 h/a betrieben, sind auch die 100 h/a anteilig zu reduzieren. Eine H<sub>2</sub>S-Spitze ist auf 60 min begrenzt.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Die Schadstoffminderungsleistung für Kohlenmonoxid und Formaldehyd wird bei H<sub>2</sub>S-Gehalten bis 100 ppm nicht herabgesetzt. Ab 100 ppm kann dies jedoch der Fall sein, sodass entsprechende Grenzwerte ggf. nicht mehr eingehalten werden können.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bei H<sub>2</sub>S-Gehalten oberhalb von 10 ppm treten massive Anlagenstörungen und irreversible Korrosionsschäden innerhalb kürzester Zeit auf.</li> <li>Die Schadstoffminderungsleistung für Kohlenmonoxid und Formaldehyd wird bei H<sub>2</sub>S-Gehalten bis 100 ppm nicht herabgesetzt. Ab 100 ppm kann dies jedoch der Fall sein, sodass entsprechende Grenzwerte ggf. nicht mehr eingehalten werden können.</li> </ul>
SCR-Katalysator (ohne Oxidationskatalysator)	<ul style="list-style-type: none"> <li>&lt; 200 ppm H<sub>2</sub>S im Brenngas empfohlen. Die NO<sub>x</sub>-Minde-rungsleistung des Katalysators wird nicht beeinträchtigt.</li> <li>Selten gelten &lt; 20 ppm H<sub>2</sub>S – projektspezifisch prüfen!</li> <li>Ab 200 ppm H<sub>2</sub>S im Brenngas kann es zu erheblicher Kondensation von schwefli-ger Säure kommen, infolge-dessen muss mit Korrosion und Belagsbildung im Ab-gassystem gerechnet wer-den.</li> <li>Bei H<sub>2</sub>S-Gehalten weit oberhalb von 200 ppm treten massive Anlagenstörungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&lt; 200 ppm H<sub>2</sub>S im Brenngas empfohlen.</li> <li>Selten gelten &lt; 10 ppm H<sub>2</sub>S – projektspezifisch prüfen!</li> <li>Ab 200 ppm H<sub>2</sub>S im Brenn-gas kann es zu erheblicher Kondensation von Schwefli-ger Säure kommen, infolge-dessen muss mit Korrosion und Belagsbildung im Ab-gassystem gerechnet wer-den.</li> <li>Beim Einsatz des Abgaswär-metauschers muss ab 200 ppm H<sub>2</sub>S mit verstärkter Korrosion und Belagsbildung im Abgaswärmetauscher und nachgelagerten Abgaskom-ponenten gerechnet werden.</li> </ul>

	Ohne Abgaswärmenutzung	Mit Abgaswärmenutzung (Abgaswärmetauscher)
	<p>und irreversible Korrosionsschäden innerhalb kürzester Zeit auf.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Der Katalysator kann ab 200 ppm H<sub>2</sub>S im Brenngas durch Korrosion und Belagsbildung geschädigt werden.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bei H<sub>2</sub>S-Gehalten oberhalb von 200 ppm treten massive Anlagenstörungen und irreversible Korrosionsschäden innerhalb kürzester Zeit auf.</li> <li>Der Katalysator kann ab 200 ppm H<sub>2</sub>S im Brenngas durch Korrosion und Belagsbildung geschädigt werden.</li> </ul>
SCR-Katalysator mit Oxidationskatalysator	<ul style="list-style-type: none"> <li>&lt; 20 ppm H<sub>2</sub>S im Brenngas empfohlen.</li> <li>Ab 20 ppm H<sub>2</sub>S im Brenngas kann es zu Kondensation von Schwefliger Säure und im Katalysator gebildeter Schwefelsäure kommen, infolgedessen muss mit Korrosion und Belagsbildung im Abgassystem gerechnet werden.</li> <li>Bei H<sub>2</sub>S-Gehalten weit oberhalb von 20 ppm treten massive Anlagenstörungen und irreversible Korrosionsschäden innerhalb kürzester Zeit auf.</li> <li>Kurzzeitige H<sub>2</sub>S-Spitzen im Brenngas zwischen 20 und 1000 ppm führen zu keiner signifikanten Erhöhung des Risikos für Schäden an der Anlage, solange diese in Summe 100 h/a bezogen auf 8000 Betriebsstunden im Jahr nicht überschreiten. Wird die Gasmotorenanlagen mit weniger als 8000 h/a betrieben, sind auch die 100 h/</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&lt; 10 ppm H<sub>2</sub>S im Brenngas zwingend vorgeschrieben.</li> <li>Ab 10 ppm H<sub>2</sub>S im Brenngas kann es zu erheblicher Kondensation von Schwefliger Säure und im Katalysator gebildeter Schwefelsäure kommen, infolgedessen muss mit Korrosion und Belagsbildung im Abgassystem gerechnet werden. Besonders an Abgaswärmetauscher und nachgelagerte Abgaskomponenten können irreversible Korrosionsschäden und Belagsbildung auftreten.</li> <li>Auch kurzzeitige H<sub>2</sub>S-Spitzen im Brenngas über 10 ppm sind nicht zulässig.</li> <li>Bei H<sub>2</sub>S-Gehalten oberhalb von 10 ppm treten massive Anlagenstörungen und irreversible Korrosionsschäden innerhalb kürzester Zeit auf.</li> <li>Die Schadstoffminderungsleistung für Kohlenmonoxid und Formaldehyd wird bei H<sub>2</sub>S-Gehalten bis 100 ppm nicht herabgesetzt. Ab</li> </ul>



	Ohne Abgaswärmenutzung	Mit Abgaswärmenutzung (Abgaswärmetauscher)
	<p>a anteilig zu reduzieren. Eine H<sub>2</sub>S-Spitze ist auf 60 min begrenzt.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Die Schadstoffminderungsleistung für Kohlenmonoxid und Formaldehyd wird bei H<sub>2</sub>S-Gehalten bis 100 ppm nicht herabgesetzt. Ab 100 ppm kann dies jedoch der Fall sein, sodass entsprechende Grenzwerte ggf. nicht mehr eingehalten werden können.</li> <li>Der Katalysator kann ab 200 ppm H<sub>2</sub>S im Brenngas durch Korrosion und Belagsbildung geschädigt werden.</li> </ul>	<p>100 ppm kann dies jedoch der Fall sein, sodass entsprechende Grenzwerte ggf. nicht mehr eingehalten werden können.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Bei einer Überdosierung von Harnstoff in Kombination mit Schwefel im Abgas kann Ammoniumbisulfat entstehen, welches sich auch auf kalten Oberflächen (wie am Abgaswärmetauscher vorhanden) ablagern kann und korrosiv wirkt.</li> </ul>

Tab. 27: Einfluss von Abgaswärmenutzung auf die Schwefeloxide im Abgas

### 12.3.7 Siliziumoxid im Abgas

Siliziumorganische Verbindungen finden sich in erster Linie in Deponiegasen und Klärgasen. Auch Biogase, die nicht ausschließlich aus nativ organischen Substraten erzeugt werden, können diese Verbindungen enthalten.

Siliziumorganische Verbindungen werden im Gasmotor zu SiO<sub>2</sub> oxidiert und führen dort zu Schäden am Motor, hauptsächlich durch beschleunigten Verschleiß. Der Katalysator verliert in der Regel relativ rasch seine Minderungsleistung, da seine Oberfläche mit SiO<sub>2</sub> belegt wird. Es sind keine Reinigungsverfahren bekannt, die die Funktion des Katalysators wieder herstellen können.

Soll ein Brenngas mit Anteilen siliziumorgansicher Verbindungen als Brennstoff für Gasmotoren genutzt werden, muss das Brenngas mit geeigneten Verfahren gereinigt werden. Soll ein Katalysator eingesetzt werden, darf im gereinigten Brenngas zu keiner Zeit messbar Silizium nachgewiesen werden. Dies ist durch den regelmäßigen und ausreichend häufigen messtechnischen Nachweis durch den Betreiber sicherzustellen. Auch bei Siliziummengen unterhalb der Nachweisgrenze, können über die Zeit kleinste Menge von SiO<sub>2</sub> die Oberfläche des Katalysators belegen und so die Standzeit verkürzen.

## 12.3.8 Deflagration

Bei Gasmotorenaggregaten von Caterpillar Energy Solutions werden alle technisch möglichen Voraussetzungen geschaffen, um ein Höchstmaß an Sicherheit gegen Verpuffungen im Abgassystem zu gewährleisten. Für das Auftreten von Verpuffungen können folgende Bedingungen als am meisten kritisch angesehen werden:

- Der Motor startet nicht und als Folge gelangt Gas-Luft-Gemisch in das Abgassystem.
- Die Zündung fällt durch einen technischen Defekt aus oder die Zündung wird bei einer Störabschaltung abgestellt. In beiden Fällen strömt Gas/Luft-Gemisch in das Abgassystem.

Im Folgenden sind die Komponenten, Funktionen und Abläufe beschrieben, die den uneingeschränkten Transport von unverbranntem Gas/Luft-Gemisch in das System verhindern.

### Gasregelstrecken

Alle Gasregelstrecken haben zwei getrennte elektrisch oder elektropneumatisch betätigte dicht schließende Absperrventile, die bei Stillstand des Aggregats geschlossen sind. Mit einer optionalen Dichtheitskontrolle wird vor jedem Start des Aggregats geprüft, ob die Ventile während der Stillstandsphase des Aggregats dicht waren. Während dieser Zeit kann somit kein Brenngas in das Abgassystem gelangt sein. Die Ansteuerung der Absperrventile ist sicherheitsgerichtet und getrennt ausgeführt.

### Fehlstart und Startwiederholung

Bei einem Fehlstart, z. B. Störung in der anlagenseitigen Gaszuführung (schlechtes Gas oder zu niedriger Gasdruck) kann unverbranntes Gas/Luft-Gemisch in das Abgassystem gelangen. Dieses Gemisch liegt dann aber außerhalb der Zündgrenze. Das Gas/Luft-Gemisch kann als nicht brennbar angesehen werden, da es selbst durch die eingeschaltete Hochenergiezündanlage nicht zur Verbrennung gebracht werden konnte. In diesem Fall findet auch keine Drehzahlerhöhung des Gasmotors auf Nenndrehzahl statt. Ohne Drehzahlerhöhung schließen die Absperrventile der Gasregelstrecke nach dem Ablauf einer in der Steuerung vorgegebenen Zeit. Der Motor läuft aus und fördert während dieser Zeit wieder Luft in das Gemischsystem und Abgassystem. Die Zündung bleibt bis zum Stillstand des Aggregates eingeschaltet. Bei einer Startwiederholung wird durch den bereits

oben beschriebenen Spülvorgang zunächst weiter Luft in das Abgassystem gefördert. Hierdurch wird das nicht brennbare Gemisch aus dem vorhergehenden Startversuch weiter verdünnt.

Es muss gewährleistet sein, dass der Nulldruckregler der Gasregelstrecke richtig eingestellt ist und nicht verstellt wird. Die regelmäßig vorgeschriebenen Wartungen des Gasmischers müssen durchgeführt werden, damit dieser sich nicht feststellt. Die TEM/TPEM-Steuerung zeigt durch eine Warnmeldung an, dass eine Wartung des Gasmischers erforderlich ist.

Es können nur zwei Startwiederholungen durchgeführt werden. Wenn der Gasmotor nach der zweiten Startwiederholung nicht startet, wird von der TEM/TPEM-Steuerung eine Störung ausgelöst. Das Gasmotorenaggregat kann nicht mehr automatisch starten. Für einen weiteren manuellen Start muss die Störung manuell quittiert werden. Vor der Quittierung ist die Fehlerursache zu beseitigen. Weiterhin ist bei dieser Betrachtung die Temperatur des Motors und des Abgassystems mit einbezogen. Bei kaltem Gasmotor und Abgassystem liegt die Temperatur des Gas/Luft-Gemisches auf einem Niveau im Bereich der Umgebungstemperatur. Bei diesen Temperaturen kann eine Verpuffung ausgeschlossen werden.

Daher rückt bei warmem Gasmotor und heißen Abgasleitungen die Wahrscheinlichkeit einer Verpuffung von unverbranntem Gas/Luft-Gemisch eher in den Bereich des Möglichen.

### **Normaler Stopp des Gasmotorenaggregates**

Bei diesen Abstellvorgängen werden zuerst die Absperrventile der Gasregelstrecke geschlossen. Die Zündanlage bleibt im Betrieb, um das noch im System vorhandene unverbrannte Gemisch innermotorisch zu verbrennen. Die Rotationsenergie der sich drehenden Massen führt zu einem langsamen Drehzahlabfall und schließlich zum Stillstand des Gasmotorenaggregats. Während dieser Phase bleibt die Drosselklappe vollständig geöffnet. Damit wird eine bestmögliche Spülung der Leitungen mit Luft sichergestellt.

### **Zündstörung im Betrieb**

Beim Betrieb des Gasmotorenaggregats wird die Funktion jeder einzelnen Zündkerze überwacht. Bei Ausfall einer Zündkerze wird die Leistung des Gasmotorenaggregates abgesenkt und nach Öffnen des Generatorschalters wird der Gasmotor gestoppt. Während dieser Zeit gelangt über den Zylinder mit der defekten Zündung unverbranntes Gas/Luft-Gemisch in das Abgassystem. Dieses wird mit dem Abgas der anderen Zylinder gemischt und so weit verdünnt, dass das Verbrennungsluftverhältnis weit außerhalb der Zündgrenze liegt. Das im Abgas enthaltene Kohlendioxid und Wasser verschiebt die Zündgrenze weiter nach oben.

Kommt es als Folge eines technischen Defekts zum Ausfall der Zündanlage, erfolgt eine sofortige Abstellung des Aggregats, indem die Gasventile in der Gasregelstrecke geschlossen werden. In diesem Fall sind die Gemischleitungen am Gasmotor noch mit Gas/Luft-Gemisch gefüllt. Dieses Gemisch wird dann bei einem Verbrennungsluftverhältnis

von ca. 1,8 als „kaltes“ mageres Gemisch in die Abgasleitung geschoben. Beim weiteren Auslaufen des Aggregats bis zum Stillstand werden die Gemischleitungen und Abgasleitungen

### **Gemischmengen und Luftmengen**

**Start kalter Motor:** Vor dem Start des Aggregats, d.h. vor dem Öffnen der Gasventile, wird das ca. 1,5-fache des Gesamt-Hubvolumens als Spülluft durchgesetzt. Der Motor startet nicht, wenn die Steuerung einen Fehlstart erkennt und ein Startabbruch erfolgt. Bis zu diesem Zeitpunkt wird das ca. 22-fache Gesamt-Hubvolumen an Gas/Luft-Gemisch in die das Abgassystem gefördert. Beim Auslaufen des Aggregats bis zum Stillstand wird beim kalten Aggregat ein weiteres Gesamthubvolumen an Luft in das Abgassystem gespült.

**Start warmer Motor:** Bei warmem Motor ist die Starterdrehzahl höher und die Luftmenge zum Spülen vor dem Start erwärmt sich an den heißen Abgasleitungen. Es wird ein Spüllvolumen vom ca. 3,5-fachen des Gesamt-Hubvolumens durchgesetzt. Wenn der Motor nicht anspringt, wird bis zum Startabbruch das ca. 60-fache des Gesamt-Hubvolumens als Gas/Luft-Gemisch in das Abgassystem gefördert. Beim Auslaufen des warmen Aggregats wird das Abgassystem mit dem ca. 3-fachen des Gesamt-Hubvolumens an Luft gespült.

**Zündstörung bei Volllast:** Obwohl die Absperrventile der Gasregelstrecke bei einer Zündstörung sofort geschlossen werden, gelangt das in den Gemischleitungen vorhandene „kalte“ Gemisch mit einem Verbrennungsluftverhältnis von ca. 1,8 in das heiße Abgassystem und wird dort durch die heißen Oberflächen erwärmt. Die Gemischmenge beträgt das ca. 40-fache des Gesamt-Hubvolumens. Beim Auslaufen des Aggregats bis zum Stillstand werden die Gemisch- und Abgasleitungen mit "kalter" Luft gespült, die sich ebenfalls an den heißen Oberflächen des Abgassystems erwärmt. Die durchgesetzte Luftmenge beträgt das ca. 100-fache des Gesamt-Hubvolumens.

### **Abgastemperaturen**

Gasmotorenaggregate von Caterpillar Energy Solutions werden im Betrieb auf Grund des hohen elektrischen Wirkungsgrads mit niedrigen Abgastemperaturen gefahren. Die Abgastemperaturen erreichen im Erdgasbetrieb und Volllast ca. 400 °C, bei 50 % Teillast ca. 470 °C. Daher stellt im Erdgasbetrieb die Abgastemperatur kein Risiko für eine Verpuffung dar.

### **Zündquellen im Abgassystem**

Als mögliche Zündquellen in einem Abgassystem kommen in der Praxis zwei mögliche Zündquellen infrage:

- Heiße Oberflächen bzw. allgemein hohe Temperatur der Abgasleitung.
- Zündfunken im Abgassystem durch elektrostatische Entladung

### Hohe Temperatur

Liegt die Abgastemperatur bei oder über der Zündtemperatur eines Gemischs, kommt es zur Zündung des Gemischs.

1. Handelt es sich bei dem Brenngas um Biogas oder Erdgas mit einer Zündtemperatur von ca. 700°C (Biogas) und ca. 600°C (Erdgas), wird die Zündtemperatur nicht erreicht. Im Teillastbetrieb verlässt das Abgas mit maximal 580°C\* im Biogasbetrieb und 510°C\* im Erdgasbetrieb den Motor. Ein Abstand zur Zündtemperatur von 90 K bis 120 K wird sicher eingehalten. \*Temperaturen im Teillastbetrieb 50% +10K Toleranz.
2. Handelt es sich bei dem Brenngas um CH<sub>4</sub> mit Anteilen von langkettigen Kohlenwasserstoffen und/oder H<sub>2</sub> liegen die Zündtemperaturen niedriger als bei CH<sub>4</sub>. Folglich können bei entsprechend hohen Gehalten dieser leichter entzündlichen Bestandteile im Gemisch die Zündtemperaturen deutlich unterhalb von 600°C liegen. Besonders Erdölbegleitgase, Kokereigase und Synthesegase können größere Mengen langkettiger Kohlenwasserstoffe enthalten und damit Verpuffungen im Abgassystem bei normalen Betriebsbedingungen herbeiführen.

Summenformel	Bezeichnung	Zündtemperatur °C	Zündgrenzen in Luft vol%
CH <sub>4</sub>	Methan	595	4,4 – 16,5
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	Ethan	515	2,7 – 15,5
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	Propan	470	2,1 – 9,4
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	n-Butan	365	1,4 – 9,4
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	n-Pentan	260	1,8 – 8,7
...	...	...	...
C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	n-Octan	205	0,8 – 6,5
...	...	...	...
H <sub>2</sub>	Wasserstoff	585	4,0 – 75,6

Tab. 28: Übersicht Brenngase und Zündfähigkeit

## Elektrostatische Entladung

Durch elektrostatische Aufladung kann es zwischen einzelnen Komponenten des Abgassystems sowie den im Abgassystem eingebauten Rohren zu Potenzialunterschieden kommen, die sich unter Umständen in einem Funken entladen. Wenn Funkenentladung und Gas/Luft-Gemisch gleichzeitig im Abgassystem auftreten, besteht ein erhöhtes Risiko einer Verpuffung.

## Bauseitige Maßnahmen zur Risikominderung von Verpuffungen

Es kann trotz aller getroffenen Maßnahmen zu meist seltenen Ereignissen kommen, bei denen zündfähiges Gemisch in die Abgasleitung gelangt und dort zündet und damit eine Verpuffung auslöst.

Dadurch können Schäden an der Abgasleitung und an Abgas-Bauteilen auftreten. Insbesondere nicht ausreichend druckstabile Bauteile wie Gehäuse von Schalldämpfern, SCR-Katalysatoren sowie Katalysatorwaben selbst können beschädigt oder zerstört werden.

Folgende Maßnahmen sind bauseitig umzusetzen, um die Wahrscheinlichkeit einer Deflation im Abgassystem zu vermindern bzw. deren mögliche Auswirkungen weiter zu begrenzen.

- Der Schutzpotentialausgleich der Abgasleitung und von Bauteilen im Abgassystem **muss immer** nach TRGS 727 oder anderer nationaler Bestimmungen ausgeführt sein.
- Zusätzlich ist bei Gasarten mit signifikantem Anteil von langkettigen Kohlenwasserstoffen, Kohlenmonoxid und / oder Wasserstoff mit einer verringerten Zündtemperatur im Vergleich zu Methan zu rechnen. Dadurch muss auch bei normalen Abgastemperaturen mit einer Zündung von unverbranntem Gemisch gerechnet werden. Eine technische Druckentlastung des Abgassystems ist dann umzusetzen.

### 12.3.9 Abgasmessstutzen

Die Abgasmessstutzen bieten die Möglichkeit der einer Abgasemissionsmessung und müssen in der Abgasleitung in Abhängigkeit von den Anforderungen und Vorschriften vorgesehen werden. Einen Überblick geben die folgenden Punkte:

- Die erforderlichen Nennweiten der Abgasmessstutzen, die Ausrichtung der Abgasmessstutzen zueinander und die jeweils erforderliche gerade Einlaufstrecke und Auslaufstrecke vor bzw. nach den Abgasmessstutzen sind zu beachten.
- Bei der Positionierung ist zu beachten, dass im späteren Betrieb die Abgasmessstutzen entsprechend ihrer Bestimmung genutzt werden können und z. B. keine Bauteile das Einführen von Messlanzen behindern.

- Der Zugang zu den Messpunkten muss für das Personal möglich und sicher sein. Müssen die Abgasmessstutzen im oberen Bereich des Abgaskamins vorgesehen werden, ist eine stationäre oder eine mobile Aufstiegshilfe erforderlich. Die Ausführung der Aufstiegshilfe ist mit der Person abzuklären, welche die Messung ausführen soll.
- Der Einbau von Abgasmessstutzen in die Abgasleitung muss grundsätzlich im rechten Winkel zur Abgasleitung erfolgen. Abgasmessstutzen dürfen nicht nach unten (unterhalb der Horizontalen) ausgerichtet sein, damit sich darin kein Kondensat ansammeln kann.

## 12.4 Komponenten und Bauteile

### 12.4.1 Oxidationskatalysator

Alle Gasmotoren arbeiten nach dem Magerverbrennungsprinzip. Je nach Motortyp und Emissionsanforderung ist für die Abgasbestandteile Kohlenmonoxid und Formaldehyd der Einsatz eines Oxidationskatalysators erforderlich.

#### Sicherheit

Werden Brennstoffe mit einem Wasserstoffgehalt von mehr als 1 vol% genutzt, kann bei einem Ausfall des Zündsystems Brennstoffgemisch in das Abgassystem gelangen. Dort kann es zu einer unzulässigen Temperaturerhöhung im Oxidationskatalysator infolge von Wasserstoffoxidation kommen.



#### WARNUNG

Explosionsartige Verbrennung von Brennstoffgemisch im Abgassystem bei Ausfall der Motorzündung durch Wasserstoffoxidation

Schwere Verletzungen oder Tod können die Folge sein.

- Eine Wasserstoffoxidation erfolgt bereits bei normalen Abgastemperaturen. Erreicht die Abgastemperatur 590°C, ist die explosionsartige Zündung des gesamten Brennstoffsystems möglich. Um dies zu verhindern, sind geeignete Maßnahmen zum Explosionsschutz bei der Planung zu berücksichtigen und umzusetzen

#### Lagerung

- Der Katalysator ist im feuchten Zustand vor Frost zu schützen.
- Der Katalysator ist geschützt vor Staub zu lagern.

#### Montage

- Der Katalysator ist in der Regel das erste Bauteil des Abgassystems nach Abgasturbolader.
- Anschlagpunkte oder Kranschienen können beim Ein- und Ausbau von Katalysatoren hilfreich sein.

- Die Isolierung des Katalysators muss so gestaltet werden, dass diese zur Reinigung oder zum Austausch des Katalysators leicht entfernt werden kann.
- Katalysatorgehäuse immer möglichst spannungsfrei einbauen, um Schäden am Katalysator zu vermeiden. Kompensatoren nehmen thermische Längenänderungen der Abgasleitung auf und mindern axiale und radiale Krafteinwirkungen.
- Der Katalysator wird vor dem Schalldämpfer eingebaut, um Verstopfung durch sich lösende Mineralwolle zu vermeiden.
  - **Hinweis:** Mineralwolle belegt die Eintrittsöffnungen der Kanäle des Katalysators und führt zu einer Erhöhung des Abgasgedrucks und zu einer geringeren Schadstoffminderungsleistung. Die Mineralwolle lässt sich aus den Kanälen des Katalysators sehr schlecht entfernen.
- Die Einbaulage nach einem reinen Reflexionsschalldämpfer ist zulässig, wenn bis dahin im Abgasweg ausschließlich Edelstahlteile verwendet worden sind.
- Zum Schutz vor eventueller Überhitzung sollten Katalysatoren erst dann in das Abgassystem eingebaut werden, wenn alle Einstellarbeiten am Motor durchgeführt worden sind und der Motor ohne Störungen läuft. Dies gilt sowohl für die Erstinbetriebnahme als auch für spätere Wartungsarbeiten.

## Betrieb

- Zündaussetzer müssen vermieden werden, da es durch unverbrannten Brennstoff im Katalysator zu einer unerwünschten Nachverbrennung mit unzulässig hohen Abgas-temperaturen kommen kann.
- Temperaturen ab ca. 600 °C können zum vorzeitigen Altern und mit zunehmender Temperatur auch zu einer Schädigung des Katalysators führen.
- Ab 700 °C kommt es in der Regel zur Zerstörung des Katalysators.
- Nach dem Katalysator muss eine Temperaturüberwachung vorgesehen werden, die bei zu hoher Abgastemperatur die Brennstoffzufuhr abstellt.
  - **Hinweis:** Insbesondere bei Brenngasen mit hohen Gehalten an langkettigen Kohlenwasserstoffen und bzw. oder Kohlenmonoxid kann es bei einer unvollständigen Verbrennung im Motor am Katalysator zu einer Oxidation dieser Kohlenwasserstoffe kommen. Ohne Temperaturüberwachung mit Abstellung der Brenngaszufuhr führt dies zu einem raschen Temperaturanstieg. Ab 590 °C kann zusätzlich im Abgas enthaltenes Methan am Katalysator oxidieren und diesen bis zur Zerstörung überhitzen.
- Deflagration im Abgastrakt kann, sofern bauseits keine Explosionsklappen vorgesehen sind, zu einer mechanischen Zerstörung des Katalysators führen.
  - Erforderliche Informationen: [Deflagration](#) ► 226]
- Es müssen aschearme, niedrig legierte Motorenöle verwendet werden, um Ablagerungen von Schmierölasche am Katalysator gering zu halten. Verstopfungen der Kanäle durch Ölasche können die Katalysatorfunktion stark beeinträchtigen.



- Die Einwirkung von Feuchtigkeit oder Lösemitteln im Katalysator ist zu verhindern, Ausnahme ist das Durchfahren des Taupunktes beim An- und Abstellen des Motors.
- In der Regel ist der Einsatz von Oxidationskatalysatoren nur zulässig, wenn das Brenngas zuvor ausreichend entschwefelt worden ist. Bei einem Einsatz von Abgaswärmetauschern nach Oxidationskatalysator ist eine Entschwefelung besonders wichtig.
  - Erforderliche Informationen: [Brenngassystem](#) [► 169]
  - Erforderliche Informationen: [Schwefeloxide im Abgas](#) [► 219]
- Der Einsatz von Oxidationskatalysatoren ist nur möglich, wenn das Abgas frei von siliziumorganischen Verbindungen ist.
  - Erforderliche Informationen: [Siliziumoxid im Abgas](#) [► 225]
- Folgende Elemente führen zur Katalysatorvergiftung und sind im Brenngas zu vermeiden: Silizium, Natrium, Kalzium, Blei, Wismut, Quecksilber, Mangan, Kalium, Eisen, Arsen, Antimon, Kadmium, Zink, Phosphor, Halogene.

### Instandhaltung

- Bei größeren Motoren wiegen die Katalysatorgehäuse weit über 100 kg, dies ist schon bei der Planung zu berücksichtigen. Anschlagpunkte oder Kranschienen können beim Ein- und Ausbau von Katalysatoren hilfreich sein.
- Wenn die Flanschverbindungen zur Katalysatorreinigung oder zum Austausch des Katalysators geöffnet werden, müssen neue Dichtungen verwendet werden.
- Eine Katalysatorreinigung kann erfolgen, wenn Staub- oder Faserbeläge die Ursachen einer geringen Minderungsleistung sind

### HINWEIS

Es sind geeignete und zugelassene Reinigungsverfahren zu wählen. Dabei ist auf Einhaltung von Gesundheitsschutzmaßnahmen zu achten. Der Staub kann lungengängig sein. Ein Abblasen der Staubschicht darf nicht erfolgen. Ein Absaugen darf nur mit einem geeigneten Industriestaubsauger mit Feinstaubfilter erfolgen.

## 12.4.2 SCR-Katalysator mit integriertem Oxidationskatalysator

Geforderte Stickoxidemissionen lassen sich nicht immer durch Einstellungen am Motor erreichen. Mit Hilfe eines SCR-Katalysators können die Stickoxide im Abgas unter den gewünschten Grenzwert vermindert werden. In der Regel findet in einem nach der SCR-Stufe

eingebauten Oxidationskatalysator die Minderung von Kohlenmonoxid und Formaldehyd statt. Weiterhin wird das Reduktionsmittel Ammoniak für den Fall einer Überdosierung von Reduktionsmittel im Oxidationskatalysator durch Oxidation unschädlich gemacht.

In Bezug auf Lagerung, Montage, Betrieb und Instandhaltung sind die Angaben für Oxidationskatalysatoren zu berücksichtigen.

- Erforderliche Informationen: [Oxidationskatalysator](#) ► 231]

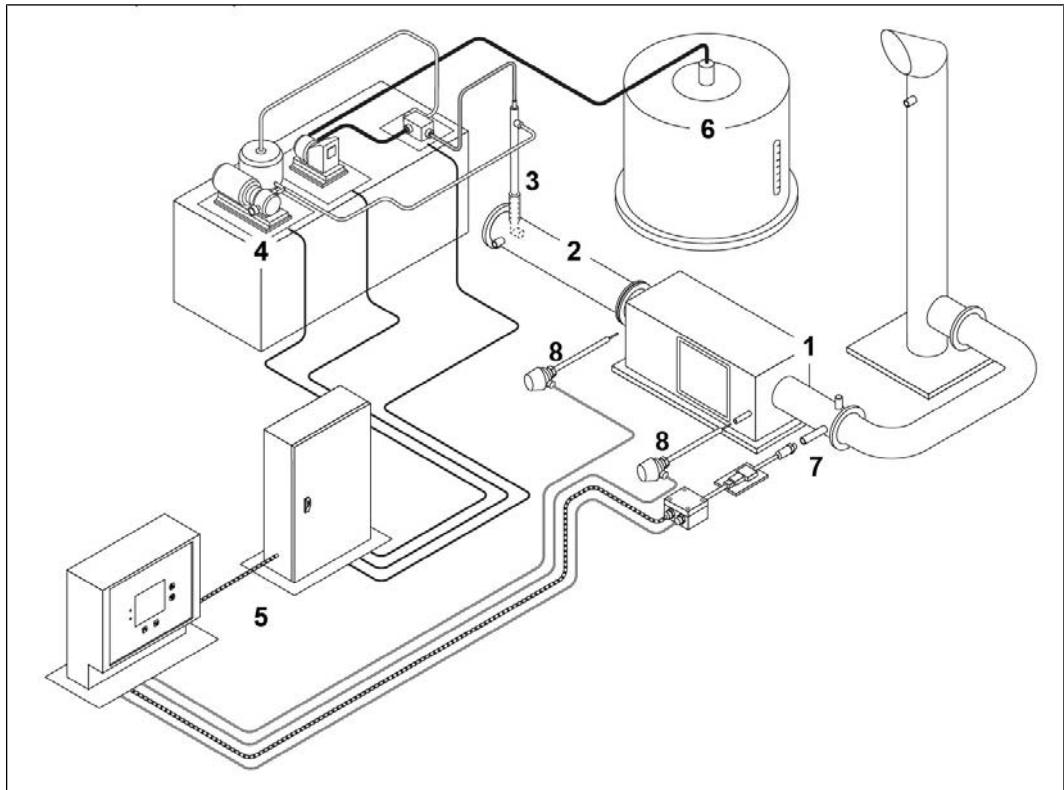
Abweichend davon gelten folgende Grenzen für die Abgastemperatur:

- Temperaturen ab ca. 500 °C können zum vorzeitigen Altern und mit zunehmender Temperatur auch zu einer Schädigung des Katalysators führen.
- Ab 530 °C kommt es in der Regel zur Zerstörung des Katalysators.
- Eine Temperaturüberwachung vor einem SCR-Katalysator ist erforderlich, sofern die technische Möglichkeit besteht, dass 500 °C überschritten werden. Ein geregeltes Herunterfahren bei Überschreitung von 500 °C ist erforderlich, um den Katalysator zu schützen.

Die oben genannten Grenzen für die Abgastemperatur können projektspezifisch je nach Katalysator-Hersteller abweichen.

### **Aufbau eines SCR-Katalysators mit integriertem Oxidationskatalysator**

Ein SCR-System besteht im Wesentlichen aus den abgebildeten Bauteilen:



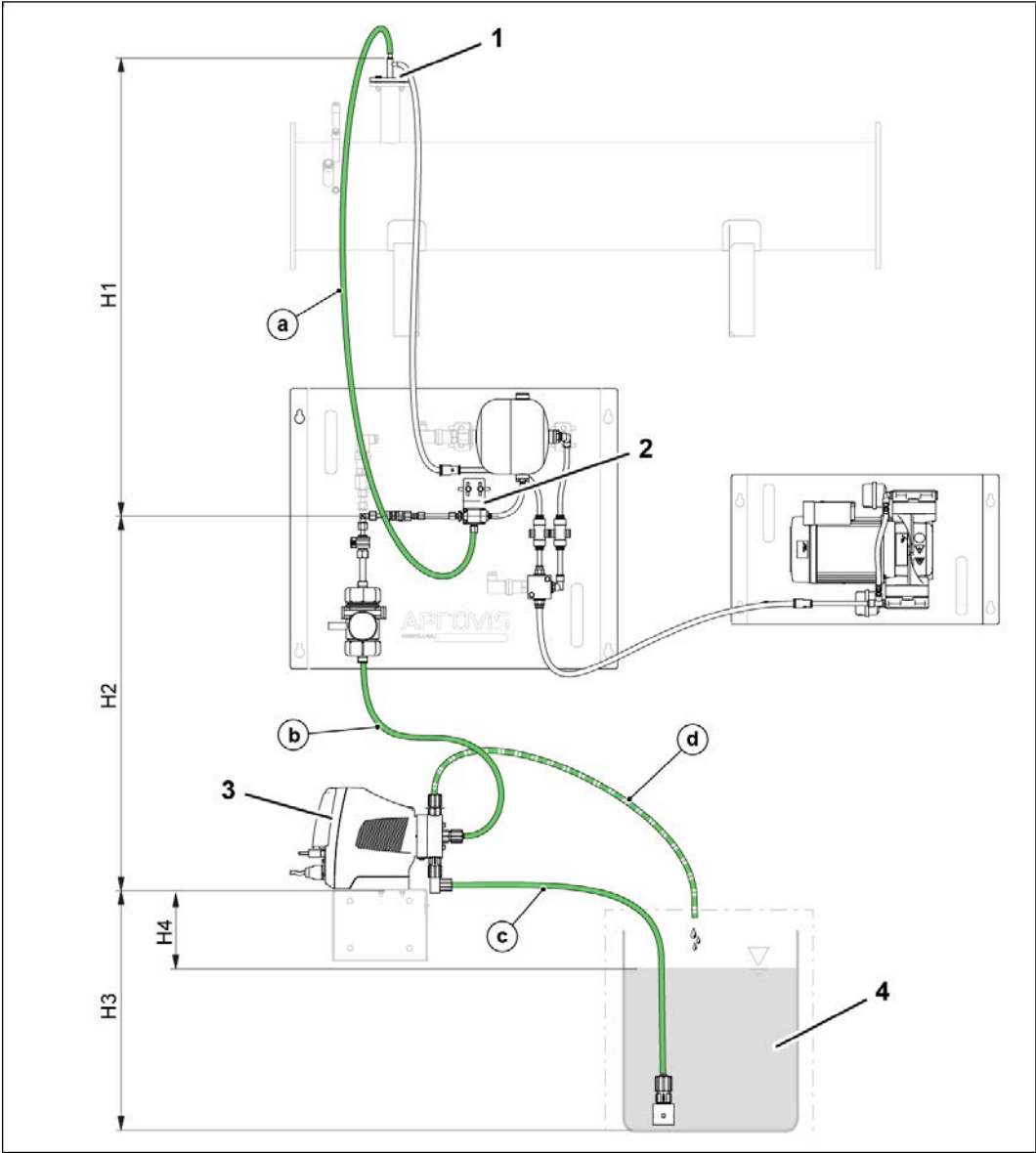
3761766283: Beispielabbildung

- |   |   |   |                         |
|---|---|---|-------------------------|
| 1 | Katalysatorgehäuse mit Katalysatorwaben | 2 | Eindüsstrecke           |
| 3 | Eindüslanze                             | 4 | Harnstoff-Dosiereinheit |
| 5 | SCR-Steuerung                           | 6 | Harnstofftank           |
| 7 | Messlanze mit NO <sub>x</sub> -Sensor   | 8 | Temperatursensoren      |

### Harnstofftank und Dosiertechnik

Für den Betrieb eines SCR-Katalysators ist in der Regel eine wässrige Harnstofflösung als Reaktionsmittel erforderlich. Diese Harnstofflösung muss in ausreichender Menge und Qualität vorgehalten werden und mit Hilfe einer Harnstoff-Dosiereinheit vor SCR-Katalysator in das Abgasrohr eingedüst werden. Die Positionierung der Komponenten der Dosiertechnik ist so zu wählen, dass die daraus resultierenden Schlauchleitungslängen und Förderhöhen die zulässigen Grenzen nicht überschreiten.

In folgender Abbildung sind der grundsätzliche Aufbau und die zulässigen Schlauchlängen dargestellt.



9719295371

Bauteil	
1	Eindüslanze
2	Dreiwegeventil (Montiert auf Harnstoff-Dosiereinheit)
3	Dosierpumpe
4	Harnstofftank
Schlauch <sup>1)</sup>	
a	Dreiwegeventil zur Eindüslanze
b	Dosierpumpe zur Harnstoff-Dosiereinheit

Customer Level (CL) / 18014401340850699 - DE / 2025-12

c	Harnstofftank zur Dosierpumpe (Der Kondensatableiter muss mit stetigen Gefälle ohne gefangene Luftblase verlegt sein.
d	Rücklaufleitung Dosierpumpe zu Harnstofftank <sup>2)</sup>
<sup>1)</sup> Die Schläuche müssen mit stetigem Gefälle ohne gefangene Luftblase verlegt sein.	
<sup>2)</sup> Die Rücklaufleitung ist stetig fallend oder horizontal (parallel) zur Saugleitung (d) zu verlegen. Das Ende der Rücklaufleitung darf nie in die Harnstofflösung eintauchen.	

Maximale vertikale Abstände	
H1	≤10 m
H2	≤10 m
H3	≤2 m
H4	>0 m
Maximale Schlauchlängen	
a	<10 m
b	<30 m
c	<10 m
d	≤10 m

Für die Bevorratung ist ein Harnstofftank vorzusehen. Dieser muss mindestens mit einer Füllstandsüberwachung und ggf. einer Heizung bei Frostgefahr ausgerüstet sein. Die Harnstofflösung ist vor direkter Sonneneinstrahlung und hohen Temperaturen zu schützen, da sich bei hohen Temperaturen und unter Einwirkung von Sonnenlicht der Harnstoff zersetzt.

Die Harnstoffdosiereinrichtung, die in jedem Fall Bestandteil des Lieferumfangs des SCR-Katalysators ist, muss entsprechend der Vorgaben in folgender Übersicht installiert werden, um einen zuverlässigen Betrieb des SCR-Katalysators zu ermöglichen. Sollten auftragspezifisch die Grenzen von Schlauchlängen und / oder Förderhöhen nicht eingehalten werden können, müssen in Rücksprache mit CES individuelle Lösungen umgesetzt werden.

### 12.4.3 SCR-Katalysator ohne integrierten Oxidationskatalysator

Der Einsatz von SCR-Katalysatoren ohne Oxidationskatalysator ist möglich, aber selten. Er dient ausschließlich der Minderung des NO<sub>x</sub>-Gehalts im Abgas.

- Erforderliche Informationen: Die allgemeine Beschreibungen im Kapitel [SCR-Katalysator mit integriertem Oxidationskatalysator](#) ► 233]

In Bezug auf Lagerung, Montage, Betrieb und Instandhaltung sind die Angaben für Oxidationskatalysatoren zu berücksichtigen.

- Erforderliche Informationen: [Oxidationskatalysator](#) ► 231]

Abweichend davon gelten folgende Grenzen für die Abgastemperatur und Schwefeldioxid im Abgas:

- Temperaturen ab ca. 505 °C können zum vorzeitigen Altern und mit zunehmender Temperatur auch zu einer Schädigung des Katalysators führen.
- Ab 530 °C kommt es in der Regel zur Zerstörung des Katalysators.
- Eine Temperaturüberwachung vor einem SCR-Katalysator ist erforderlich, sofern die technische Möglichkeit besteht, dass 500 °C überschritten werden. Ein geregeltes Herunterfahren bei einer Überschreitung von 500 °C ist erforderlich, um den Katalysator zu schützen.
- Bei Abgastemperaturen oberhalb von 500 °C können Spezialkatalysatoren eingesetzt werden, die höheren Temperaturen standhalten.
- Mit einem SCR-Katalysator ohne Oxidationskatalysator können etwas höhere Werte von Schwefeldioxid im Abgas toleriert werden
  - Weitere Informationen: [Schwefeloxide im Abgas](#) ► 219]

Die oben genannten Grenzen für die Abgastemperatur können projektspezifisch je nach Katalysator-Hersteller abweichen.

### 12.4.4 Abgasschalldämpfer

Abgasschalldämpfer haben die Aufgabe, das beim Betrieb des Motors entstehende Abgasgeräusch auf ein gefordertes Maß zu dämpfen. Die eingesetzten Schalldämpfer arbeiten als Reflexionsdämpfer, Absorptionsdämpfer oder Kombinationsdämpfer. Im tieferen

Frequenzbereich von 125 Hz bis 500 Hz erreichen Reflexionsdämpfer ihre höchste Dämpfung. Absorptionsdämpfer erreichen ihr Dämpfungsmaximum im Frequenzbereich von 250 Hz bis 1000 Hz.

Bei einem Kombinationsdämpfer ist der erste Teil als Reflexionsdämpfer und der zweite Teil als Absorptionsdämpfer ausgeführt. Der Kombinationsdämpfer vereinigt die Eigenschaften der beiden Dämpfer und erreicht so über einen weiten Frequenzbereich hohe Dämpfungswerte.

Wenn die geforderte Dämpfung des Abgasgeräusches nicht mit einem Schalldämpfer erreicht werden kann, muss in der Regel ein weiterer Schalldämpfer in Reihe eingebaut werden. Zur Minderung von Körperschall ist zwischen den Schalldämpfern ein Kompensator einzubauen.

- Weiter Informationen: [Allgemein](#) ► 308]

### **Betrieb**

- Die Abgasschalldämpfer dehnen sich bei Betriebstemperatur aus. Dementsprechend müssen Loslager und Kompensatoren vorgesehen werden.

## **12.4.5 Abgasklappen**

In den meisten Anwendungsfällen sind die Abgassysteme für jeden Motor getrennt aufgebaut. In diesen Systemen werden Abgasklappen als Stellklappen zur Umgehung von Abgaskomponenten eingesetzt.

Bei Abgassystemen, bei denen mehrere Motoren an eine gemeinsame Abgasleitung angeschlossen werden müssen, dienen Abgasklappen zur Trennung des einzelnen Motors von der gemeinsamen Abgasleitung. Das ist zum Beispiel der Fall, wenn das Abgas mehrerer Motoren zum Betrieb einer Absorptionskältemaschine zusammengeführt ist.

Abgasklappen sind im geschlossenen Zustand nicht vollkommen dicht, es gibt immer eine Leckströmung. Anforderungen an die Dichtigkeit von Abgasklappen sind anwendungsbezogen zu beachten.

### **Bypass von Komponenten im Abgassystem**

Zur Umgehung von Abgaskomponenten wie z. B. Abgaswärmetauscher und bzw. oder Dampferzeuger werden Abgasklappen eingesetzt. Der Antrieb erfolgt über einen elektrischen oder pneumatischen Stellantrieb. Ein manueller Antrieb ist ebenfalls möglich. Sie

dienen nur als Stellklappen und haben keine Regelfunktion. Es werden vorzugsweise Klappenkombinationen eingesetzt, bei denen zwei Klappen über ein Koppelgestänge gegenläufig auf und zu gefahren werden.

### **Mehrmotorenanlagen mit gemeinsamer Abgasleitung**

Bei Mehrmotorenanlagen mit gemeinsamer Abgassammelleitung muss die unkontrollierte Rückströmung von Abgasen vermieden werden. Rückströmendes Abgas in einen nicht in Betrieb befindlichen Motor führt zu Korrosionsschäden. Verschiedene Möglichkeiten zur Vermeidung von Abgasrückströmung mit entsprechender Anordnung von Abgasklappen sind im Folgenden aufgeführt.

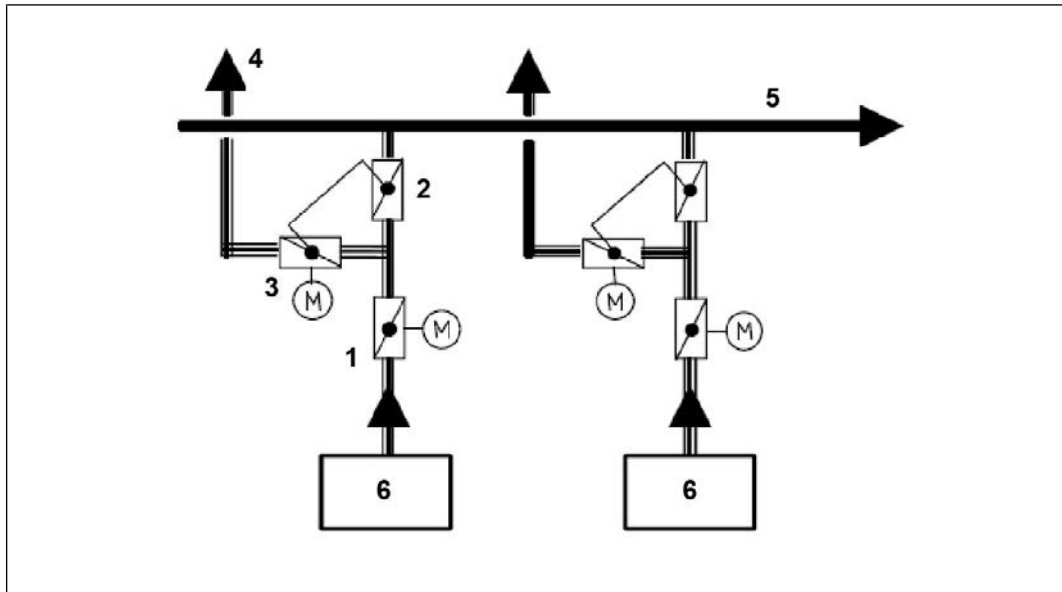
### **Abgasklappensystem mit separatem Abgasrohr**

Bei dieser Ausführung des Abgassystems befindet sich hinter dem Motor in der Leitung eine Abgasklappe. Danach wird der Abgasstrom über eine Bypassklappenkombination entweder über ein separates Abgasrohr ins Freie geführt oder in die gemeinsame Abgassammelleitung (siehe folgende Abbildung). Bei Stillstand des Motors ist die Abgasklappe nach dem Motor (Klappe 1) und die Klappe zur Abgassammelleitung (Klappe 2) geschlossen. Die Klappe in der Leitung zum Austritt ins Freie (Klappe 3) ist geöffnet. In der Abgassammelleitung herrscht bei Betrieb der anderen Motoren Überdruck. Über die Abgasklappe 2 kommt es zu einer Leckgasströmung in den Zwischenraum. Wegen der verhältnismäßig kleinen Leckgasmenge und des relativ großen freien Querschnittes der Abgasleitung ins Freie (Klappe 3 offen) strömen die Leckgase ins Freie. Der Motor ist durch die geschlossene Klappe 1 geschützt. Vor dem Start eines Motors wird die Abgasklappe 1 hinter Motor geöffnet. Das Abgas strömt zunächst über die offene Abgasklappe 3 ins Freie. Wenn der Motor hochgefahren ist, wird durch Umschalten der Abgasbypass-Klappenkombination der Abgasweg ins Freie geschlossen. Gleichzeitig wird der Weg ins gemeinsame Abgassammelrohr geöffnet. Dieser Aufbau bietet folgende Vorteile:

- Jeder Motor kann individuell betrieben werden, ist nicht von der Abgasableitung über gemeinsames System abhängig.
- Jeder Motor kann ohne Abgasgegendruck gestartet werden.

Bei stromgeführter Betriebsweise kann die Abgaswärmemenge durch Umschaltung auf Bypass ins Freie dem augenblicklichen Bedarf angepasst werden. Dieser Aufbau wird beim Betrieb von mehreren Motoren auf ein gemeinsames Abgassystem dringend empfohlen.





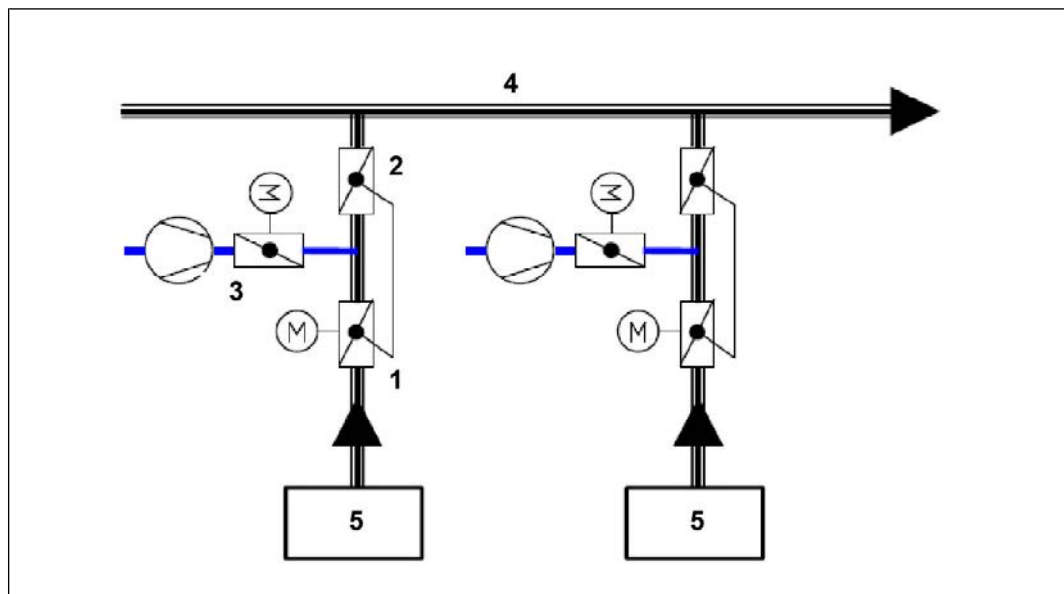
3761792267: Gemeinsames Abgassystem mit Bypass ins Freie

- |   |                    |   |                  |
|---|--------------------|---|------------------|
| 1 | Abgasklappe 1      | 2 | Abgasklappe 2    |
| 3 | Abgasklappe 3      | 4 | Bypass ins Freie |
| 5 | Abgassammelleitung | 6 | Gasmotor         |

### Abgasklappensystem mit Sperrlufteinblasung

Bei diesem System sind in der Abgasleitung zum gemeinsamen Abgassammelrohr zwei Absperrklappen eingebaut, die über einen Stellantrieb gemeinsam aufgeföhren oder zugeföhren werden können. In den Raum zwischen den beiden Klappen ist die Sperrluftleitung angeschlossen. Die Versorgung mit Sperrluft erfolgt über ein Gebläse mit nachgeschalteter Absperrklappe (siehe folgende Abbildung). Bei Stillstand des Motors sind beide Abgasklappen (Klappe 1 und Klappe 2) geschlossen. Der Raum zwischen den Klappen wird mit Sperrluft beaufschlagt. Der Sperrluftdruck muss größer als der maximale Abgasgegendruck in der Abgassammelleitung sein. Die Sperrluftmenge muss über der Leckrate der Abgasklappen liegen. Dadurch kann kein Leckgas von der Abgassammelleitung in den stehenden Motor gelangen. Vor dem Start eines Motors werden die beiden Abgasklappen geöffnet, die Absperrklappe 3 nach Gebläse geschlossen und das Sperrluftgebläse abgeschaltet. Der Motor muss gegen den auf der Abgassammelleitung anstehenden Abgasgegendruck starten.

Vorteil: Es muss keine separate Leitung ins Freie föhren.



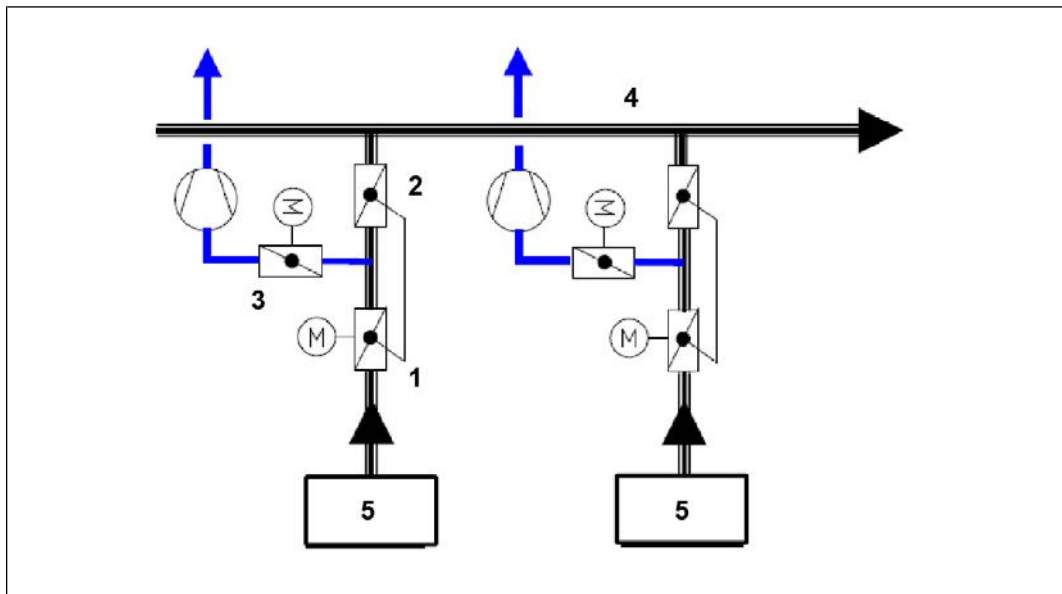
3762870155: Gemeinsames Abgassystem mit Sperrlufteinblasung

- |   |               |   |                    |
|---|---------------|---|--------------------|
| 1 | Abgasklappe 1 | 2 | Abgasklappe 2      |
| 3 | Luftklappe    | 4 | Abgassammelleitung |
| 5 | Gasmotor      |   |                    |

### Abgasklappensystem mit Zwischenentlüftung

Auch bei diesem System sind in der Abgasleitung zum gemeinsamen Abgassammelrohr zwei Absperrklappen eingebaut, die über einen Stellantrieb gemeinsam aufgeföhren oder zugeföhren werden können. In den Raum zwischen den beiden Klappen wird die Entlüftungsleitung angeschlossen. Das Leckgas im Zwischenraum zwischen den Abgasklappen wird über ein Sauggebläse mit vorgeschalteter Absperrklappe abgesaugt und ins Freie befördert (siehe folgende Abbildung). Bei Stillstand des Motors sind beide Abgasklappen (Klappe 1 und Klappe 2) geschlossen. In dem Raum zwischen den Klappen wird durch das Sauggebläse ständig ein leichter Unterdruck gehalten. Die über die Klappen strömenden Leckgase werden über das Gebläse ins Freie geführt. Es gelangt kein Leckgas in den stehenden Motor. Vor dem Start eines Motors werden die beiden Abgasklappen geöffnet, die Absperrklappe 3 vor dem Gebläse geschlossen und das Sauggebläse abgeschaltet. Der Motor muss gegen den auf der Abgassammelleitung anstehenden Abgasgegendruck starten.

Nachteil: Es muss eine separate Leitung ins Freie führen, der Querschnitt ist aber kleiner gegenüber einer Abgasleitung entsprechend der folgenden Abbildung.



3762872843: Abgasklappensystem mit Zwischenentlüftung

#### 12.4.6 Abgaskamin

Besonders in der Nähe von Wohngebieten müssen unzulässige Immissionen durch die Abgase der Motoren verhindert werden. Durch Abgaskamine werden die Abgase an einem hohen Punkt in die Atmosphäre abgeleitet.

Abgaskamine sind zur Vermeidung von Taupunktunterschreitung im Abgas zu isolieren. Werden Abgaskamin nicht oder nicht vollständig isoliert, kann es zu Taupunktunterschreitung und damit zu Kondensatanfall im Betrieb kommen. Dadurch muss mit verstärkter Korrosion gerechnet werden.

Die Abgasgeschwindigkeit im Abgaskamin sollte zwischen 15 m/s bis 20 m/s liegen. Über 20 m/s besteht die Gefahr von Resonanzschwingungen mit unerwünschter Geräuscentwicklung. Eine hohe Austrittsgeschwindigkeit ergibt eine dynamische Schornsteinüberhöhung und verbessert die Ausbreitung des Abgases, erhöht jedoch das Strömungsrauschen.

Die Zugwirkung des Abgaskamins (abhängig von der Abgaskaminhöhe), vermindert den Gegendruck im Abgassystem. Durch den Einbau von Deflektorhauben am Abgaskaminaustritt kann jedoch die Zugwirkung des Abgaskamins teilweise oder ganz kompensiert werden. In ungünstigen Fällen ist auch im Abgaskamin mit einem Gegendruck zu rechnen.

Abgaskamine sind mit einer dauerhaften Kondensatableitung und Regenwasserableitung auszurüsten. Der Eintritt von Regen, Eis und Schnee ist möglichst gering zu halten.



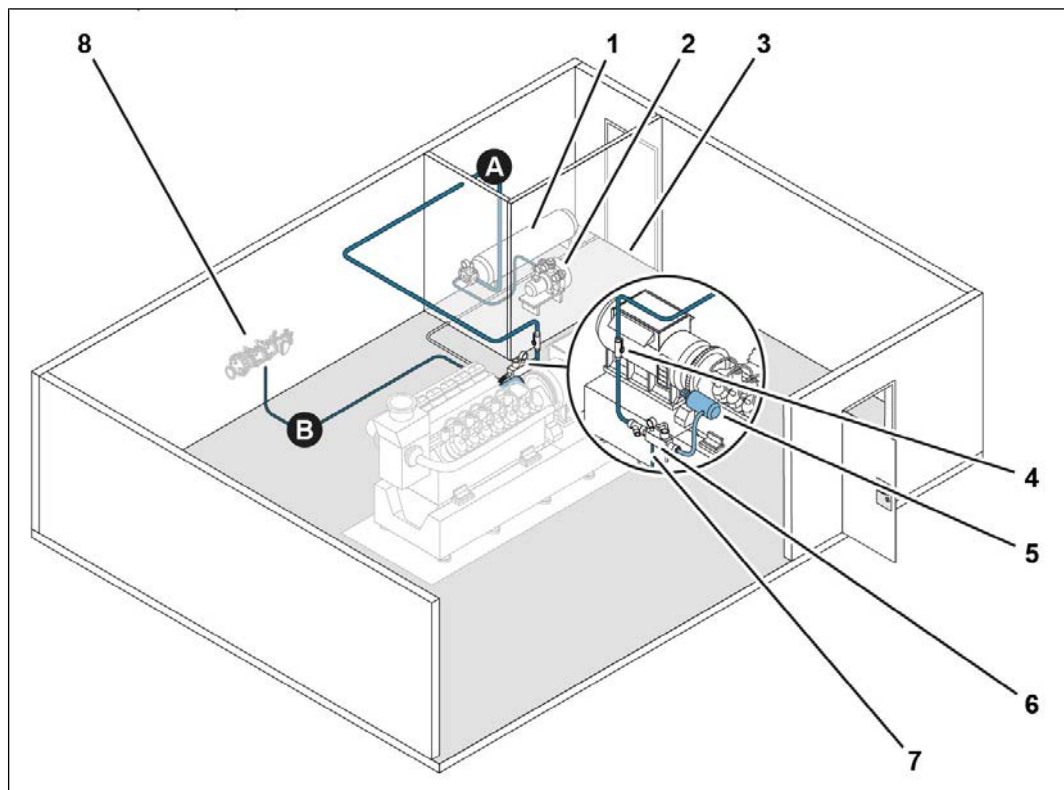
# 13 Druckluftsystem

## Inhaltsverzeichnis

13.1	Systemübersicht .....	246
13.2	Aufbau und Funktion .....	246
13.2.1	Startsystem .....	246
13.3	Anforderungen und Richtwerte .....	248
13.4	Komponenten des Druckluftsystems .....	248
13.4.1	Kompressoren .....	248
13.4.2	Druckluftbehälter .....	248
13.4.3	Druckluftleitungen .....	249
13.5	Sicherheitshinweise .....	249

## 13.1 Systemübersicht

Die schematische Abbildung zeigt und benennt typische Bestandteile und Schnittstellen als Hilfe für den Einstieg. Proportionen sind deshalb nicht maßstäblich, die Anordnung beispielhaft.



3619792523: Beispielabbildung in vereinfachter Darstellung

A	Startsystem (Hochdruck)	B	Niederdrucksystem (Option)
1	Druckluftbehälter	2	Druckluftkompressor
3	Kondensatablauf	4	Hochdruckabsperrearmatur
5	Druckluftregelstrecke und Druckluftstarter am Aggregat	6	Anschlussarmaturen
7	Abgang Niederdrucksystem (Option)	8	Gasregelstrecke mit Druckluftanschluss (nur bei bestimmten Brenngasen)

## 13.2 Aufbau und Funktion

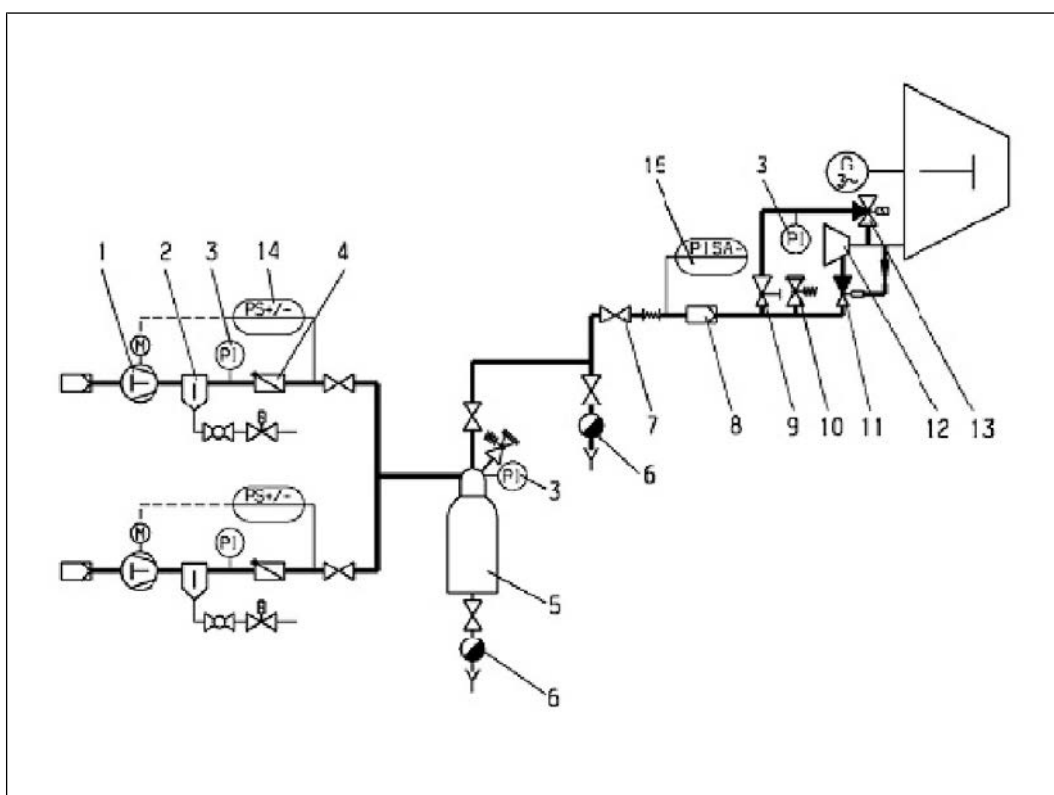
### 13.2.1 Startsystem

#### Druckluftstarter

Einige Motorbaureihen starten mit Druckluft. Der Start erfolgt durch einen Druckluftstarter über einen Zahnkranz am Schwungrad. Die folgende Tabelle zeigt die bei den Baureihen eingesetzten Startsysteme.

Motorbaureihe	Druckluftstarter	Elektrostarter
TCG 3016		X
TCG 2020	X	X (Standard)
TCG 3020		X
TCG 2032	X	

Tab. 29: Baureihen und Startsysteme



3881224075: Anlassluftsystem für einen Motor mit Druckluftstarter

- |    |                        |    |                                      |
|----|------------------------|----|--------------------------------------|
| 1  | Kompressor             | 2  | Ölabscheider                         |
| 3  | Manometer              | 4  | Rückschlagventil                     |
| 5  | Druckluftbehälter      | 6  | Kondensatableiter                    |
| 7  | Hochdruckabsperarmatur | 8  | Schmutzfänger                        |
| 9  | Druckminderer          | 10 | Sicherheitsventil                    |
| 11 | Anfahrventil           | 12 | Starter                              |
| 13 | Steuerventil           | 14 | Druckschalter für Kompressor EIN/AUS |

- 15 Drucksensor für Anzeige und Auswertung im TEM-System bzw. TPEM-System

Entsprechend Abbildung befüllt der Kompressor (1) über das Rückschlagventil (4) und den Ölabscheider (2) die Druckluftflasche (5). Die Druckluftflasche (5) ist mit einem Wasserabscheider (6) versehen. Der Fülldruck der Flasche wird an dem Manometer (3) abgelesen. Über die Hochdruck-Absperrarmatur (7) und den Schmutzfänger (8) gelangt die Druckluft zum Anfahrventil (11). Beim Startbefehl öffnet das Steuerventil (13) das Anfahrventil und beaufschlagt den Starter (12) mit Druckluft. Der Motor startet.

### **Niederdruckluft-System**

In der Gasregelstrecke bei Motoren der Baureihe TCG 2032 werden die pneumatischen Absperrventile mit Druckluft von max. 10 bar versorgt. Die Anlassgruppe verfügt standardmäßig über einen Niederdruckanschluss zur Versorgung einer Gasregelstrecke mit Pneumatikventilen. Wenn Gasregelstrecken mit Magnetventilen eingesetzt sind, ist der Niederdruckanschluss nicht genutzt.

## **13.3 Anforderungen und Richtwerte**

### **Druckluftqualität**

Die Druckluft muss staubfrei und ölfrei sein. Die Kompressoren und die Luftfilterung sind entsprechend auszulegen.

## **13.4 Komponenten des Druckluftsystems**

### **13.4.1 Kompressoren**

Die Kompressoren sollten redundant als Diesel- oder Elektrokompressoren mit entsprechender Ausrüstung für drucklosen Anlauf ausgeführt werden. Die Kompression erfolgt meistens zweistufig mit Zwischenkühlung. Der Kompressionsdruck beträgt 30 bar. Die Auslegung ist auf das Gesamtvolumen der angeschlossenen Druckluftbehälter abzustimmen.

### **13.4.2 Druckluftbehälter**

Druckluftbehälter sind entweder als stehend oder liegend zu installierende Behälter ausgeführt. Das Behältervolumen richtet sich nach der Type und der Anzahl der angeschlossenen Motoren. Weitere Faktoren sind die Anzahl der geforderten Starts, die ohne Nachfüllen der Luftbehälter möglich sein müssen. Druckluftbehälter müssen regelmäßig entwässert werden. An Druckluftbehältern ist eine Entwässerungsmöglichkeit am tiefsten Punkt des Behälters vorzusehen. Liegende Behälter müssen mit Neigung in Richtung des Behälterbodens eingebaut werden, damit eine gute Entwässerung am Behälterboden



möglich ist. Grundsätzlich werden automatische Entwässerungen empfohlen. Diese sind immer unter dem Behälter anzuordnen, die Entwässerungsleitung vom Behälter zur Entwässerung muss stetig fallend verlegt sein.

### 13.4.3 Druckluftleitungen

In der Auffüllleitung zwischen Kompressor und Druckluftbehälter ist ein Öl- und Wasserabscheider einzubauen, sofern dieser nicht am Kompressor vorgesehen ist.

Die Anlassleitung zwischen Druckluftbehälter (Behälterkopf) und Hauptanfahrventil des Motors ist möglichst kurz und mit möglichst wenig Krümmern zu verlegen. Je nach Verlegung der Leitungen ist an den tiefsten Stellen eine automatische Entwässerungsmöglichkeit vorzusehen. In der Anlassleitung wird der Einbau eines Schmutzfängers mit Entwässerungsventil empfohlen. Beim Einbau des Schmutzfängers ist auf die Einbaulage (Siebausbau immer nach unten) und die Flussrichtung zu achten. Der Schmutzfänger ist bei Aggregaten mit Druckluftstart Bestandteil des Startsystems.

Bei einer Mehrmotorenanlage kann eine Ringleitung die Verfügbarkeit der Anlage erhöhen.

Schweißrückstände und sonstige Verunreinigungen in der Druckluftleitung sind unbedingt zu vermeiden. Die Anlassluftleitungen sind grundsätzlich mit Edelstahlrohren auszuführen.

#### Erforderliche Informationen

- [Werkstoffe für Rohrleitungen](#) [► 348]

## 13.5 Sicherheitshinweise

Bei der Durchführung von Arbeiten am Motor ist die Druckluftzufuhr zum Motor grundsätzlich abzusperren, damit kein unbeabsichtigter Start des Motors möglich ist.



## 14 Steuerungssysteme und Schaltanlage

### Inhaltsverzeichnis

14.1	Systemübersicht .....	252
14.1.1	Steuerungssysteme .....	252
14.1.2	TEM-System .....	252
14.1.3	TPEM-System.....	254
14.2	Aufbau und Funktion TEM-System .....	255
14.2.1	Aufbau und Funktion.....	255
14.2.2	Betriebstagebuch und Historien.....	257
14.2.3	Diagnose und Servicefunktionen .....	257
14.2.4	Technische Daten (AGS).....	258
14.2.5	Einbauhinweise für den I/O-Controller.....	259
14.2.6	Vorteile für den Anwender .....	260
14.3	Aufbau und Funktion TPEM-System.....	262
14.3.1	Aufbau und Funktion.....	262
14.3.2	TPEM Control Cabinet (TPEM CC) .....	265
14.3.3	Einbauhinweise für den TPEM I/O-Controller.....	268
14.3.4	Technische Daten.....	269
14.3.5	Bedienung des TPEM-Systems.....	269
14.3.6	Chronik .....	269
14.3.7	Historien.....	270
14.3.8	Diagnosefunktionen und Servicefunktionen .....	270
14.4	Schaltschränke und Module.....	270
14.4.1	Steuerung und Versorgung der Hilfsantriebe - Hilfsantriebeschrank (HAS).....	270
14.4.2	Leistungsteil - Generatorleistungsfeld (GLF) .....	271
14.4.3	Zentrale Anlagensteuerung - Zentraler Anlagensteuerungsschrank (ZAS).....	271
14.4.4	Modul Grid Demand Interface (GDI) bzw. TPEM GRID Code I/O-Controller ...	272
14.5	Hinweise für die Planung und Ausführung .....	273

## 14.1 Systemübersicht

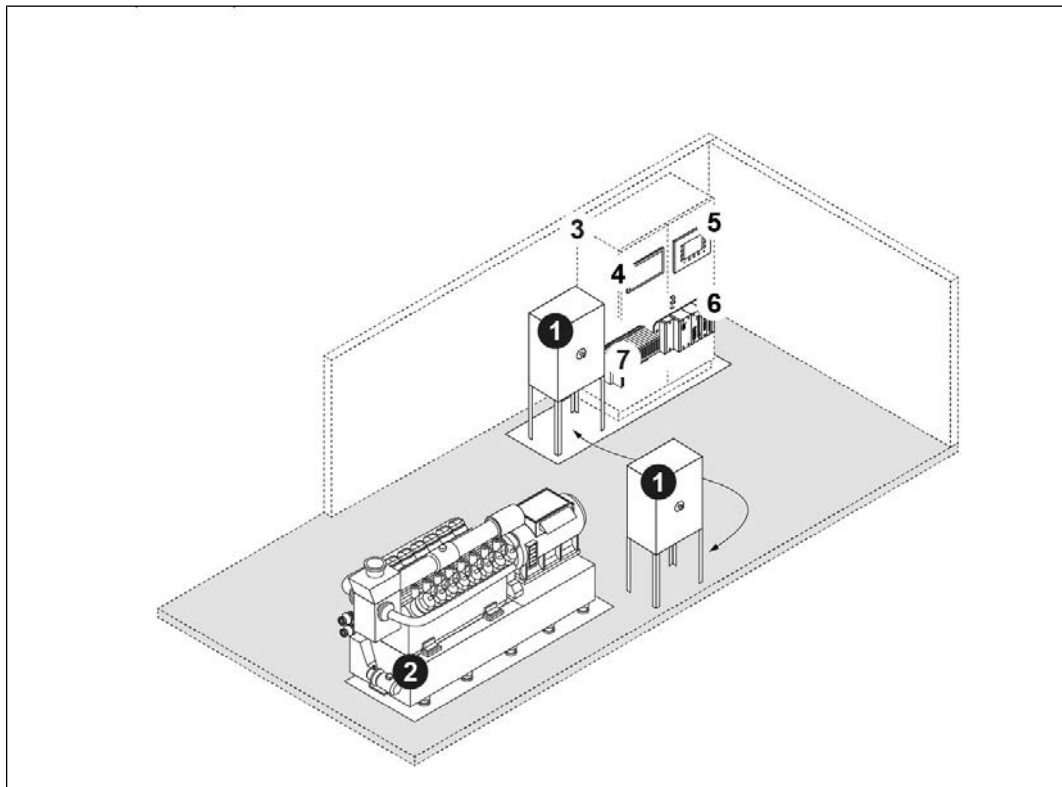
### 14.1.1 Steuerungssysteme

Die Steuerung von Aggregat und Hilfssystemen erfolgt je nach Baureihe durch das TEM-System bzw. das TPEM-System. Beide Steuerungssysteme unterscheiden sich wesentlich in Aufbau und Funktion.

Die folgenden Abbildungen zeigen beispielhaft eine Auswahl von typischen Steuerungskomponenten eines Aggregats mit TEM- bzw. TPEM-System. Sie dient als Übersicht zu den wichtigsten Unterschieden in der Komponentenanzordnung und Bedienung zwischen TEM- und TPEM-System.

### 14.1.2 TEM-System

#### Wichtige Komponenten für die Aggregatsteuerung

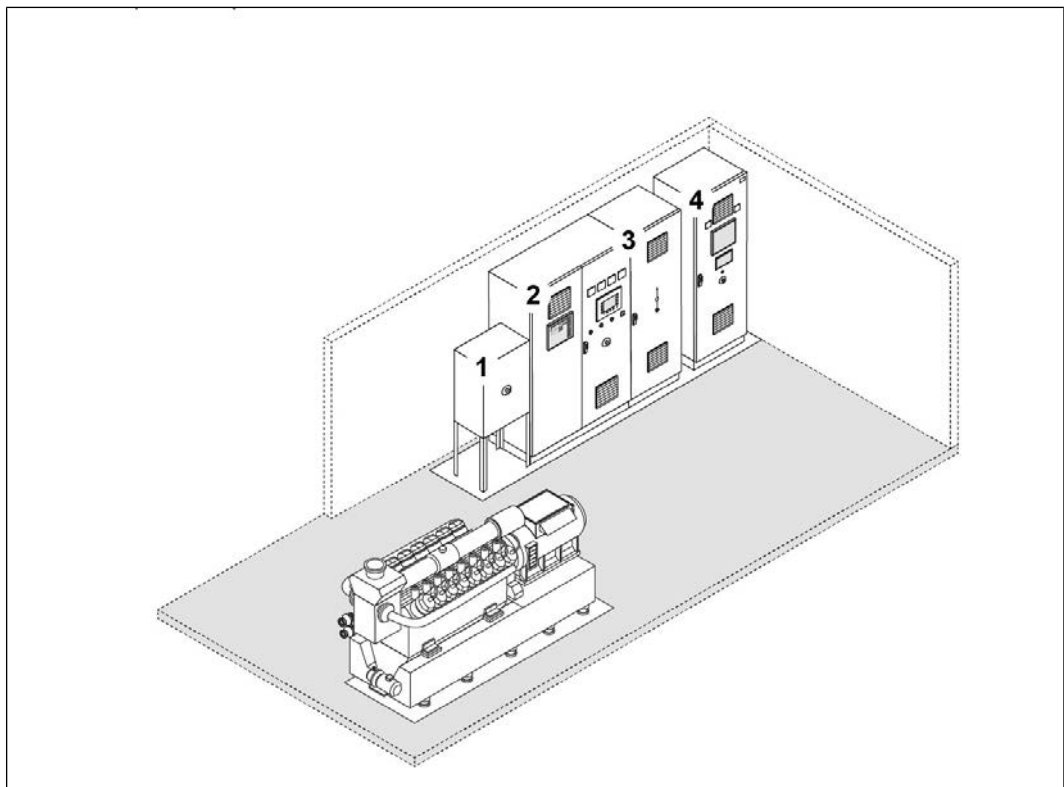


3597238155: Beispielabbildung in vereinfachter Darstellung

- |   |   |   |  |
|---|---|---|--|
| 1 | Aggregatsteuerung (AGS), kurze Verbindungsleitung (Positionierung nah beim Aggregat oder Schaltanlagenraum bei kurzer Entfernung) | 2 | Aggregat mit Aktoren und Sensoren                                    |
| 3 | Hilfsantriebsbeschränk (HAS)  | 4 | Bedienrechner als zentrale HMI für den Einbau in einen Schaltschrank |

- |   |  |
|---|--|
| <p>5 Multifunktionsrelay (TEM-MFR) mit Bedienelementen als Schnittstelle zur Stromeinspeisung für den Einbau in einen Schaltschrank</p> <p>7 TEM I/O-Controller als Schnittstelle zu diversen Hilfssystemen für den Einbau in einen Schaltschrank</p> | <p>6 Grid Demand Interface (GDI) bei Grid-Code-Anwendungen</p> |
|---|--|

## TEM-System mit Schaltanlage

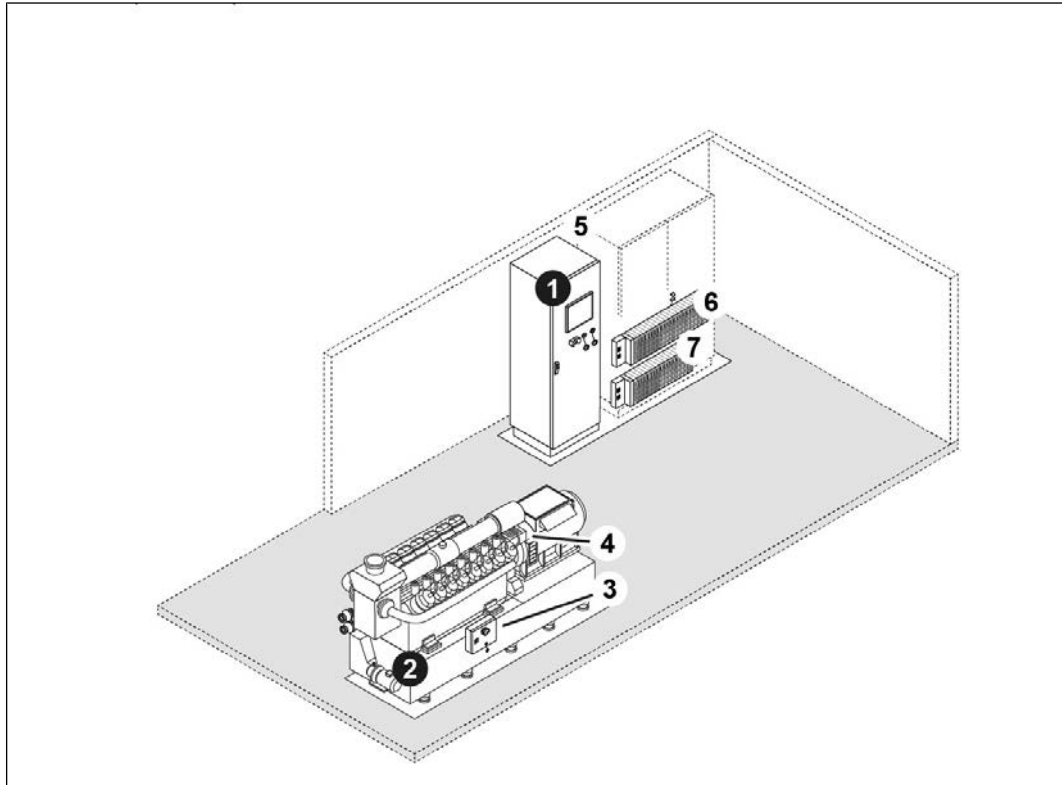


3703325451: Beispielabbildung in vereinfachter Darstellung

- |   |  |
|---|--|
| <p>1 Aggregatsteuerung (AGS)</p> <p>3 Generatorleistungsfeld (GLF) bei Leistungsabgabe Niederspannung</p> | <p>2 Hilfsantriebeschrank (HAS)</p> <p>4 Zentrale Anlagensteuerung (ZAS) als übergeordneter Schaltschrank bei Mehrmodulanlagen</p> |
|---|--|

## 14.1.3 TPEM-System

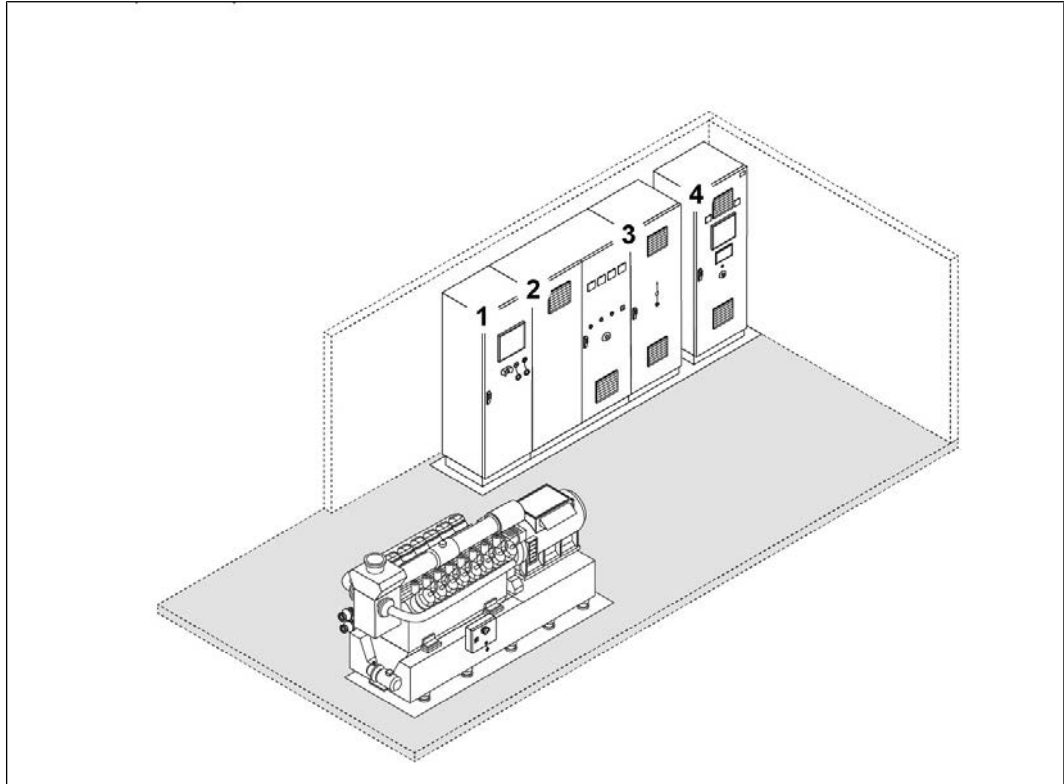
### Wichtige Komponenten für die Aggregatsteuerung



3671902859: Beispielabbildung in vereinfachter Darstellung

- |   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| 1 | TPEM Control Cabinet (TPEM CC) mit TPEM Touch Panel als zentrale HMI, lange Verbindungsleitung möglich (Positionierung Schaltanlagenraum empfehlenswert) | 2 | Aggregat mit Aktoren, Sensoren und je nach Baureihe einem bzw. mehreren Controllern (TPEM CU)                    |
| 3 | TPEM Connection Box für die montagefreundliche Verbindung mit dem TPEM CC  | 4 | Controller für die Motorsteuerung (TPEM CU)  |
| 5 | Hilfsantriebeschrank (HAS)   | 6 | TPEM I/O-Controller als Schnittstelle zu diversen Hilfssystemen für den Einbau in den Hilfsantriebeschrank (HAS) |
| 7 | TPEM Grid Code I/O-Controller bei Grid-Code-Anwendungen  |   |  |

### TPEM-System mit Schaltanlage



3703324939: Beispielabbildung in vereinfachter Darstellung

- |   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| 1 | TPEM Control Cabinet (TPEM CC)                                  | 2 | Hilfsantriebeschrank (HAS) für TPEM-System  |
| 3 | Generatorleistungsfeld (GLF) bei Leistungsabgabe Niederspannung | 4 | Zentrale Anlagensteuerung (ZAS) als übergeordneter Schaltschrank bei Mehrmodulanlagen |

## 14.2 Aufbau und Funktion TEM-System

### 14.2.1 Aufbau und Funktion

#### Komponenten

Das TEM-EVO-System besteht aus folgenden Komponenten:

- Aggregateschrank (AGS) komplett mit angeklemmten Kabeln zum Aggregat, enthält die Aggregatesteuerung und die Sicherheitskette. Zwischen dem Gasmotor und dem Aggregateschrank (AGS) beträgt die Kabellänge 8 m (optional 15 m). Beim TCG 2032 beträgt die Kabellänge 8m.
- I/O-Controller zum Einbau in den Hilfsantriebeschrank (HAS), mit max. 250 m Abstand vom Aggregateschrank (AGS), Datenübertragung über fehlersichere CAN-Bus Verbindung

- Grid Demand Interface (GDI) zum Einbau in den Hilfsantriebschrank (HAS) für die Umsetzung von spezifischen Vorgaben des am Betriebsort gültigen Grid Codes
- Bedienrechner mit Touch Screen für den Einbau in den Hilfsantriebschrank (HAS) bzw. externes Steuerfeld. Max. 100 m Abstand vom Aggregateschrank, Verkabelung mit geschirmter dreiadriger Leitung.
- Multi Function Relay (TEM-MFR) zum Einbau in den Hilfsantriebschrank (HAS) für die Kommunikation mit dem Generatorregler und dem Generatorleistungsschalter (GLS)

Durch diesen Aufbau wird der Verkabelungsaufwand in der Anlage minimiert. Der Aggregateschrank (AGS) wird in unmittelbarer Nähe zum Aggregat aufgestellt. Zusammen mit der im Werk geprüften Motorverkabelung gewährleisten die fertig am Aggregateschrank (AGS) angeklebten und geprüften Kabel zum Aggregat (aggregatseitig mit Steckverbindern) eine problemlose Inbetriebnahme und hohe Betriebssicherheit.

Die den Leistungsteil betreffenden Signale werden direkt im Hilfsantriebschrank (HAS) über den I/O-Controller mit dem TEM-EVO-System ausgetauscht. Die Datenübertragung zur Aggregatesteuerung erfolgt über eine fehlersichere CAN-Busverbindung.

Der Bedienrechner ist frei auf der Anlage platzierbar, je nach Wunsch im Hilfsantriebschrank (HAS) oder in der Schaltwarte. Die max. Entfernung zum Aggregateschrank (AGS) beträgt 100 m.

### Funktion

Das TEM-System ist der Kopf des gesamten Gasmotor-Moduls. Das TEM-System beinhaltet:

- Steuerungs-, Regelungs- und Überwachungsfunktionen für den Gasmotor bzw. den Generator des Aggregats
- Optional Steuerungs-, Regelungs- und Überwachungsfunktionen für kompatible Hilfseinrichtungen (beispielsweise Notkühlung, Heizkreisregelung)
- HMI für die Bedienung und Beobachtung durch den Betreiber

Das TEM-System regelt und optimiert die Gasverbrennung in den Zylindern. Durch die Überwachungsfunktionen schützt es das Aggregat vor unerlaubten Grenzzuständen und garantiert hohe Laufzeiten. Durch integrierte Regelfunktionen sorgt es für optimierte und reproduzierbare Motorwerte in allen Betriebszuständen.

Die integrierte Kurzzeithistorie und Langzeithistorie speichert die relevanten Messwerte auf remanente Datenspeicher ab und macht die eigenen Vorgänge transparent.

Im TEM-EVO-System sind die in den folgenden Kapiteln beschriebenen Funktionen in modularer Bauweise enthalten. Außerdem ist es durch eine breite Palette von Optionen möglich, das TEM-EVO-System optional auf bestimmte Anwendungsfälle anzupassen. Angepasst werden können z. B. die Antiklopfregelung (AKR), Maschinenraumlüftung, Steuer- und Regelung der Tischkühler im Heizkreis, Motorkreis, Notkühlkreis und Gemischkühl-



kreis. Weitere Anpassungen sind möglich durch die Nutzung von parametrierbaren Messwerten, Zählwerten und Regelkreisen, CH<sub>4</sub>-Wert geführtem Betrieb usw. Einfache Bedienung, eine hohe Betriebssicherheit und optimierte Wirtschaftlichkeit ist das Ergebnis.

### 14.2.2 Betriebstagebuch und Historien

Das elektronische Betriebstagebuch des TEM-EVO-Systems ersetzt durch seine Protokollierfunktionen ein manuell geführtes Tagebuch. Alle Betriebsmeldungen und betriebswichtigen Schalthandlungen sowie jede Parameter-Änderung werden mit genauem Zeitstempel (Datum bzw. Uhrzeit) protokolliert.

Insgesamt kann das TEM-EVO-System über 600 verschiedene Ereignisse überwachen und unterscheiden. Das TEM-EVO-System ermöglicht eine schnelle und detaillierte Analyse der Betriebsweise des Aggregats incl. der von TEM-EVO gesteuerten Hilfsfunktionen.

Die Historienfunktion zeichnet bis zu 84 Messwerte auf. Bis zu 20 Messwertkurven können in einem Diagramm gemeinsam dargestellt werden. Der Benutzer kann die Messwertkurven selbst zusammenstellen. TEM-EVO zeichnet Historien in drei Geschwindigkeitsstufen auf.

Historie	Geschwindigkeitsstufen
Arbeitsspielhistorie	Aufzeichnung der Momentanwerte in jedem Arbeitsspiel (1 Arbeitsspiel = 2 Kurbelwellenumdrehungen)
6 min. Historie	Aufzeichnung der Momentanwerte in jeder Sekunde
40 h-Historie	Aufzeichnung von 6 min-Messwerten

Tab. 30: Historienfunktion

### 14.2.3 Diagnose und Servicefunktionen

Zusätzlich zu Historie und Betriebstagebuch enthält das TEM-EVO-Basissystem weitere Diagnosefunktionen und Servicefunktionen. Diagnosefunktionen und Servicefunktionen dienen zur frühzeitigen Erkennung von Abnormalitäten und es ist dadurch möglich, den Betrieb der Anlage zu optimieren. Störungssituationen lassen sich schneller beheben. Die Inbetriebnahme ist durch diese Funktionen erheblich vereinfacht und beschleunigt. Dies trägt entscheidend zur gesamten Wirtschaftlichkeit des Gasmotoren-Moduls bei.

Folgende Service und Diagnosefunktionen stehen zur Verfügung:

- Hilfsaggregat-Testmodus
- Digitaler Drehzahlregler
- Elektronische Zündanlage
- Parametrierung
- Ölwechsel

- Elektronischer Betriebsstundenzähler
- Sprachenauswahl und Druckerauswahl
- System-Setup (Software-Versionen, Seriennummern, Farbeinstellungen, Bildschirm-schoner, etc.)
- Für Optionen zum Teil weitere Diagnosemasken und Servicemasken (z. B. Antiklopf-regelung, Zweigasbetrieb)

Die Servicemasken und Diagnosemasken können wie alle anderen Masken auch per Ana-log- Modem, Funk- Modem oder IP-Modem (Internet) optional übertragen werden. Da-durch sind Ferndiagnose und Ferntherapie durch unseren Kundendienst oder durch eige-ne Bereitschaftsmitarbeiter mit besonders kurzer Reaktionszeit möglich. Es ist möglich, mehrere TEM-EVO-Systeme über einen zentralen Bedienrechner zu bedienen, falls einer vorhanden ist.

#### 14.2.4 Technische Daten (AGS)

Aggregateschrank		
	Kabeleinführungen von unten	
	Standard-Abmessung (H × B × T)	1200 × 800 × 300 mm
	Schutzart	IP54
	Zulässige Betriebstemperatur	5 °C bis 45 °C

Tab. 31: Technische Daten Aggregateschrank

I/O-Controller		
	Abmessung (H × T)	112 × 114,5 mm
	Breite je nach Anzahl der Optionen	
	Schutzart	IP20
	Zulässige Betriebstemperatur	5 °C bis 45 °C

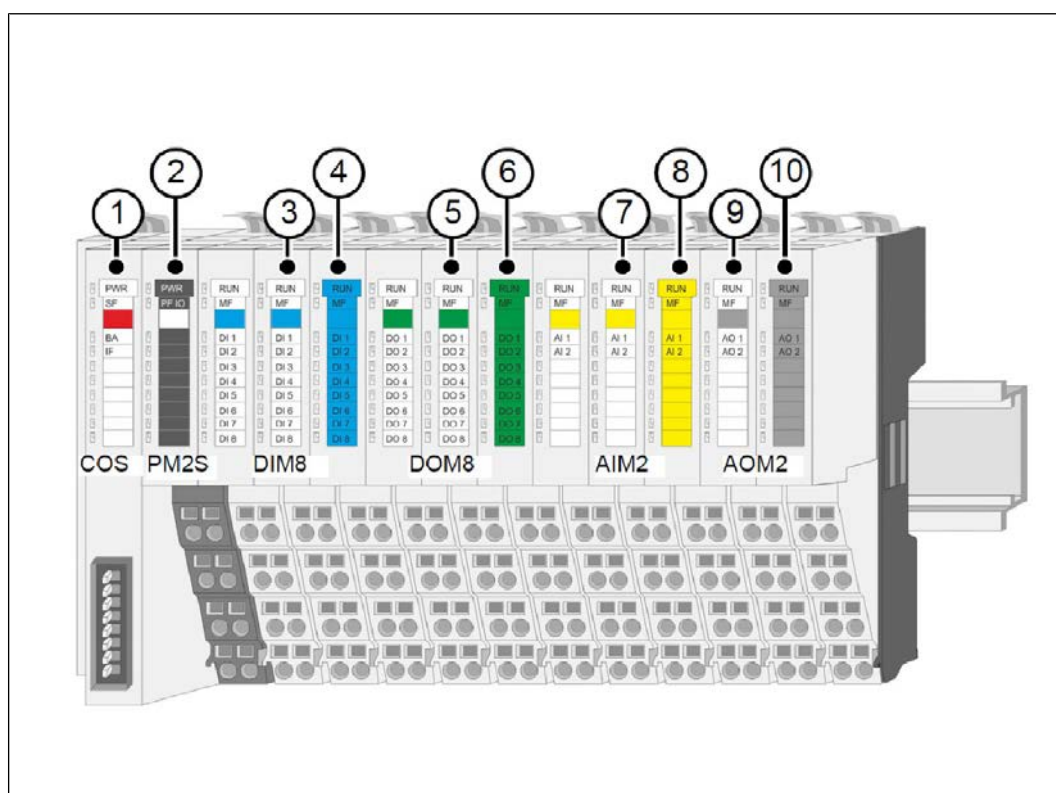
Tab. 32: Technische Daten I/O-Controller

Bedienrechner		
	Abmessung (H × B × T) inklusive Frontplatte	311 × 483 × 101 mm
	Einbautiefe	95 mm
	Montageausschnitt (H × B)	282 × 454 mm
	Schutzart (frontseitig)	IP65
	Zulässige Betriebstemperatur	5 °C bis 40 °C

Tab. 33: Technische Daten Bedienrechner

### 14.2.5 Einbauhinweise für den I/O-Controller

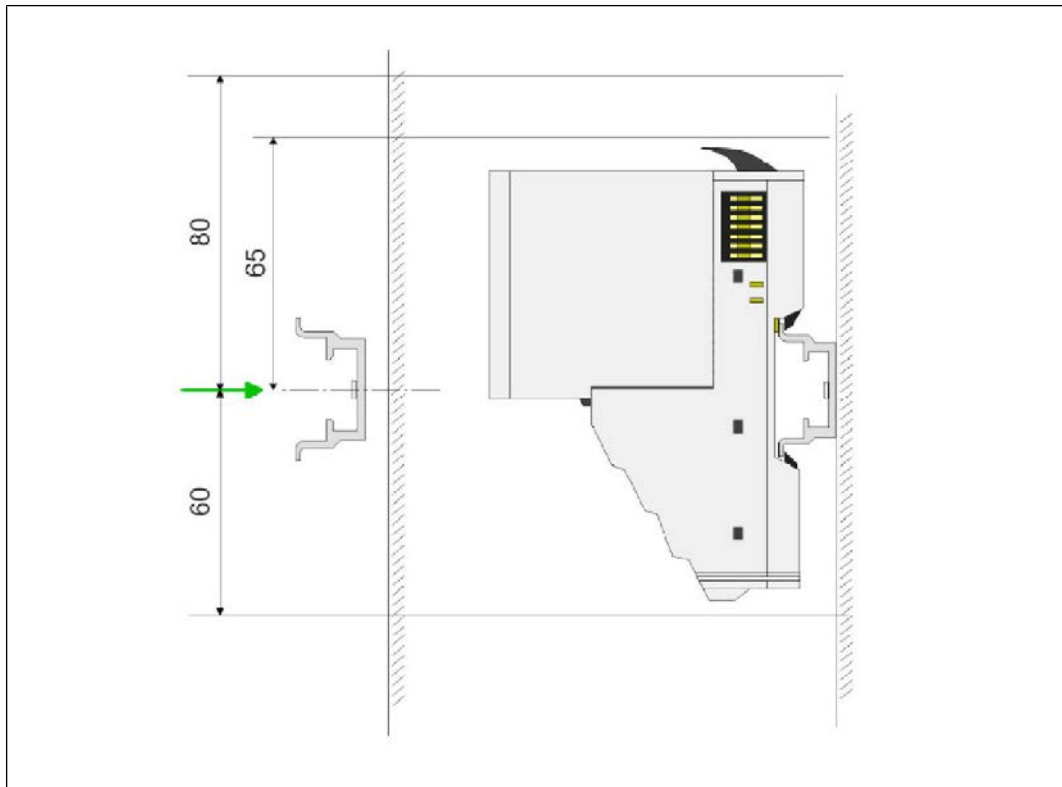
Der I/O-Controller muss auf einer waagrecht montierten 35 mm Hutschiene (DIN EN 60715) in einen Schaltschrank eingebaut werden. Die Einbaulage der Module muss senkrecht sein (siehe folgende Abbildung), damit eine ausreichende Durchlüftung gewährleistet ist. Der Abstand zwischen zwei Kabelkanälen sollte 200 mm betragen (mindestens 160 mm). Neben den IO-Bausteinen ist ein freier Platz für die eventuelle Nachrüstung weiterer IO-Bausteine vorgesehen. Dieser Platz darf beim Einbau in den Schaltschrank nicht mit anderen Bauteilen zugebaut werden.



3693538443: I/O-Controller

- |   |                            |   |  |
|---|----------------------------|---|--|
| 1 | rot: Bus-Koppler-Modul COS | 2 | schwarz: Power-Modul PM1S und PM2S, dargestellt PM2S |
|---|----------------------------|---|--|

3	blau: I/O-Modul DIM8	4	blau: Ersatzteilmodul DIM8
5	grün: I/O-Modul DOM8	6	grün: Ersatzteilmodul DOM8
7	gelb: I/O-Modul AIM2	8	gelb: Ersatzteilmodul AIM2
9	grau: I/O-Modul AOM2	10	grau: Ersatzteilmodul AOM2



3695392395: Einbau des I/O-Controllers im Schaltschrank

## 14.2.6 Vorteile für den Anwender

Für den Anwender ergeben sich mit TEM-EVO folgende Vorteile:

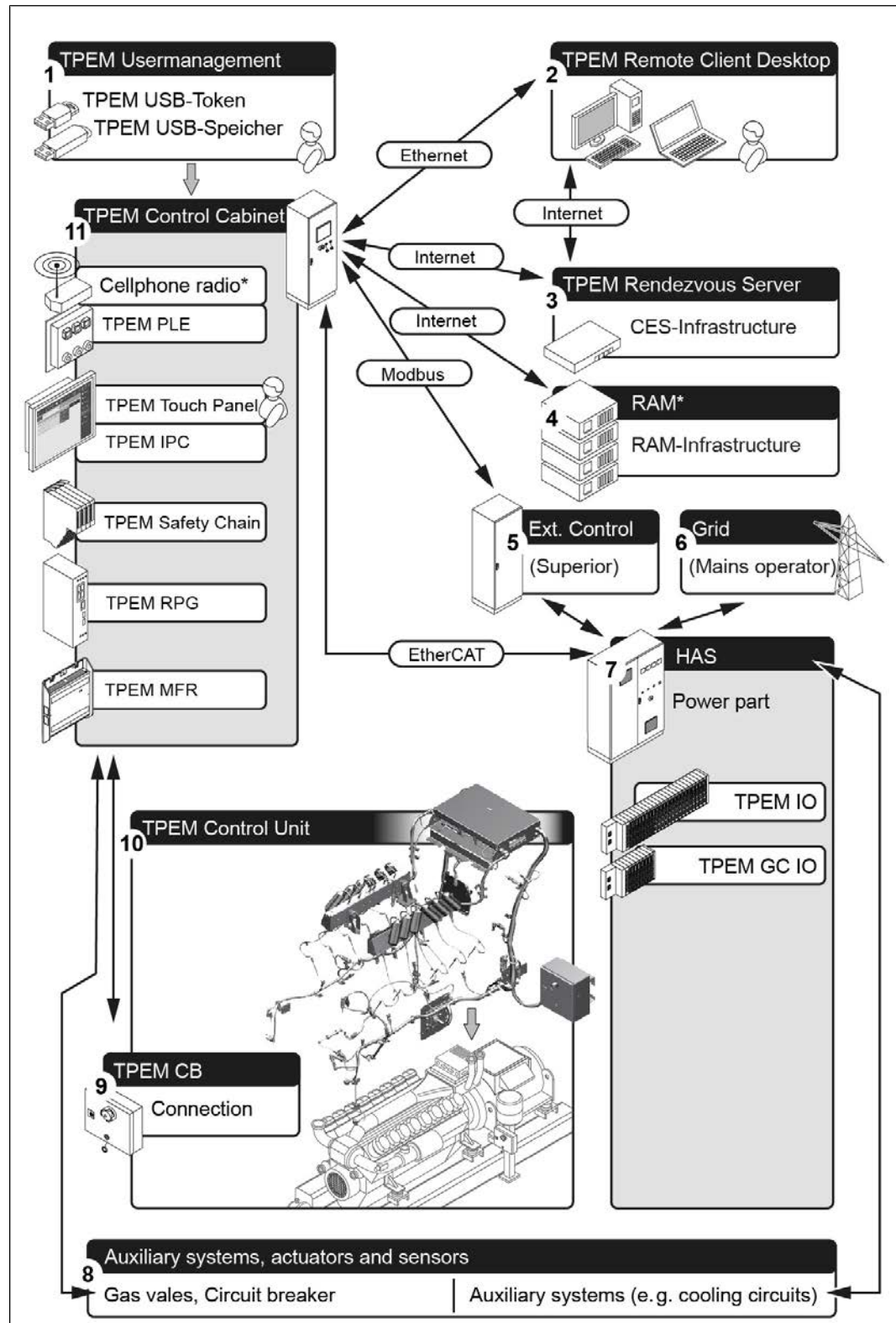
- Kompakter Aufbau und Integration vieler peripherer Zusatzfunktionen wie Wärmeverwertung u. Ä.
- Hoher Motorwirkungsgrad durch geregelten Betrieb im Optimal-Betriebspunkt.
- Dauerhaft niedrige Abgas-Emissionswerte.
- Hohe Anlagensicherheit durch automatische Plausibilitätsüberprüfung.
- Schnelle Störungsbeseitigung durch Anzeige von Messwerten sowie von Warnmeldungen und Störmeldungen.
- Schneller, kostengünstiger Service durch erweiterte Diagnose-Möglichkeiten mit Hilfe von Kurzzeithistorie und Langzeithistorie.

- Effektive Fernbedienung und Ferndiagnose über die zentrale Leitwarte oder andere externe Rechner über Telefonmodem oder Funkmodem (Option).
- Zusätzliche Ferndiagnose-Möglichkeiten über Telefonmodem durch den Service (Option).

## 14.3 Aufbau und Funktion TPEM-System

### 14.3.1 Aufbau und Funktion

#### Aufbau



4815731595: Aufbau des TPEM-Systems mit beispielhafter Darstellung eines TCG 3016

\* Optional

1	TPEM USB-Token und TPEM USB-Speicher	2	TPEM Remonte Client Desktop (TPEM RC DT)
3	TPEM Rendezvous Server (TPEM RVS)	4	Remote Asset Monitoring (RAM) mit optionalen Dienstleistungen zum Monitoring
5	Externe Steuerung, beispielsweise übergeordnete EZA-Steuerung des Betreibers	6	Kommunikationsleitung Netzbetreiber
7	Hilfsantriebschrank (HAS)	8	Angeschlossene Hilfssysteme, Aktoren und Sensoren
9	TPEM Connection Box (TPEM CB)	10	TPEM Control Unit (TPEM CU)
11	TPEM Control Cabinet (TPEM CC)		

Das TPEM-System ist das neu entwickelte Steuerungssystem und Regelsystem für den Betrieb einer Energieerzeugungsanlage mit Gasmotoren-Aggregaten. TPEM ist die Abkürzung für „Total Plant & Energy Management“. Umfangreiche Überwachungsfunktionen schützen das Gasmotoren-Aggregat und die dazugehörigen Anlagenkomponenten vor dem Überschreiten unerlaubter Grenzwerte. Die Überwachungsfunktionen garantieren damit eine hohe Verfügbarkeit und lange Laufzeiten. Das TPEM-System ist modular aufgebaut und kann flexibel an die örtlichen Gegebenheiten angepasst werden.

Das System ist zunächst für die Baureihen TCG 3016 und TCG 3020 verfügbar.

Das TPEM-System besteht aus den folgenden Hauptkomponenten:

- TPEM Control Unit (TPEM CU)
  - Die TPEM Control Unit beinhaltet die am Gasmotorenaggregat angebaute Komponenten des TPEM-Systems. Die Schnittstelle zur TPEM-Steuerung bildet die am Aggregat angebaute TPEM Connection Box. Der maximal mögliche Abstand zwischen TPEM Connection Box und der TPEM-Steuerung beträgt 100 Meter. Der Kabelsatz zwischen TPEM CC und TPEM CU kann bei CES bestellt werden oder muss vom Kunden gemäß der von CES vorgegebenen Kabelspezifikation ausgeführt werden.
- TPEM Control Cabinet (TPEM CC)
  - Das TPEM Control Cabinet ist der Steuerschrank mit fest verbaute 15" Touchpanel für die Bedienung. Das TPEM Control Cabinet steuert und regelt den Gasmotor, den Generator, die Hilfsantriebe sowie den Generatorleistungsschalter und den Netzleistungsschalter. Schnittstellen sind dabei der TPEM I/O-Controller und das TPEM Multi Function Relay. Weiterhin beinhaltet das TPEM Control Cabinet das TPEM Remote Plant Gateway für den Fernzugriff und die vom TÜV zertifizierte Sicherheitskette.

- TPEM I/O-Controller (TPEM IO)
  - Der TPEM I/O-Controller bildet die Schnittstelle zwischen dem TPEM-System und den Hilfsantrieben. Der I/O-Controller ist in den Hilfsantriebsschrank (HAS) eingebaut. Es werden die Signale zur Steuerung der Hilfsantriebe bereitgestellt, die Leistungsverorgung der Hilfsantriebe ist separat vorzusehen. Der Abstand zwischen TPEM Control Cabinet und TPEM I/O-Controller darf maximal 100 Meter betragen.
- TPEM Rendezvous-Server (TPEM RS)
  - Der TPEM Rendezvous Server ermöglicht den Zugriff auf das TPEM-System mit einem TPEM Remote Client über das Internet.
- TPEM Remote Client (TPEM RC)
  - Der TPEM Remote Client ist die Software zur Visualisierung des TPEM-Systems auf einem Rechner. Dabei werden zwei Zugangsmodi unterschieden:
    - a) für den CES-Service: Ferndiagnose und Fernwartung der Anlage
    - b) für den Betreiber: Fernbedienung und Fernüberwachung der Anlage
- TPEM USB-Token
  - Der TPEM Token regelt die Authentifizierung für den lokalen Zugriff und den Fernzugriff auf das TPEM-System.
- TPEM PLE
  - Das TPEM PLE ermöglicht die Einbindung des TPEM-Systems in die Technologien und Dienstleistungen des Remote Asset Monitorings (RAM).

## Funktion

Das TPEM-System umfasst alle Funktionen, die für die sichere komfortable Regelung und Steuerung des Gasmotorenaggregats und der dazugehörigen Anlage erforderlich sind. Diese Funktionen sind:

- Ansteuerung der Aktoren und Signalauswertung der Sensoren am TPEM I/O-Controller im Hilfsantriebsschrank (HAS); Datenübertragung zum und vom TPEM Control Cabinet (TPEM CC).
- Testmodus zur Überprüfung der angeschlossenen Aktoren, Sensoren und Hilfsantriebe.
- Aufzeichnung von Messwerten (Historien) zu Kontrollzwecken und Diagnosezwecken.
- Integrierte Messwertverarbeitung und Überwachung der Sensoren und Aktoren auf elektrische Fehler wie Kabelbruch und Kurzschluss.
- Aufzeichnung von Alarmen, Warnungen, Betriebsmeldungen und Parameteränderungen mit Datum und Uhrzeit. Die Aufzeichnungen dienen der detaillierten Beobachtung des Betriebs.



- Anschlussmöglichkeit für ein Service-Laptop an eine Service-PC-Schnittstelle direkt am TPEM Control Cabinet.
- Bedienerzugriff auf die TPEM-Steuerung über Rendezvous-Server und TPEM Remote Plant Gateway z. B. zur Ferndiagnose bzw. Fernwartung und Anbindung an ein lokales Netzwerk.

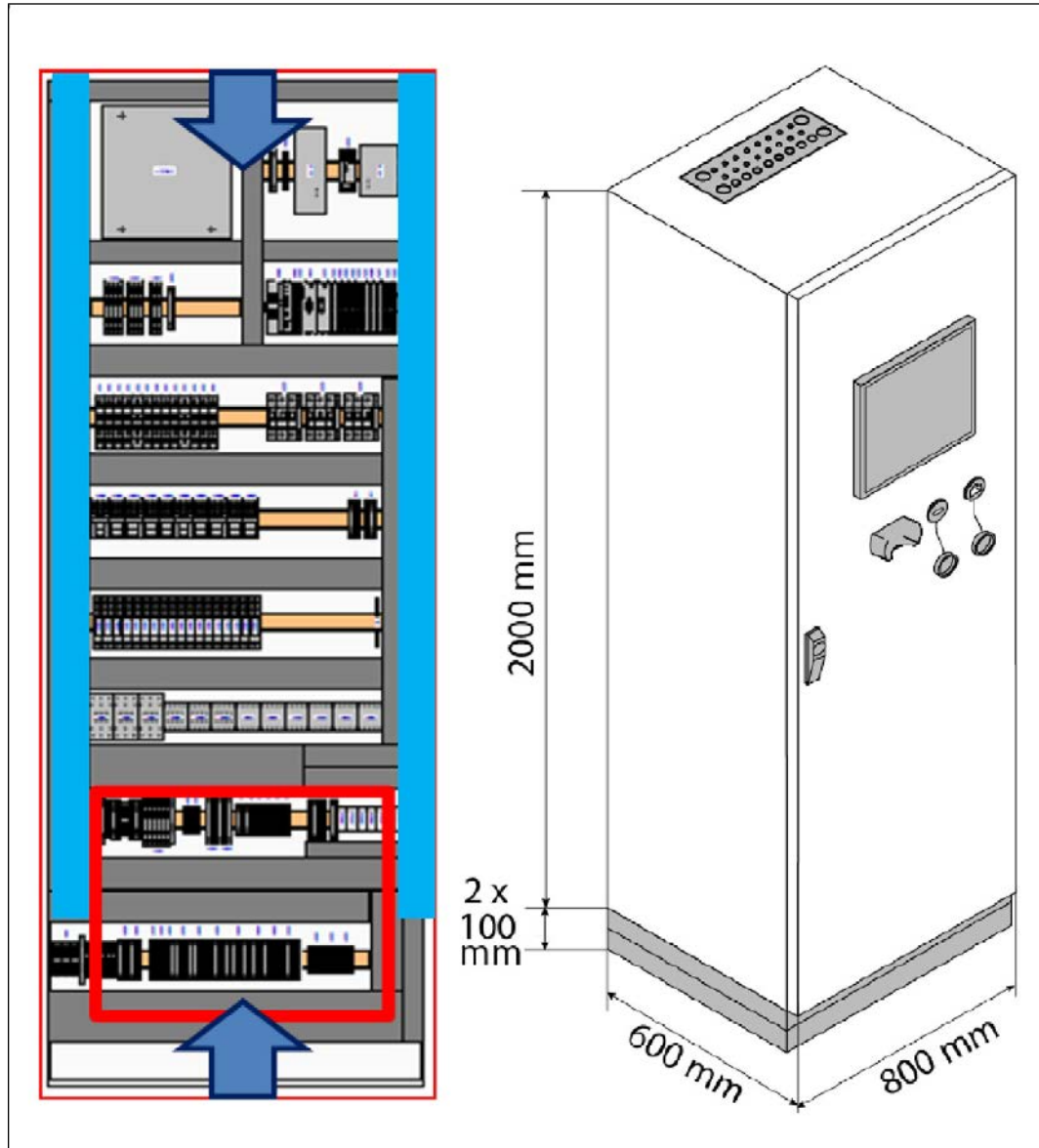
In Abhängigkeit von anlagenspezifischen Besonderheiten kann das TPEM-System um Sonderfunktionen erweitert und flexibel angepasst werden.

#### 14.3.2 TPEM Control Cabinet (TPEM CC)

Die folgende Abbildung zeigt das TPEM CC. Alle nötigen Klemmleisten für den Anschluss des TPEM CC befinden sich im unteren Bereich des Schaltschranks (siehe rot markierter Bereich in der Abbildung).

Darüber hinaus erlaubt das TPEM CC eine Kabelzuführung zu den Anschlussklemmen von oben. In der Decke des Schaltschranks ist ein vorgestanztes Lochblech eingebaut (siehe oberen grauen Pfeil in der Abbildung). Die von oben eingeführten Kabel werden über an den Seitenwänden eingebaute Kabelkanäle (siehe untere Markierungen in der Abbildung)

zu den Anschlussklemmen im unteren Bereich des Schaltschranks geführt. Für die Verkabelung von TPEM CC nach TPEM CB muss die entsprechende Kabelspezifikation berücksichtigt werden.



3693569163: TPEM Control Cabinet (TPEM CC)

### TPEM MFR

Das im TPEM Control Cabinet enthaltene MFR (Multi Function Relay) steuert den Generatorleistungsschalter und wenn nötig den Netzleistungsschalter. Außer im Inselbetrieb und Inselparallelbetrieb muss für das MFR eine Information über den Status des Netzleistungsschalters vorhanden sein. Darüber hinaus unterstützt das MFR folgende Generatorschutzfunktionen und Netzschutzfunktionen gemäß ANSI-Norm.

Generatorschutzfunktion	
Nummer nach ANSI/IEE C37-2	Funktion
81O/U	Überfrequenz und Unterfrequenz
59/27	Überspannung und Unterspannung
51 V	Zeitabhängiger Überstrom
50	Momentan Überstrom
46/47	Schiefast (in Deutschland nicht zulässig)
32/32 R	Überlast und Rückleistung
25	Synchronisationscheck

Tab. 34: Generatorschutzfunktion

Netzschutzfunktion	
Nummer nach ANSI/IEE C37-2	Funktion
81O/U	Überfrequenz und Unterfrequenz
59/27	Überspannung und Unterspannung
78	Zeitabhängiger Überstrom
25	Synchronisationscheck

Tab. 35: Netzschutzfunktion

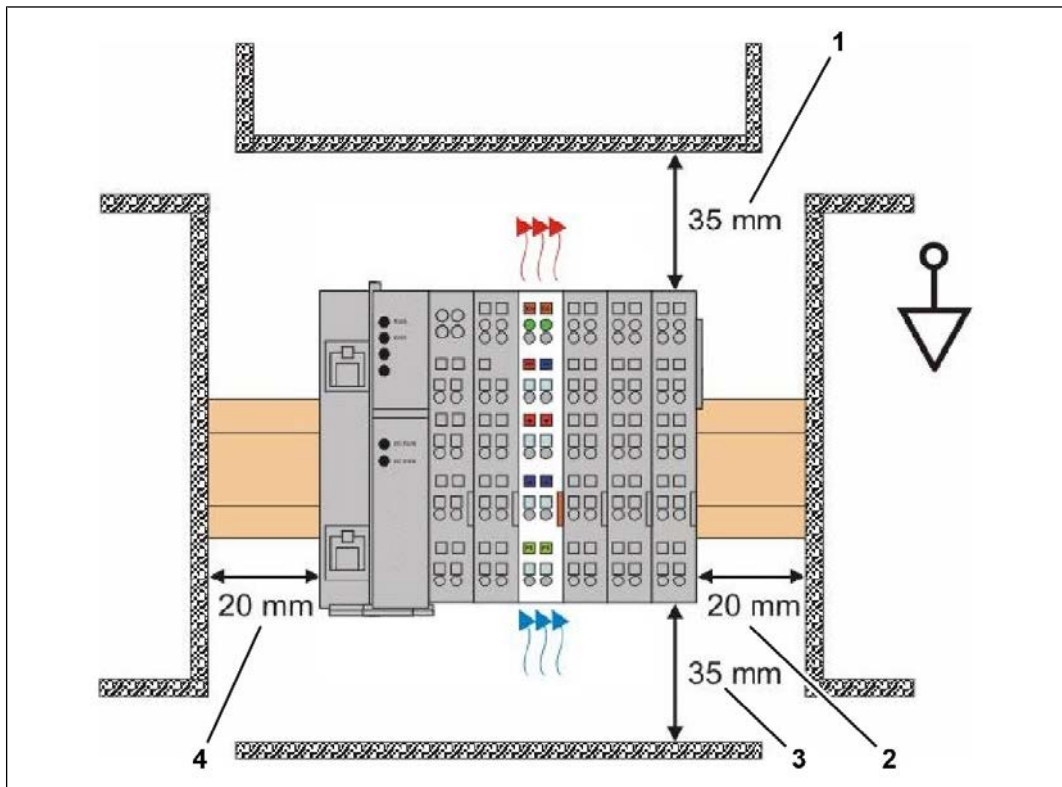
### Hinweise zum TPEM Control Cabinet

- Der Sockel des TPEM Control Cabinet ist in der Höhe teilbar. Damit können Sockelhöhen von 100 mm und 200 mm dargestellt werden (siehe obige Abbildung).
- Es wird empfohlen, das TPEM Control Cabinet in einem klimatisierten Schaltanlagenraum aufzustellen.

- Die maximale Entfernung zum Gasmotorenaggregat (TPEM Connection Box) beträgt 100 Meter.
- Für die Verbindung von TPEM Connection Box und TPEM Control Cabinet sind vor-konfektionierte Kabel in den Längen von 25, 50, 75 und 100 Meter als Bestelloptionen verfügbar. Falls nötig, kann eine weitere Längenanpassung der Kabel durchgeführt werden. Die Kabelspezifikation wird von CES zur Verfügung gestellt.

## 14.3.3 Einbauhinweise für den TPEM I/O-Controller

Der I/O-Controller muss auf einer waagrecht montierten 35 mm-Hutschiene (DIN EN 60715) in einen Schaltschrank eingebaut werden. Die Einbaulage der Module muss senkrecht sein (siehe folgende Abbildung). Damit eine ausreichende Durchlüftung gewährleistet ist, müssen die Abstände entsprechend folgender Abbildung eingehalten werden.



3693639819: TPEM I/O-Controller - Eibauabmessungen

- |   |                               |   |                        |
|---|-------------------------------|---|------------------------|
| 1 | Freier Raum über I/O-Modulen  | 2 | Abstand zur Seitenwand |
| 3 | Freier Raum unter I/O-Modulen | 4 | Abstand zur Seitenwand |

#### 14.3.4 Technische Daten

TPEM Control Cabinet (TPEM CC)		
	Abmessungen (H × B × T)	2200/2100 × 800 × 600 mm
	Schutzart	IP45
	Zulässige Betriebstemperatur	5 °C bis 45 °C
	Kabeleinführung wahlweise von unten oder von oben	

Tab. 36: Technische Daten TPEM-System

TPEM I/O-Controller		
	Abmessungen <b>ohne</b> Grid Code (B × H × T)	340 × 100 × 70 mm
	Abmessungen <b>mit</b> Grid Code (B × H × T)	500 × 100 × 70 mm
	Schutzart	IP20
	Zulässige Betriebstemperatur	5 °C bis 45 °C

#### 14.3.5 Bedienung des TPEM-Systems

Für den leichten Umgang mit dem TPEM-System sorgt ein intelligenter Bedienrechner mit 15" Touchpanel, mit dessen Hilfe intuitiv auf alle Funktionen zugegriffen werden kann. Mit der Navigationsleiste kann der Bediener schnelle und direkte Maskenwechsel zur Bedienung des Aggregats ausführen. Jede Bedienmaske informiert den Bediener über den aktuellen Status des angeschlossenen Aggregats. Alle Regelungsfunktionen, Servicefunktionen, Steuerungsfunktionen und Überwachungsfunktionen sind, ohne lange Einarbeitungszeit komfortabel zu bedienen. Die Kommunikation mit dem Benutzer kann in Deutsch, Englisch und über 20 weiteren Systemsprachen erfolgen. Die Sprache ist jederzeit per Knopfdruck umstellbar. Im Servicefall kann vorübergehend eine andere Sprache als die vom Anlagenpersonal verwendete eingestellt werden.

#### 14.3.6 Chronik

Die Betriebschronik des TPEM-Systems macht den Betrieb des Gasmotoraggregats und seiner Peripherie sowie des Netzanschlusses transparent. Alle Betriebsmeldungen und betriebswichtigen Schalthandlungen sowie jede Parameteränderung werden mit eindeutigen Zeitstempel (Datum bzw. Uhrzeit) protokolliert. Insgesamt ist das TPEM-System in der Lage, über 600 verschiedene Ereignisse zu überwachen und zu unterscheiden. Dies ermöglicht eine zügige und detaillierte Analyse der Betriebsweise des Aggregats inklusive der durch TPEM gesteuerten Hilfsfunktionen.

## 14.3.7 Historien

Die Historienfunktion zeichnet alle Messwerte auf. Diese können in einem Diagramm bei Bedarf gemeinsam dargestellt werden. Der Benutzer kann die Messwertkurven selbst zusammenstellen.

## 14.3.8 Diagnosefunktionen und Servicefunktionen

Zusätzlich zu Historie und Betriebsmeldungen enthält das TPEM-System weitere Diagnosefunktionen und Servicefunktionen, die wesentlich zu einer hohen Verfügbarkeit des Gasmotoren-Moduls beitragen. Auch die Inbetriebnahme wird durch diese Funktionen erheblich vereinfacht und beschleunigt.

Masken für Service und Diagnose existieren für:

- Hilfsaggregate-Testmodus
- Elektronische Zündanlage
- Parametrierung
- Ölwechsel
- Betriebsstundenzähler

## 14.4 Schaltschränke und Module

### 14.4.1 Steuerung und Versorgung der Hilfsantriebe - Hilfsantriebeschrank (HAS)

Eine typische Anlage enthält neben dem TEM-System bzw. TPEM-System pro Aggregat ein Feld für Hilfsantriebe, Synchronisierung und Generatorschutz sowie entsprechende Ladegeräte. Unter Hilfsantriebe sind alle Leistungsabgänge für Pumpen, Regelventile, Klappen, Lüfter, Rückkühler usw. zu verstehen. Die Synchronisierung sorgt für eine synchrone Zuschaltung zum Netz durch einen Feinabgleich. Abgleich der Motordrehzahl auf die Netzfrequenz, der Spannung sowie der Phasenlage. Unter Generatorschutz sind alle erforderlichen und empfohlenen Überwachungseinrichtungen für den Generator nach ISO 8528-4 zu verstehen.

#### Multifunktionsrelay

Bei TEM-Anlagen befindet sich das TEM MFR im HAS. Das TEM MFR entspricht dem TPEM MFR bei TPEM-Anlagen.

- Weitere Informationen: [TPEM Control Cabinet \(TPEM CC\) \[► 265\]](#)

#### Pufferbatterie

Eine separate Spannungsversorgung mit 24 V muss über eine Pufferbatterie gewährleistet werden. Unter anderem dient dies dazu, die Anlagensensorik und Anlagensteuerung auch bei einem Stromausfall aktiv zu halten. Weiterhin wird gewährleistet, dass die Zündung

bei Stromausfall weiterhin aktiv sein kann. Dies ist in der Regel beim Auslaufen des Aggregates notwendig, damit Restmengen an zündfähigem Gemisch im Motor vollständig verbrannt werden und kein zündfähiges Gemisch in die Abgasleitung gelangt.

#### 14.4.2 Leistungsteil - Generatorleistungsfeld (GLF)

##### GLF bei Spannungen im Niederspannungsbereich

Im Leistungsteil befindet sich der Generatorleistungsschalter (GLS). Die Messwandler für Strom sind ebenfalls im Leistungsteil angeordnet. Bei Spannungen  $< 1 \text{ kV}$  wird die Spannung direkt von der Schiene abgegriffen.

Es wird empfohlen den GLS mit einer Unterspannungsspule zu versehen, um ein sicheres Auslösen des Leistungsschalters z. B. bei Ausfall der Versorgungsspannung im Schalter Ein- Aus Kreis, zu gewährleisten.

Entsprechend dem steuerungstechnischen Überwachungskonzept öffnet eine Unterspannungsspule situativ den GLS.

##### GLF bei MV Schaltanlagen im Mittelspannungsbereich

Im Leistungsteil befindet sich der Generatorleistungsschalter und die entsprechenden Wandler für den Generatorschutz. Die Messwandler für Strom und Spannung sind ebenfalls im Leistungsteil angeordnet.

#### 14.4.3 Zentrale Anlagensteuerung - Zentraler Anlagensteuerungsschrank (ZAS)

Die ZAS dient zur zentralen Steuerung von mehreren Aggregaten. Die Funktionalität ist abhängig von der Projektierung. Die ZAS beinhaltet:

- Integrierte SPS (speicherprogrammbare Steuerung)
- Vor Ort Bedienebene über Touch Panel

Funktionen der ZAS für die einzelnen Aggregate:

- automatische bzw. manuelle Anwahl und Abwahl
- Leistungsvorgabe der Aggregate
- Vorgabe der Betriebsart (Netzparallelbetrieb, Inselbetrieb, Ersatzstrombetrieb)
- Netzbezugslastregelung
- Lastverteilung

Mögliche zusätzliche Funktionen der ZAS:

- Steuerung der unterschiedlichen Betriebsarten
- Gasartenauswahl
- Netzausfallüberwachung
- Steuerung und Überwachung der Schmierölversorgung und Altölentsorgung (Schmieröl-Tagestank, Altöltank)

- Steuerung und Versorgung zentraler Pumpen
- Steuerung und Versorgung von zentralen Notkühleinrichtungen
- Überwachung und Steuerung eines Wärmespeichers
- Gasbehälterstandsabhängige Betriebsweise
- Steuerung und Versorgung der Lüftungsanlage
- Steuerung und Versorgung der Gaswarnanlage
- Steuerung und Versorgung von Brandschutzeinrichtungen usw.

Daneben ist eine Handbedienebene vorzusehen, die eine örtliche Bedienung der Anlage möglich macht, falls das Prozessleitsystem ausfällt.

## 14.4.4 Modul Grid Demand Interface (GDI) bzw. TPEM GRID Code I/O-Controller

Das SPS-Modul Grid Demand Interface (GDI) realisiert die in den Netzanschlussbedingungen geforderten Regelfunktionen bezüglich Wirkleistung, Blindleistung und Zuschaltung bei TEM-Systemen bzw. TPEM-Systemen auf Ebene der Erzeugungseinheit. Es stellt die erforderlichen Schnittstellen zum Aggregat, zum Betreiber der Erzeugungsanlage und zum Netzbetreiber bereit. Eine Regelung der gesamten Erzeugungsanlage (EZA-Regler) durch das GDI ist nicht vorgesehen. Es handelt sich um ein geschlossenes System, dessen Funktionalität nicht durch Personen außerhalb von Caterpillar Energy Solutions geändert oder erweitert werden darf.

Die Funktionen zur Erfüllung der Netzanschlussregeln umfassen beispielsweise:

- Überprüfung der Zuschaltbedingungen für Spannung und Frequenz im normalen Zustand
- Überprüfung der Zuschaltbedingungen für Spannung und Frequenz nach Netzentkopplung
- Wirkleistungsbeschränkung durch Netzbetreiber über digitale und analoge Vorgaben (im Zuge des Netzsicherheitsmanagements)
- Frequenzabhängige Wirkleistungsanpassung bei Über- und Unterfrequenz (Limited frequency sensitive mode - underfrequency and over frequency, LFSM-U und -O,)
- Wahl der erforderlichen Wirkleistungsrampen bei verschiedenen Netzbedingungen (Normalbetrieb, Sollwertvorgabe durch Dritte (Direktvermarktung), Wirkleistungsbeschränkung durch Netzbetreiber, LFSM, Zuschaltung nach Netzentkopplung der EZE) Betriebsmodi zur Bereitstellung von Blindleistung, wie beispielsweise:
  - $\cos(\phi)$ -Vorgabe
  - $Q(U)$ -Kennlinie
  - $Q(P)$ -Kennlinie
  - Blindleistungsvorgabe mit Spannungsbeschränkung
- Parametrierbare Umschaltung des Blindleistungsmodus oder des betreffenden Sollwerts als Reaktion bei Ausfall der Fernwirkverbindung zum Netzbetreiber



## 14.5 Hinweise für die Planung und Ausführung

Bei der Ausrüstung und der Installation von Schaltanlagen sind neben den allgemeinen anerkannten Regeln der Technik insbesondere folgende Vorschriften zu beachten:

- Niederspannungsrichtlinie 2014/35/EU
- EMV-Richtlinie 2014/30/EU
- DIN EN 50156-1:2016-03
- DIN VDE 0100 Teil 0410 (IEC 60364-4-41)
- VDE 0660-600-2 (DIN EN 61439-2, IEC 61493-2)
- Ggf. DIN EN 60204-1 bzw. DIN EN 60204-1
- DGUV Vorschrift 3, Elektrische Anlagen und Betriebsmittel
- UL 508, CSA 22.2

Beim Arbeiten in Steuerschränken und Schaltschränken mit elektrischen Baugruppen ist die DIN EN 61340-5-1 (IEC 61340-5-1) zu beachten. Das Handling mit elektrostatisch empfindlichen Bauelementen (z. B. Leiterplatten) ist in der Service Mitteilung aufgeführt (hier wird speziell auf die DIN EN 61340-5-1 verwiesen).

Die Schaltanlagen sind für Umgebungstemperaturen von 0 °C bis 40 °C und 5 % bis 70 % relativer Luftfeuchte auszulegen. Ausgenommen hiervon sind die Wandschränke der TEM-Steuerungen. In diesen darf die Schaltschrankinnentemperatur bis auf 45 °C ansteigen.

Die Verlustwärme der Schaltgerätekombinationen ist bei Bedarf mit Hilfe von thermostategesteuerten Ventilatoren abzuführen, um ein Überschreiten der zulässigen Innentemperaturen zu vermeiden. Schaltanlagenräume müssen grundsätzlich klimatisiert sein. Die Klimatisierung hält Temperatur und relative Luftfeuchte auf einem konstanten Niveau. Eine direkte Sonneneinstrahlung auf die Schaltschränke ist durch eine entsprechende Anordnung zu verhindern. Kondensatbildung im Schaltschrank ist durch geeignete Maßnahmen zu verhindern.



# 15 Stromnetze und Aggregateanschluss

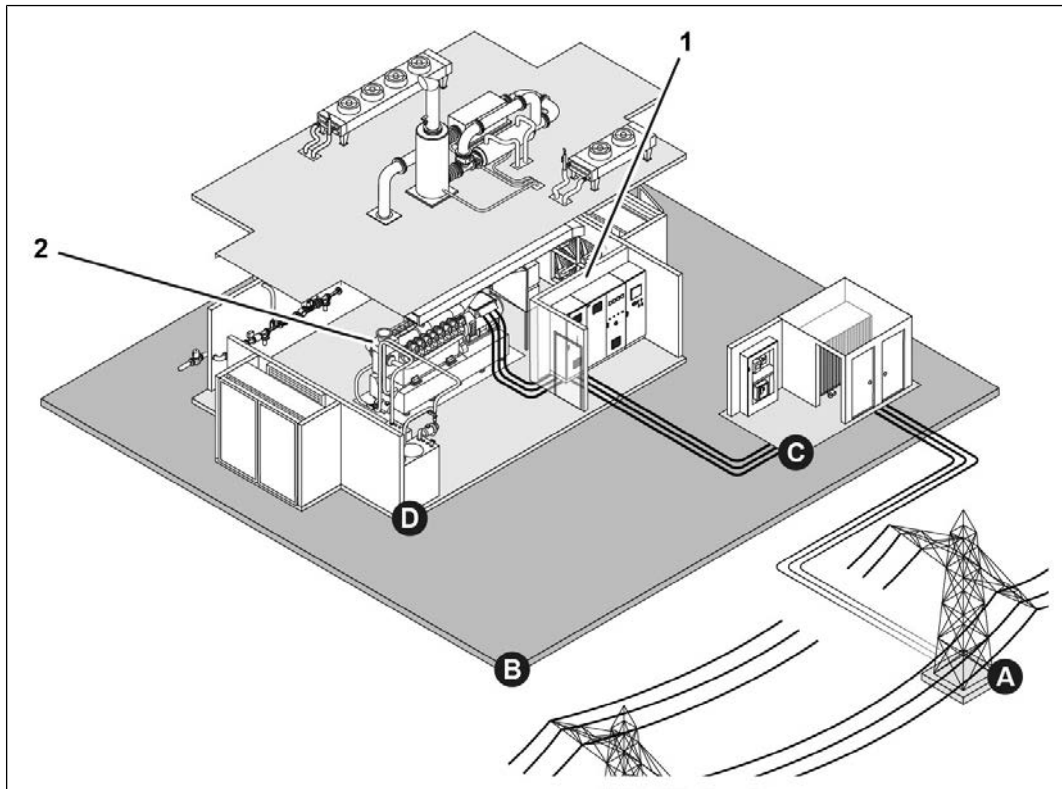
## Inhaltsverzeichnis

15.1	Netzparallelbetrieb .....	276
15.1.1	Systemübersicht .....	276
15.1.2	Aufbau und Funktion.....	277
15.1.3	Netzanschlussbedingungen.....	277
15.2	Inselbetrieb und Inselparallelbetrieb .....	283
15.2.1	Systemübersichten .....	283
15.2.2	Aufbau und Funktion.....	286
15.2.3	Hinweise für die Planung und den Betrieb.....	293

## 15.1 Netzparallelbetrieb

### 15.1.1 Systemübersicht

Die schematische Abbildung zeigt und benennt typische Bestandteile und Schnittstellen als Hilfe für den Einstieg. Proportionen sind deshalb nicht maßstäblich, die Anordnung beispielhaft.



3620530571: Beispielabbildung einer typischen Erzeugungsanlage mit Netzparallelanschluss in vereinfachter Darstellung

- |   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| A | Stromnetz eines Netzbetreibers  | B | Erzeugungsanlage (EZA) eines Anlagenbetreibers mit Netzparallelanschluss an das Stromnetz |
| C | Regelung bzw. Steuerung der gesamten EZA und Kommunikation mit Netzbetreiber  | D | Komplette Erzeugungseinheit (EZE) von CES   |
| 1 | Schaltanlage mit Generatorleistungs-  | 2 | Aggregat für die Spannungs- bzw. Wärmeezeugung  |
|   | schalter (GLS), Hilfsantriebschrank (HAS) und TPEM Control Cabinet (TPEM CC) oder Aggregateschrank TEM-(AGS) je nach Steuerungssystem |   |   |

### 15.1.2 Aufbau und Funktion

Charakteristisch für ein Verbundnetz (beispielsweise Mittelspannungsnetz) ist die Teilnahme von zentralen Großkraftwerken, dezentralen Erzeugungsanlagen (EZA) und vielen Verbrauchern. Alle Stromerzeuger sind parallel angeschlossen (Netzparallelbetrieb) und erzeugen ihre Wechselspannung synchron zur Phasenlage und Frequenz im Verbundnetz.

Eine Erzeugungsanlage besteht aus einer oder mehreren Erzeugungseinheiten und einer übergeordneten Steuerung. Die Steuerung und Regelung unterteilt sich nach Funktionalität entsprechend in:

- Schaltanlageanteile für die Steuerung und Regelung der Erzeugungseinheit (EZE), die für die gewünschte Qualität der Spannung bei der angeforderten elektrischen Leistung sorgen
- Schaltanlageanteile zur Energieverteilung bzw. Energieeinspeisung der übergeordneten Erzeugungsanlage (EZA) in ein Verbundnetz

Um eine Erzeugungsanlage (EZA) mit ihren Erzeugungseinheiten (EZE) elektrisch an ein Verbundnetz anzuschließen, bestehen umfangreiche Vorgaben des Netzbetreibers bzw. übergeordneter Behörden. Für eine Netzanschlussgenehmigung sind spezifische Konformitätsnachweise erforderlich. Die Art des Nachweises ist regional unterschiedlich und sollte bei der Projektierung mit dem Hersteller der Erzeugungseinheit abgestimmt werden.

### 15.1.3 Netzanschlussbedingungen

#### 15.1.3.1 Allgemein

Netzanschlussbedingungen regeln u. a. das Verhalten von Stromerzeugungsanlagen am öffentlichen Stromnetz und teilweise auch bei Inselnetzen bei bestimmten Betriebsbedingungen. Der jeweilige Netzbetreiber legt Netzanschlussbedingungen entsprechend der Anforderungen des betrachteten Netzes fest. Der Netzbetreiber berücksichtigt dabei Regelungen, die von Verbänden, nationalen, europäischen oder internationalen Gremien abgestimmt und festgelegt wurden.

#### 15.1.3.2 Netzanschlussbedingungen in Deutschland: Anschluss und Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz und Hochspannungsnetz

##### Allgemein

Photovoltaikanlagen, Windenergieanlagen, Wasserkraftanlagen und Anlagen mit Gasmotorenaggregaten erhalten eine immer stärkere Bedeutung. Die zunehmende Bedeutung beruht auf der fortschreitenden Dezentralisierung der Stromerzeugung mit diesen Anlagen innerhalb des Versorgungsnetzes. Die Anschlussbedingungen von Stromerzeugern am Mittelspannungsnetz oder Hochspannungsnetz sind in Deutschland in den folgenden Richtlinien geregelt:

- Erzeugungsanlagen im Mittelspannungsnetz: VDE-AR-N 4110
- Erzeugungsanlagen im Hochspannungsnetz: VDE-AR-N 4120

An der statischen und dynamischen Netzstützung müssen sich nach diesen Richtlinien neben Photovoltaikanlagen, Windenergieanlagen, Wasserkraftanlagen auch Anlagen mit Gasmotorenaggregaten beteiligen. Weitere Anforderungen, z. B. an die Wirkleistungsabgabe, Netzurückwirkungen, Schutzeinstellungen und Zuschaltbedingungen, sind einzuhalten. Aggregate von Caterpillar Energy Solutions zählen aufgrund ihrer direkt mit dem Netz gekoppelten Synchrongeneratoren in diesem Zusammenhang zu Erzeugungseinheiten (EZE) Typ 1.

### Statische Spannungshaltung

Unter statischer Spannungshaltung versteht man die Spannungshaltung im Mittelspannungsnetz bzw. Hochspannungsnetz für den normalen Betriebsfall. Im Verteilungsnetz werden langsame Spannungsänderungen in verträglichen Grenzen gehalten.

### Dynamische Netzstützung

Im Mittelspannungsnetz bzw. Hochspannungsnetz versteht man unter dynamischer Netzstützung die Spannungshaltung bei kurzzeitigen Spannungseinbrüchen und Spannungsanstiegen. Die Spannungshaltung vermeidet die Abschaltung großer Einspeiseleistungen und Netzzusammenbrüche.

### Anforderungen an das Gasmotorenaggregat

Mit den oben beschriebenen technischen Bedingungen änderten sich die Anforderungen an das Gasmotorenaggregat. Die statische und dynamische Netzstützung erfordert eine geänderte Betriebsweise der Anlage.

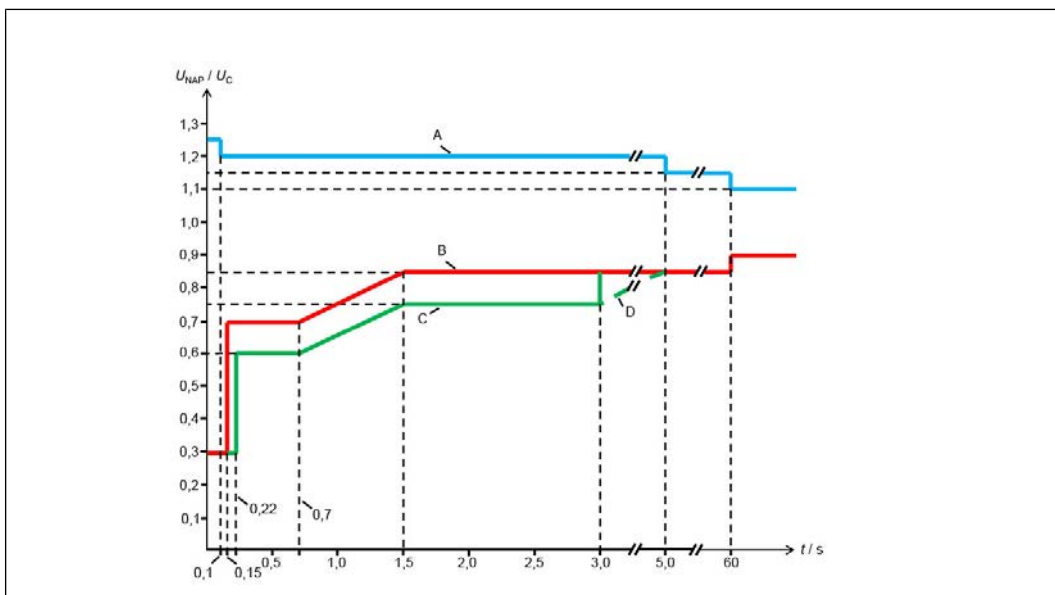
Gemäß der neuen Mittelspannungsrichtlinie bzw. Hochspannungsrichtlinie müssen u.a. weitere Anforderungen berücksichtigt werden:

- Vergrößerter Spannungsbereich und Frequenzbereich
- Leistungsänderung über der Frequenz
- Leistungsbeschränkung durch Netzbetreiber
- Variabler  $\cos(\varphi)$ , variable Blindleistung und Blindleistungskennlinien
- Dynamische Netzstützung
- Entkopplungsschutz an der Erzeugungseinheit
- Zuschaltbedingungen im Normalbetrieb sowie nach Netzentkopplung

### Fault Ride-Through-Fähigkeit (FRT)

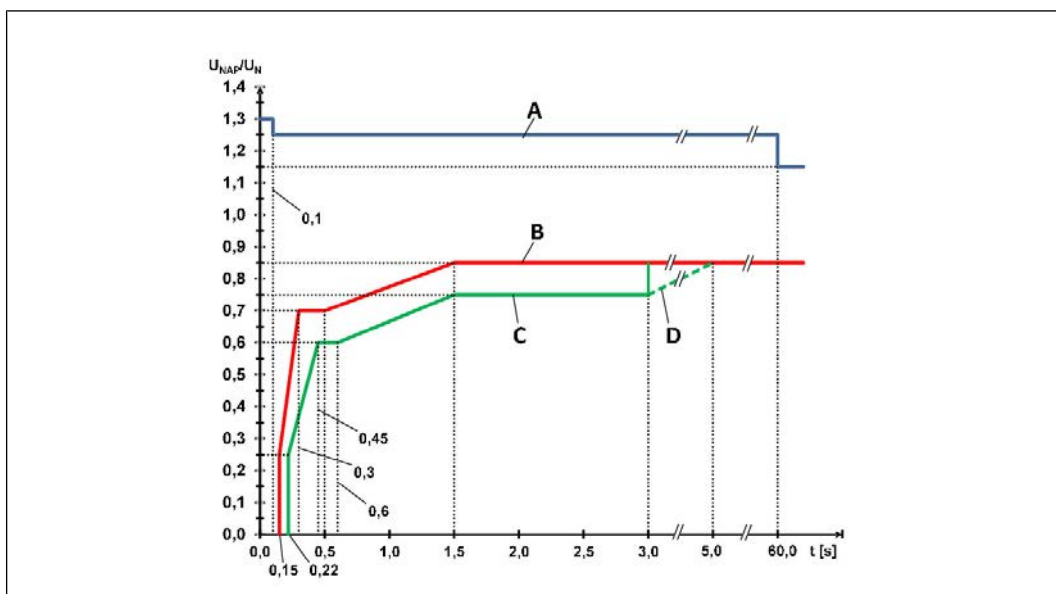
Während einer sprunghaften Spannungsänderung hält die Fault Ride-Through-Fähigkeit (FRT) einer Erzeugungsanlage bzw. einer Erzeugungseinheit den Netzanschluss für bestimmte Zeit aufrecht und stützt durch die Einspeisung von Blindleistung in dieser Zeit das Netz.

Die Grenzlinien in den folgenden Abbildungen beschreiben diese Art der dynamischen Netzstützung. Außerhalb der Grenzkurven ist eine sofortige Trennung vom Netz erlaubt.



3691240587: Grenzlinie für den Spannungsverlauf am Netzanschlusspunkt (FRT-Fall) für eine Erzeugungsanlage vom Typ 1 (Mittelspannungsnetz)

A	Obere FRT-Grenzkurve	B	Untere FRT-Grenzkurve für 3-polige Fehler (Typ1)
C	Untere FRT-Grenzkurve für 2-polige Fehler (Typ1)	D	Nach Können und Vermögen (gestrichelte Linie)
t	Zeit in Sekunden	$U_{NAP}/U_C$	Verhältnis Netz-Ist-Spannung zu vereinbarter Versorgungsspannung



3691242251: Grenzlinie für den Spannungsverlauf am Netzanschlusspunkt (FRT-Fall) für eine Erzeugungsanlage vom Typ 1 (Hochspannungsnetz)

A	Obere FRT-Grenzkurve	B	Untere FRT-Grenzkurve für 3-polige Fehler (Typ1)
C	Untere FRT-Grenzkurve für 2-polige Fehler (Typ1)	D	Nach Können und Vermögen (gestrichelte Linie)
t	Zeit in Sekunden	$U_{NAP}/U_N$	Verhältnis Netz-Ist-Spannung zu Netz-Nennspannung

Die vereinbarte Versorgungsspannung  $U_C$  ist in vielen Fällen gleich der Nennspannung  $U_N$  des Netzes, kann aber vom Netzbetreiber auch von dieser abweichend festgelegt werden.

Die dynamische Netzstützung stellt technisch hohe Anforderungen an das Gasmotoraggregat. Die Aggregatesteuerung und die Komponenten (z. B. Trägheitsmoment des Generators) müssen für einen sicheren Betrieb im FRT-Fall angepasst sein. Hierbei ist zu beachten, dass Hilfsaggregate, die in der Erzeugungsanlage installiert werden, die Erfüllung der Anforderungen nicht unterlaufen dürfen.

Für einen vollständigen Überblick über die geltenden Anforderungen sind die genannten Richtlinien zu betrachten. Bei Planung, Aufbau und Inbetriebsetzung der Erzeugungsanlage (EZA), ist sicherzustellen, dass alle Anforderungen an diese umgesetzt werden. Dies betrifft Anforderungen an die einzelne EZE wie auch an die gesamte EZA.

Projektspezifisch ist in jedem Einzelfall zu überprüfen, welche Richtlinien am designierten Aufstellort der Aggregate vom Anschlussnehmer des Netzbetreibers einzuhalten sind, welche Anforderungen dadurch auf das Aggregat als EZE entfallen und welche übergeordnet z. B. durch einen EZA-Regler, eine Zentralsteuerung oder übergeordneten Entkopplungsschutz umgesetzt werden müssen. Hiernach ist zu prüfen, in wie weit der Liefer-



umfang von Caterpillar Energy Solutions die auf ihn entfallenen Anforderungen einhalten kann, da dieser projektspezifisch zwischen reiner Erzeugungseinheit und Erzeugungsanlage im Sinne der Netzanschlussregeln variieren kann.

### Zertifizierung der Gasmotorenaggregate

Die Eignung der Erzeugungsanlage (EZA) für den Betrieb am Mittelspannungsnetz bzw. Hochspannungsnetz muss nachgewiesen und durch eine nach DIN EN ISO/IEC 17065 akkreditierte Zertifizierungsstelle mit einem Zertifikat bestätigt werden.

Für die Erzeugungseinheit (EZE) stellt der Zertifizierer ein typspezifisches EZE-Zertifikat aus, in dem die relevanten technischen Eigenschaften der EZE beschrieben und bewertet werden und Hinweise für die Einbindung der EZE in einer EZA und für die EZA-Zertifizierung gegeben werden. Diese sind zu beachten. Sind die Eigenschaften der relevanten Schutzeinrichtungen nicht im EZE-Zertifikat ausgewiesen erfüllt ein Komponentenzertifikat des betreffenden Herstellers den Konformitätsnachweis. Dafür müssen jedoch alle Rahmenbedingungen erfüllt sein.

Nach Fertigstellung der kompletten EZA stellt der Zertifizierer ein EZA-Zertifikat aus. In einer abschließenden Konformitätserklärung prüft der Zertifizierer die Übereinstimmung zwischen den tatsächlichen und den im EZA-Zertifikat festgehaltenen Eigenschaften der errichteten Anlage nach Inbetriebsetzung und zugehöriger Inbetriebsetzungserklärung.

Der Nachweis der Fähigkeit zur dynamischen Netzstützung der Aggregate wird durch ein Rechenmodell durchgeführt. Das Rechenmodell wird im Rahmen der EZE-Zertifizierung in einer kommerzielle Netzberechnungssoftware erstellt und anhand von Messdaten durch die Zertifizierungsstelle validiert. Die Aufnahme der Messdaten erfolgt an ausgewählten Aggregaten im Rahmen einer Typprüfung: Eine dafür konzipierte Prüfeinrichtung ruft Spannungsänderungen gemäß der Abbildungen in Kapitel [Anforderungen an das Gasmotorenaggregat](#) [ 278] mit definierter Restspannung und festgelegter Dauer hervor. Die Prüfeinrichtung zeichnet auftretende aussagekräftige elektrische Größen vor, während und nach dem Fehler auf. Diese Größen stehen somit für einen Vergleich mit Ergebnissen einer Simulation dieser Versuche zur Verfügung. Abschließend folgen Stabilitätsuntersuchungen mit einer Worst-Case-Variation der Simulationsparameter, um die kritischsten Fälle zu untersuchen, die in der Realität auftreten können.

Weitere Details zum Ablauf des Nachweisprozesses und der IBN, inkl. Formblätter sind den genannten Richtlinien zu entnehmen. Das EZE-Zertifikat ist Bestandteil der Kundendokumentation. Der zugehörige Bewertungsbericht, die weiteren Anhänge sowie das Rechenmodell werden der mit EZA-Zertifizierung betrauten Zertifizierungsstelle nach Abschluss einer Geheimhaltungsvereinbarung direkt von Caterpillar Energy Solutions zur Verfügung gestellt.

### 15.1.3.3 Internationale Netzanschlussbedingungen

Neben Deutschland gibt es in anderen Ländern, innerhalb und auch außerhalb der EU, länderspezifische Vorschriften, in welchen Anforderungen an Erzeugungsanlagen verschiedener Leistungsklassen mit Anschluss an bestimmte Netzebenen festgelegt sind. Unter dem Gesichtspunkt der Zunahme von dezentraler Einspeisung und Versorgung mit erneuerbarer Energie überarbeiten immer mehr Länder diese Vorschriften oder haben sie überarbeitet.

In Europa ist vom Verband der europäischen Übertragungsnetzbetreiber ENTSO-E ein umfassendes Regelwerk für die Stromnetze erarbeitet worden. Die Vorschrift „Network Code Requirements for Generators (NC RfG)“ legt die Rahmenbedingungen und Grenzen für Anforderungen an Erzeugungsanlagen als EU-Richtlinie fest. Länderspezifische Richtlinien und Vorschriften regeln den Anschluss von Erzeugungsanlagen an das öffentliche Netz im Einklang mit dem NC RfG. Seit der Verabschiedung des NC RfG ist diese Vorschrift in den Netzanschlussbedingungen länderspezifischen Richtlinien zu berücksichtigen.

Eine in Europa geltende Norm für die Netzanschlussbedingungen wurde durch die CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization) erarbeitet. Als EN 50549 werden Anforderungen an den Anschluss von Erzeugungsanlagen an das Nieder- sowie das Mittelspannungsverteilnetz formuliert. Ein zugehöriger Normenteil, der die für das Nachweisverfahren notwendigen Tests an Erzeugungseinheiten beschreibt, ist ebenfalls verfügbar.

Sowohl die Anforderungen an Erzeugungseinheiten und -anlagen als auch der jeweilige Nachweisprozess unterscheiden sich zum Teil erheblich von Land zu Land. Daher ist in jedem Einzelfall zu überprüfen, welche Richtlinien am designierten Aufstellort der Aggregate vom Anschlussnehmer des Netzbetreibers einzuhalten sind, welche Anforderungen dadurch auf das Aggregat als EZE entfallen und welche übergeordnet z. B. durch einen EZA-Regler, eine Zentralsteuerung oder übergeordneten Entkopplungsschutz umgesetzt werden müssen. Hiernach ist zu prüfen, in wie weit der Lieferumfang von Caterpillar Energy Solutions die auf ihn entfallenen Anforderungen einhalten kann, da dieser projektspezifisch zwischen reiner Erzeugungseinheit und Erzeugungsanlage im Sinne der Netzanschlussregeln variieren kann.

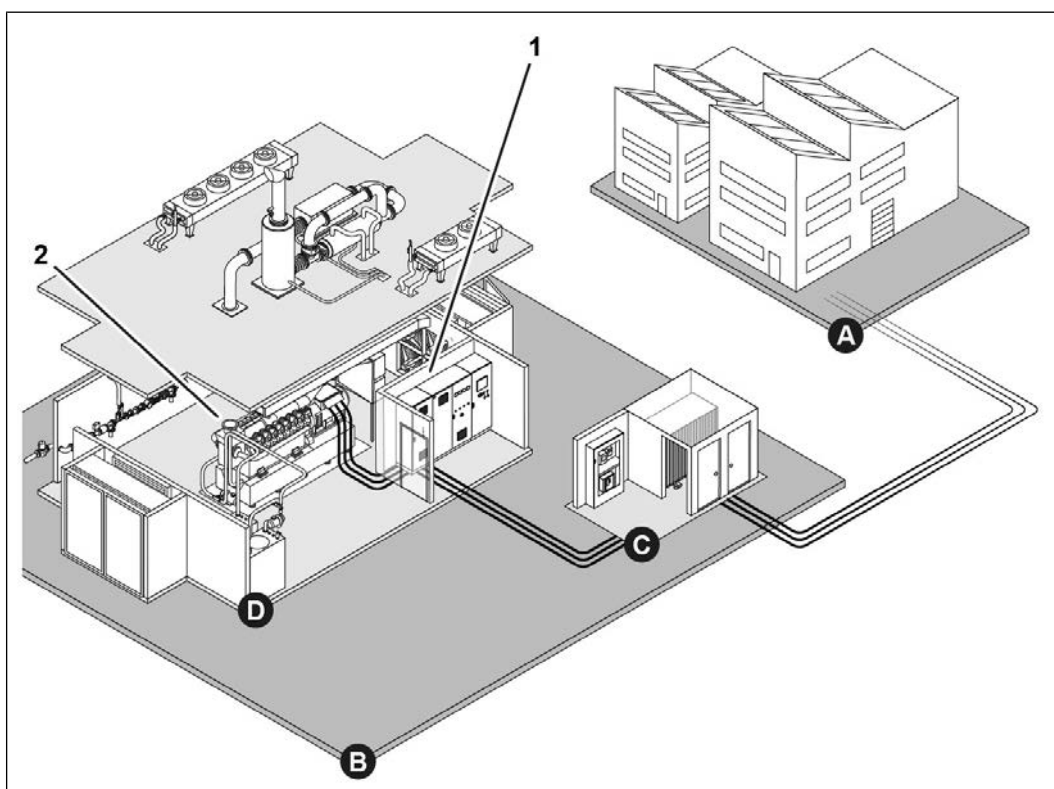
Verfügbare richtlinienspezifische Disclaimer oder Herstellererklärungen von Caterpillar Energy Solutions sind zu beachten.

## 15.2 Inselbetrieb und Inselparallelbetrieb

### 15.2.1 Systemübersichten

#### 15.2.1.1 Inselbetrieb

Die schematische Abbildung zeigt und benennt typische Bestandteile und Schnittstellen als Hilfe für den Einstieg. Proportionen sind deshalb nicht maßstäblich, die Anordnung beispielhaft.

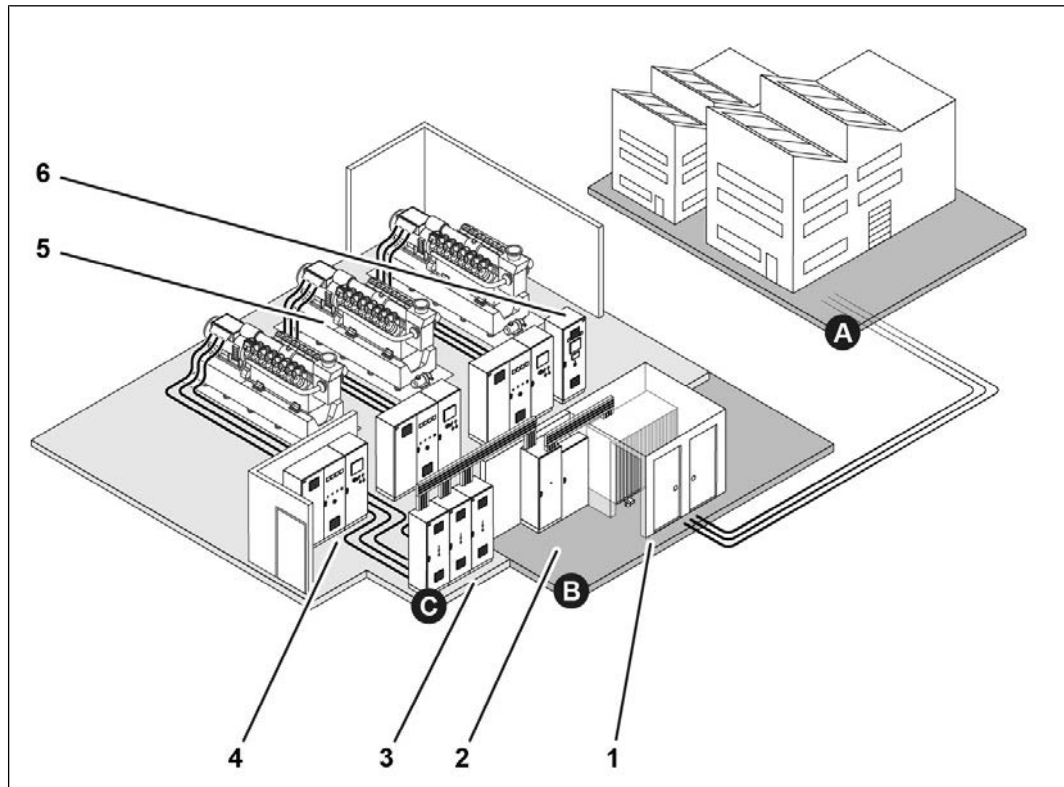


3903076875: Beispielabbildung einer typischen Erzeugungsanlage mit Inselbetrieb in vereinfachter Darstellung

- |   |  |   |   |
|---|--|---|---|
| A | Inselnetz mit Einrichtungen für die Energieverteilung und die Laststeuerung  | B | Erzeugungsanlage (EZA)  |
| C | Regelung bzw. Steuerung der gesamten EZA und Kommunikation mit Inselnetz   | D | Erzeugungseinheit (EZE) von CES mit Aggregaten und Schaltanlage |
| 1 | Schaltanlage mit Generatorleistungsschalter (GLS), Hilfsantriebsbeschränkung (HAS) und TPEM Control Cabinet (TPEM CC) oder Aggregateschrank (TEM-AGS) je nach Steuerungssystem | 2 | Aggregat für die Spannungs- bzw. Wärmeerzeugung                 |

## 15.2.1.2 Inselparallelbetrieb

Die schematische Abbildung zeigt und benennt typische Bestandteile und Schnittstellen als Hilfe für den Einstieg. Proportionen sind deshalb nicht maßstäblich, die Anordnung beispielhaft.

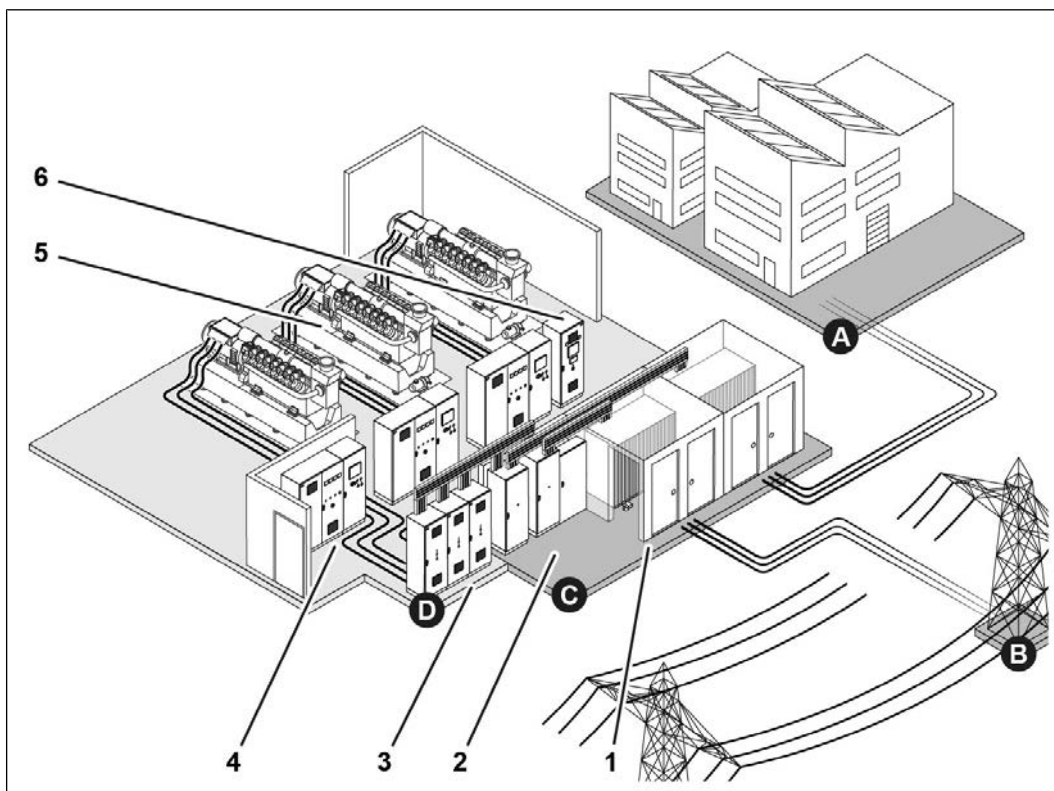


3903077387: Beispielabbildung einer typischen Erzeugungsanlage mit Inselparallelbetrieb in vereinfachter Darstellung

- |   |   |   |  |
|---|---|---|--|
| A | Inselnetz mit Einrichtungen für die Energieverteilung und die Laststeuerung | B | Regelung bzw. Steuerung der gesamten EZA und Kommunikation mit Inselnetz   |
| C | Modulare Erzeugungseinheiten (EZE) von CES mit Aggregaten und Schaltanlage  |   |  |
| 1 | Anschlusspunkt Insel mit Transformatoren usw.                               | 2 | Netzleistungsschalter (NLS) für den Inselanschluss mit Messeinrichtungen usw.  |
| 3 | Generatorleistungsfeld (GLF) jeder EZE                                      | 4 | Schaltanlage mit Hilfsantriebschrank (HAS) und TPEM Control Cabinet (TPEM CC) oder Aggregateschrank (TEM-AGS) je nach Steuerungssystem |
| 5 | Aggregate für die Spannungs- bzw. Wärmeerzeugung                            | 6 | Zentrale Anlagensteuerung (ZAS) für die Ansteuerung der Aggregate  |

### 15.2.1.3 Inselparallelbetrieb mit Netzanschluss

Die schematische Abbildung zeigt und benennt typische Bestandteile und Schnittstellen als Hilfe für den Einstieg. Proportionen sind deshalb nicht maßstäblich, die Anordnung beispielhaft.



3903078283: Beispielabbildung einer typischen Erzeugungsanlage mit Inselparallelbetrieb und Netzanschluss in vereinfachter Darstellung

- |   |  |   |   |
|---|--|---|---|
| A | Inselnetz mit Einrichtungen für die Energieverteilung und die Laststeuerung                | B | Stromnetz eines Netzbetreibers  |
| C | Regelung bzw. Steuerung der gesamten EZA und Kommunikation mit Netzbetreiber und Inselnetz | D | Modulare Erzeugungseinheiten (EZE) von CES mit Aggregaten und Schaltanlage  |
| 1 | Anschlusspunkte Netz bzw. Insel mit Transformatoren usw.                                   | 2 | Netzleistungsschalter (NLS) für den Netzanschluss bzw. Inselanschluss mit Messeinrichtungen usw.                                      |
| 3 | Generatorleistungsfeld (GLF) jeder EZE   | 4 | Schaltanlage mit Hilfsantriebsbeschränk (HAS) und TPEM Control Cabinet (TPEM CC) oder Aggregateschrank (AGS) je nach Steuerungssystem |
| 5 | Aggregate für die Spannungs- bzw. Wärmeerzeugung   | 6 | Zentrale Anlagensteuerung (ZAS) für die Ansteuerung der Aggregate   |

### 15.2.2 Aufbau und Funktion

#### 15.2.2.1 Allgemein

Gasmotoren werden in verschiedenen elektrischen Fahrweisen betrieben. Im Regelfall fahren die Gasmotoren parallel zum öffentlichen Netz. Das öffentliche Netz wird als ein großes System mit hoher Trägheit gesehen. Lastaufschaltungen bzw. Lastabschaltungen von Einzelverbrauchern verursachen keine Spannungsschwankungen und Frequenzschwankungen. Gasmotoren wurden für den Netzparallelbetrieb mit einem hohen Wirkungsgrad entwickelt und ausgelegt. In einigen speziellen Fällen hat der Kunde jedoch kein oder kein kontinuierliches öffentliches Netz zur Verfügung. Aus diesem Grund wird als Option Inselbetrieb bzw. Inselparallelbetrieb angeboten.

Zwei Möglichkeiten des Inselbetriebs werden klassifiziert:

- Inselbetrieb bzw. Inselparallelbetrieb nach Umschaltung aus dem Netzparallelbetrieb
- Inselbetrieb ohne öffentliches Netz

#### 15.2.2.2 Inselbetrieb

Im Inselbetrieb mit einem Gasaggregat ist die Leistungsregelung des Gasaggregats über das TEM-System bzw. TPEM-System nicht möglich. Der Leistungsregler ist dabei deaktiviert und die Drehzahlregelung hält die Frequenz konstant. Im Inselbetrieb kann das TEM-System bzw. TPEM-System nicht selbstständig die Last des Aggregats beeinflussen. Aus diesem Grund müssen die Randbedingungen wie Lufteintrittstemperatur und Motorkühlwassereintritt eingehalten werden. Daher muss die Lastaufschaltung auf jedes Gasaggregat sowie die Lastabschaltung, insbesondere bei den hoch aufgeladenen Gasaggregaten (TCG 3016, TCG 2020, TCG 3020, TCG 2032), durch ein kundenseitiges Lastmanagementsystem geregelt werden. Für diesen Fall wurden maximal zulässige Laststufen für jedes Gasaggregat definiert.

##### **Erforderliche Informationen**

- [Lastschaltfähigkeit \(Inselbetrieb\)](#) ► 61]

#### 15.2.2.3 Inselparallelbetrieb

Für den Inselparallelbetrieb mit Gasaggregaten muss das Gesamtkonzept der Anlage entsprechend von Beginn des Planungsprozesses detailliert projektiert werden. Aus diesem Grund sind das Single-Line-Diagramm und die Kenntnis der Verbraucher des Kunden (reale Start-Leistung und Anlaufeigenschaft) notwendig um einen guten Projektstatus erreichen zu können. Das betrifft speziell die Start-Leistung und Anlaufeigenschaft von großen Verbrauchern wie Pumpen und Ventilatoren. Eine weitere wichtige Maßnahme ist die Analyse des Erdungskonzepts der Gesamtanlage.



Für den Inselparallelbetrieb wird eine digitale oder analoge (empfohlen) Lastverteilung benötigt. Es wird dringend empfohlen, diese über Caterpillar Energy Solutions Mannheim mitzubestellen. Anlagen mit dem TPEM-System ist die Lastverteilung über den internen TPEM MFR CAN-Bus möglich. Ein Zu- und Abschalten der Aggregate muss übergeordnet im ZAS oder in der Kundenleitwarte umgesetzt werden.

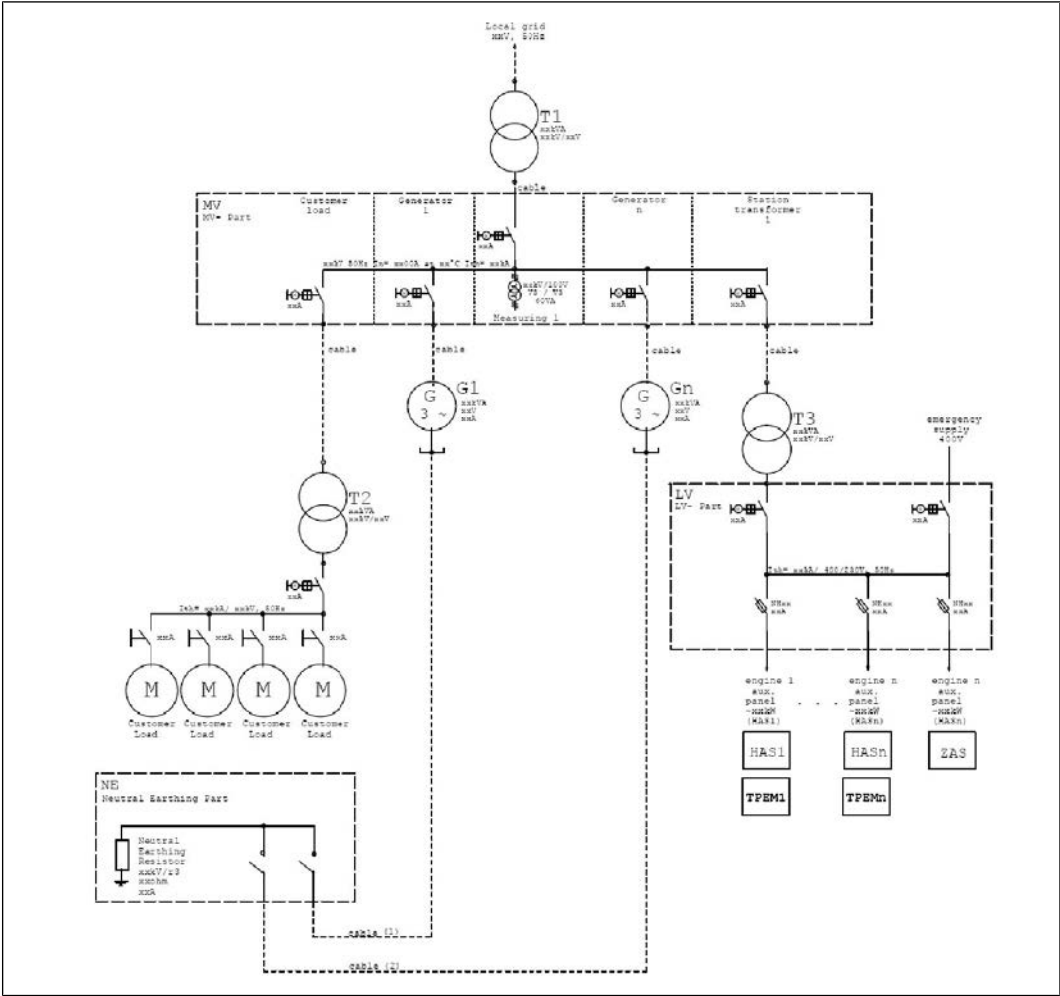
#### **15.2.2.4 Inselparallelbetrieb nach Umschaltung aus dem Netzparallelbetrieb**

Im Normalbetrieb werden die Gasaggregate parallel zum öffentlichen Netz betrieben. Die Aggregate werden vom Leistungsregler der TPEM-Steuerung geregelt. Das öffentliche Netz bestimmt Frequenz und Spannung der Aggregate. Das Single-Line-Diagramm in der folgenden Abbildung zeigt einen typischen Aufbau für eine Notstromversorgung.

Im Falle eines Netzausfalls wird sofort der Netzleistungsschalter geöffnet. Im günstigsten Fall versorgen die Gasaggregate die Verbraucher der Kundenanlage ohne Unterbrechung weiter, ansonsten droht die Abschaltung mit totalem Stromausfall für das gesamte System:

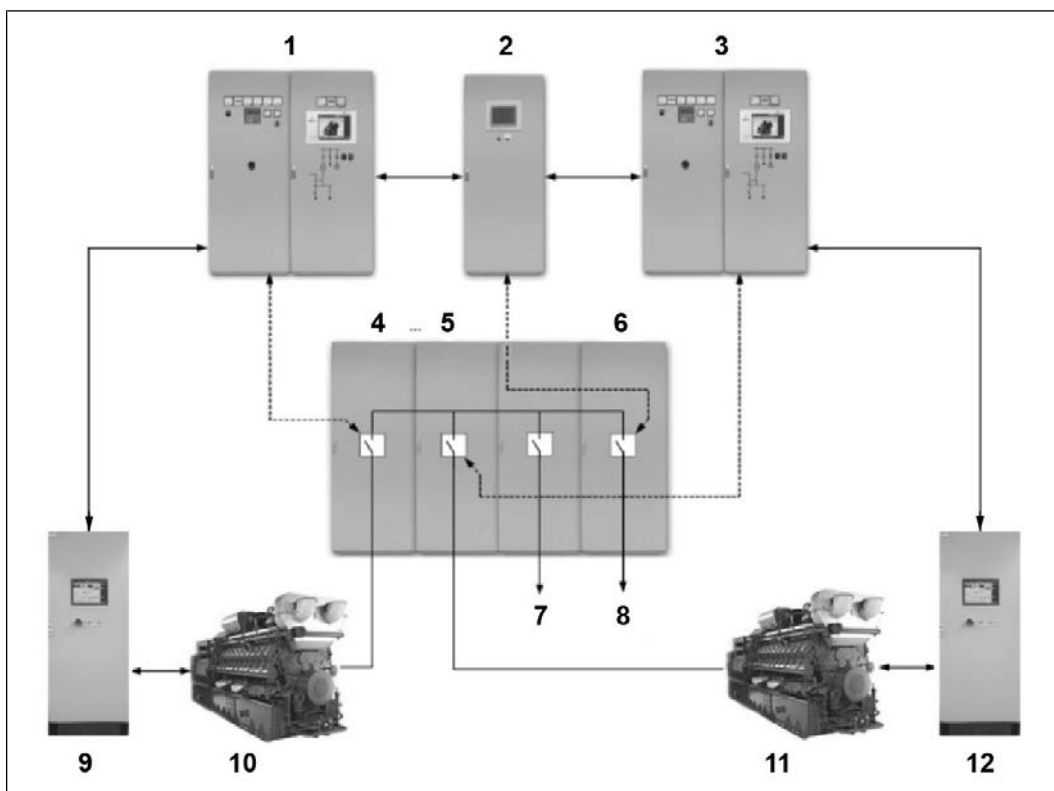
- Bei einem Netzfehler wird der Netzleistungsschalter geöffnet und das Gasaggregat übernimmt die Versorgung der Verbraucher auf der Anlage.
- Die Hilfsantriebsversorgung der Gasmotoren erfolgt über einen Hilfsantriebstransformator (betreiberseitige Spannungsquelle) gewährleistet.
- Normalerweise verursacht dieser Wechsel vom Netzparallelbetrieb in den Inselbetrieb schnelle Lastwechsel.
- Überschreiten diese Lastwechsel die relevanten Laststufen, fängt der Turbolader des Gasmotors an zu pumpen und im Extremfall stellt der Gasmotor ab.

Um dieses Problem zu umgehen, werden Lösungen angeboten, welche die Anforderungen der Gesamtanlage berücksichtigen und während der Projektierung angepasst und abgestimmt werden. Um ein passendes Konzept zu erarbeiten, ist es wichtig, das Verhalten der Gasmotoren zusammen mit den Verbrauchern zu analysieren.



3691467403: Inselparallelbetrieb und Netzparallelbetrieb (TPEM-System)





3691469067: Inselparallelbetrieb und Netzparallelbetrieb (TPEM-System)

1	Hilfsantriebsbeschränk (HAS) Aggregat 1	2	Zentraler Anlagensteuerungsschrank (ZAS)
3	Hilfsantriebsbeschränk (HAS) Aggregat 2	4	Generatorleistungsfeld (GLF) Aggregat 1
5	Generatorleistungsfeld (GLF) Aggregat 2	6	Netzleistungsschalter (NLS) öffentliches Netz
7	Einspeisung internes Netz	8	Einspeisung öffentliches Netz
9	TPEM Control Cabinet (TPEM CC) für Aggregat 1	10	Aggregat 1
11	Aggregat 2	12	TPEM Control Cabinet (TPEM CC) für Aggregat 2

### 15.2.2.5 Inselparallelbetrieb ohne öffentliches Netz

Bei einem Inselbetrieb ist der Startvorgang, die Lastaufschaltung sowie die Lastabschaltung zu analysieren. In einigen Anwendungsfällen ist ein Notstromdiesel oder eine unterbrechungsfreie Stromversorgungsanlage (USV-Anlage) zur Versorgung der Hilfsantriebe zur Vorschmierung und Nachkühlung notwendig.

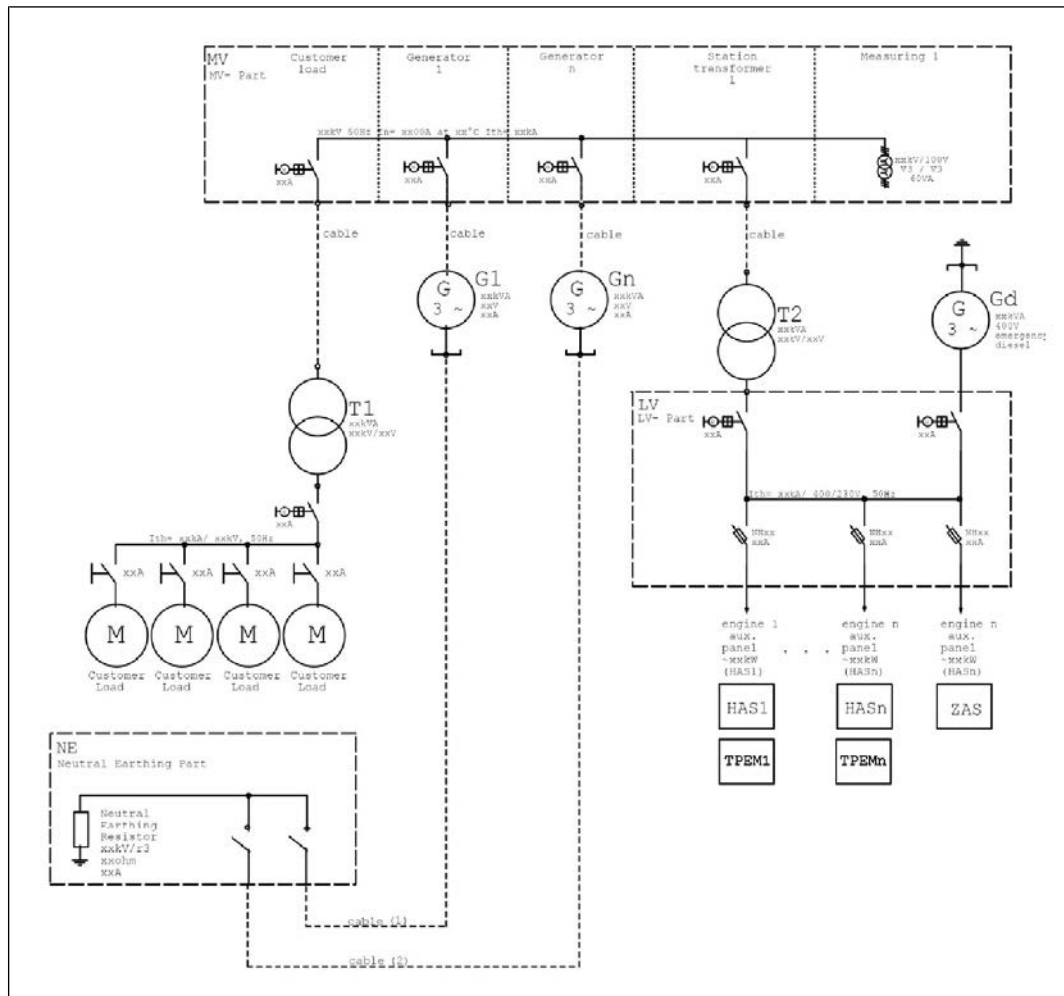
#### Weitere Informationen

- [Lastschaltfähigkeit \(Inselbetrieb\) ▶ 61](#)

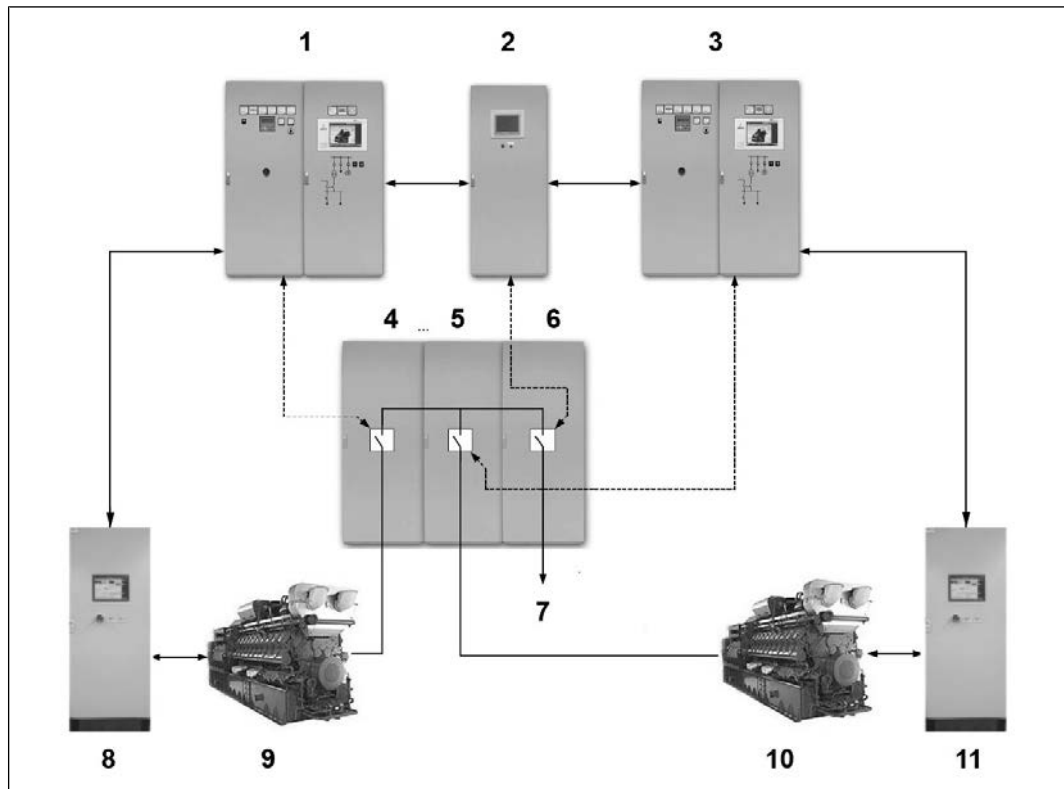
Das Single-Line-Diagramm in der folgenden Abbildung zeigt einen typischen Aufbau für diesen Inselparallelbetrieb. Die Funktionalität ist wie folgt:

- An der 400 V Verteilung ist ein Notstromdiesel angeschlossen, welcher zur Versorgung der Hilfsantriebe als Erstes gestartet wird
- Anschließend startet das erste Gasaggregat, welches die kundenseitigen Verbraucher und die Hilfsantriebe über einen Trafo versorgt. Über den ZAS wird die Lastverteilung und das lastabhängige Zu- und Absetzen realisiert
- Danach kann das Dieselaggregat abgeschaltet werden. Wenn der Bediener die gesamte Anlage stoppen möchte, werden alle Gasaggregate, bis auf eins, nacheinander abgewählt. Die abgeschalteten Gasmotoren werden heruntergekühlt
- Das Diesel-Aggregat wird nun gestartet und auf die Hilfsantriebeschiene synchronisiert
- Der Schalter des Hilfsantriebetransformator kann jetzt geöffnet werden
- Anschließend wird das letzte Gasaggregat gestoppt und ebenfalls heruntergekühlt. Die Wärmeabfuhr nach dem Abschalten des Aggregates dient vor allem zum Schutz des Turboladers gegen Überhitzung
- Nachdem die Nachkühlzeit abgelaufen ist, wird das TEM-System bzw. TPEM-System die Hilfsantriebe der Aggregate stoppen und das Dieselaggregat kann ebenfalls abgeschaltet werden

Die Umschaltung der Spannungsversorgung für die Hilfsantriebe kann über einen ATS (Automatic Transfer Switch) erreicht werden.



3693384843: Inselparallelbetrieb ohne öffentliches Netz



3693386507: Inselparallelbetrieb ohne öffentliches Netz

- |    |   |    |   |
|----|---|----|---|
| 1  | Hilfsantriebschrank (HAS) Aggregat 1          | 2  | Zentraler Anlagensteuerungsschrank (ZAS)      |
| 3  | Hilfsantriebschrank (HAS) Aggregat 2          | 4  | Generatorleistungsfeld (GLF) Aggregat 1       |
| 5  | Generatorleistungsfeld (GLF) Aggregat 2       | 6  | Netzleistungsschalter (NLS) öffentliches Netz |
| 7  | Einspeisung internes Netz                     | 8  | TPEM Control Cabinet (TPEM CC) für Aggregat 1 |
| 9  | Aggregat 1                                    | 10 | Aggregat 2                                    |
| 11 | TPEM Control Cabinet (TPEM CC) für Aggregat 2 |    |   |

### 15.2.3 Hinweise für die Planung und den Betrieb

#### 15.2.3.1 Projektierungsgrundlagen für Inselbetrieb

Um einen störungsfreien Inselbetrieb auslegen zu können, müssen während der Projektierungsphase die Auslegung der Gesamtanlage und die damit verbundenen Kundenanforderungen bekannt sein.

Mit folgenden Kundenangaben können entsprechend den Anforderungen des Gasmotors (zum Beispiel: Laststufen) die erforderlichen Voraussetzungen festgelegt und mit dem Kunden abgestimmt werden:

- Single-Line-Diagramm der Gesamtanlage
- Tatsächliche Startleistung und Startbedingungen von großen Verbrauchern
- Betriebsweise der Anlage



## 16 Gebäude und Installationen

### Inhaltsverzeichnis

16.1	Übersicht Gebäude und Installationen .....	297
16.2	Anforderungen für die Aufstellung des Aggregats .....	298
16.2.1	Aggregaterraum .....	298
16.2.2	Instandhaltungsbereich .....	301
16.2.3	Fundamentierung und Schwingungsdämpfung .....	306
16.2.4	Geräuscentwicklung .....	308
16.3	Gummikompensatoren .....	318
16.3.1	Funktion .....	318
16.3.2	Hinweise für die Planung .....	319
16.3.3	Lagerung .....	326
16.3.4	Prüfungen .....	326
16.3.5	Montage .....	327
16.4	Abgaskompensatoren .....	330
16.4.1	Funktion .....	330
16.4.2	Hinweise für die Planung .....	331
16.4.3	Lagerung .....	339
16.4.4	Montage .....	340
16.5	Schlauchleitungen .....	341
16.5.1	Funktion .....	341
16.5.2	Hinweise für die Planung .....	342
16.5.3	Lagerung .....	345
16.5.4	Montage .....	346
16.6	Gaskompensatoren und Gasschläuche .....	347
16.7	Rohrleitungen .....	347
16.7.1	Allgemeine Montagehinweise .....	347
16.7.2	Werkstoffe für Rohrleitungen .....	348

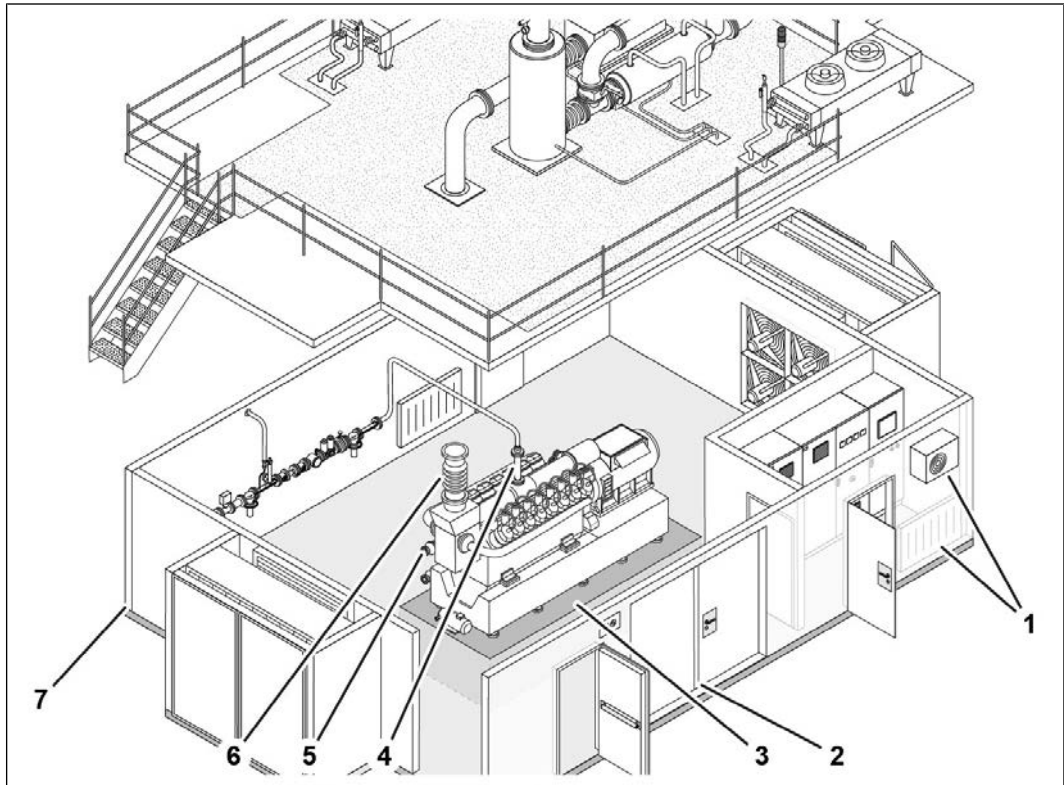
16.7.3	Hinweise zum Schweißen von Rohrleitungen .....	349
16.7.4	Lösbare Rohrleitungsverbindungen.....	350
16.7.5	Montage, Isolierung und Oberflächenbehandlung von Rohrleitungen.....	351
16.8	Messeinrichtungen, Überwachungseinrichtungen und Begrenzungseinrichtungen .....	352
16.8.1	Allgemeine Vorgaben .....	352
16.8.2	Komponenten und Bauteile .....	353
16.9	Verkabelung.....	355
16.9.1	Übersicht Verkabelung .....	355
16.9.2	Sicherheitsanforderungen für Kabel und Leitungen .....	356
16.9.3	Maßnahmen zur Sicherstellung der EMV .....	361
16.9.4	Generatorleistungskabel.....	363
16.9.5	Starterkabel und Starterbatterien.....	373
16.9.6	Starterkabel bei Einsatz eines Netzstartgeräts.....	378
16.9.7	Erdungssystem .....	378
16.9.8	Spannungsversorgung TEM, TP EM und SPS.....	379



## 16.1 Übersicht Gebäude und Installationen

Die schematische Abbildung zeigt und benennt typische Bestandteile und Schnittstellen als Hilfe für den Einstieg. Proportionen sind deshalb nicht maßstäblich, die Anordnung willkürlich.

Wegen der Übersichtlichkeit ist ein Bauwerk als Maschineneinhausung gewählt. In den kompakten Containerkraftwerken ist die Anordnung ähnlich, jedoch sind die Zugänge zum Aggregat beengter.



4064822027: Beispielabbildung in vereinfachter Darstellung

- |   |  |   |                                   |
|---|--|---|-----------------------------------|
| 1 | Ausrüstung zur Klimatisierung                    | 2 | Transportöffnung für das Aggregat |
| 3 | Fundamentblock für das Aggregat                  | 4 | Gaskompensator bzw. Gasschlauch   |
| 5 | Gummikompensator                                 | 6 | Abgaskompensator                  |
| 7 | Maschineneinhausung (als Bauwerk oder Container) |   |                                   |

## 16.2 Anforderungen für die Aufstellung des Aggregats

### 16.2.1 Aggregaterraum

#### 16.2.1.1 Allgemein

Neben der sorgfältigen Auswahl und Leistungsermittlung des Aggregats müssen eine Reihe bauseits zu erstellender Voraussetzungen erfüllt sein. Ein sicherer, wartungsarmer und störungsfreier Betrieb wird dadurch erreicht.

Es müssen deshalb bereits im Entwurfsstadium von Bauobjekten mit einem Energieerzeugungsaggregat die wichtigsten Fragen geklärt werden. Das sind insbesondere Fragen im Zusammenhang mit der Installation und Aufstellung des Aggregates. Spätere Änderungen und Sonderlösungen sind meist teuer und oft unbefriedigend.

Zukünftige Erweiterungen sollten von vornherein Berücksichtigung finden.

#### 16.2.1.2 Anforderungen an den Aggregaterraum

Der Aggregaterraum soll ausreichend groß bemessen sein. Vorgaben zur räumlichen Gestaltung für Bedienung und Wartung sind zu beachten.

Einen freien Raum bei TCG 3016, TCG 2020 und TCG 3020 von etwa 1 m Breite und bei TCG 2032 von etwa 2 m Breite rings um das Aggregat sollte vorgesehen werden. Dabei ist zu beachten, dass die Starterbatterien möglichst nahe am Elektroanlasser aufgestellt werden. Für den TCG 2032 ist eine freie, entsprechend belastbare Fläche (Vormontagebereich für die Zylindereinheiten) von 2 m × 5 m mit Bekranung erforderlich. Idealerweise befindet sich dieser Bereich nahe am Motor. Damit kann die Bekranung des Vormontagebereichs und die Bekranung des Aggregates mit demselben Kran erfolgen. Neben dem Aggregat bestimmen die weiteren Komponenten, die im Maschinenraum angeordnet werden, die erforderliche Größe des Maschinenraumes. Weitere Einbauten sind z.B. Wärmenutzungseinheit, Schaltanlage, Gasregelstrecke, Kraftstoffbehälter, Ölbehälter, Starterbatterie, Abgasleitung und Schalldämpfer. Schalldämpfer für Zuluft und Abluft beanspruchen ebenfalls erheblichen Raum. Öffnungen für die Einbringung des Aggregates, sowie für die Belüftung und Entlüftung der Anlage sind unbedingt in geeigneter Größe einzuplanen.

- Erforderliche Informationen: [Maschinenraumbelüftung](#) ► 117]

Entweder ist ein fest installiertes Hebezeug oder es sind definierte Anschlagpunkte oder Laufschienen zur Aufnahme von Hebezeug vorzusehen. Für Hebevorgänge vorgesehene tragende Installationen und Hilfsmittel müssen mindestens für das schwerste zu hebende Einzelteil ausgelegt bzw. ausgewählt sein. Alle Last aufnehmenden Installationen müssen mit der maximal zulässigen Belastung deutlich sichtbar gekennzeichnet sein. Je nach Motortyp muss gewährleistet sein, dass bei Wartungsarbeiten z. B. Kolben, Pleuel, Zylinderkopf oder eine ganze Triebwerkseinheit angehoben werden kann. Sowohl die Montage als auch spätere Wartungsarbeiten lassen sich dadurch schneller und praktischer ausführen.

Der Aggregateraum muss so hoch sein, dass Kolben und Pleuelstangen unter Berücksichtigung eines Hebezeugs nach oben ausgezogen werden können. Die Länge und Breite des Aggregaterumes muss so bemessen sein, dass ein unbehindertes Arbeiten an allen Stellen des Aggregates möglich ist. Platz zum Abstellen einzelner Aggregateteile und Ersatzteile muss ebenso vorhanden sein.

Bei Motoren der Baureihe TCG 2032 sind beidseitig Wartungsbühnen zum Erreichen der Zylindereinheiten und anderer Motorbauteile bei Wartungsarbeiten vorzusehen. Mobile Arbeitsbühnen sind ebenso geeignet, sofern diese so gestaltet sind, dass alle vorgesehenen Arbeiten sicher ausgeführt werden können.

Zusammen mit der Planung des Aggregateriums muss die elastische Aufstellung und die Ausführung des Fundamentblocks geklärt werden. Weiterhin bedarf die Verlegung von Rohrleitungen und Kabelkanälen einer sorgfältigen Planung. Die Durchführung eventueller Sondermaßnahmen für den Schallschutz und zur Dämpfung von Schwingungen müssen frühzeitig berücksichtigt werden.

In der Regel können bei kleineren Aggregateleistungen Aggregat und Schaltanlage in einem Raum aufgestellt werden. Bei größeren Anlagen ist eine getrennte Aufstellung in einem schallisolierten Bedienungsraum der Schaltanlage zweckmäßig.

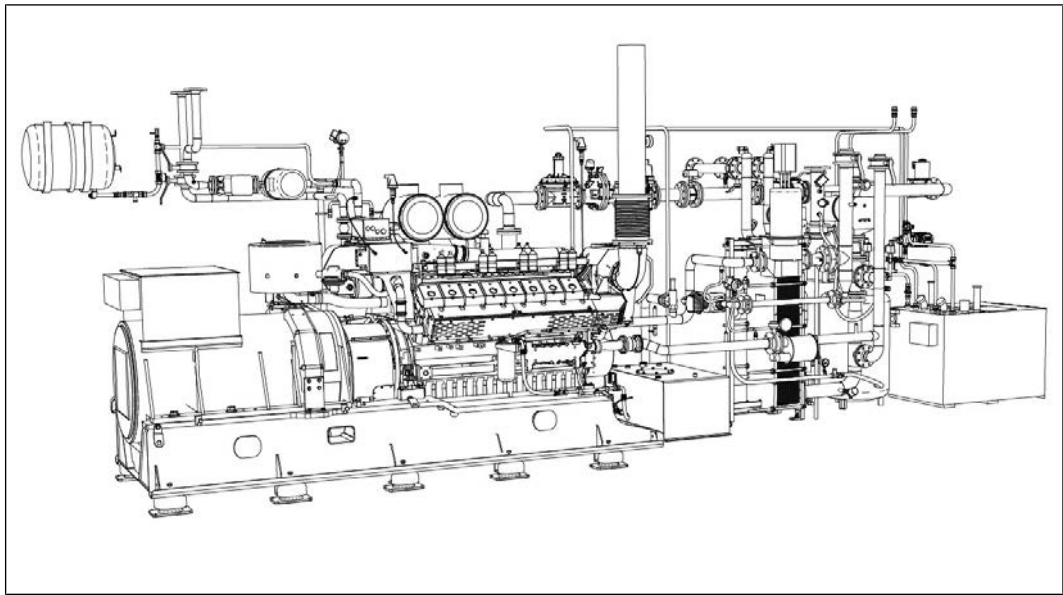
Bei der Planung des Aggregaterumes ist auch der Transportweg zu berücksichtigen, um einen Motor oder Generator bei Bedarf ausbringen und wieder einbringen zu können. Dabei ist insbesondere auf ausreichende Belastbarkeit des Fußbodens und ausreichende Platzverhältnisse zu achten.

Eine zweckmäßige und bewährte Aggregateaufstellung zeigt die folgende Abbildung.

Ist die Zugänglichkeit zum Aggregat und den zugehörigen Komponenten durch z.B. einen zu klein dimensionierten Maschinenraum stark eingeschränkt, können bei Arbeiten am Aggregat Mehraufwendungen entstehen. Bei Arbeiten im Rahmen von Inbetriebnahme, Instandhaltung oder Umbauten können bei schlechter Zugänglichkeit zusätzliche Mehraufwände und hohe Kosten entstehen. Diese Mehrkosten sind nicht pauschal abgedeckt und sind daher durch den Beauftragenden zu tragen.

Beim Betrieb und bei der Wartung des Aggregats kann unter Umständen Schmieröl und/oder Kühlflüssigkeit in den Aggregateraum gelangen. Im Entwässerungssystem des Aggregaterumes sind Rückhalteeinrichtungen vorzusehen, die eine Belastung der Umwelt durch diese Stoffe zuverlässig verhindern.

In der Regel sollte der gesamte Raum in dem sich Systeme mit wassergefährdenden Flüssigkeiten befinden als wasser- und ölbeständige Wanne ausgeführt sein. Diese Wanne soll in jedem Fall die größtmögliche Leckagemenge fassen können.



3720786827: Aufstellungsbeispiel

### 16.2.1.3 Standort

Die Planung beginnt mit der Ortswahl für die Aufstellung des Aggregats. Um Verluste bei der Energieübertragung zum Verbraucher möglichst gering zu halten, ist eine Anordnung in dessen Nähe sinnvoll. Brenngasversorgung, Netzanbindung, Schallanforderungen sowie Abgasemissionen sind einige wichtige Aspekte, die bei der Bestimmung des Standortes von großer Bedeutung sind und entsprechend berücksichtigt werden müssen.

Bei einem Gebäude, das einzig für die Energieversorgung konzipiert wird, sind die Fragen der Raumbelüftung, Schwingungsisolierung, Zuführung und Lagerung von Kraftstoffen, als auch die Einbringung und Zugänglichkeit in der Regel leichter zu lösen als bei Bestandsgebäuden mit ggf. abweichender vorheriger Nutzung.

Aggregateräume sind in großen Gebäuden, wie z. B. Kaufhäusern, Krankenanstalten und Verwaltungsbauten möglichst an eine Außenwand zu legen. Damit lässt sich die Kühlluft und Luft zur Raumbelüftung ohne Schwierigkeiten zuführen und abführen. Der Aggregateraum kann ebenerdig, unterirdisch oder bei kleineren Aggregaten auch in höheren Stockwerken geplant werden.

Bei der Auswahl der Baumaterialien ist die notwendige Schalldämmung und Schwingungsdämpfung zu berücksichtigen.

## 16.2.2 Instandhaltungsbereich

### 16.2.2.1 Allgemein

In der Maschineneinhausung ist um das Aggregat ein Instandhaltungsbereich vorzusehen. Die folgenden Angaben dienen zur Orientierung für die Planung der Größe, Einrichtung und Statik der Maschineneinhausung bzw. deren Räume.

Um die am Aggregat anfallenden Instandhaltungsarbeiten sicher, fachgerecht und sachgerecht auszuführen, sind mindestens erforderlich:

- ausreichend Freiräume, um Bauteile sicher und sachgerecht bewegen und absetzen zu können
- Möglichkeiten, um mit Lastaufnahmemitteln sicher und sachgerecht arbeiten zu können

Zusätzlich sind die übliche Energieversorgung, Beleuchtung, Aufstiege, Schutzausrüstungen usw. erforderlich, auf die nicht eingegangen wird.

### 16.2.2.2 Räumliche Gestaltung

---

#### HINWEIS

Am Aggregat muss der sichere Zutritt zu den Instandhaltungsstellen möglich sein. Außerdem ist ein Mindestfreiraum vorzusehen, in dem sicheres Arbeiten möglich ist.

Je nach Region gelten unterschiedliche Vorgaben, beispielsweise für den sicheren Zugang zu der Instandhaltungsstelle bzw. die ergonomische Ausführung des Arbeitsplatzes. Diese können von den angegebenen Werten abweichen und sind dann einzuhalten.

---

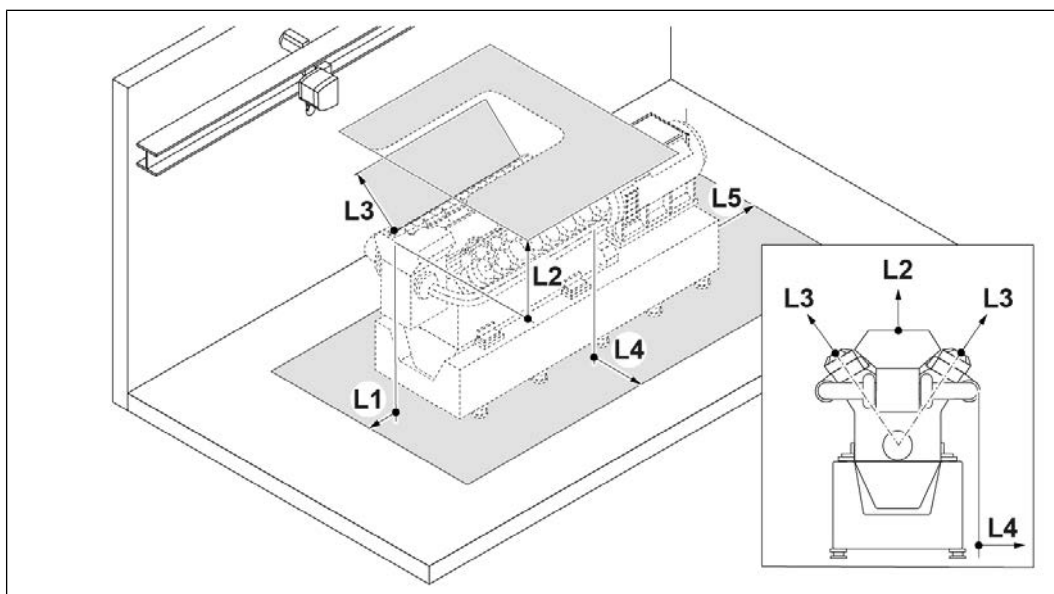
#### Freiräume um das Aggregat

Die angegebenen Maße gelten für Maschineneinhausungen, die als Gebäude ausgeführt werden. Die Freiräume berücksichtigen die Abmessungen der Bauteile und die erforderlichen Wege beim Ausbau und Einbau und ermöglichen dadurch eine zügige Arbeitsweise. Sie gelten nur für einzelne Bauteile (z. B. Schwungrad) bzw. zusammengebaute Baugruppen (z. B. Zylindereinheiten) entsprechend der vom Hersteller vorgesehenen Vorgehensweise bei Instandhaltungsarbeiten.

Folgende Freiräume sind entsprechend der folgenden Abbildung bei der Planung vorzusehen:

- An beiden Längsseiten des Aggregats ein frei zugänglicher, unverbauter und begehbare Bereich mit der Breite L4. Bei der Baureihe TCG 2032 sind in diesem Bereich beidseitig fest installierte Wartungsbühnen vorzusehen
- An der Stirnseite des Aggregats (Gasmotor) ein zugänglicher Bereich mit der Breite L1 zur Demontage bzw. Wartung von am Aggregat installierten Komponenten

- Je nach Situation müssen in diesem Bereich Baugruppen zur Versorgung des Aggregats angeordnet werden (beispielsweise Umwälzpumpen, Filter, Kühler). In diesem Fall sind für einfachere Arbeiten an der Stirnseite ausreichend Zwischenräume für Hände und Werkzeuge vorzusehen. Für umfangreiche Instandhaltungsarbeiten (beispielsweise Ausbau von Schwingungsdämpfer, Nockenwelle) sollten die im Freiraum befindlichen Baugruppen schnell demontierbar sein.
- An der Stirnseite des Aggregats (Generator) ein frei zugänglicher, unverbaubarer und begehbare Bereich mit der Breite L5
- Über dem Aggregat ein frei zugänglicher, unverbaubarer Raum mit der Höhe L2
- In Verlängerung der Zylinderachsen ein frei zugänglicher, unverbaubarer Raum mit der Länge L3
- Die Längen L2 und L3 gelten als Mindestabstand von der Oberseite der anzuhebenden Bauteile bis zur Unterkante des Anschlagpunkts. Die resultierende Raumhöhe ist abhängig von der Art der Anschlagpunkte, deren Aufbau und Befestigung sowie allgemeinen Vorgaben für Raumhöhen



3720791051: Vereinfachte Beispielabbildung

Pos.	TCG 3016	TCG 2020, TCG 3020	TCG 2032
L1	500 mm	500 mm	500 mm
L2	1200 mm	1200 mm	2200 mm
L3	1200 mm	1200 mm	2500 mm
L4	1000 mm	1000 mm	2000 mm
L5	1000 mm	1000 mm	1000 mm

Tab. 37: Freiräume Aggregat

### Ausnahmen

Kompakte Maschineneinhausungen (beispielsweise in Containerbauweise) bieten nicht immer den Raum, um die hier genannten Angaben einzuhalten. Kleinere Freiräume sind begrenzt möglich, können aber zu höherem Instandhaltungsaufwand und längerer Arbeitszeit führen.

Für die Durchgangsbreite gilt allgemein:

- Breiter als 600 mm, vorzugsweise 800 mm

Ist diese Durchgangsbreite an engen Stellen nicht einzuhalten, gilt:

- Eine dokumentierte Risikobeurteilung nennt den Grund und ermittelt die sichere Durchgangsbreite für jede enge Stelle
- Die Durchgangsbreite an der engen Stelle ist breiter als 500 mm

### 16.2.2.3 Möglichkeiten zum Bewegen von Bauteilen

---

#### HINWEIS

Die angegebenen Lasten sind Mindestwerte für die Auswahl von Hebezeugen. Sie gelten nur für einzelne Bauteile (z. B. Schwungrad) bzw. zusammengebauter Baugruppen (z. B. Zylindereinheit) entsprechend der vom Hersteller vorgesehenen Vorgehensweise bei Instandhaltungsarbeiten.

Die Festlegung der Lasten erfolgte für eine senkrechte und statische Belastung des Anschlagpunkts. Falls der Transport der Bauteile in den seitlichen Freiraum mit Transportmitteln nicht möglich ist, das Bauteil an beiden Anschlagpunkten anschlagen und so bewegen, dass der Lastwinkel möglichst wenig zur Vertikalen abweicht. Größere Abweichungen sind bei der Auslegung zu berücksichtigen.

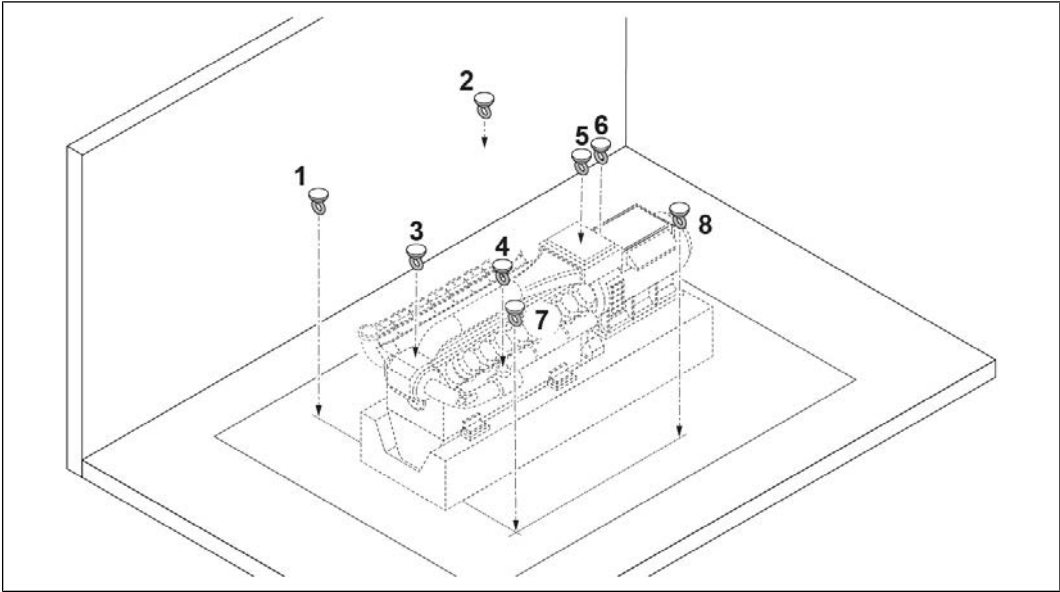
Je nach Region gelten unterschiedliche Sicherheitszuschläge zur Last um die maximal erforderliche Tragkraft der Lastaufnahmeeinrichtung zu ermitteln.

---

#### Für Gasmotor TCG 3016

Die folgende Abbildung zeigt schematisch die prinzipielle Anordnung von Anschlagmöglichkeiten über dem freien Bereich. Die tatsächliche Position hängt vom konkreten Auftrag ab. Eine Zeichnung mit den Aggregatabmessungen ist beim Hersteller erhältlich.





3720795275: Vereinfachte Beispielabbildung TCG 3016

Pos.	Ort	Lasten (Minimum)	Art
1 - 2	Über dem Freiraum an der Zylinderseite B	250 kg	Mindestens einzelne Anschlagpunkte im Bauwerk, beispielsweise an der Decke. Die seitlichen Anschlagpunkte liegen dabei fluchtend und rechtwinklig zu den Anschlagpunkten über dem Aggregat.  Alternativ können die einzelnen Anschlagpunkte 1 - 2, 3 - 6 und 7 - 8 durch Profilschienen für mobile Hebezeuge ersetzt werden.
3	Über dem Turbolader		
4	Über dem Gasmischer		
5	Über dem Gemischkühler		
6	Über dem Schwungrad		
7 - 8	Über dem Freiraum an der Zylinderseite A		

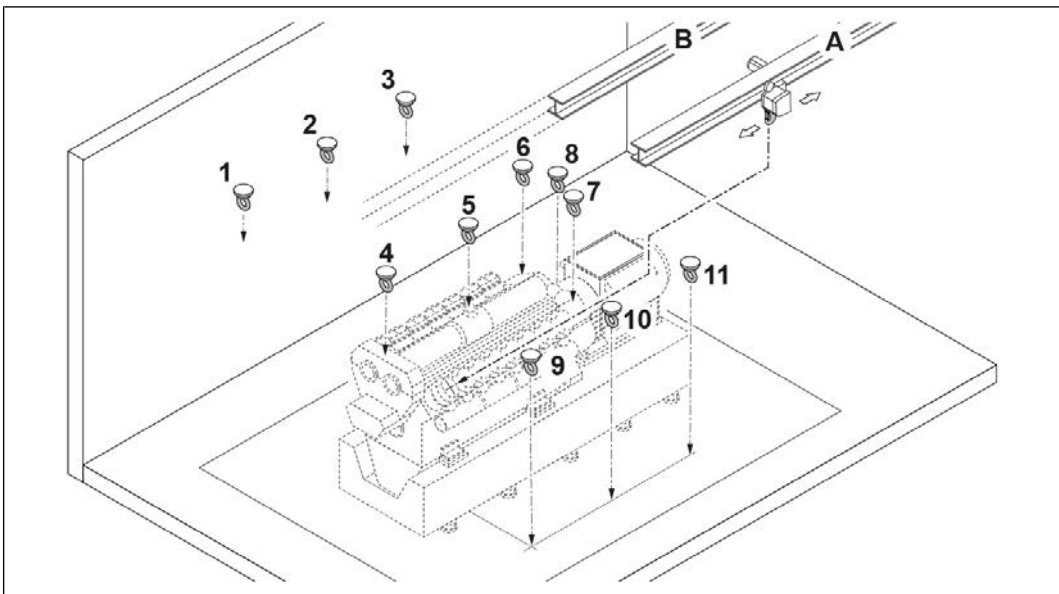
Tab. 38: Lasten TCG 3016

Für Gasmotor TCG 2020, TCG 3020

Die folgende Abbildung zeigt schematisch die prinzipielle Anordnung von Anschlagmöglichkeiten über dem freien Bereich. Die tatsächliche Position hängt vom konkreten Auftrag ab. Eine Zeichnung mit den Aggregatabmessungen ist beim Hersteller erhältlich.

Customer Level (CL) / 18014401340850699 - DE / 2025-12





3720810763: Vereinfachte Beispielabbildung TCG 2020, TCG 3020

Pos.	Ort	Lasten (Minimum)	Art
1 - 2	Über dem Freiraum an der Zylinderseite B	250 kg	Mindestens einzelne Anschlagpunkte im Bauwerk, beispielsweise an der Decke. Die seitlichen Anschlagpunkte liegen dabei fluchtend und rechtwinklig zu den Anschlagpunkten über dem Aggregat.
3		500 kg	
4	Über dem Turbolader	250 kg	
5	Über dem Gasmischer	250 kg	
6 - 7	Über dem Gemischkühler	250 kg	
8	Über dem Schwungrad	500 kg	Alternativ können die einzelnen Anschlagpunkte 1 - 3, 4 - 5 und 8 sowie 9 - 10 durch Profilschienen für mobile Hebezeuge ersetzt werden.
9 - 10	Über dem Freiraum an der Zylinderseite A	250 kg	
11		500 kg	
A - B	Über den Zylindereinheiten	250 kg	Mindestens Profilschienen für mobile Hebezeuge.

Tab. 39: Lasten TCG 2020, TCG 3020

Customer Level (CL) / 18014401340850699 - DE / 2025-12

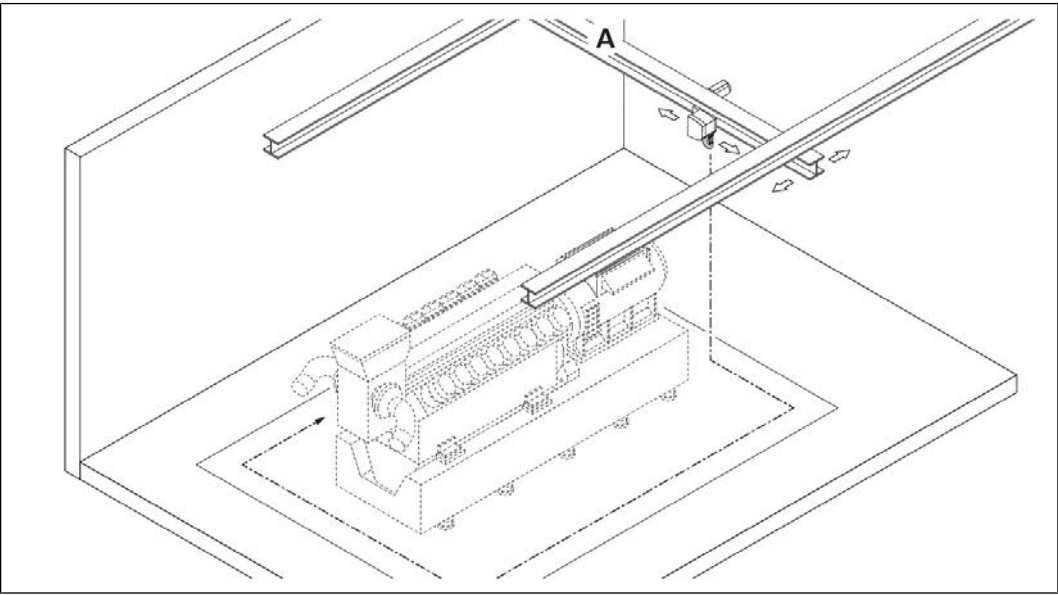
HINWEIS

Art und Quelle der Gefahr

Zu empfehlen ist eine Krananlage mit elektrisch verfahrbarer Traverse und Elektrokettenszug. Die Tragkraft sollte mindesten **250 kg** betragen. In diesem Fall verbleiben nur noch die Positionen mit der höherern Tragkraft als stationäre Anschlagpunkte.

Für Gasmotor TCG 2032

Die folgende Abbildung zeigt schematisch die prinzipielle Anordnung von Anschlagmöglichkeiten über dem freien Bereich. Die tatsächliche Position hängt vom konkreten Auftrag ab. Eine Zeichnung mit den Aggregatabmessungen ist beim Hersteller erhältlich.



3720813451: Vereinfachte Beispielabbildung TCG 2032

Pos.	Ort und Fahrwege	Lasten (Minimum)	Art
A	Über dem Aggregat und dem Freiraum um das Aggregat	1000 kg	Krananlage mit elektrisch verfahrbarer Traverse und Elektrokettenszug.

Tab. 40: Lasten TCG 2032

16.2.3 Fundamentierung und Schwingungsdämpfung

16.2.3.1 Allgemein

Bei Aggregaten mit Kolbenmotoren werden Massenkräfte und Massenmomente nicht in allen Fällen vollständig ausgeglichen. Die Übertragung der dadurch erzeugten Schwingungen und Geräusche auf das Fundament kann durch elastische Lagerungen wesentlich reduziert werden..

Hiervon ausgenommen sind Aggregate der Baureihe TCG 3016. Diese Aggregate verfügen über eine elastische Lagerung zwischen der gekoppelten Einheit aus Motor und Generator und dem Grundrahmen. Das Aggregat wird ohne zusätzliche Lagerelemente auf dem Fundamentblock aufgestellt. Es sind zwischen Grundrahmen und Fundament Gummimatten vorzusehen..

#### **16.2.3.2 Fundamentblock**

Die Fundamentgründung muss mit besonderer Sorgfalt vorgenommen werden.

Für die Ausführung und Gründung des Fundaments ist die Baufirma bzw. der Architekt verantwortlich.

Zur Berechnung können dem Kunden die Daten über die Fundamentbelastung durch das Aggregat sowie die Eigenfrequenzen der elastischen Lagerung zur Verfügung gestellt werden.

Die Fundamentoberfläche darf im Bereich der aufgestellten elastischen Lagerung, sowie im Bereich der Aufstellung des Kühlwassermotors eine Toleranz von +/- 2 mm nicht überschreiten. Der Rest der Fundamentoberfläche kann nach dem Standardbauvorschriften für Fundamente ausgelegt sein.

#### **16.2.3.3 Elastische Lagerung**

Bei den Aggregaten der Baureihe TCG 3016 sind Motor und Generator über ein Flanschgehäuse starr verbunden. Die Einheit von Motor und Generator ist auf dem Grundrahmen mit Gummielementen elastisch gelagert.

#### **16.2.3.4 Unebene Fundamentoberflächen und Fundamentgefälle**

Vor der Aufstellung des Aggregates ist zwingend erforderlich, die Fundamentebenheit zu überprüfen und gegebenenfalls vor dem Absetzen des Aggregates unter den Federelementen Futterbleche zu legen. Die Dicke der Bleche muss dem erforderlichen Höhenausgleich am jeweiligen Federelement angepasst sein. Caterpillar Energy Solutions (CES) bietet für die jeweiligen Lagertypen passende Bleche in den Dicken 1,2 mm und 5 mm an. Die Höhenverstellung der Lager wird nur zur Feinausrichtung des Aggregats in Anspruch genommen.

Die Vorgehensweise zur Ermittlung der Fundamentebenheit und die Bestimmung der eventuell erforderlichen Unterlegbleche ist Bestandteil der Kundendokumentation.

## 16.2.4 Geräuschentwicklung

### 16.2.4.1 Allgemein

Die akustischen Anforderungen an die Aufstellung von Aggregaten mit Verbrennungsmotoren sind durch Gesetze und Normen definiert. Nachfolgend einige Hinweise auf die Zusammenhänge und Lösungsmöglichkeiten bei Geräuschproblemen.

Geräuschquellen sind in der Hauptsache das Verbrennungsgeräusch des Motors. Weitere Geräuschquellen sind mechanische Motorgeräusche, Ansauggeräusche und Abgasgeräusche des Motors. Die Ventilatoren, Pumpen und weitere Hilfsantriebe tragen ebenfalls zur Schallemission bei.

Auch zu hohe Luftgeschwindigkeiten können Geräusche verursachen.

Maßnahmen zur Geräuschminderung sind an der Geräuschquelle selbst nur schwer durchführbar. Deshalb zielen die meisten Maßnahmen darauf hin, die Geräuschübertragungen nach außerhalb des Aggregatraums zu reduzieren.

#### Weitere Informationen

- [Hinweise zu Planung und Betrieb einer Belüftungsanlage](#) ► 128]

### 16.2.4.2 Akustische Abhängigkeiten

Geräusche setzen sich aus Druckwellen verschiedener Frequenzen zusammen. Sämtliche Geräuschmessungen sind also frequenzabhängige Druckmessungen. Geräusche niedriger Frequenzen werden vom Menschen leichter ertragen als Geräusche höherer Frequenz. Schallwellen mit Frequenzen über 16 000 Hz bis 20 000 Hz sind dagegen im Allgemeinen durch das menschliche Gehör nicht mehr wahrnehmbar.

Aus der Notwendigkeit, die Lautstärke von Schallereignissen an verschiedenen Orten zu vergleichen wurden objektive Messverfahren entwickelt. Die Bewertung erfolgt nach bestimmten Frequenzkurven, wie sie in der DIN EN 61672-1 und DIN EN 61672-2 festgelegt sind. Dabei handelt es sich um Bewertungskurven A, B, C und D (siehe folgende Tabelle). Die Bewertungskurven geben den Frequenzgang des Ohrs für schmalbandige Geräusche etwas vereinfachter wieder. Die Kurve A im Bereich weniger lauter, die Kurven B und C in den Bereichen lauter und sehr lauter Geräusche. D gilt für Flugzeuggeräusche.

Frequenz in Hz	Bewertungskurve in dB			
	A	B	C	D
31,5	-39,4	-17,1	-3,0	-16,5
63	-26,2	-9,3	-0,8	-11,0
125	-16,1	-4,2	-0,2	-6,0
250	-8,6	-1,3	0,0	-2,0

Frequenz in Hz	Bewertungskurve in dB			
500	-3,2	-0,3	0,0	0,0
1000	0,0	0,0	0,0	0,0
2000	1,2	-0,1	-0,2	8,0
4000	1,0	-0,7	-0,8	11,0
8000	-1,1	-2,9	-3,0	6,0

Tab. 41: Bewertungskurven für das menschliche Ohr

Motorengeräusche werden normalerweise in dB(A) bewertet.

Ein Messwert bei 125 Hz wird z. B. um 16,1 dB leiser empfunden, als ein gleicher Messwert bei 1000 Hz.

Die Stärke des Geräusches ist abhängig vom Messabstand und vom Aufstellungsort. Bei kleinem Messabstand von der Geräuschquelle nimmt der Schalldruckpegel zu und bei größerem Abstand wird der Schalldruckpegel geringer. Man nennt diese Pegelabnahme auch Ausbreitungsdämpfung.

Für punktförmige Quellen gilt:

$$L_{(r2)} = L_{(r1)} - 10 \times \log\left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2$$

3720819211: Formel Schalldruckpegel

$L_{(r1)}$	= Schalldruckpegel 1
$L_{(r2)}$	= Schalldruckpegel 2
$r_1$	= Abstand 1
$r_2$	= Abstand 2

### Beispiel

$$L_{(r2)} = 70 - 10 \times \log\left(\frac{20}{10}\right)^2 = 64 \text{ dB}$$

3720834699: Beispiel Schalldruckpegel

$L_{(r1)}$	= 70 dB
$r1$	= 10 m
$r2$	= 20 m

Bei einer Abstandsverdoppelung nimmt der Schalldruckpegel um 6 dB ab.

Bei Anlagen mit mehreren Aggregaten wird der Summengeräuschpegel nach den Gesetzmäßigkeiten der Akustik ermittelt:

$$L_{(r2)} = L_{(r1)} - 10 \times \log\left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2$$

3720837387: Formel Summengeräuschpegel

$L_{\Sigma}$	= Summenpegel
$L_i$	= Einzelpegel

### Beispiel

$$L_{\Sigma} = 10 \times \log\left(10^{\frac{70,5}{10}} + 10^{\frac{71,5}{10}} + 10^{\frac{72,5}{10}} + 10^{\frac{75,5}{10}} + 10^{\frac{77,0}{10}}\right) = 81,1 \text{ dB}$$

3720840075: Beispiel

$L_1$	= 70,5 dB
$L_2$	= 71,5 dB
$L_3$	= 72,5 dB
$L_4$	= 75,5 dB
$L_5$	= 77,0 dB

Bei Addition  $n$  gleicher Pegel  $L$  gilt vereinfacht:

$$L_{\Sigma} = L + 10 \times \log(n)$$

3720842763: Formel vereinfachter Summengeräuschpegel

Bei Addition von zwei gleichen Schallpegeln ergibt sich eine Pegelerhöhung von 3 dB.

Wenn im geschlossenen Raum ein Aggregat aufgestellt ist, steigt der Geräuschpegel infolge behinderter Schallausbreitung an. Man misst einen höheren Geräuschpegel als bei einer Messung im freien Feld. In kleinen Räumen ohne Akustikmaterial ist die Geräuschverteilung fast überall gleich.

Akustisch vorteilhaft sind große Räume mit schallweichen Wänden, also keine Fliesen oder ähnliches Baumaterial.

### 16.2.4.3 Möglichkeiten der Geräuschminderung

Normale Wandstärken von 24 cm oder 36 cm dämpfen das von innen kommende Geräusch bereits um 40 dB bis 50 dB. Für die Zuluftkanäle und Abluftkanäle sind 2 m bis 3 m lange Schalldämmstrecken vorzusehen. Diese Schalldämmkulissen haben eine Dämpfung von etwa 40 dB. Unter Beachtung der Kühlluftmenge soll in der Schalldämmstrecke die Luftgeschwindigkeit druckseitig ca. 8 m/s und saugseitig ca. 6 m/s nicht überschreiten.

- Weitere Informationen: [Maschinenraumbelüftung](#) [► 117]

Wenn in den Aggregaterraum Akustikmaterialien wie Schalldämmplatten eingebracht werden, so ist eine Lärmpegelabsenkung von ca. 3 dB möglich. Bei größerem Aufwand der Dämmung ist eine Lärmpegelabsenkung von ca. 10 dB erreichbar. Besondere Sorgfalt ist auf die Beherrschung des Abgasgeräusches zu legen. Mit geeigneten Schalldämpfern lassen sich Geräuschabsenkungen bis ca. 60 dB erreichen.

Schalltechnische Fragen können, da sie sehr stark von den örtlichen Verhältnissen abhängen, nur individuell gelöst werden. Hierzu stellt der Hersteller Terzspektren oder Oktavspektren für das Abgasgeräusch und Motorgeräusch zur Verfügung.

Die Ausführung von Schalldämmmaßnahmen ist in Zusammenarbeit mit Spezialfirmen zu lösen.

Maßnahmen können z. B. sein:

- Abgasschalldämmung durch Reflexionsdämpfer, Absorptionsdämpfer, aktive Schalldämpfung
- Körperschallisolierende Aufstellung des Aggregats
- Anordnung von Absorptionskulissen für die Zuluftöffnungen und Abluftöffnungen des Aggregaterraums
- Schalldämmende Kapselung des Aggregats
- Schallisolierung des Aggregaterraums und Einbau eines schwimmenden Bodens (durch Spezialfirmen)

Zur Rauminnenauskleidung dürfen keine Faserstoffe (z. B. Heraklit) verwendet werden. Durch Luftschwingungen lösen sich Partikel und verstopfen die Luftfilter und können auch den Motor zerstören.

Für die Gebäudeschalldämmung ist nicht nur das Mauerwerk, sondern sind auch Fenster, Türen usw. zu berücksichtigen.

Bei der schalltechnischen Betrachtung sind zusätzliche Schallquellen wie Hilfsantriebe oder Tischkühler, die außerhalb des Maschinenraums stehen, mit einzubeziehen. Lärmquellen sind auch Gasregelstrecken, Vordruckregelstrecken oder Nulldruck-Gasregelstrecken, welche außerhalb des Maschinenraums oder außerhalb einer Schallkapsel installiert sind. Diese zusätzlichen Lärmquellen müssen bei der schalltechnischen Auslegung berücksichtigt werden.

#### 16.2.4.4 Schallangaben in Aggregatedatenblättern

Die Aggregate-Datenblätter geben die Schallwerte für Luftschall und Abgasschall als Schallleistungspegel an. Für den Luftschall gibt es Terzspektren für den Abgasschall Terzspektren, teilweise auch noch Oktavspektren. In den Terz-Bändern und Oktav-Bändern angegebene Pegel sind lineare Pegel, d. h. es ist keine Korrektur nach einer der Bewertungskurven A, B, C oder D vorgenommen.

Die Gesamtschallpegel sind als Summenpegel mit einer A-Bewertung der Einzelpegel angegeben.

#### Schalldaten für einen TCG 2020 V12

Frequenzband	Luftschallemission <sup>4)</sup>	Abgasschall <sup>5)</sup>
$f$ in Hz	$L_{W, \text{Terz}}$ in dB(lin)	$L_{W, \text{Octave}}$ in dB(lin)
25	94	
31,5	95	
40	98	
50	100	128
63	106	128
80	109	128
100	108	135
125	109	135
160	106	135
200	115	134
250	115	134
315	115	134
400	109	131
500	110	131
630	109	131
800	109	123
1000	109	123
1250	108	123



Frequenzband	Luftschallemission <sup>4)</sup>	Abgasschall <sup>5)</sup>
1600	108	122
2000	108	122
2500	107	122
3150	109	120
4000	103	120
5000	102	120
6300	114	119
8000	107	119
10000	101	119
12500	104	121
16000	98	114
$L_{WA}/dB(A)$	121	132
$S/m^2$	114	15,5
<sup>4)</sup> DIN EN ISO 3746 <sup>5)</sup> DIN 45635-11 Anhang A ( $\pm 3$ dB) $L_W$ = Schallleistungspegel $S$ = Messfläche im Abstand $x$ zur Schallquelle mit $S_0 = 1 \text{ m}^2$		

Tab. 42: Schalldaten

### Korrekturwerte für die Einzelpegel nach den Bewertungen A, B, C und D

Frequenz in Hz	Bewertungskurve in dB			
	A	B	C	D
25	-44,7	-20,4	-4,4	-18,5
31,5	-39,4	-17,1	-3,0	-16,5
40	-34,6	-14,2	-2,0	-14,5
50	-30,2	-11,6	-1,3	-12,5
63	-26,2	-9,3	-0,8	-11,0

Frequenz in Hz	Bewertungskurve in dB			
80	-22,5	-7,4	-0,5	-9,0
100	-19,1	-5,6	-0,3	-7,5
125	-16,1	-4,2	-0,2	-6,0
160	-13,4	-3,0	-0,1	-4,5
200	-10,9	-2,0	0,0	-3,0
250	-8,6	-1,3	0,0	-2,0
315	-6,6	-0,8	0,0	-1,0
400	-4,8	-0,5	0,0	-0,5
500	-3,2	-0,3	0,0	0,0
630	-1,9	-0,1	0,0	0,0
800	-0,8	0,0	0,0	0,0
1000	0,0	0,0	0,0	0,0
1250	+0,6	0,0	0,0	+2,0
1600	+1,0	0,0	-0,1	+5,5
2000	+1,2	-0,1	-0,2	+8,0
2500	+1,3	-0,2	-0,3	+10,0
3150	+1,2	-0,4	-0,5	+11,0
4000	+1,0	-0,7	-0,8	+11,0
5000	+0,5	-1,2	-1,3	+10,0
6300	-0,1	-1,9	-2,0	+8,5
8000	-1,1	-2,9	-3,0	+6,0
10000	-2,5	-4,3	-4,4	+3,0

Tab. 43: Korrekturwerte für die Einzelpegel

### Umrechnung Schallleistungspegel in Schalldruckpegel

Die Schallleistung ist eine entfernungsabhängige und raumunabhängige Größe, die sich als Ausgangspunkt für alle schalltechnischen Berechnungen eignet. Die Schallleistung ist nicht direkt messbar sondern über vorgegebene Messverfahren ermittelt.

Der Schallleistungspegel  $L_W$  ist für eine Schallquelle die kennzeichnende schalltechnische Größe. Im Gegensatz zum Schalldruckpegel  $L_p$  ist der Schallleistungspegel  $L_W$  vollkommen unabhängig vom Schallfeld. Also unabhängig von der Größe des Raums und der Entfernung zur Quelle. Die abgestrahlte Schallleistung einer Geräuschquelle wird bestimmt durch die Messung des Schalldrucks an mehreren Stellen einer geschlossenen Messfläche  $S$ . Mit den auf der definierten Hüllfläche gemessenen Schalldrücken wird die Schallleistung einer Quelle berechnet. Mit der ermittelten Schallleistung lassen sich die Schalldruckpegel in beliebigen Abständen zur Schallquelle berechnen.

Für den Schalldruckpegel im Abstand von  $x$  zur Schallquelle gilt folgende Beziehung:

$$L_p = L_W - 10 \times \log\left(\frac{S}{S_0}\right)$$

3720860299: Formel Schalldruckpegel ohne Bewertung

Bei Angabe mit A-bewerteten Pegeln ergibt sich:

$$L_{pA} = L_{WA} - 10 \times \log\left(\frac{S}{S_0}\right)$$

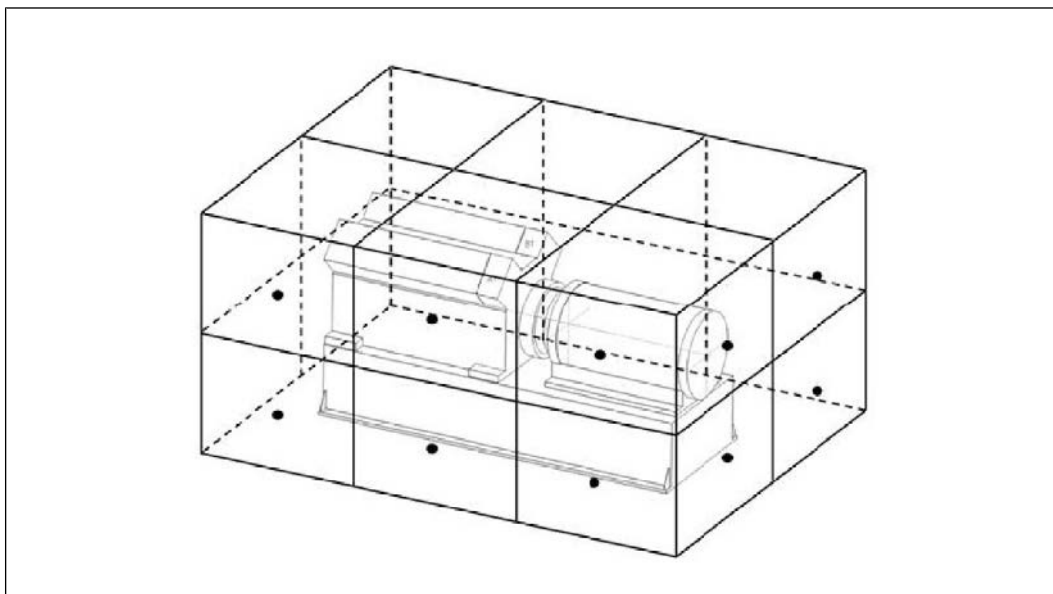
3720862987: Formel Schalldruckpegel mit Bewertung

Dabei sind:

$L_p$	= Schalldruckpegel, linear (ohne Bewertung)
$L_{pA}$	= Schalldruckpegel, Bewertung nach Kurve A
$L_W$	= Schallleistungspegel, linear (ohne Bewertung)
$L_{WA}$	= Schallleistungspegel, Bewertung nach Kurve A
$S$	= Messfläche im Abstand $x$ zur Schallquelle
$S_0$	= Bezugsfläche, immer $1 \text{ m}^2$

### Messflächen für das Aggregat

Bei der Ermittlung des Schallleistungspegels für das Aggregat wird von einer quaderförmigen Messfläche im Abstand von einem Meter zum Aggregat ausgegangen (siehe folgende Abbildung). Die Messfläche wird in ein Raster mit jeweils einem Messpunkt im Mittelpunkt der einzelnen Rasterflächen aufgeteilt. Dieses Verfahren entspricht der DIN EN ISO 3476.



3720865675: Quaderförmige Messfläche für das Aggregat

### Messflächen beim Abgasschall

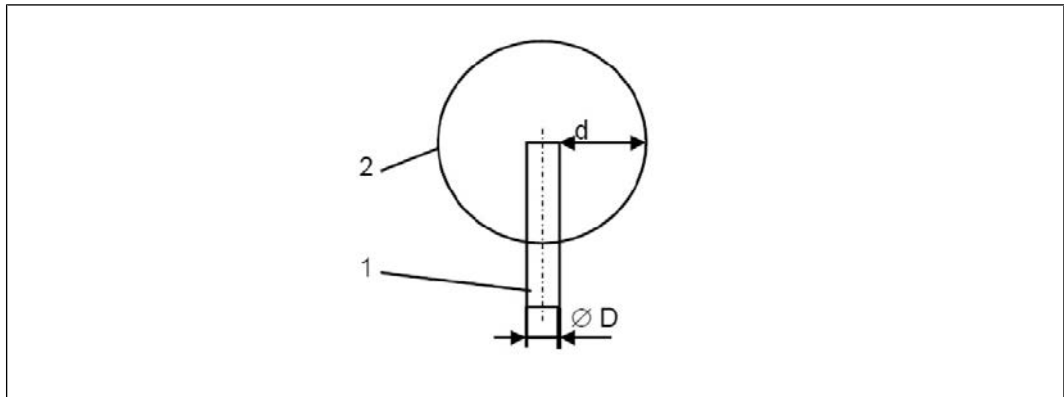
Beim Abgasschall wird von einer kugelförmigen Messfläche in einem Meter Abstand von der Außenkante des Abgasrohrs ausgegangen. Die Oberfläche der Messfläche ergibt sich dann mit der Gleichung:

$$S = 4 \times \pi \times \left( \frac{D}{2} + d \right)^2$$

3720868363: Formel Messfläche

Dabei sind:

$S$ in $\text{m}^2$	= Messfläche
$D$ in m	= Durchmesser des Abgasrohrs
$d$	= Messabstand in 1 m



3720871051: Kugelförmige Messfläche für das Abgas

1 Abgasrohr

2 Messfläche S

### Beispiele Umrechnung Schallleistungspegel - Schalldruckpegel

#### Beispiel 1

Wie hoch ist der Schalldruckpegel für ein Aggregat TCG 2020 V12 in 1 Meter und 10 Meter Abstand?

- Der Schallleistungspegel des Aggregats ist im Datenblatt mit 121 dB(A) angegeben
- Die Messfläche S in 1 Meter Abstand ist im Datenblatt mit 114 m<sup>2</sup> angegeben
- Die Basisabmessungen eines Aggregats TCG 2020 V12 sind:
  - Länge  $l = 5,7$  m
  - Breite  $b = 2,1$  m
  - Höhe  $h = 2,5$  m

Ein äquivalenter Quader in 10 Meter Abstand hat dann die Abmessungen:

- Länge  $l = 5,7$  m + 2 × 10 m
- Breite  $b = 2,1$  m + 2 × 10 m
- Höhe  $h = 2,5$  m + 10 m

Dies ergibt eine Messfläche S von ca. 1763 m<sup>2</sup> in 10 Meter Abstand. Daraus erhält man mit zuvor angegebener Gleichung:

- Schalldruckpegel in 1 Meter Abstand:
  - $L_{pA} = L_{WA} - 10 \times \log (S / S_0)$
  - $L_{pA} = 121 - 10 \times \log (114 / 1)$
  - $L_{pA} = 121 - 10 \times \log 114 = 121 - 10 \times 2,06$
  - $L_{pA} = 100,4$  dB (A)

- Schalldruckpegel in 10 Meter Abstand:
  - $L_{pA} = L_{WA} - 10 \times \log (S / S_0)$
  - $L_{pA} = 121 - 10 \times \log (1763 / 1)$
  - $L_{pA} = 121 - 10 \times \log 1763 = 121 - 10 \times 3,25$
  - $L_{pA} = 88,6 \text{ dB (A)}$

#### Beispiel 2

Wie hoch ist der Abgas-Schalldruckpegel für ein Aggregat TCG 2020 V12 in 1 Meter und 10 Meter Abstand vom Abgasaustritt?

- Der Schallleistungspegel für das Abgas ist im Datenblatt mit 132 dB(A) angegeben.
- Die Bezugsfläche  $S$  für eine Kugeloberfläche mit einem Radius von 1 m ist im Datenblatt mit 15,5 m<sup>2</sup> angegeben

Die Oberfläche  $S$  einer Kugel mit 10 Meter Radius beträgt 1257 m<sup>2</sup>. Daraus erhält man mit oben angegebener Gleichung:

- Schalldruckpegel in 1 Meter Abstand von Rohraußenwand:
  - $L_{pA} = L_{WA} - 10 \times \log (S / S_0)$
  - $L_{pA} = 132 - 10 \times \log (15,5 / 1)$
  - $L_{pA} = 132 - 10 \times \log 15,5 = 132 - 10 \times 1,19$
  - $L_{pA} = 120,1 \text{ dB(A)}$

Schalldruckpegel in 10 Meter Abstand:

- $L_{pA} = L_{WA} - 10 \times \log (S / S_0)$
- $L_{pA} = 132 - 10 \times \log (1257 / 1)$
- $L_{pA} = 132 - 10 \times \log 1257 = 132 - 10 \times 3,1$
- $L_{pA} = 101 \text{ dB(A)}$

## 16.3 Gummikompensatoren

### 16.3.1 Funktion

Gummikompensatoren dienen zur elastischen Abkoppelung von flüssigkeitsführenden Anschlussrohren der Anlage vom elastisch gelagerten Aggregat. Sie reduzieren den Körperschall, der sonst durch die angeschlossenen Rohrleitungen ungehindert in das Gebäude übertragen würde und gleichen Wärmeausdehnungen aus.

Zusätzlich können in den Rohrleitungen der Anlage weitere Kompensatoren erforderlich sein.

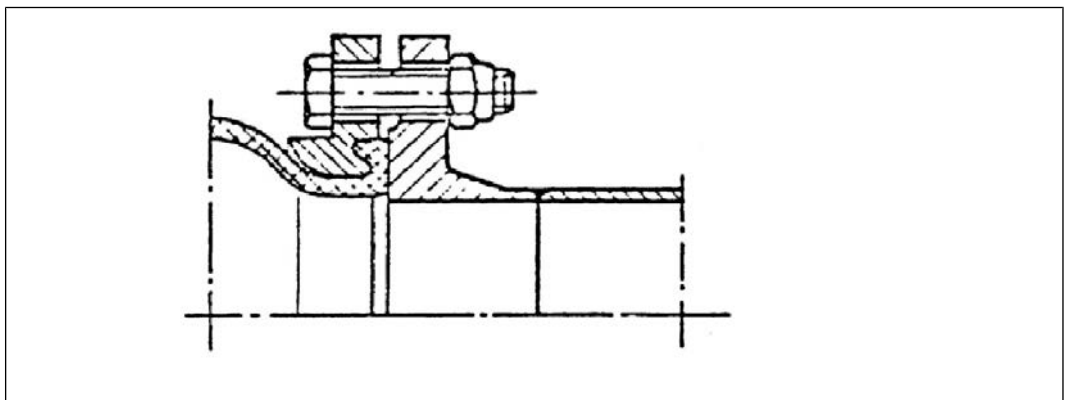
### 16.3.2 Hinweise für die Planung

#### Einbaustelle

Die Einbaustelle ist so zu planen, dass diese auch nach der Montage zugänglich und eine Überwachung möglich ist.

#### Kompensatortypen, Balgwerkstoffe und deren Kennzeichnung

Als Gegenflansche werden ausschließlich DIN-Vorschweißflansche oder VG-Bördelflansche verwendet. Bei diesen sind keine zusätzlichen Dichtungen erforderlich, da der Gummiwulst des Kompensators dichtet. Andere Flanschausführungen sind wegen der Beschädigungsgefahr des Gummiwulstes nicht zulässig.



3726746379: Kompensator mit Gummiwulst und Flansch mit glatter Dichtfläche bis zum inneren Durchmesser

Für den Einbau in Kühlwassersysteme werden Kompensatoren mit dem Balgwerkstoff EPDM (Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk) eingesetzt. Bei diesen Typen ist der Balg mit einer orange/blauen Kennzeichnung versehen. Bei der Verwendung dieses Balgwerkstoffes dürfen nur ölfreie Kühlwasserzusätze verwendet werden.

Bei dem Einsatz in Schmierölsystemen, dies betrifft nur die Baureihe TCG 2032, werden Kompensatoren mit dem Balgwerkstoff NBR (Nitrilkautschuk) eingesetzt. Der Balg ist bei diesen Typen mit einer rot/blauen Kennzeichnung versehen.

#### Kennwerte für Gummikompensatoren mit Flanschen nach EN 1092-1

		1						2				3				4	
5	6	PN	ØD	ØK	nxØd2	b	BL	Ødi	8	9	10	11	12	13	14		
DN									ØC	W							
	[mm]	[bar]			[mm]						[mm]			[°]	[kg]		
32	42,4x2,6	16	140	100	4xØ18	16	125	31	72	78	30	10	15	25	3,3		
40	48,3x2,6	16	150	110	4xØ18	16	125	39	81	86	30	10	15	25	3,8		
50	60,3x2,9	16	165	125	4xØ18	16	125	49	95	97	30	10	15	25	4,4		
65	76,1x2,9	16	185	145	8xØ18	18	125	65	115	113	30	10	15	25	5,6		
80	88,9x3,2	16	200	160	8xØ18	20	150	77	127	135	40	10	15	20	7,2		
100	114,3x3,6	16	220	180	8xØ18	20	150	100	151	160	40	10	15	15	8,1		
125	139,7x4	16	250	210	8xØ18	22	150	127	178	184	40	10	15	15	10,8		
150	168,3x4,5	16	285	240	8xØ22	22	150	153	206	212	40	10	15	12	13,2		
175	193,7x5,4	16	315	270	8xØ22	22	150	176	230	236	40	10	15	10	15,8		
200	219,1x5,9	16	340	295	8xØ22	25	175	202	260	265	45	15	15	8	19,819,6		

3726969739: Kompensatoren mit Flanschen nach EN 1092-1

- |    |                                       |    |                    |
|----|---------------------------------------|----|--------------------|
| 1  | Flanschmaße nach DIN 1092-1*          | 2  | Balg               |
| 3  | Bewegungsaufnahme (ohne Überlagerung) | 4  | Kompensator        |
| 5  | Nenndurchmesser                       | 6  | Rohr nach DIN 2448 |
| 7  | -                                     | 8  | Dichtfläche        |
| 9  | Wellendurchmesser (drucklos)          | 10 | Drückung           |
| 11 | Streckung                             | 12 | Lateral            |
| 13 | Angular                               | 14 | Gewicht            |



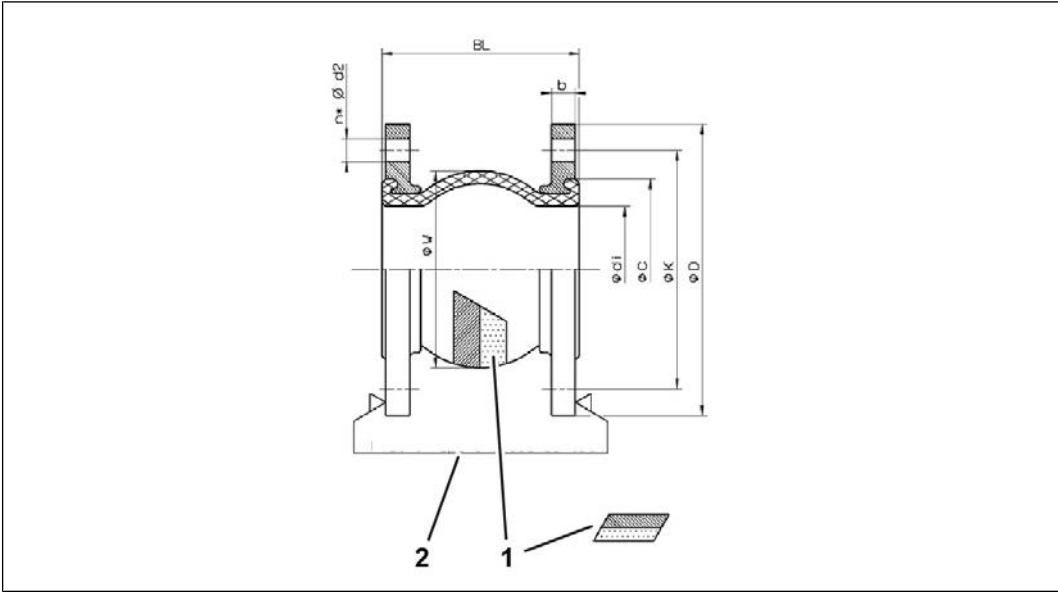
\* Gegenflansche nach E 1092-1-PN 16 mit Schrauben und selbstsichernden Sechskantmutter nach DIN 985, jedoch ohne Dichtungen. Bei DN 200, Gegenflansche nach EN 1092-1-PN10. Montagehinweise Nr.: 6.000.9.000.242 Blatt 1-4

Druckstufen				
Temperaturbelastung bis	°C	+60	+100	+110
Max. zulässiger Betriebsdruck*	bar	16	10	6
Prüfdruck bei +20 °C	bar	23	23	23
Platzdruck	bar	≥ 48	≥ 48	≥ 48
Vakuum bei Einbaulänge ≤ BL	Hier werden besondere Maßnahmen erforderlich, diese müssen angefragt werden.			
* bei stoßweiser Belastung ist der max. Betriebsdruck 30 % niedriger anzusetzen				

Tab. 44: Druckstufen für Kompensatoren

Balgwerkstoff	Betriebsstoff
EPDM	Kühlwasser mit ölfreien Zusätzen für Frostschutz und Korrosionsschutz
NBR	Schmieröl

Tab. 45: Balgwerkstoffe für bestimmte Betriebsstoffe



3726737931: Kompensator

- 1      Typenschild orange/blau (EPDM), rot/ blau (NBR)
- 2      Flächen spanend bearbeitet

Kennwerte für Gummikompensatoren mit Flanschen nach VG 85356

		1					2					3					4
5	6	PN	ØD	ØK	nxØd2	b	BL	Ødi	8	9	10	11	12	13	14		
DN									ØC	W							
[mm]		[bar]	[mm]					[mm]					[°]	[kg]			
40	42	16	108	84	6xØ11	16	125	32	71	74	30	10	15	25	1,9		
50	50	16	120	96	6xØ11	16	125	40	83	88	30	10	15	21	2,3		
65	60	16	140	116	8xØ11	18	125	61	103	113	30	10	15	17	3,0		
80	80	16	150	126	8xØ11	18	150	72	113	137	40	10	15	14	3,4		
100	100	16	172	148	10xØ11	18	150	93	135	145	40	10	15	11	4,2		
125	120	16	200	176	10xØ11	18	150	117	163	178	40	10	15	9	5,7		
150	159	16	226	202	12xØ11	18	150	143	189	201	40	10	15	7	6,6		

3726976779: Kompensatoren mit Flanschen nach VG 85356

- 1      Flanschmaße nach VG 85356 Teil 1
- 2      Balg
- 3      Bewegungsaufnahme (ohne Überlagerung)
- 4      Kompensator
- 5      Nenndurchmesser
- 6      Rohrdurchmesser außen
- 7      -
- 8      Dichtfläche
- 9      Wellendurchmesser (drucklos)
- 10      Drückung
- 11      Streckung
- 12      Lateral

13 Angular

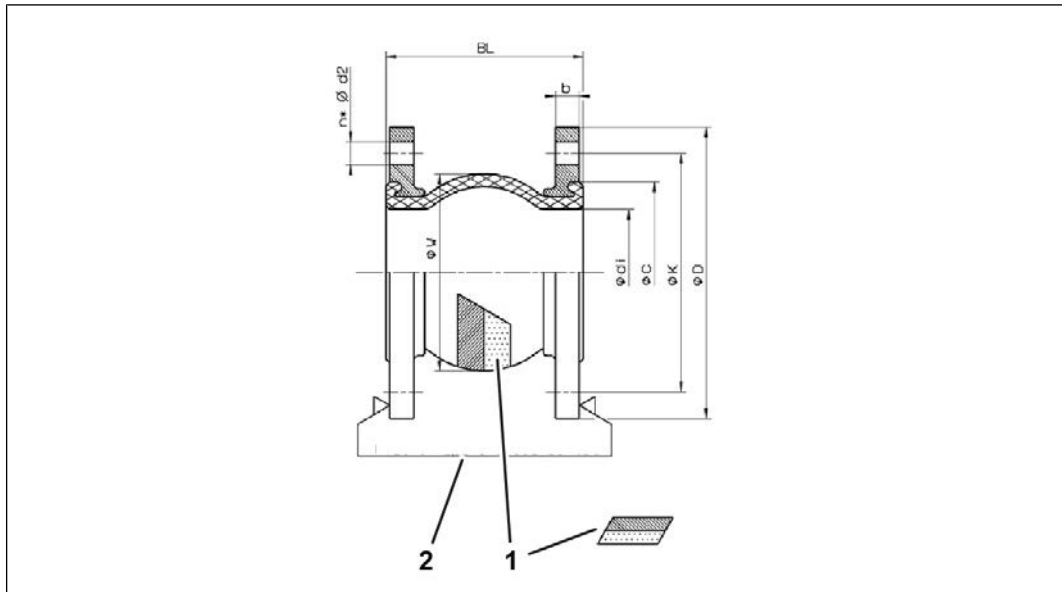
14 Gewicht

Druckstufen				
Temperaturbelastung bis	°C	+60	+100	+110
Max. zulässiger Betriebsdruck*	bar	16	10	6
Prüfdruck bei +20 °C	bar	23	23	23
Platzdruck	bar	≥ 48	≥ 48	≥ 48
Vakuum bei Einbaulänge ≤ BL	Hier werden besondere Maßnahmen erforderlich, diese müssen angefragt werden.			
* bei stoßweiser Belastung ist der max. Betriebsdruck 30 % niedriger anzusetzen				

Tab. 46: Druckstufen für Kompensatoren

Balgwerkstoff	Betriebsstoff
EPDM	Kühlwasser mit ölfreien Zusätzen für Frostschutz und Korrosionsschutz
NBR	Schmieröl

Tab. 47: Balgwerkstoffe für bestimmte Betriebsstoffe



3726742155: Kompensator

- |   |   |   |                            |
|---|---|---|----------------------------|
| 1 | Typenschild orange/blau (EPDM), rot/ blau (NBR) | 2 | Flächen spanend bearbeitet |
|---|---|---|----------------------------|

### Anzahl

Die Anzahl der einzubauenden Kompensatoren hängt von der Rohrleitungsführung selbst und der durch die Temperatur des Betriebsstoffs im Rohr hervorgerufenen Wärmeausdehnung ab.

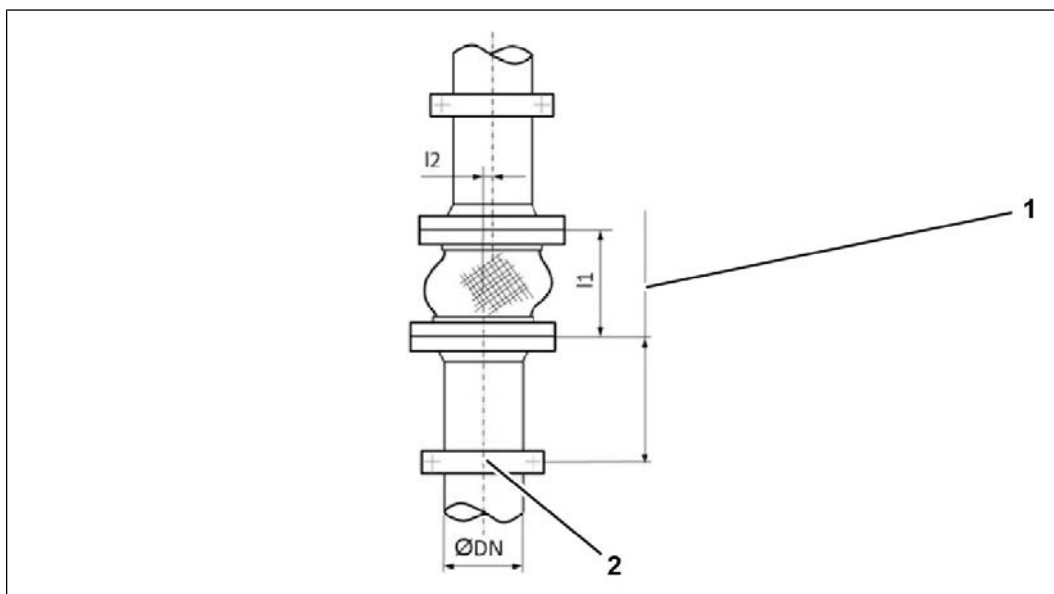
Für den Einbauort gilt:

- Die Einbaustelle eines Kompensators muss zugänglich und eine Überwachung möglich sein.
- Der Kompensator soll vorzugsweise auf Zusammendrückung beansprucht werden.
- Die Einbaulücke für den Kompensator ist so festzulegen, dass die richtige Einbaulänge gewährleistet ist.

### Einbaulücke an der Einbaustelle

Die oben angegebenen Werte für die zulässige Drückung, Streckung, laterale und angulare Bewegungsaufnahme sind jeweils maximale Angaben für nicht überlagerte Auslenkungen.

Beim Einbau der Kompensatoren am Gasmotorenaggregat müssen die in Abbildung „Einbau von Kompensatoren“ angegebenen Werte eingehalten werden. Das Einhalten dieser Einbauabmessungen gewährleistet, dass die Auslenkungen des Aggregats sowohl beim Betrieb als auch bei den Startvorgängen und Stoppvorgängen ohne Überbeanspruchung der Kompensatoren aufgenommen werden.



3726815755: Einbau von Kompensatoren

1 Maximal  $3 \times DN$

2 Festpunkt

Maximal zulässige Einbaumaße	I1	I2
Nenndurchmesser DN 32 bis DN 65	$125 \pm 5 \text{ mm}$	3 mm
Nenndurchmesser DN 80 bis DN 175	$150 \pm 5 \text{ mm}$	3 mm
Nenndurchmesser DN 200	$175 \pm 5 \text{ mm}$	3 mm

Tab. 48: Einbaumaße Gummikompensatoren

### Belastungsarten

#### Überlagerte Bewegungen

Bei überlagerten Bewegungen sind die zuvor genannten Werte beim Hersteller anfragen.

#### Unterdruck

Falls ein Kompensator durch Unterdruck (Vakuum) belastet wird, darf dieser beim Einbau keinesfalls gestreckt werden. Den Kompensator etwas zusammenzudrücken ist besser, weil er hierdurch vakuumstabiler wird. Es werden hier aber besondere Maßnahmen erforderlich, die angefragt werden müssen. Hier sind die Montage-Hinweise des Kompensator-Lieferanten zu beachten.

#### Rohrhalterungen

Bei der Anordnung von Kompensatoren immer Rohrhalterungen bzw. Rohrführungen vor und hinter dem Kompensator vorsehen. Bei Kompensatoren, die zur reinen Schwingungsentkopplung eingesetzt werden (z. B. Kompensatoren am elastisch gelagerten Aggregat), vor und hinter dem Kompensator Festpunkte anbringen. Kompensatoren, die zur Aufnahme von Wärmedehnungen in der Rohrleitung eingebaut werden, haben in der Regel auf der einen Seite eine als Festpunkt ausgebildete Rohrhalterung und auf der anderen Seite eine als Lospunkt ausgeführt. Der Abstand vom Festpunkt, bzw. Lospunkt, zum Kompensator soll nicht größer als  $3 \times DN$  gewählt werden.

- Erforderliche Informationen: [Montage, Isolierung und Oberflächenbehandlung von Rohrleitungen](#) [► 351], Halterung und Abstützung von Rohrleitungen

#### Potentialausgleich

Da der Gummibalg nicht elektrisch leitet, ist eine geeignete elastische Überbrückung erforderlich.

- Erforderliche Informationen: Technische Dokumentation zum entsprechenden Gummikompensator

### 16.3.3 Lagerung

Gummikompensator sauber und trocken lagern, vor allen Beschädigungen schützen, nicht auf dem Balg rollen. Bei Lagerung und Einbau im Freien vor intensiver Sonnenbestrahlung schützen, z. B. durch Abdeckblech.

### 16.3.4 Prüfungen

Bevor der Kompensator eingebaut wird, ist die Konsistenz und Beschaffenheit des Gummibalges zu prüfen, ob z. B. eine starke Versprödung, bedingt durch zu hohe Temperatur bei der Lagerung, eingetreten ist.

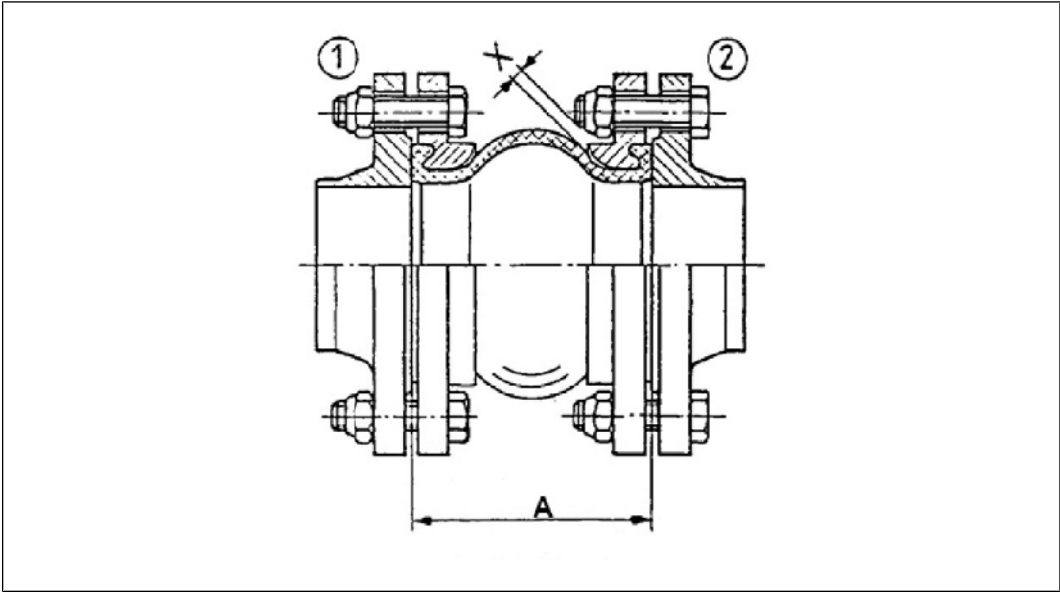
Je höher die Betriebstemperatur im Kompensator ist, desto schneller wird das Elastomer altern und verspröden, d. h. aushärten und der Gummikörper neigt zur Rissbildung. Ist eine starke Rissbildung von außen am Kompensator eingetreten, sollte dieser aus Sicherheitsgründen ausgetauscht werden.

### 16.3.5 Montage

Dies ist eine allgemeine Beschreibung. Es sind die Montagehinweise des Kompensatorherstellers und die Planungshinweise zu beachten!

#### Generell

- Vor dem Anschweißen der Gegenflansche bereits montierte Kompensatoren demonstrieren.
- Das Einwirken von äußerer Strahlungshitze ist zu beachten!
- Der Balg muss bei der Montage und auch danach sauber bleiben!
- Den Balg nie mit Farbanstrich versehen!
- Während der Montage und im eingebauten Zustand soll der Kompensator vorzugsweise auf Zusammendrückung beansprucht werden.
- Unter Beachtung der maximal zulässigen Bewegungsaufnahmen (die auch im Betriebszustand nicht überschritten werden dürfen) den Kompensator **torsionsfrei** (ohne Verdrehung) in der Einbaulücke montieren.
- Die Bohrungen der Anschlussflansche müssen fluchten und die Dichtflächen parallel zueinander stehen.
- Als Gegenflansche nur DIN-Vorschweißflansche oder VG-Bördelflansche verwenden.
- Keine zusätzliche Dichtung einsetzen, da der Gummiwulst des Kompensators dichtet.
- Für die Verschraubung von Kompensator und Anschlussflansch normale Sechskantschrauben und selbstsichernden Sechskantmutter nach DIN 985 verwenden.
- Um Beschädigungen des Balges durch Werkzeuge zu vermeiden, nur auf der Gegenflanschseite den Schraubenschlüssel drehen und auf der Balgseite den Schraubenschlüssel mit Abstand zum Balg gegenhalten. Den Balg nicht quetschen!
- Bei der Verschraubung ist Montageart 1 zu wählen. Ist dies nicht möglich, so ist ausnahmsweise Montageart 2 mit Schrauben zulässig, bei denen der Sicherheitsabstand X von 15 mm nicht unterschritten wird.



3726813067: Montagearten

- 1     Muttern außen am Gegenflansch, Schraubenköpfe innen am Kompensatorflansch
- 2     Schraubenköpfe außen am Gegenflansch, Muttern innen am Kompensatorflansch
- X     Sicherheitsabstand zwischen Schraubenende und Balg
- A     Baulänge. Die Einbaulänge (BL) ist abhängig von der geplanten bzw. zulässigen Bewegungsmöglichkeit des Kompensators

Anziehvorschrift Flansche

Damit die Gummidichtleiste nicht durch zu starkes Anziehen der Flansche zerstört wird, sind u.a. die Anzugsmomenten entsprechend der folgenden Tabelle zu beachten.

Anziehvorschrift	
Nenndurchmesser DN 40	90 Nm
Nenndurchmesser DN 50	90 Nm
Nenndurchmesser DN 65	90 Nm
Nenndurchmesser DN 80	90 Nm
Nenndurchmesser DN 100	90 Nm
Nenndurchmesser DN 125	90 Nm
Nenndurchmesser DN 150	145 Nm

Tab. 49: Anziehvorschriften für Gummikompensatoren

Customer Level (CL) / 18014401340850699 - DE / 2025-12



Die aufgeführten Anzugsmomente beziehen sich auf Neukompensatoren. Die Werte können bei Bedarf um 30 % überschritten werden.

### **Aggregat**

Vor der Montage muss das Aggregat entsprechend den Vorgaben auf dem Fundament ausgerichtet sein.

Das Anschließen der anlagenseitigen Rohrleitungen erfolgt ohne Befüllung mit Wasser und Schmieröl. Nach der Befüllung mit Schmieröl und Wasser federt das Aggregat auf der Motorseite lediglich um zusätzliche 1 mm bis 2 mm ein. Bei Bedarf kann eine Nachjustierung der höhenverstellbaren elastischen Lagerelemente durchgeführt werden.

- Weitere Informationen: [Elastische Lagerung](#) ► 115]

### **Vorgehensweise**

- Rohrhalterungen (ohne Kompensator) an der Einbaustelle so anbringen, dass die Vorgaben für die Einbaulücke eingehalten sind (Los- bzw. Festpunkte, Flucht und Parallelität der Flansche, Ausgleichsbewegungen). Bei Festpunkten den Abstand von max.  $3 \times DN$  einhalten
- Einbaulücke entsprechend der bei der Planung ermittelten Vorgaben vermessen, ggf. Rohrhalterungen korrigieren. Die erforderliche Bewegung des Kompensators bei Erwärmung im Betrieb und Abkühlung nach dem Ausschalten des Aggregats muss gewährleistet sein!
- Kompensator durch Zusammendrücken mit der richtigen Einbaulänge torsionsfrei einsetzen und Befestigungsschrauben einsetzen (Schraubenkopf auf der Seite des Balgs). Muttern am Gegenflansch lose montieren
- Rohrhalterungen so schließen, dass beim Festpunkt das Rohr fixiert ist und beim Lospunkt das Rohr gleiten kann
- Muttern mehrmals gleichmäßig über Kreuz mit geringem Kraftaufwand so anziehen, bis die Kompensatorflansche an den Anschlussflanschen anliegen. Anschließend entsprechend dem vorgeschriebenen Anziehmoment anziehen. Zu strammes Anziehen kann den Gummiwulst zerquetschen!
- Wegen dem Setzen der Verbindung bei der ersten Inbetriebnahme bzw. nach 24 Stunden Betriebsdauer die Verbindungsstelle prüfen, Anzugsmoment der Schraubverbindung prüfen und ggf. nachziehen

### **Schutzmaßnahmen nach der Montage**

Nach der Montage sind die Kompensatoren zum Schutz gegen Schweißhitze (z. B. Schweißspritzer, Schweißperlen) und Außenbeschädigungen abzudecken.

### 16.4 Abgaskompensatoren

#### 16.4.1 Funktion

Axial-Kompensatoren und Axial-Doppel-Kompensatoren dienen zur elastischen Abkoppelung von abgasführenden Anschlussrohren der Anlage vom elastisch gelagerten Aggregat. Sie verringern den Körperschall, der sonst durch die angeschlossenen Rohrleitungen ungehindert in das Gebäude übertragen würde und gleichen Wärmeausdehnungen aus. Zusätzlich können in den Rohrleitungen der Anlage weitere Kompensatoren erforderlich sein.

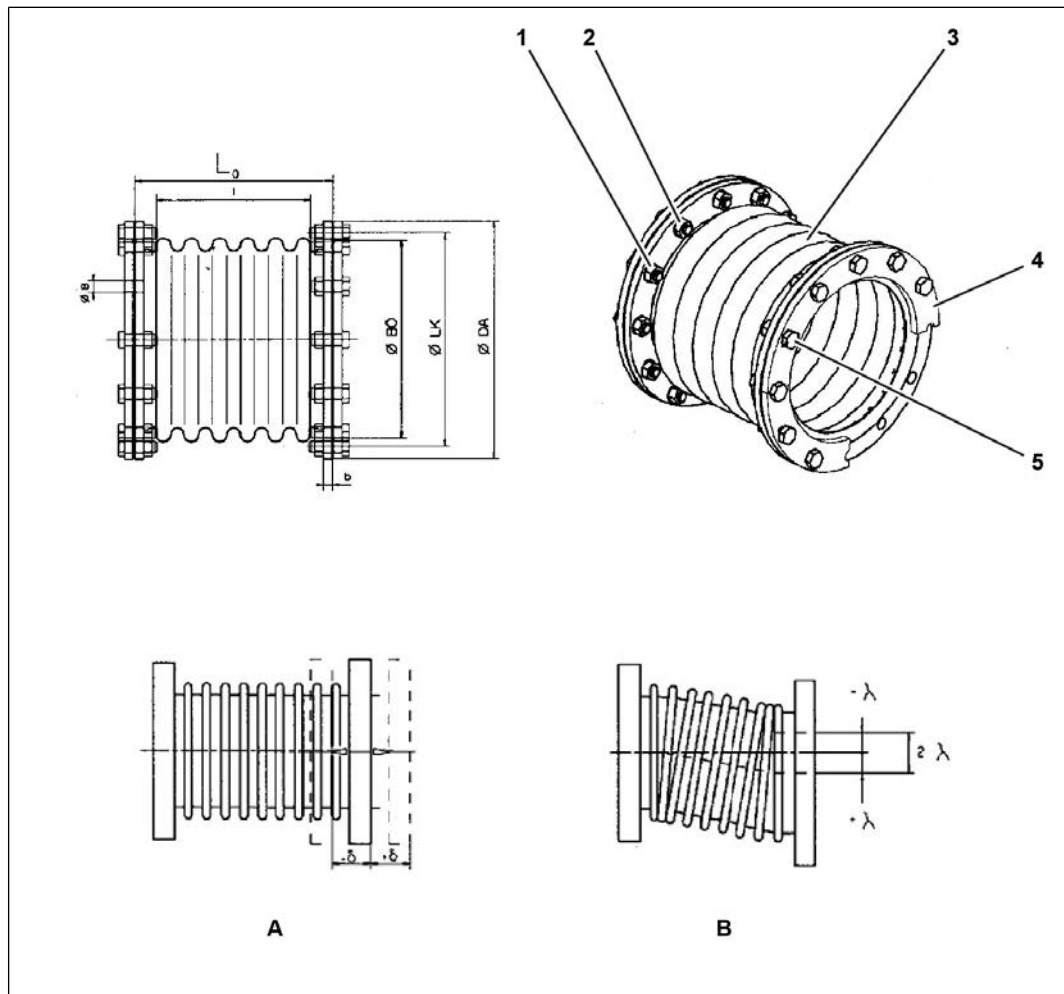
## 16.4.2 Hinweise für die Planung

### Einbaustelle

Die Einbaustelle ist so zu planen, dass diese auch nach der Montage zugänglich und eine Überwachung möglich ist.

### Kennwerte für Abgaskompensatoren

Abmessungen und Anschlussmaße können den beiden folgende Abbildung entnommen werden.



3726926987: Bewegung des Balges

A Axiale Bewegung des Balges

B Laterale Bewegung des Balges

1						2							*1)
3	4			5	6	7					8		9
	10	11	12			13	14	15	16	17	18	19	
DN	2dN mm	2lN mm	â mm	L0 mm	l mm	DA mm	LK mm	B mm	BÖ mm	b mm	N Stück	- M	G kg
100	50	6	1,0	118	60	210	170	18	147	14	4	M16	5,4
100	80	12	2,5	184	2x47								5,9
125	50	7,7	0,2	140	75	240	200	18	178	10	8	M16	5
125	200	114	2,0	340	272								6
150	50	6,9	0,2	145	78								6
150	200	101,1	2,0	350	286	265	225	18	202	10	8	M16	7
200	50	5,1	0,2	150	73	320	280	18	258	16	8	M16	11
200	200	81,2	2,0	370	291								14
250	50	3,6	0,1	150	65	375	335	18	312	16	12	M16	14
250	200	64,5	1,9	370	286								17
300	50	3,3	0,1	150	69	440	395	22	365	16	12	M20x 2	18
300	200	54,4	1,6	365	285								21
350	50	3,3	0,1	155	74	490	445	22	415	16	12	M20x 2	24
350	200	48,1	1,4	355	272								28
400	60	4,4	0,1	180	84	540	495	22	465	16	16	M20x 2	29
400	180	39,2	1,2	365	279								35
450	60	4,1	0,1	185	98	595	550	22	520	16	16	M20x 2	33
450	180	34,1	1,0	355	272								40
500	60	3,8	0,1	190	100	645	600	22	570	16	20	M20x 2	36
500	180	30,4	0,9	360	270								44
600	60	2,8	0,1	190	89	755	705	26	670	20	20	M24x 2	53
600	180	25,2	0,8	370	267								63
700	60	2,6	0,1	200	95	860	810	26	775	20	24	M24x 2	63
700	180	21,3	0,6	365	262								74
800	60	1,9	0,1	185	79	975	920	30	880	20	24	M27x 2	77
800	180	18,3	0,5	365	257								90

3726929675: Kompensator, Abmessung und Auslegung

- |    |                                   |    |  |
|----|-----------------------------------|----|--|
| 1  | Technische Daten Axialkompensator | 2  | Flansche DIN EN 1092 PN 6                      |
| 3  | Nennweite                         | 4  | Bewegungsaufnahme nominal bei 1000 Lastspielen |
| 5  | Baulänge, ungespannt [L0]         | 6  | Gewellte Länge [l]                             |
| 7  | Durchmesser                       | 8  | Schrauben                                      |
| 9  | Gewicht                           | 10 | Axial [2dN]                                    |
| 11 | Lateral [2lN]                     | 12 | Axial/Radial [â]                               |
| 13 | Außendurchmesser [DA]             | 14 | Lochkreis [LK]                                 |
| 15 | Bohrung [B]                       | 16 | Bördel [BÖ]                                    |
| 17 | Blattdicke [b]                    | 18 | Anzahl [N]                                     |
| 19 | Gewinde                           |    |  |

Die angegebenen Werte gelten für Raumtemperatur; im Betriebszustand sind kleinere Werte zu erwarten. Bei Temperaturen bis 300 °C sind Abweichungen praktisch zu vernachlässigen.

Korrekturwerte  $K_{\Delta\vartheta}$  für höhere Temperaturen siehe folgende Tabelle „Temperatureinfluss auf die Bewegungsgröße von Abgaskompensatoren“.

Die Summe aller relativen Beanspruchungen darf 100 % des Temperaturfaktors KDJ nicht überschreiten.

Bei Überlagerung von Wärmedehnung und Schwingung den Weg-Anteil und Amplituden-Anteil jeweils getrennt berücksichtigen. Gemäß folgender Formel:

$$\left( \frac{2 \times \delta_{\text{axial,Design}}}{2 \times \delta_{\text{axial,Nominal}}} \right) + \left( \frac{2 \times \lambda_{\text{lateral,Design}}}{2 \times \lambda_{\text{lateral,Nominal}}} \right) + \left( \frac{\hat{a}_{\text{Design}}}{\hat{a}_{\text{Nominal}}} \right) \leq K_{\Delta\vartheta} \times 100 \%$$

3726932363: Formel Weg-Anteil und Amplituden-Anteil

$2 \times \delta_{\text{axial,Design}}$	axiale Bewegung, Auslegung
$2 \times \delta_{\text{axial,Nominal}}$	axiale Bewegung, Nennwert
$2 \times \lambda_{\text{lateral,Design}}$	laterale Bewegung, Auslegung
$2 \times \lambda_{\text{lateral,Nominal}}$	laterale Bewegung, Nennwert
$\hat{a}_{\text{Design}}$	allseitige Bewegung, Auslegung
$\hat{a}_{\text{Nominal}}$	allseitige Bewegung, Nennwert
$K_{\Delta\vartheta}$	Korrekturwert

Nenn: Nennwert (nominal) aus Tabelle in obiger Abbildung „Kompensator, Abmessung und Auslegung“

Auslegung: Max. Bewegungsaufnahme im Betrieb.

Der Kompensator bestehend aus dem mehrwandigen Balg 1.4541 (X6 CrNiTi 18 9) und Bördelflansch RST 37-2 ist bis zur Betriebstemperatur von 550 °C einsetzbar.

Der Kompensator nimmt nur eine der angegebenen Bewegungen voll auf. Der Betriebsdruck ist zulässig bis 1 bar (PN1).

Die Einbaulänge (Baulänge + Vorspannung) ist von der anlagenseitigen Gesamtdehnung abhängig. Die Baulänge  $L_0$  bezeichnet die Neutralstellung.

Temperatureinfluss auf die Bewegungsgröße*			
	Werkstoff	KDJ	$\vartheta$
	1.4541	1	100 °C
		0,9	200 °C

Temperatureinfluss auf die Bewegungsgröße*			
		0,85	300 °C
		0,8	400 °C
		0,75	500 °C
		0,7	600 °C
* Fa. Witzenmann, „Kompensatoren“ Seite 99, Ausgabe 1990			

Tab. 50: Temperatureinfluss auf die Bewegungsgröße von Abgaskompensatoren

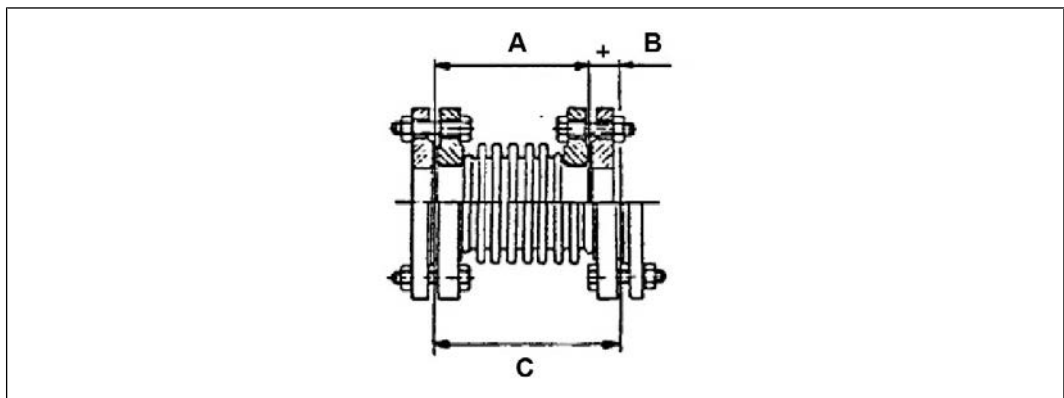
### Einbaulücke an der Einbaustelle

Für die Montage ist die Einbaulücke für den Kompensator so festzulegen, dass die richtige Einbaulänge gewährleistet ist. Genau fluchtende Anschlussrohre sind Voraussetzung.

Unter Beachtung der maximal zulässigen Bewegungsaufnahmen (die auch im Betriebszustand nicht überschritten werden dürfen) muss der Kompensator so montiert werden, dass dieser während des Einbaus oder auch bei Betrieb durch ungünstige Rohrspannungen nicht auf Torsion beansprucht wird.

Bei den Längen-Angaben der Kompensatoren sind unterschiedliche Bezeichnungen zu beachten.

Die Baulänge ist die Länge, in welcher der Kompensator in der Regel vom Hersteller geliefert wird (Lieferlänge). Die Baulänge ist auf dem Typenschild des Kompensators angegeben. Die Einbaulänge setzt sich zusammen aus der Baulänge und der Vorspannung (Streckung „+“ oder Zusammendrückung „-“) entsprechend den folgenden beiden Abbildungen.

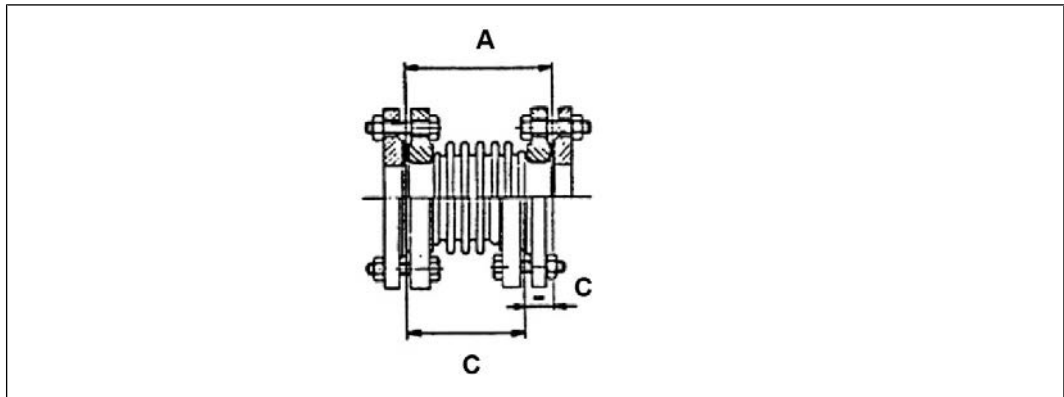


3726895371: Kompensator, Einbaulänge &gt; Baulänge

A Baulänge

B Streckung

C Einbaulänge



3726898059: Kompensator, Einbaulänge < Baulänge

- |   |                  |   |           |
|---|------------------|---|-----------|
| A | Baulänge         | B | Streckung |
| D | Zusammendrückung |   |           |

In kaltem Zustand soll der Kompensator jeweils zur Hälfte vorgespannt (gestreckt „+“ oder zusammengedrückt „-“) montiert werden, je nachdem, wie der Kompensator eingesetzt wird. Dies ist auch dann zu empfehlen, wenn die Axial-Bewegung des Kompensators nicht voll genutzt wird.

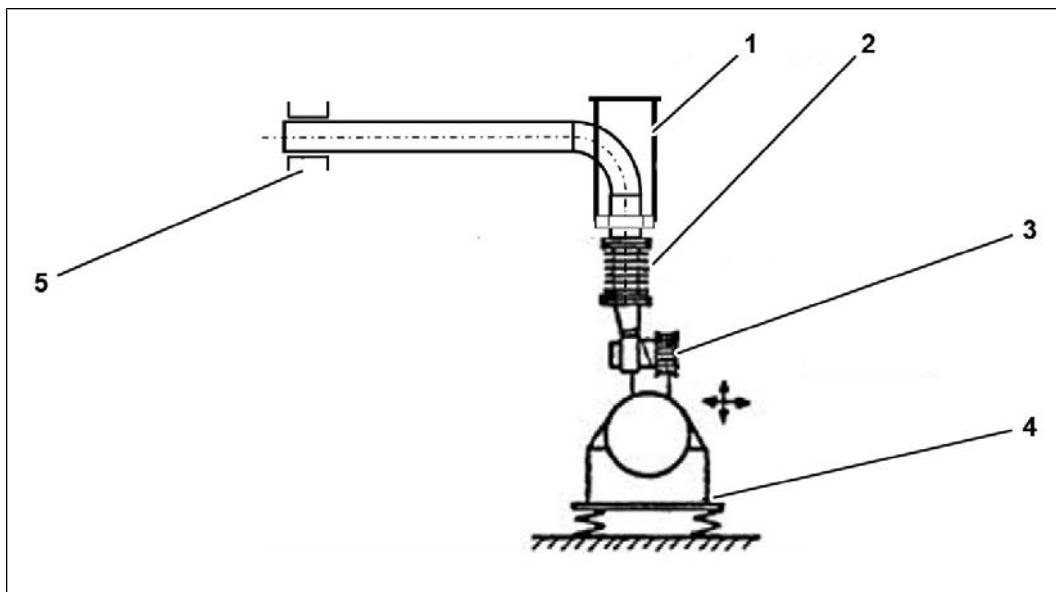
Eine Abgasrohrleitung erfordert z. B. während des Betriebes den Einsatz eines Kompensators mit einer Dehnungsaufnahme von 30 mm. Der im Beispiel eingesetzte Kompensator lässt eine max. Dehnung von 66 mm zu. Hinsichtlich der Lebensdauer des Kompensators ist es besser, den Kompensator mit  $\pm 15$  mm Dehnung bzw. Zusammendrückung zu beanspruchen als nur mit 30 mm Dehnung.

#### Einbausituation am Gasmotor (Turbolader)

Beim Anschluss der anlagenseitigen Abgasrohre an den motorseitigen Abgaskompensator nach Abgasturbine muss eine Ausrichtung erfolgen. Eine schlechte Ausrichtung des motorseitigen Abgaskompensators führt zu unzulässigen Krafteinwirkungen auf das Ge-

häuse der Abgasturbolader. Zu jeder Auftragsdokumentation wird unter dem Kapitel Montagehinweis eine Montageanleitung für die betreffenden Abgaskompensatoren mitgeliefert.

Kompensatoren sind möglichst ohne Lateralversatz einzubauen. Torsion des Kompensators muss auf Fälle vermieden werden. Der erste Lagerungspunkt der Abgasleitung nach dem Kompensator am Motor muss als Festpunkt ausgeführt werden und sollte möglichst nahe am Abgaskompensator liegen (siehe folgende Abbildung).



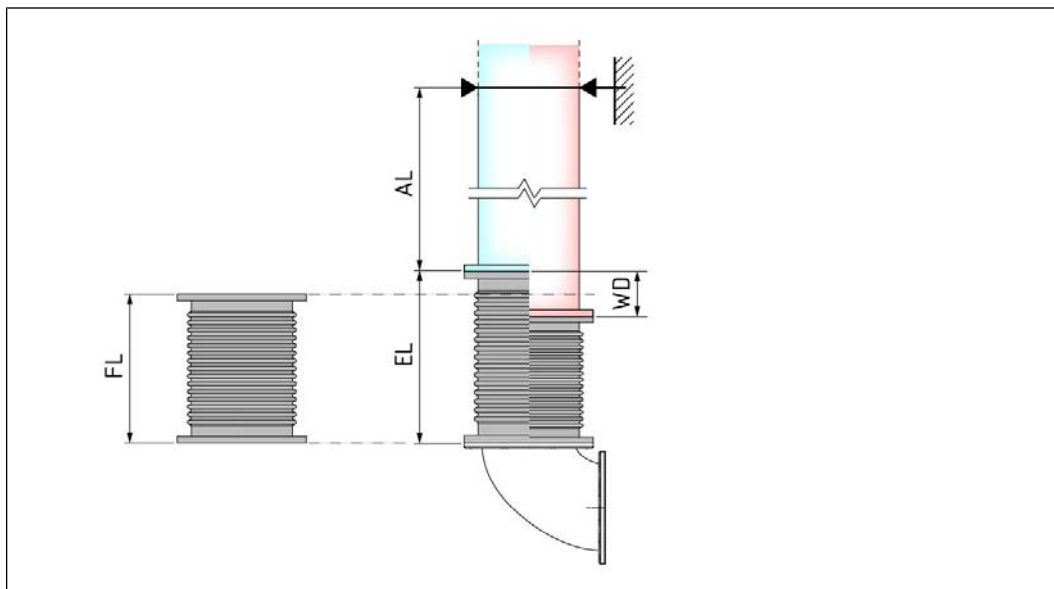
3726900747: Anordnung des Festpunkts nach Motor in der Abgasleitung

- |   |                        |   |                             |
|---|------------------------|---|-----------------------------|
| 1 | Festpunkt              | 2 | Axialkompensator            |
| 3 | Turbolader             | 4 | Aggregat elastisch gelagert |
| 5 | Lospunkt (Rohrführung) |   |                             |

Es ist nicht immer möglich, den Festpunkt in der Abgasleitung wie in obiger Abbildung unmittelbar nach dem Kompensator auszuführen. In den Montagehinweisen werden für das jeweilige Aggregat maximal mögliche Abstände vom Kompensator bis zum Festpunkt angegeben. Beim Betrieb des Aggregates dehnt sich das Abgasrohr auf Grund der hohen Abgastemperatur aus. Die für den Kompensator am Motor maßgebliche Wärmedehnung ist abhängig vom Abstand des Kompensators bis zum Festpunkt. Weitere Parameter für



die Wärmedehnung sind die jeweilige Abgastemperatur und der Werkstoff des Abgasrohres. In diesen Fällen muss der Kompensator mit Vorspannung eingebaut werden (siehe folgende Abbildung).



3726916235: Längenänderung der Abgasleitung (Prinzipdarstellung)

Für die Einbaulänge des Kompensators gilt folgende Beziehung:

$$EL = FL + \frac{WD}{2}$$

3726918923: Formel: Einbaulänge des Kompensators

AL	Länge der Abgasleitung vom Kompensator bis Festpunkt [mm]	EL	Einbaulänge des Kompensators [mm]
FL	Freie Länge des Kompensators im unbelasteten Zustand [mm]	WD	Wärmedehnung des Abgasrohres [mm]

Beim Betrieb des Aggregates ist der Kompensator leicht zusammengedrückt. Bei Einhaltung dieser Vorgaben ist gewährleistet, dass die Beanspruchung des Turbinengehäuses des Turboladers durch die Rückstellkräfte des Kompensators gering gehalten wird. Das gilt für den kalten Zustand beim Stillstand als auch für den warmen Zustand beim Betrieb des Aggregates.

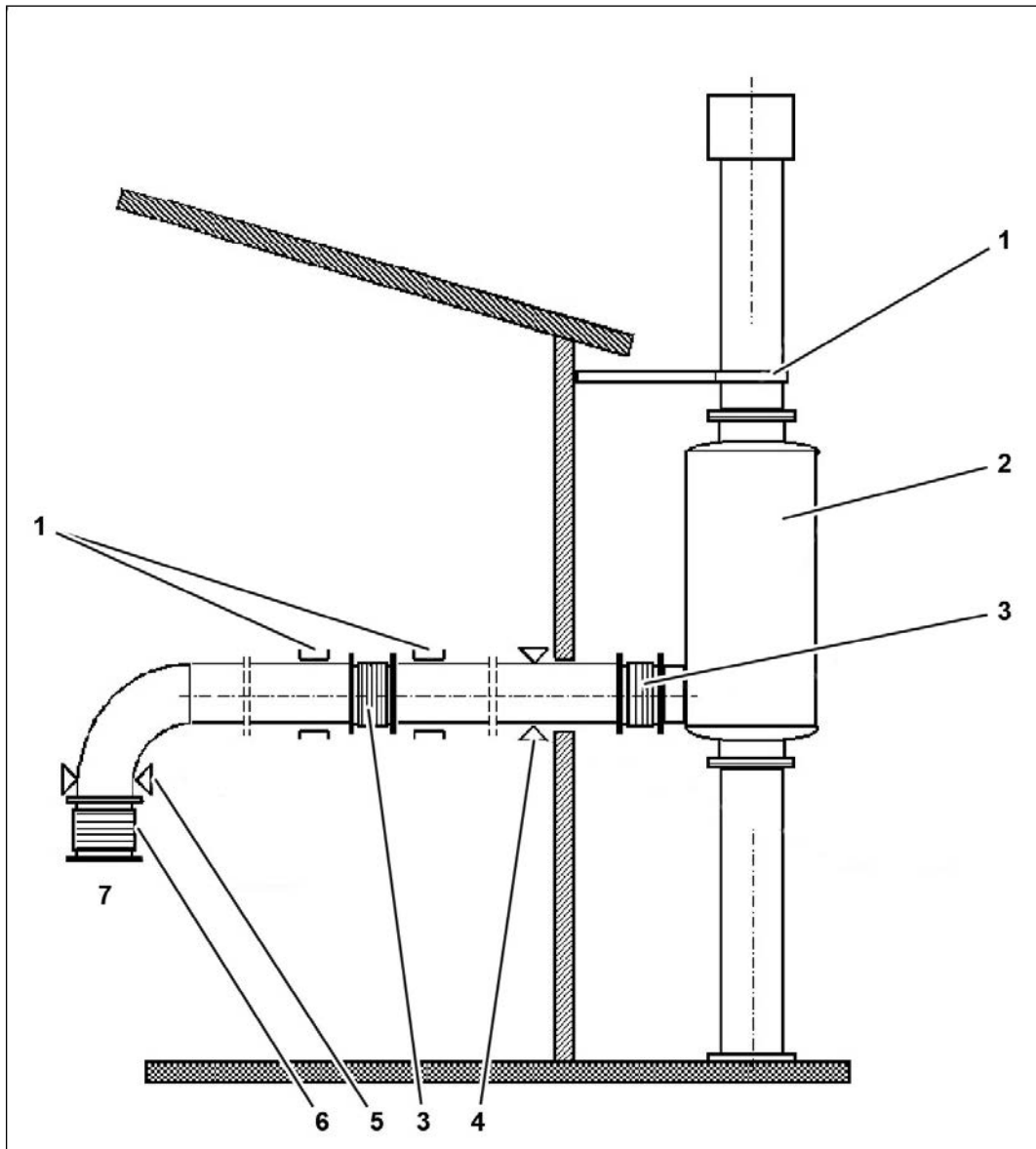
#### Einbausituation in der Rohrleitungsstrecke des Abgassystems

Für die Ermittlung der Wärmedehnung in einer Rohrleitung gilt die Faustregel:

- Für Normalstahl ca. 1 mm Wärmedehnung je Meter Rohr und je 100 °C.
- Für Edelstahl ca. 2 mm Wärmedehnung je Meter Rohr und je 100 °C.

Das bedeutet z. B. bei 1 Meter Rohr und 500 °C, dass die Wärmedehnung dieses Rohrstücks bei Normalstahl ca. 5 mm und bei Edelstahl ca. 10 mm beträgt.

Normalerweise werden in eine Abgasrohrleitungs-Strecke zur Aufnahme der Wärmedehnung Axialkompensatoren eingebaut. Die Anordnung der Kompensatoren ist im Aufstellungsplan für den jeweiligen Auftrag dargestellt, wobei die Einbaurichtlinien des Herstellers beachtet werden. Im Normalfall wird man bei der Weiterführung der Abgasleitung mit der Anordnung entsprechend der folgenden Abbildung auskommen.



3726921611: Festlager, Loslager und Kompensatoren in einer Abgasleitung

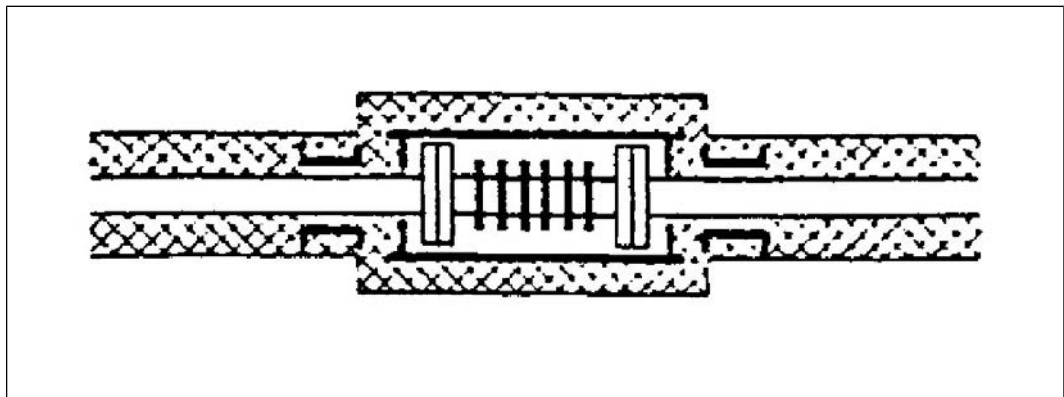
- |   |                           |   |                        |
|---|---------------------------|---|------------------------|
| 1 | Lospunkt bzw. Rohrführung | 2 | Schalldämpfer          |
| 3 | Kompensator               | 4 | Festpunkt              |
| 5 | Festpunkt nach Motor      | 6 | Kompensator nach Motor |
| 7 | Motor                     |   |                        |

### Rohrhalterungen

Bei der Anordnung von Kompensatoren sind immer vor und hinter dem Kompensator Rohrhalterungen vorzusehen, da sonst die Leitung seitlich ausbiegen kann. Diese Rohrhalterungen können je nach Einbausituation als Festpunkte und bzw. oder Lospunkte ausgeführt sein. Der Abstand vom Festpunkt zum Kompensator soll nicht größer  $3 \times DN$  der Rohrleitung gewählt werden. Lospunkte sorgen für die sichere Lagerung des Rohrsystems, ermöglichen eine flexible, aber gesteuerte Längenausdehnung der Rohrleitung bei Temperaturänderung und verhindern dadurch Verklemmungen oder ungewünschte Kräfteverlagerungen. Festpunkte halten das gesamte System stabil, indem die auftretenden Kräfte und Ereignisse in den Baukörper eingeleitet werden. Ein Verschieben, Verdrehen oder Abknicken der Rohrleitung kann bei richtiger Installation von Fest- und Lospunkten nicht auftreten. Zusätzliche Rohrhalterungen sind je nach Gewicht und Größe der Leitung vorzusehen.

### Isolierung

Wegen der großen Wärmeabstrahlung ist es unter Umständen zweckmäßig, den Kompensator, vor allem innerhalb des Maschinenhauses, zu isolieren. Hierbei sollte um den Kompensator mit etwas Abstand eine gleitfähige Rohr- oder Blechhülse gelegt werden, damit das Isoliermaterial nicht direkt auf dem Kompensator aufliegt (siehe folgende Abbildung). Es besteht sonst die Gefahr, dass sich das Isoliermaterial zwischen den Flanken der Balgwellen festsetzt. Für die Isolierung sind empfehlenswert asbestfreie Isolierzöpfe oder Isoliermatten; jedoch keine Glaswolle oder Kieselgur, weil Glaswolle und Kieselgur zur Staubbildung neigen.



3726935051: Isolierung, Kompensator

#### 16.4.3 Lagerung

Axial-Kompensatoren sauber und trocken lagern, vor allen Beschädigungen schützen, nicht auf den Balgwellen rollen. Kompensatoren beim Transport immer anheben.

#### 16.4.4 Montage

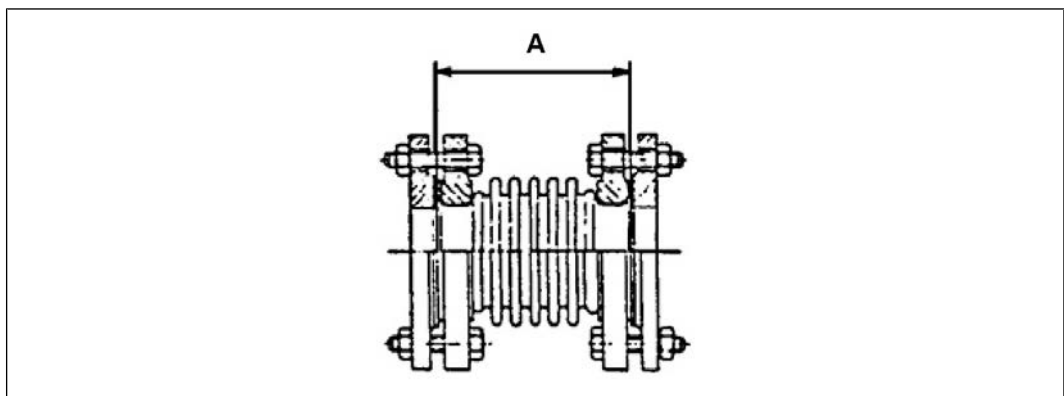
Dies ist eine allgemeine Beschreibung. Es sind die Montagehinweise des Kompensatorherstellers und die Planungshinweise zu beachten!

##### Generell

- Vor dem Anschweißen der Gegenflansche bereits montierte Kompensatoren demonstrieren
- Der Balg muss bei der Montage und auch danach sauber bleiben!
- Den Balg nie mit Farbanstrich versehen!
- Unter Beachtung der maximal zulässigen Bewegungsaufnahmen (die auch im Betriebszustand nicht überschritten werden dürfen) den Kompensator **torsionsfrei** (ohne Verdrehung) in der Einbaulücke montieren.
- Die Bohrungen der Anschlussflansche müssen fluchten und die Dichtflächen parallel zueinander stehen.
- Vor der Montage innen und nach der Montage außen kontrollieren, dass die Balgwellen frei von Fremdkörpern (Schmutz, Zement, Isoliermaterial) sind
- Für die Verschraubung von Kompensator und Anschlussflansch normale Sechskantschrauben und selbstsichernden Sechskantmutter nach DIN 985 verwenden.
- Um Beschädigungen des Balges durch Werkzeuge zu vermeiden, nur auf der Gegenflanschseite den Schraubenschlüssel drehen und auf der Balgseite den Schraubenschlüssel mit Abstand zum Balg gehalten. Den Balg nicht quetschen!

##### Einbau- und Anziehvorschrift Flansche

Die Kompensatoren werden mit normalen Sechskantschrauben und Muttern montiert. Als Gegenflansche werden glatte Flansche bzw. Bördelflansche verwendet. Hierbei sind die Muttern auf Seite der Gegenflansche vorzusehen (siehe folgende Abbildung).



3726924299: Kompensatoren, Baulänge

A     Baulänge

### Aggregat

Vor der Montage muss das Aggregat entsprechend den Vorgaben auf dem Fundament ausgerichtet sein.

Das Anschließen der anlagenseitigen Rohrleitungen erfolgt ohne Befüllung mit Wasser und Schmieröl. Nach der Befüllung mit Schmieröl und Wasser federt das Aggregat auf der Motorseite lediglich um zusätzliche 1 mm bis 2 mm ein. Bei Bedarf kann eine Nachjustierung der höhenverstellbaren elastischen Lagerelemente durchgeführt werden.

- Weitere Informationen: [Elastische Lagerung](#) ► 115]

### Vorgehensweise

- Rohrhalterungen (ohne Kompensator) an der Einbaustelle so anbringen, dass die Vorgaben für die Einbaulücke eingehalten sind (Los- bzw. Festpunkte, Flucht und Parallelität der Flansche, Ausgleichsbewegungen). Bei Festpunkten den Abstand von max.  $3 \times DN$  einhalten
- Einbaulücke entsprechend der bei der Planung ermittelten Vorgaben vermessen, ggf. Rohrhalterungen korrigieren. Die erforderliche Bewegung des Kompensators bei Erwärmung im Betrieb und Abkühlung nach dem Ausschalten des Aggregats muss gewährleistet sein!
- Kompensator mit der bei der Planung ermittelten Einbaulänge torsionsfrei einsetzen und Befestigungsschrauben einsetzen (Schraubenkopf auf der Seite des Balgs). Muttern am Gegenflansch lose montieren
- Rohrhalterungen so schließen, dass beim Festpunkt das Rohr fixiert ist und beim Lospunkt das Rohr gleiten kann
- Muttern mehrmals gleichmäßig über Kreuz entsprechend den Herstellerangaben anziehen
- Wegen dem Setzen der Verbindung bei der ersten Inbetriebnahme bzw. nach 24 Stunden Betriebsdauer die Verbindungsstelle prüfen, Anzugsmoment der Schraubverbindung prüfen und ggf. nachziehen

### Schutzmaßnahmen nach der Montage

Nach der Montage sind die Kompensatoren zum Schutz gegen Schweißhitze (z. B. Schweißspritzer, Schweißperlen) und Außenbeschädigungen abzudecken.

## 16.5 Schlauchleitungen

### 16.5.1 Funktion

Gummi-Schlauchleitungen ermöglichen den flexiblen Anschluss von flüssigkeitsführenden Leitungen bzw. Armaturen an das Aggregat.

## 16.5.2 Hinweise für die Planung

### Einbaustelle

Die Einbaustelle ist so zu planen, dass diese auch nach der Montage zugänglich und eine Überwachung möglich ist.

### Materialien und Anforderungen

Schlauchleitungen müssen flammenbeständig (flammpfest) sein und die Forderungen aller Klassifikationsgesellschaften erfüllen (Zulassungsprüfung). Die folgenden Angaben gelten für Gummi-Schlauchleitungen DN 8 bis DN 40.

### Biegeradius

Die in der folgenden Abbildung angegebenen kleinsten Biegeradien beziehen sich auf eine starre Verlegung der Schlauchleitung.

Falls sich die Bewegung der Schlauchleitung (bei einem kleinen Biegeradius) sehr oft wiederholt (Dauerbetrieb) empfiehlt es sich einen möglichst großen Biegeradius anzustreben (u. U. unter Verwendung von Drehgelenken). Hierdurch wird ein Einknicken des Schlauchs verhindert und man erreicht eine längere Lebensdauer des Schlauchs.

1	DN [mm]	L [mm]	r <sub>min.</sub> *1 [mm]	L2 [mm]	2 ØD [mm]	t [mm]	3 [bar]		4 [bar]	5 [°C]	6
							7	8		9	
10	8	300	75	12,5	10x1,0	5	25	10	38	70	GCNA 2277
	10	300	80	16,5	14x1,5	6	25	10	38		
11	20	500	130	21,5	25x1,5	8	25	10	50	80 (14)	OLNWW 2298
	32	700	180	21,5	35x2,0	8	25	10	50	90 (15)	
										125 (16)	
12	32	700	240	23,5	40x2,0	10	22	10	45	80	OLNWW 2298
	20	500	130	21,5	25x1,5	8	25	10	50		
	32	700	180	21,5	35x2,0	8	25	10	50		
13	8	300	115	12,5	10x1,0	5	215	170	510	90 (14)	1STT 2432
	10	300	130	16,5	14x2,0	6	180	150	435	100 (17)	
	20	500	240	21,5	25x2,0	8	105	80	255	100/125 (16)	
	32	700	350	21,5	35x2,0	8	63	60	150		
	40	700	450	23,5	45x2,5	10	50	40	120		

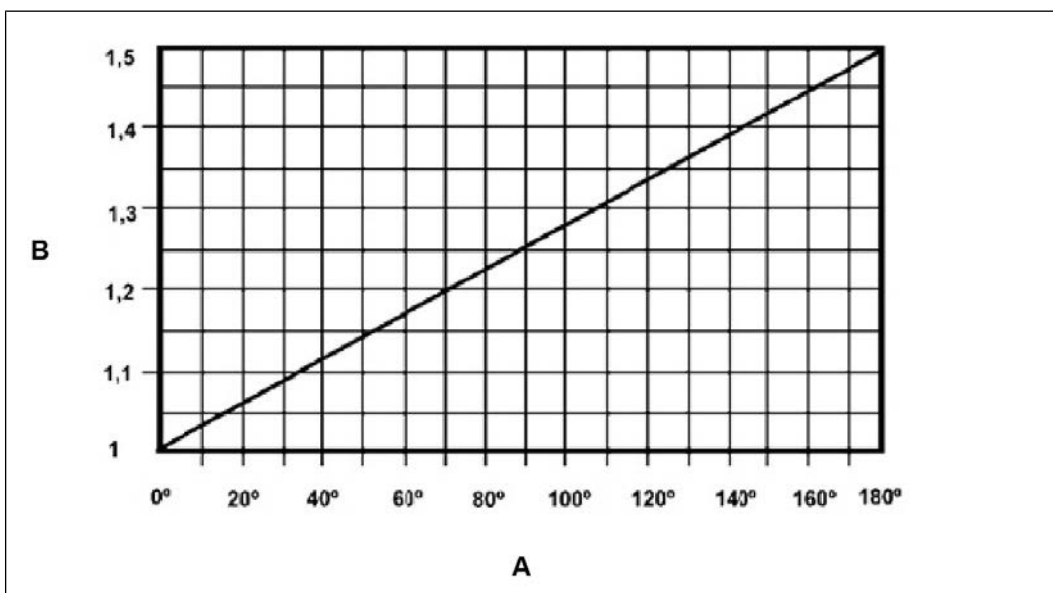
3726869387: Übersicht Schlauchleitung

- |   |                 |   |                     |
|---|-----------------|---|---------------------|
| 1 | Betriebsstoff   | 2 | Rohrdurchmesser     |
| 3 | Nennndruck      | 4 | Prüfdruck           |
| 5 | Temperatur max. | 6 | Schlauchbezeichnung |

7	Normal	8	Bei Abnahme
9	Kurzzeitig	10	Dieseldieselkraftstoff
11	Dieseldieselkraftstoff, Wasser und Schmieröl	12	Seewasser
13	Schmieröl, Druckluft und Wasser	14	Diesel
15	Wasser	16	Schmieröl
17	Druckluft		

\*1 Kleinster Biegeradius

Das Diagramm in der folgenden Abbildung zeigt in Abhängigkeit vom Biegewinkel der Schlauchleitung den Biegefaktor, mit dem der Mindestbiegeradius multipliziert werden muss, um den zulässigen Biegeradius für Dauerbetrieb zu bestimmen.



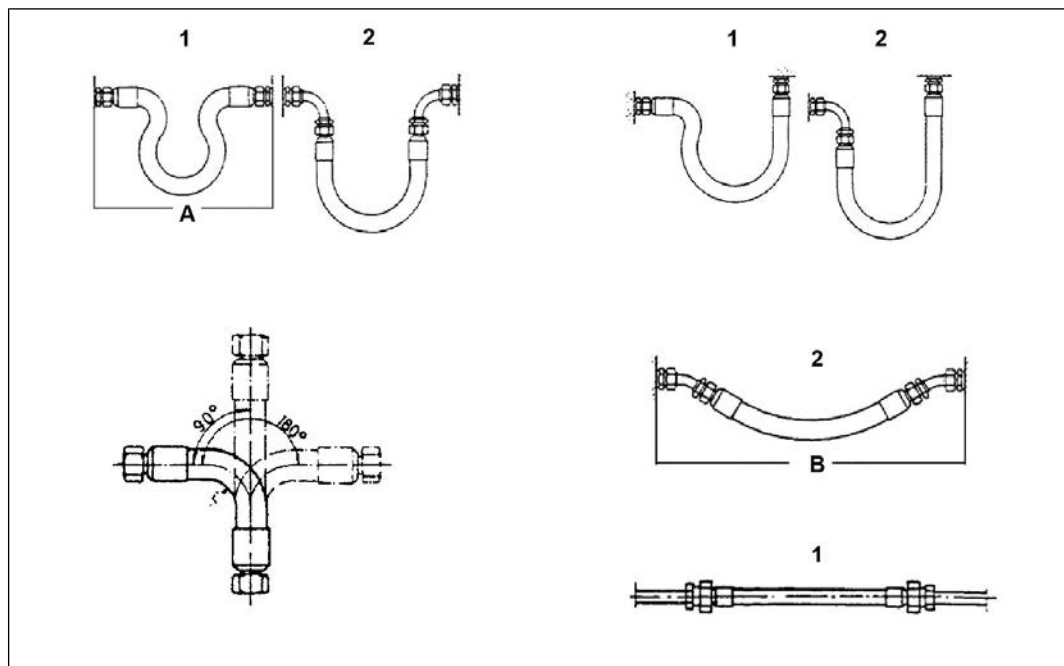
3726874763: Biegefaktor

A Biegewinkel

B Biegefaktor

### Einbausituation

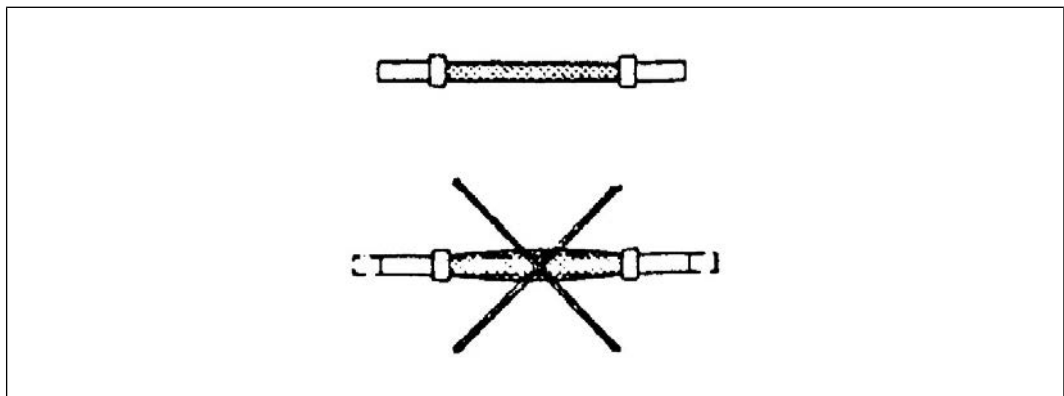
Schlauchleitungen sollen während des Betriebs nicht in Berührung miteinander oder mit anderen Gegenständen kommen. Der zulässige Biegeradius darf nicht unterschritten werden. Ein Überbiegen oder Strecken des Schlauchbogens ist nicht zulässig.



3726822923: Anordnung und Einbau

- |   |                     |   |                           |
|---|---------------------|---|---------------------------|
| 1 | Falsch              | 2 | Richtig                   |
| A | Einbaulänge zu kurz | B | Einbaulänge genügend groß |

Schlauch spannungsfrei einbauen. Axiale Stauchung ist nicht zulässig. Das Geflecht hebt sich hierdurch vom Schlauch ab und eine Druckbeständigkeit ist nicht mehr gewährleistet.

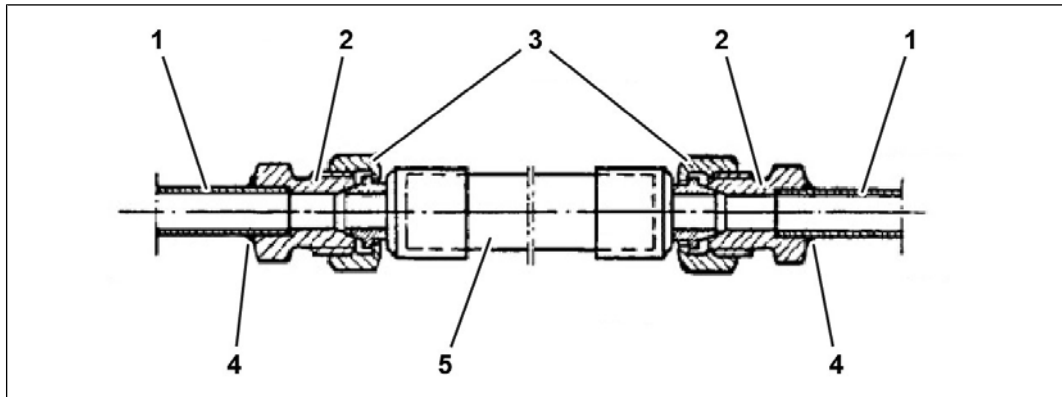


3726864011: Axiale Stauchung

Schlauchleitungen dürfen nicht stark abgewinkelt oder gekrümmt werden, d. h. der Schlauch darf nicht einknicken. Unmittelbar an den Anschlüssen (Verschraubungen) dürfen keine Bewegungsbeanspruchungen oder Biegebeanspruchungen entstehen. Der so genannte neutrale Teil der Schlauchenden muss ausreichend bemessen sein.

Falls erforderlich sind daher an den Anschlussenden handelsübliche Winkelstücke, Krümmen oder Ring-Verschraubungen vorzusehen. Bei der Auswahl der Anschlussteile ist die Beanspruchung durch Druck, Temperatur und Art des Betriebsstoffs zu beachten. Bei Bewegungen ist die Schlauchleitung so zu montieren, dass Schlauchachse und Bewegungsrichtung in einer Ebene liegen, sodass keine Torsion entstehen kann.





3726866699: Lötstutzen

- |   |                 |   |               |
|---|-----------------|---|---------------|
| 1 | Anschlussrohr   | 2 | Lötstutzen    |
| 3 | Überwurfmutter  | 4 | Hartlötstelle |
| 5 | Schlauchleitung |   |               |

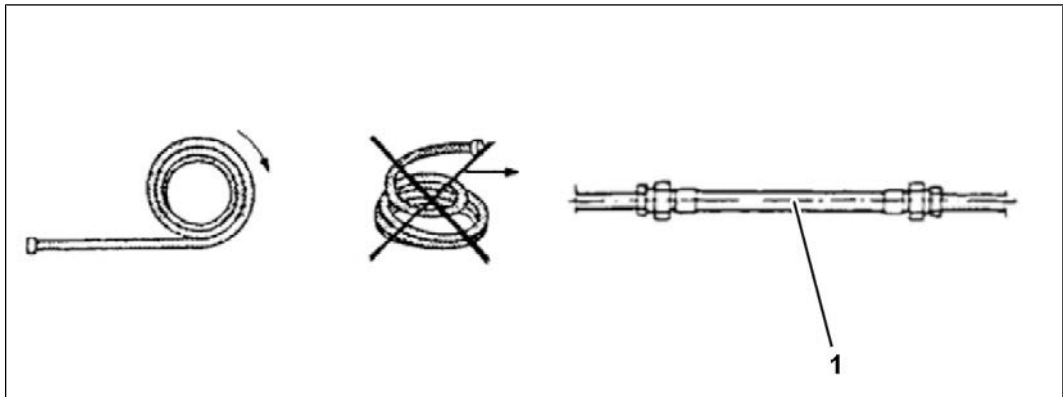
Die an den Verschraubungen der Schlauchleitung befindlichen Lötstutzen aus So Ms 59 F 50Z (Sondermessing) können von den Verschraubungen abgenommen und mittels Hartlöten mit dem jeweiligen Rohrende verbunden werden. Nach Festlegung der Einbaulücke zwischen den zu verbindenden Rohren zunächst den Lötstutzen auf der einen Seite und nach Prüfung des möglichen Biegeradius für die Schlauchleitung den Lötstutzen auf der anderen Seite einlöten. Die Rohrenden der Anschlussrohre müssen genau rechtwinklig zur Rohrachse abgeschnitten sein. Die zulässigen Biegeradien sind zu beachten.

### Rohrhalterungen

Bei der Anordnung von Schlauchleitungen sind immer Festpunkte vor und hinter der Schlauchleitung vorzusehen. Der Abstand vom Festpunkt zur Schlauchleitung soll nicht größer als  $3 \times DN$  gewählt werden.

#### 16.5.3 Lagerung

Schlauchleitungen sauber und trocken lagern und vor allen äußeren Beschädigungen schützen. Schlauchleitungen nicht auf dem Boden oder über scharfe Kanten ziehen. Schlauch durch Abrollen des Schlauchrings geradelegen. Durch Ziehen an einem Ende des Schlauchrings wird der zulässige Mindestbiegeradius des Schlauchs unterschritten und unzulässig auf Torsion beansprucht.



3726820235: Lagerung von Schlauchleitungen

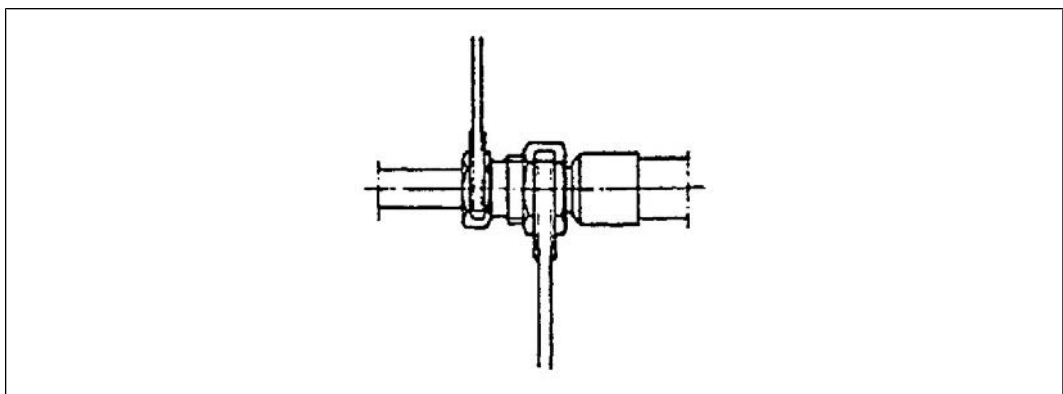
1 Beste Lagerung = gerade

#### 16.5.4 Montage

Dies ist eine allgemeine Beschreibung. Es sind die Montagehinweise des Schlauchleitungslieferanten und die Planungshinweise zu beachten!

##### Generell

- Die Schlauchleitung muss bei der Montage und auch danach sauber bleiben!
- Die Schlauchleitung nicht mit Farbanstrich versehen!
- Bei Montage die Schlauchleitung nur an einer Seite festziehen. An der anderen Seite die Verbindung zunächst nur lose zu befestigen.
- Den Schlauch in der gewünschten Bewegungsrichtung 2 Mal bis 3 Mal leer bewegen, damit sich dieser verwindungsfrei ausrichten kann und dann auch auf dieser Seite festziehen.
- Unter Beachtung der erforderlichen Bewegungsfreiheit (die auch im Betriebszustand eingehalten werden muss) die Schlauchleitung **torsionsfrei** (ohne Verdrehung), **ohne Zugspannung und ohne axiale Stauchung** montieren.
- Bei Schlauchleitungen mit Verschraubungen zum Gegenhalten unbedingt einen zweiten Schraubenschlüssel verwenden (siehe folgende Abbildung).



3726890251: Verschraubungen

### Vorgehensweise

- Die Schlauchleitung spannungsfrei anschließen
  - Bei drehbaren Gewindeanschlüssen zweiten Schlüssel zum Gegenhalten verwenden
  - Zulässige Biegeradien einhalten

### Schutzmaßnahme nach der Montage

Nach der Montage sind die Schlauchleitungen zum Schutz gegen Schweißhitze (z. B. Hartlotspritzer, Hartlotperlen) und Außenbeschädigungen abzudecken.

## 16.6 Gaskompensatoren und Gasschläuche

Die Anforderungen zum Einbau von Gaskompensatoren und flexiblen Gasschläuchen am Gasmischer des Aggregats sind zu beachten.

- Erforderliche Informationen: Abschnitt „Hinweise Einbau Gasregelstrecken“ in [Hinweise zur Montage von Gasregelstrecken](#) [► 179]

Darüber hinaus gelten für Gaskompensatoren und Gasmetallwellschläuche zuvor genannten allgemeinen Hinweise zu Kompensatoren.

- Erforderliche Informationen: [Gummikompensatoren](#) [► 318] bzw. [Abgaskompensatoren](#) [► 330]

## 16.7 Rohrleitungen

### 16.7.1 Allgemeine Montagehinweise

- Rohrleitungen müssen gemäß national gültigem Regelwerk gefertigt werden.
- Nach Fertigung der Rohrleitungen und spätestens vor der Montage der Anlage alle Rohrleitungen (innen) von Schmutz, Zunder und Spänen gründlich reinigen. Keine Fremdkörper dürfen in die Pumpen, Ventile, Wärmetauscher, Sensorik und den Verbrennungsmotor etc. gelangen.
- Rohrleitungen je nach Lagerdauer konservieren.
- Rohrleitungen, deren Durchmesser mit den Anschlüssen an den Zubehöerteilen (Pumpen, Kompressoren, Kühler usw.) nicht übereinstimmen, durch Reduzierstücke oder Reduzierschraubungen anpassen. Lage und Größe der Anschlüsse an diesen Apparaten den einzelnen Zubehöerteil-Zeichnungen entnehmen.
- Bei Einbau von Messinstrumenten (z. B. Wärmemengenzähler, Gaszähler usw.) sind die vom Hersteller vorgegebenen Richtlinien zu beachten. Dies gilt besonders für Einbaulage und der Einlaufstrecke und Auslaufstrecke.

- Bei Systemen, die mit einer Flüssigkeit gefüllt sind, an den tiefsten Stellen Entleerungsanschlüsse und Befüllanschlüsse vorsehen. An den Tiefpunkten Entleerungshähne und Befüllhähne mit Endkappe und Schlauchanschlussmöglichkeit einbauen. An allen Hochpunkten müssen Entlüftungsmöglichkeiten vorhanden sein. An den Hochpunkten Entlüftungshähne oder automatische Entlüfter anbringen.
- Bei Rohrleitungen mit gasförmigen Medien an den tiefsten Stellen Kondensatsammler mit Entwässerungshähnen vorsehen. Rohrleitungen zu den Kondensatsammlern hin mit Gefälle verlegen.
- Für Frischöl-Befüllungsleitungen ist Kupferrohr zulässig. Rohrverbindungen mit Silberlot verlöten. Alternativ für die Leitungen blankgezogene „ERMETO“-Stahlleitungen verwenden. Rohrverbindungen generell mit Spezialverschraubungen zusammensetzen, nicht schweißen! Nach dem Verlegen die Frischölleitungen gründlich mit Neuöl spülen.
- Frischölleitungen aus Kupfer oder Stahl mit ölbeständigen Fittings verpressen. Handelsübliche Fittings für den Sanitärbereich sind nicht zulässig, da der Dichtungswerkstoff nicht ölbeständig ist.
- Edelstahlleitungen nach der Fertigung beizen und passivieren. Anlauffarben sind zu entfernen. Chromatausbrand ist mittels Formierung zu unterbinden.

### 16.7.2 Werkstoffe für Rohrleitungen

Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht der Werkstoffe für die Rohrleitungen für die unterschiedlichen Medien:

Betriebsstoff	Unterteilung	Rohrleitungswerkstoff
Erdgas, Grubengas (bei Gasqualität High gemäß TR 3017)		Stahl, verzinkter Stahl, zwischen Gasregelstrecke und Motor. Stahlleitungen oder Edelstahlleitungen, diese Leitungen müssen absolut „sauber“ sein.
Biogas, Klärgas, Deponiegas, Erdölbegleitgas		Generell Edelstahl
Wasser	Motorkreis, Gemischkühlkreis, Ladeluftkreis, Heizkreis, Notkühlkreis, Rohwasserkreis	Generell Stahl, je nach Wasserqualität müssen eventuell höherwertige Werkstoffe eingesetzt werden, z. B. Seewasser im Notkühlkreis oder Rohwasserkreis.

Betriebsstoff	Unterteilung	Rohrleitungswerkstoff
Schmieröl. Heiße Motoröl-Umlaufleitungen		Edelstahl
Frischöl-Befüllleitungen und Altölleitungen		Stahl, Kupfer, Edelstahl
Druckluft	Anlassleitungen	Edelstahl
	Befüllleitungen	Stahl
	Steuerluftleitungen (Niederdruck)	Stahl, Kupfer
Abgas	Betrieb unter Erdgas, Grubengas	Vor AWT und Innenaufstellung: warmfester Stahl (z. B. 15 Mo 3) Nach AWT und Außenaufstellung: Edelstahl
	Betrieb unter Biogas, Klärgas, Deponiegas, Erdölbelegitgas	Edelstahl (z. B. 1.4571)
	Vor Katalysator	Immer Edelstahl (z. B. 1.4571)
Kondensat	Bei Gehalt von Säurebestandteilen	Edelstahl
	Rest	Stahl, Kupfer, verzinkter Stahl

Tab. 51: Übersicht Rohrleitungswerkstoffe und Betriebsstoffe

Bei Verwendung von anderen als in der Tabelle angegebenen Werkstoffen ist Rücksprache mit Caterpillar Energy Solutions GmbH (CES) erforderlich.

### 16.7.3 Hinweise zum Schweißen von Rohrleitungen

Im Betrieb gewährleisten geschweißte Verbindungen absolute Dichtheit. Geschweißte Verbindungen sind homogene Bestandteile der Rohrleitungen. Eine geschweißte Rohrverbindung ist das wirtschaftlichste Verbindungsverfahren und findet daher bevorzugt Ver-

wendung. Die Voraussetzung für die Güte einer Schweißverbindung ist das Zusammenpassen, die einwandfreie Zentrierung der Rohrenden gegeneinander, die Schweißkanten-vorbereitung und das gewählte Schweißverfahren.



### Zerstörungsgefahr von Bauteilen

Zerstörungsgefahr von Bauteilen

Durch Hitze, Funkenflug etc. sowie beim Elektroschweißen durch den Schweißstrom können Bauteile beschädigt werden

- Bei Schweißarbeiten im Rohrleitungssystem jegliche elektrisch leitenden Verbindungen zum Aggregat trennen.
- Am Aggregat bei Schweißarbeiten die Stahlkompensatoren ausbauen.
- Bei E-Schweißungen die Elektroden-Masse nahe an der Schweißstelle anbringen. Eine gute Masse-Kontaktverbindung gewährleisten.
- Bei Schweißarbeiten beschädigen Schweißfunken die Gummikompensatoren und Stahlkompensatoren. Gummikompensatoren und Stahlkompensatoren abdecken (siehe Kapitel [Schutz des Aggregat](#) ► 115)).

### Schweißen von Stahlrohren

Hier sind folgende Punkte zu beachten:

- Rauigkeit der Trennschnitte gemäß angewandter WPQR / WPS
- Zugelassene Schweißverfahren E-Hand, MIG oder WIG nach DIN EN ISO 15607 bis 15614
- Schweißnahtvorbereitung nach DIN EN ISO 9692-1
- Richtlinie für die Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten DIN EN ISO 5817, Bewertungsgruppe C
- Schweißspritzer sind restlos zu entfernen
- Schweißzusatzwerkstoffe gemäß angewandter WPQR / WPS

## 16.7.4 Lösbare Rohrleitungsverbindungen

### Flanschverbindungen

Flanschverbindungen zeichnen sich durch leichte Montierbarkeit aus und dienen meist als Anschlussverbindung von Rohrleitungen an Motoren, Pumpen, Wärmetauschern, Tanks usw. Vorzugsweise werden Flansche nach DIN EN 1092, PN10 oder PN16 verwendet, für Medien mit höherem Druck (z. B. Druckluft) mit entsprechend höherem Nenndruck.

Bei der Wartung und Instandhaltung von Motoren oder Anlagenkomponenten müssen Rohrleitungen oft zur Herstellung besserer Zugänglichkeit demontiert werden. Hier empfiehlt es sich besonders, an geeigneten Stellen Flanschverbindungen einzusetzen.

Die Dichtungswerkstoffe zwischen den Flanschen sind gemäß der Beanspruchung durch den Betriebsstoff selbst sowie den Druck und die Temperatur des Betriebsstoffes zu wählen. Zur Vermeidung von Leckagen ist es notwendig, Flanschverbindungen zu überwachen. Deshalb sollten Flanschverbindungen nach Möglichkeit zum Austausch der Dichtung oder zum Nachziehen der Schrauben zugänglich sein. Die visuelle Kontrolle muss auf jeden Fall gewährleistet sein.

### **Schraubverbindungen mit Abdichtung im Gewinde**

Vorzugsweise nach DIN EN 10226 Whitworth-Rohrgewinde für Verbindungen an Gewinderohren verwenden. Gewinderohre mit zylindrischem Innengewinde an Armaturen, Fittings usw. und kegeligem Außengewinde verwenden. Vor dem Einschrauben zur Erhöhung der Dichtheit die Gewinde mit Dichtungsmittel umwickeln.

### **Rohrverschraubungen**

Bei der Rohrverschraubung die Dichtheit durch einen Progressivring herstellen. Die Rohrverschraubung ist eine formschlüssige und leckagesichere Rohrverbindung. Bei diesen Leitungen ausschließlich Präzisionsstahlrohre, vorzugsweise Rohre mit Außendurchmessern von 6 mm bis 38 mm verwenden. Je nach Rohrwanddicke und Außendurchmesser Verstärkungshülsen einsetzen. Das Aufziehen des Progressivrings mit Sorgfalt durchführen.

## **16.7.5 Montage, Isolierung und Oberflächenbehandlung von Rohrleitungen**

### **Halterung und Abstützung von Rohrleitungen**

Rohrleitungen mit Schellen, Rundstahlbügeln etc. auf Konsolen oder an Wänden befestigen. Bei waagrecht verlaufenden Rohrleitungen die Stützweite dem Leitungsdurchmesser entsprechend wählen. Bei Rohrleitungen, die sich wegen der hohen Temperatur des Betriebsstoffs ausdehnen, die Lager den Verhältnissen anpassen. Lager als Festlager und Loslager ausführen. Nötigenfalls auf Körperschallisolierung achten.

### **Isolierung von Rohrleitungen**

Je nach der Temperatur des durchfließenden Betriebsstoffs die Rohrleitungen mit einer Wärmeisolierung als Berührungsschutz versehen. Die Isolierdicken so wählen, dass die Oberflächentemperatur der Isolierung 60 °C nicht übersteigt. Alternativ Berührungsschutz durch andere Maßnahmen herstellen, z. B. durch im Abstand zum Objekt montierte perforierte Bleche oder Maschendraht.

### **Oberflächenbehandlung, Farbgebung**

Alle Rohrleitungen außer Edelstahlleitungen grundsätzlich mit einem Anstrich versehen. Rohre gründlich reinigen. Rohre mit einem Grundanstrich und Deckanstrich versehen, für die erforderliche Korrosionsschutzklasse und Schutzdauer.

Rohre die eine Wärmeisolierung erhalten nur mit einem Grundanstrich versehen.

Bei Stahlabgasrohren hochhitzebeständige Anstriche vorsehen.

Sofern keine besondere Vorgabe bezüglich der Farbgebung vorhanden ist, nach DIN 2403 die Farben auswählen. In dieser Norm sind Farben gemäß den Durchflussmedien in den Rohren festgelegt.

### **Dichtigkeit**

Im Rahmen der Befüllung und Inbetriebnahme Rohrleitungen auf Dichtigkeit prüfen.

## **16.8 Messeinrichtungen, Überwachungseinrichtungen und Begrenzungseinrichtungen**

### **16.8.1 Allgemeine Vorgaben**

#### **16.8.1.1 Grundsätzliches**

Die Messeinrichtungen, Überwachungseinrichtungen und Begrenzungseinrichtungen dienen zum Schutz und zur Regelung des BHKW-Moduls. Außerdem sind die sicherheitstechnischen Anforderungen von Wärmeerzeugern erfüllt.

Für die Messeinrichtungen, Überwachungseinrichtungen und Begrenzungseinrichtungen ist eine Konformitätserklärung und CE Kennzeichnung notwendig. Die Konformitätserklärung bestätigt die Erfüllung der Niederspannungs-Richtlinie 2014/35/EU bzw. der Richtlinie über elektromagnetische Verträglichkeit 2014/30/EU.

Beim Einbau der Messeinrichtungen, Überwachungseinrichtungen und Begrenzungseinrichtungen sind die Betriebsanleitung, Gebrauchsanleitung und die Wartungsanleitung zu berücksichtigen. Grundsätzlich ist beim Einbau Folgendes zu beachten:

- Zulässige Umgebungstemperatur
- Zulässige Betriebsstoffe
- Zulässige Betriebsstofftemperatur
- Zulässiger Betriebsdruck
- Zulässige Einbaulage
- Zulässige Strömungsgeschwindigkeit
- Erforderliche Mindesteintauchtiefe
- Auswahl der Kabel entsprechend Kapitel [Übersicht Verkabelung](#) ► 355]



### 16.8.1.2 Überwachung nach DIN EN 12828

Für die Begrenzung von Temperatur, Druck, Strömung und Wassermangel müssen die Geräte folgende Anforderungen erfüllen:

- Temperaturwächter und Begrenzer geprüft nach DIN EN 14597 (Begrenzer mit Wiedereinschaltsperrung)
- Druckbegrenzer bauteilgeprüft nach VdTÜV Merkblatt „Druck 100/1“ mit Wiedereinschaltsperrung
- Strömungsbegrenzer bauteilgeprüft nach VdTÜV Merkblatt „Strömung 100“
- Wasserstandsbegrenzer bauteilgeprüft nach VdTÜV Merkblatt „Wasserstand 100/2“

## 16.8.2 Komponenten und Bauteile

### 16.8.2.1 Temperaturmessung

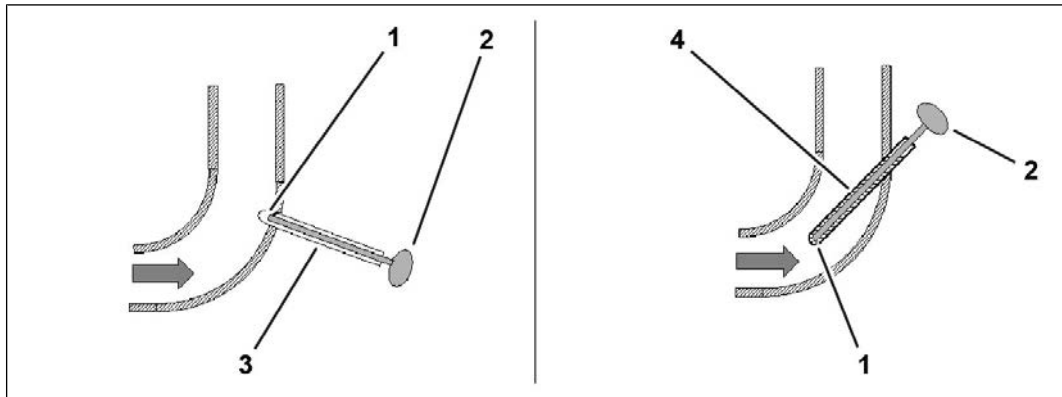
In den Wasserkreisläufen erfolgt die Temperaturerfassung mit Widerstandsthermometern und im Abgas mit Thermoelementen. Im Fühlerkopf ist die temperaturabhängige Widerstandsänderung bzw. Thermospannungsänderung mittels Transmitter in ein normiertes Einheitssignal 4 mA - 20 mA umgesetzt.

#### Einbauhinweise für Temperaturfühler

Zwingende Voraussetzung für eine gute Regelung ist die schnelle Erfassung von dynamischen Temperaturänderungen. Die Einbaulage hat erhebliche Auswirkungen auf die Ansprechzeiten und Messfehler.

Die folgende Abbildung zeigt gute und schlechte Beispiele für den Einbau in Rohrleitungen. Die Längen der Tauchhülsen sind so an die Rohrleitungen anzupassen, dass die Sensorspitze die Temperatur der Kernströmung erfasst. Der Sensor ist durch ein Wärmeübertragungs-Betriebsstoff an die Tauchhülse anzukoppeln. Hierzu sind temperaturbeständige Öle und Wärmeleitpasten geeignet. Isolierende Luftspalte zwischen Tauchhülse und Sensor sind unbedingt zu vermeiden.

Beispiel: schlecht (Sensor nicht in der Kernströmung)	Beispiel: gut (Sensor in der Kernströmung)
--	---



3694933771: Einbau des Temperaturfühlers

- |   |                          |   |  |
|---|--------------------------|---|--|
| 1 | PT 100 Sensor            | 2 | 4 mA bis 20 mA Transmitter                             |
| 3 | Tauchhülse mit Luftspalt | 4 | Spalt mit Wärmeübertragungs-Be-<br>triebsstoff gefüllt |

#### 16.8.2.2 Abgasgegendruck-Überwachung

Zur Abgasgegendruck-Überwachung wird ein Gasdruckwächter besonderer Bauart nach dem VdTÜV Merkblatt „Druck 100/1“ eingesetzt. Die Messleitung muss stetig steigend zum Sensor hin verlegt sein.

#### 16.8.2.3 Differenzdrucküberwachung

Zur Differenzdrucküberwachung werden Differenzdruckschalter eingesetzt.

## 16.9 Verkabelung

### 16.9.1 Übersicht Verkabelung

Die Verkabelung einer BHKW-Anlage besteht aus Leistungskabeln, Versorgungsleitungen für die Hilfsantriebe, Steuerkabeln und Signalleitungen.

Leistungskabel müssen von Steuerkabeln und Signalleitungen getrennt verlegt werden. Es sind flexible, ölbeständige und feindrahtige Steuerleitungen zu verwenden (z. B. H05VV5-F).

Analoge Signale müssen zusätzlich abgeschirmt sein (Schirm aus verzinnem Kupfergeflecht mit mindestens 85 % Bedeckung wie z. B. H05VVC4V5-K, keine Aluminiumfolie).

Für die Versorgungsleitungen der Hilfsantriebe sind flexible, ölbeständige und feindrahtige Motoranschlussleitungen zu verlegen (z. B. H05VV5-F).

Kabel, die ins Freie verlegt werden, müssen für die Verlegung im Freien geeignet sein (witterungsbeständig, UV- beständig, z. B. ÖLFLEX classic).

Die Versorgungsleitungen für frequenzgeregelter Antriebe müssen zusätzlich abgeschirmt sein (z. B. TOPFLEX EMV-UV-2YSLCYK-J). Bei frequenzgeregelter Antrieben darf die Leitungslänge in der Summe 100 m nicht überschreiten.

Für den Anschluss von Starterbatterien an den Elektrostartern sind flexible Einzeladerleitungen aus Kupfer mit Gummiummantelung zu verwenden, z. B. NSGAFÖU.

Für die Generatorleistungskabel sind flexible mehrdrahtige (ab 25 mm<sup>2</sup>) Starkstromkabel aus Kupfer zu verwenden, (z. B. NSGAFÖU für Niederspannung und NTMCWOEU für Mittelspannung).

Zum Schutz vor Überlast und Kurzschluss sind für Leitungen Leitungsschutzschalter nach DIN VDE 0641 bzw. DIN EN 60898 und für Motoren Leistungsschalter nach DIN EN 60947-2 (IEC 60947-2) vorzusehen. Als Basis für die Kabelauslegung ist immer die gültige DIN VDE 0100 anzuwenden. Die Kabelführung muss in entsprechenden Installationskanälen bzw. Kabelträgersystemen erfolgen. Die Kabel müssen so verlegt werden, dass ein Verletzen des Kabelmantels ausgeschlossen ist. Darauf ist besonders zu achten, wenn Kabel auf ein Kabelträgersystem geführt werden. Das heißt, es muss ein ausreichender Kantenschutz vorgesehen werden. Kabel sind grundsätzlich so zu fixieren bzw. zu halten, dass eine Zugbeanspruchung der Klemmen ausgeschlossen ist (Zugentlastung).

Bei der Kabelverlegung sind die Maßnahmen zur Sicherstellung der elektromagnetischen Verträglichkeit zu beachten.

- Erforderliche Informationen: [Allgemein](#) [► 361]

Kabelverschraubungen mit integrierter Zugentlastung sind einzusetzen. Die Größenauswahl muss entsprechend den Kabelaußendurchmessern erfolgen.

Leistungskabel sind kurzschlussicher zu verlegen und nach Häufung, Verlegeart und Umwelteinflüssen auszuwählen.

Bei der Auswahl und dem Verlegen von Leitungen müssen folgende Punkte berücksichtigt werden:

- Vermeidung möglicher mechanischer oder elektrischer Beeinflussung zwischen benachbarten Stromkreisen.
- Wärmeabgabe von Leitungen oder die chemischen bzw. physikalischen Einflüsse der Leitungswerkstoffe auf angrenzende Werkstoffe wie z. B. auf Konstruktionsmaterialien und Dekorationsmaterialien, Isolierrohre, Befestigungsmittel.
- Beachtung des Einflusses der Stromwärme auf die Werkstoffe der Leiter, Verbindungen und Anschlüsse.

### 16.9.2 Sicherheitsanforderungen für Kabel und Leitungen

#### 16.9.2.1 Grenzbedingungen zur sicherheitsgerechten Verwendung von Kabeln und Leitungen

##### **Betriebsbedingungen**

Leitungen müssen so ausgewählt werden, dass sie für die Betriebsbedingungen und die jeweilige Geräteschutzklasse geeignet sind.

Zu den Betriebsbedingungen zählen u. a.:

- Spannung
- Strom
- Schutzvorkehrungen
- Häufung der Leitungen
- Art der Verlegung
- Zugänglichkeit

Leitungen müssen so ausgewählt werden, dass sie für alle äußeren Einflüsse geeignet sind, die auftreten können.

Zu den äußeren Einflüssen gehören u. a.:

- Umgebungstemperatur
- Regen
- Wasserdampf oder Ansammlung von Wasser
- Chemikalien bzw. Betriebsstoffe (z. B. Schmieröl)
- Mechanische Beanspruchungen (z. B. Schwingungen bzw. Vibrationen)

- Tierwelt (z. B. Nagetiere)
- Strahlung (z. B. Sonnenlicht)

### Spannung

Die Nennspannung einer Leitung ist die Spannung, für die die Leitung konstruiert ist und dient zur Definition der elektrischen Prüfungen. Die Nennspannung wird mit zwei Werten  $U_0$  /  $U$  in Volt angegeben:

- $U_0$  ist der Effektivwert der Spannung zwischen einem Außenleiter und Erde (metallene Umhüllung der Leitung oder umgebendes Medium).
- $U$  ist der Effektivwert der Spannung zwischen zwei Außenleitern einer mehradrigen Leitung oder eines Systems einadriger Leitungen.
- In einem Wechselspannungssystem muss die Nennspannung einer Leitung mindestens den Werten für  $U_0$  und  $U$  des Systems entsprechen.

### Strombelastbarkeit

Der Nennquerschnitt eines jeden Leiters muss so gewählt werden, dass seine Strombelastbarkeit nicht kleiner ist als der maximale Dauerstrom, der unter Normalbedingungen durch den Leiter fließt. Die Grenztemperaturen, auf die sich die Strombelastbarkeit bezieht, dürfen für Isolierhülle und Mantel der jeweiligen Leitungstypen nicht überschritten werden. Zu den definierten Bedingungen gehört auch die Verlegart der verwendeten Leitung. Hierauf sollte bei der Bestimmung der zulässigen Belastungsströme geachtet werden.

Zu berücksichtigende Bedingungen sind u. a.:

- Umgebungstemperatur
- Häufung der Leitungen
- Art des Überstromschutzes
- Wärmedämmende Isolierung
- Aufgerollte, aufgespulte Leitungen (sind zu vermeiden)
- Frequenz
- Auswirkungen von Oberwellen.

Der Leiterquerschnitt darf nicht nur nach der erforderlichen Strombelastbarkeit ausgewählt werden (DIN VDE 0298-4). Vielmehr sind auch die Anforderungen zum Schutz gegen gefährliche Körperströme, Überlastströme, Kurzschlussströme und Spannungsfall zu beachten. Werden Leitungen über längere Zeiten bei Temperaturen über den angegebe-

nen Werten betrieben, können sie schweren Schaden erleiden. Diese Schäden können zu frühzeitigem Ausfall, zu einer wesentlichen Verschlechterung der Eigenschaften und zu lebensbedrohlichen Situationen führen.

### **Thermische Einflüsse**

Leitungen müssen so gewählt, verlegt und installiert werden, dass die zu erwartende Stromwärmeabgabe nicht behindert wird und Brandrisiken für angrenzende Werkstoffe nicht entstehen. Die Grenztemperaturen der einzelnen Leitungsbauarten werden vom Hersteller angegeben. Die angegebenen Werte dürfen in keinem Fall durch das Zusammenwirken von innerer Stromwärme und Umgebungsbedingungen überschritten werden. Typischer Temperatur-Bereich von Standard-Kabel bei fester Verlegung ist von  $-40\text{ °C}$  bis  $+80\text{ °C}$ . Falls höhere Temperaturen auftreten, sind wärmebeständigere Kabel einzusetzen.

### **Mechanische Einflüsse**

Bei der Abschätzung der Risiken einer mechanischen Beschädigung von Leitungen müssen alle mechanischen Beanspruchungen die auftreten können, berücksichtigt werden.

### **Zugbeanspruchung**

Die für die Kabel vorgegebenen Werte für die Zugbeanspruchung dürfen nicht überschritten werden. Typische Werte dafür sind  $50\text{ N/mm}^2$  bei der Montage von Leitungen für feste Verlegung und  $15\text{ N/mm}^2$  bei flexiblen Leitungen. In Fällen, bei denen die oben ge-

nannten Werte überschritten werden, ist ein separates Zugentlastungselement oder dergleichen einzusetzen. Die Verbindung eines derartigen Zugentlastungselementes mit der Leitung soll so vorgenommen werden, dass die Leitung nicht beschädigt wird.

### **Biegebeanspruchung**

Der min. Biegeradius ist für die eingesetzten Leitungen bzw. Kabel jeweils zu prüfen und einzuhalten.

Die angegebenen Biegeradien gelten für Umgebungstemperaturen von 20 °C ( $\pm 10$  K). Für andere Umgebungstemperaturen sind die Vorgaben des Herstellers zu beachten. Biegungen in unmittelbarer Nähe von externen oder internen Befestigungspunkten sind zu vermeiden.

### **Druckbeanspruchung**

Leitungen dürfen nicht so stark auf Druck beansprucht werden, dass sie beschädigt werden. Z.B. dürfen Leitungen nicht überfahren werden oder andere Lasten aufnehmen.

### **Torsionsbeanspruchung**

Flexible Leitungen sind nicht für Torsionsbeanspruchung bestimmt. In den Fällen, in denen derartige Torsionsbeanspruchungen nicht zu vermeiden sind, muss dies mit dem Kabelhersteller im Einzelfall geklärt werden.

### **Anwendungsarten und Beanspruchung**

Die Einteilung der Leitungen erfolgt in folgende Anwendungsarten:

- Kabel für die Anwendung in Innenräumen z. B. BHKW-Raum
- Kabel für die Anwendung im Freien z. B. Zuleitung für Tischkühler

### 16.9.2.2 Sicherheitsanforderungen zur sicherheitsgerechten Verwendung von Kabeln und Leitungen

#### Grundsätzliche Anforderungen

Bei bestimmungsgemäßer Verwendung sind Kabel und Leitungen als sicher anzusehen. Kabel und Leitungen stellen kein unannehmbares Risiko für Leben und Sachwerte dar.

#### Allgemeine Anforderungen

Leitungen sind so auszuwählen, dass sie den auftretenden Spannungen und Strömen standhalten. Das gilt für alle Betriebszustände, die Leitungen in einem Betriebsstoff, in einer Anlage oder in Teilen einer Anlage ausgesetzt sind. Leitungen müssen so aufgebaut, installiert, geschützt, eingesetzt und in Stand gehalten werden, dass Gefahren so weit wie möglich vermieden werden.

Leistungskabel sind kurzschlussicher zu verlegen und nach Häufung, Verlege Art und Umwelteinflüssen auszuwählen.

#### Belastbarkeit im ungestörten Betrieb

Der Leiterquerschnitt ist so zu wählen, dass für die vorgegebene Belastung der Leiter an keiner Stelle und zu keinem Zeitpunkt über die zulässige Betriebstemperatur erwärmt wird. Die Erwärmung bzw. Belastbarkeit eines Kabels oder einer Leitung ist vom Aufbau, den Werkstoffeigenschaften und den Betriebsbedingungen abhängig.

Eine zusätzliche Erwärmung bei Häufung mit anderen Kabeln oder Leitungen durch Heizkanäle, durch Sonneneinstrahlung usw. ist zu berücksichtigen und zu verhindern. Werden Abdeckungen verwendet, ist auf eine ungestörte Luftzirkulation zu achten.

#### Betriebsart

Der Dauerbetrieb ist ein Betrieb mit konstantem Strom, dessen Dauer zumindest ausreicht, den thermischen Beharrungszustand des Betriebsmittels zu erreichen, sonst aber zeitlich nicht begrenzt ist. Den Größen für die Belastbarkeit der Kabel und Leitungen liegt Dauerbetrieb zu Grunde, wobei die zulässige Betriebstemperatur am Leiter erreicht wird.

#### Umgebungsbedingungen

Umgebungsbedingungen sind unter anderem durch Umgebungstemperatur, Verlustwärme und Wärmestrahlung gekennzeichnet. Die Umgebungstemperatur ist die Temperatur der umgebenen Luft, wenn das betrachtete Kabel oder die betrachtete Leitung nicht belastet ist. Bezug ist hierbei eine Temperatur von +30 °C. Die Betriebsbedingungen von Ka-



beln und Leitungen ändern sich gegebenenfalls sowohl bei Verlustwärme beispielsweise in geschlossenen Räumen, Kabelzwischenböden o.ä. als auch bei Wärmestrahlung z. B. durch Sonneneinwirkung.

### **Bedingungen und Anforderungen bei fester Verlegung**

Anforderungen an Leitungen für feste Verlegung sind u. a.:

- Leitungen dürfen nicht in Kontakt mit heißen Oberflächen oder in deren unmittelbarer Nähe verlegt werden, es sei denn, dass sie hierfür geeignet sind.
- Leitungen dürfen nicht direkt ins Erdreich verlegt werden.
- Leitungen müssen in geeigneter Weise befestigt werden. Bei der Wahl der Befestigungsabstände soll das Gewicht der Leitung beachtet werden.
- Die Leitung darf durch die jeweils verwendeten mechanischen Befestigungsmittel nicht beschädigt werden.
- Leitungen, die schon über längere Zeit betrieben worden sind, können bei Änderung der Verlegung beschädigt werden. Dies ist durch die natürliche Auswirkung der Alterung auf die physikalischen Eigenschaften der verwendeten Werkstoffe für Isolierhülle und Mantel bedingt. Dieser Vorgang wird durch höhere Temperaturen beschleunigt.

### **Anforderungen an flexible Leitungen**

- Die Länge der Anschlussleitung muss so gewählt werden, dass das Ansprechen der Kurzschluss-Schutzeinrichtungen sichergestellt ist.
- Die Leitungen sollen keinen überhöhten Beanspruchungen durch Zug, Druck, Abrieb, Verdrehen oder Knicken ausgesetzt werden.
- Zugentlastungen oder Anschlussmittel dürfen sie nicht beschädigen.
- Die Leitungen dürfen nicht unter Abdeckungen oder anderen Betriebsmitteln verlegt werden. Es besteht die Gefahr, dass sich die Kabel zu stark erwärmen und mechanisch beschädigt werden.
- Die Leitungen dürfen nicht in Kontakt mit heißen Oberflächen oder in unmittelbarer Nähe davon verlegt werden.
- Die zulässigen Biegeradien beachten.

## **16.9.3 Maßnahmen zur Sicherstellung der EMV**

### **16.9.3.1 Allgemein**

Die Leitungsführung trägt einen wesentlichen Teil zur EMV einer Anlage bei. Die Leitungen sind in vier Gruppen eingestuft:

Gruppe I	Sehr störempfindlich (analoge Signale, Messleitungen)
Gruppe II	Störempfindlich (digitale Signale, Sensorkabel, 24 V <sub>DC</sub> Schaltsignale)
Gruppe III	Störquelle (Steuerkabel für ind. Lasten, ungeschaltete Leistungskabel)
Gruppe IV	Starke Störquelle (Ausgangskabel von Frequenzumrichtern, geschaltete Leistungskabel)

Tab. 52: EMV und Leitungsführung

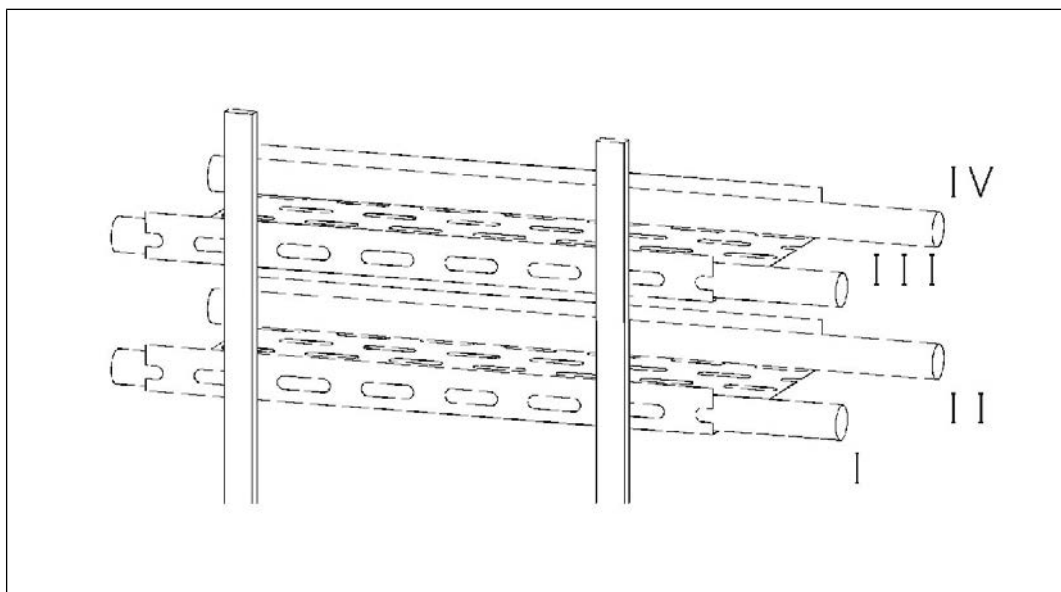
Bei der Kabelverlegung sind Kreuzungen nach Möglichkeit zu vermeiden. Bei nicht vermeidbaren Kreuzungen sind die Leitungen der verschiedenen Gruppen rechtwinklig zu kreuzen.

### 16.9.3.2 EMV-Anweisungen bei dem Einsatz von Frequenzumrichtern

Je nach EMV-Anforderung (Umweltklasse 1 oder Umweltklasse 2) und Typ des Frequenzumrichters sind EMV-Filter erforderlich. Die Verkabelungshinweise und EMV- Hinweise in der Betriebsanleitung sind auf jeden Fall zu beachten.

### 16.9.3.3 Kabelkanäle

- Metallische Kabelkanäle ins Erdungskonzept einbeziehen und durchgehend verbinden
- Verminderung des Magnetfelds durch Abstand der Kabelwannen (siehe folgende Abbildung)
- Kabel in verschiedenen Kabelkanälen verlegen
- Leistungskabel und Steuerkabel durch metallischen Trennsteg trennen



3698873867: Kabelwannen

Der empfohlene Mindestabstand zwischen den Kabelwannen ist 0,15 m. Die Wannen sollten elektrisch mit den vertikalen Trägern verbunden sein. Der Kabelkanal für die Signalübertragungsleitungen sollte abgedeckt werden. Generatorleistungskabel sind grundsätzlich separat zu verlegen. Bei den Leistungskabeln ist darauf zu achten, dass die Verlegeart einen großen Einfluss auf die Stromtragfähigkeit der Leitung hat. Hier sind die Korrekturfaktoren in den Normen zu beachten.

Hier sind die Korrekturfaktoren in den Normen zu beachten. Die Norm VDE 0298 schreibt bei der Verlegung von Kabeln auf Kabelleitern einen Abstand von 0,3 m zwischen den Kabelleitern und zur Decke vor.

#### 16.9.3.4 Kabelverschraubungen

Bei besonderen EMV-Anforderungen sind EMV-gerechte Kabelverschraubungen für abgeschirmte Kabel zu verwenden. Generell sollten verchromte Messingverschraubungen eingesetzt werden. Bei Verschraubungen für Generatorleistungskabel sind besondere Angaben zu beachten.

##### Erforderliche Informationen

- [Generatorleistungskabel](#) [▶ 363]

#### 16.9.4 Generatorleistungskabel

Bei der Auslegung und Verlegung von Generatorleistungskabeln sind immer die am Aufstellungsort gültigen Normen und Richtlinien einzuhalten. In den folgenden Abschnitten wird die Kabelauslegung anhand der deutschen Vorschriften beschrieben.

##### 16.9.4.1 Kabelauslegung

---

##### HINWEIS

Die Angaben beziehen sich auf die zum Zeitpunkt der Erstellung gültige Norm DIN VDE 0298-4: 2023-06 (IEC 60364-5-52:2009) und sind ggf. zu aktualisieren. Gelten vor Ort andere Regeln und Vorschriften, sind diese zu beachten.

---

Dieses Kapitel beschreibt in allgemeiner Form die Vorgehensweise für die Planung der erforderlichen Leistungskabel für den Generatoranschluss an das zu versorgende Netz.

Vorausgesetzt sind die typischen Energieverteilungsanlagen von Caterpillar Energy Solutions (CES). Die folgende Beschreibung basiert auf den Angaben in der Norm DIN VDE 0298-4. Da diese sehr umfangreich ist, konzentrieren sich die folgenden Angaben auf die relevanten Inhalte der Norm

Erforderliche Informationen

- Norm DIN VDE 0298-4: 2023-06 (IEC 60364-5-52:2009) Verwendung von Kabeln und isolierten Leitungen für Starkstromanlagen – Teil 4: Empfohlene Werte für die Strombelastbarkeit von Kabeln und Leitungen für feste Verlegung in und an Gebäuden und von flexiblen Leitungen

### Berechnungsverfahren

Das Berechnungsverfahren geht vom maximalen und dauerhaft zulässigen Betriebsstrom aus, der durch die an das Aggregat angeschlossenen Kabel bei bestimmungsgemäßer Verwendung fließt. Für diesen ist ein Kabeltyp und dessen Kabelgröße auszuwählen. Für diese Auswahl gibt der Kabelhersteller oder die für das Kabel geltende Norm eine allgemeine Stromtragfähigkeit unter Normbedingungen an, die auf die konkrete Situation vor Ort zu übertragen ist. Die Übertragung erfolgt durch Einordnung der örtlichen Situation (Temperatur, Verlegungsart) in diverse Klassen mit ihren spezifischen Korrekturfaktoren. Für die abschließende Kabelauslegung errechnet sich daraus die Anzahl der erforderlichen Kabel bei der gewählten Kabelgröße und geplanten Verlegungsart oder es erfolgt eine Optimierung mit einer anderen Kabelgröße bzw. Verlegungsart.

Schritt	Aufgabe	Bemerkung
1	Maximalen Betriebsstrom des Aggregats definieren	Siehe technische Daten zum Aggregat bzw. Festlegung bei der Projektierung
2	Kabeltyp auswählen und Kabelgröße auswählen	Siehe unten „Hinweise zur Kabelauswahl“
3	Theoretische Stromtragfähigkeit des Kabeltyps ermitteln	Siehe technische Daten des Kabelherstellers
4	Korrekturfaktor für die zu erwartende Umgebungstemperatur vor Ort ermitteln	Siehe o.g. Norm, Tabelle 17 <sup>1</sup>

Schritt	Aufgabe	Bemerkung
5	Korrekturfaktor für die allgemein geplante Verlegeart ermitteln	In Container-Kraftwerken von CES handelt es sich in der Regel um den Wert für gebündelt verlegte Kabel in der Luft (siehe o.g. Norm, Tabelle 14 <sup>2</sup> )
6	Korrekturfaktor für die konkrete Ausführung dieser Verlegeart ermitteln	In Container-Kraftwerken von CES handelt es sich in der Regel um den Wert für Kabelleitern in durchzug-belüfteten Räumen (siehe o.g. Norm, Tabelle 24 <sup>3</sup> )
7	Praktische Stromfähigkeit des Kabeltyps und erforderliche Anzahl der Kabel errechnen	Siehe Formel in der Norm bzw. <a href="#">Beispielrechnung</a> [► 372]
8	Abschließende Kabelauswahl oder Optimierung	

Tab. 53: Ablauf Berechnungsverfahren

<sup>1</sup> Tabelle 17 – Umrechnungsfaktoren für Umgebungstemperaturen abweichend von 30 °C für die Strombelastbarkeiten von Kabeln und Leitungen in Luft

<sup>2</sup> Tabelle 14 – Betriebsbedingungen für Leitungen mit Nennspannungen ab 0,6/1 kV in Spalte 4 für Häufung bei Drehstromkreisen

<sup>3</sup> Tabelle 24 – Umrechnungsfaktoren für Häufung von einadrigen Kabeln oder Leitungen auf

Kabelrinnen und Kabelleitern

### Hinweise zur Kabelauswahl

Caterpillar Energy Solutions (CES) empfiehlt folgende Kabel, die auch in den CES-Schaltanlagen verwendet werden:

- Niederspannungsanwendungen: Kabel NSGAFÖU
- Mittelspannungsanwendungen: Kabel NTMCWOEU

Es können auch andere Kabeltypen verwendet werden. Dabei ist darauf zu achten, dass es sich um flexible Kabel handelt, da im Generatoranschlusskasten nur begrenzte Platzverhältnisse zur Verfügung stehen. Des Weiteren ist zu prüfen, ob die Kabel am Aufstellungs-ort verwendet werden können (Bsp. USA und Kanada benötigen spezielle Kabel).

### **Hinweise zur Umgebungstemperatur**

Die Umgebungstemperatur hat einen großen Einfluss auf die Stromtragfähigkeit des Leistungskabels. Durch die Abwärme des Motors entsteht im Aggregaterraum eine relativ hohe Temperatur. Deshalb sollten die verwendeten Kabeltypen eine zulässige Betriebstemperatur am Leiter von mindestens 90 °C aufweisen.

### **Hinweise zur Verlegeart (Verlegebedingung und Kabelbündel)**

Die Belastbarkeit der Kabel hängt auch davon ab, ob es sich um Gleichstromkreise, Wechselstromkreise oder Drehstromkreise handelt. Für die Energieversorgungsanlagen von CES sind die Angaben in der Norm für Drehstromnetze relevant.

### ***Korrekturfaktor für die allgemeine Verlegeart***

Für die Energieversorgungsanlagen von CES sind die Werte für die Verlegung von gebündelten oder sich berührenden Leitungen relevant. Dabei stehen Korrekturfaktoren zur Auswahl:

- Verlegung auf Flächen (z. B. Boden, Wand)
- Verlegung frei in Luft (z. B. Kabelleiter)
- Verlegung in Rohren oder Kanälen

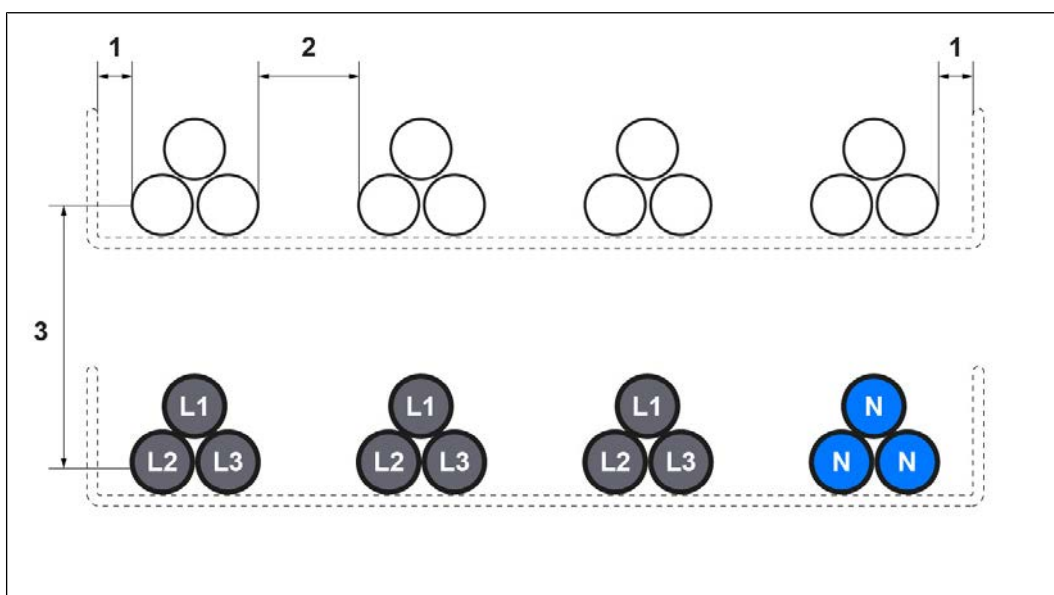
### Korrekturfaktor für die spezielle Verlegeart

Zusätzlich zu diesem Faktor ist der in der Norm angegebene Korrekturfaktor für die spezielle Verlegeart zu berücksichtigen.

Bei der Verlegung ist darauf zu achten, dass die Wärme, die durch die Belastung der Kabel entsteht, abtransportiert werden kann. Hierbei spielen verschiedene Faktoren eine Rolle, wie beispielsweise der Untergrund, der Abstand der Kabel untereinander sowie der Abstand zu umgebenden Teilen.

Die Wärme kann bei Verwendung einer Kabelleiter, bei der die Kabel allseitig von Luft umgeben sind, deutlich besser abgeführt werden als beispielsweise auf einer Kabelwanne. Aus diesem Grund werden die Container-Kraftwerke von CES standardmäßig mit Kabelleitern ausgeführt.

Die Korrekturfaktoren für die Verlegung auf Kabelleitern und Kabelwannen in der Norm beziehen sich beispielsweise auf eine Verlegung im Dreierbündel (siehe folgende Abbildung).

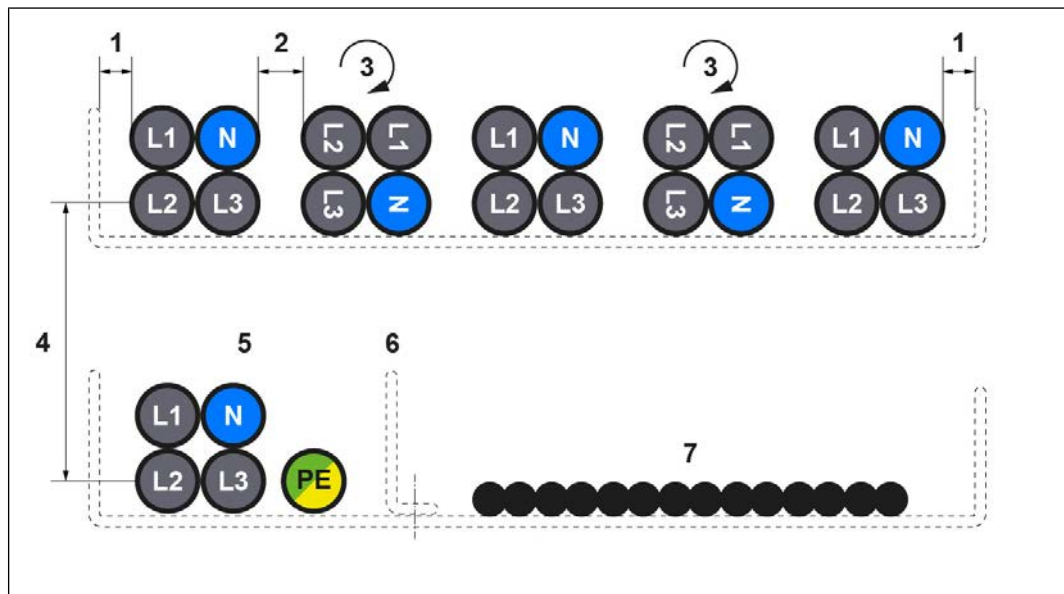


3698877067: Beispielabbildung für die Verlegung im Dreierbündel

- |   |   |   |
|---|---|---|
| 1 | Abstand Kabelbündel zum Seitensteg: 2<br>> 20 mm              | Abstand Kabelbündel zu Kabelbündel: mindestens doppelter Kabeldurchmesser |
| 3 | Abstand zwischen Kabelebenen und zur Decke: mindestens 300 mm |   |

Benennungen: (L) Phase, (N) Neutraleiter

Für die Container-Kraftwerke von CES in der Standardausführung lässt sich von einer dauerhaften Belüftung und dadurch vermiedener Stauwärme ausgehen. Die Verlegung ist deshalb auch entsprechend der folgenden Abbildung möglich. Diese Verlegungsart ist ebenfalls für durchzugsbelüftete Aggregaträume unter Beachtung der Umgebungsbedingungen anwendbar.



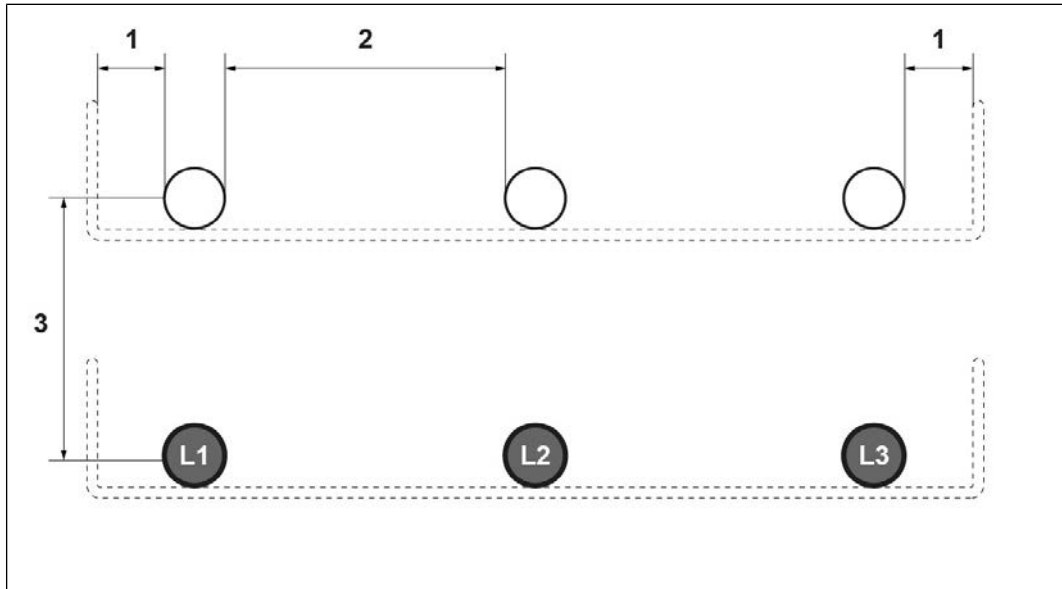
3698880267: Beispielabbildung für die Verlegung im Viererbündel

- |   |                                       |   |   |
|---|---------------------------------------|---|---|
| 1 | Abstand Kabelbündel zum Seitensteg: 2 | Abstand Kabelbündel zu Kabelbündel: mindestens Kabeldurchmesser |   |
| 3 | Kabelbündel 90° gedreht               | 4   | Abstand zwischen Kabelebenen und zur Decke: mindestens 300 mm |
| 5 | Leistungskabel und PE-Kabel           | 6   | Metallischer Trennsteg  |
| 7 | Steuerleitungen                       |   |   |



Benennungen: (L) Phase, (N) Neutralleiter, (PE) Schutzleiter

Alternativ können die Kabel auch einzeln mit Abstand verlegt werden, wobei sich der Platzbedarf aber vergrößert (siehe folgende Abbildung).



3698881931: Beispielabbildung für die ungebündelte Verlegung einzelner Kabel (Mittelspannung)

- |   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| 1 | Abstand Kabel zum Seitensteg:                                 | 2 | Abstand Kabel zu Kabel: mindestens Kabeldurchmesser |
| 3 | Abstand zwischen Kabelebenen und zur Decke: mindestens 300 mm |   |   |

Benennungen: (L) Phase

Für andere Verlegearten sind die Korrekturfaktoren in der Norm zu beachten.

### Empfehlung

Um die Korrekturfaktoren möglichst gering zu halten, wird die Verlegung auf einer Kabelleiter empfohlen. Auf einer Kabelleiter sind alle Leistungskabel horizontal in Viererbündeln angeordnet. Müssen aus platztechnischen Gründen mehrere Kabelleitern oder Kabelwan-

nen übereinander verlegt werden, so gelten die Korrekturfaktoren in der Norm. Die Kabel-  
leitern müssen einen minimalen Abstand von 300 mm zur Decke und untereinander ha-  
ben.

Beim Vergleich der in der Norm angegebenen Korrekturfaktoren für die in obiger Abbil-  
dung „Verlegung im Dreierbündel auf Kabelwannen und Kabelleitern“ dargestellte Verle-  
geart zeigt sich:

- eine Verlegung auf Kabelleitern weist den günstigeren Korrekturwert auf, da die Wär-  
me besser abgeführt wird
- die Verlegung auf einer Kabelleiter verringert nicht die Stromtragfähigkeit des Kabels  
(gilt auch, wenn die Anzahl der dreipoligen Stromkreise größer als 3 ist)
- auch die Anordnung von acht Kabeln pro Phase auf einer Kabelleiter ist günstig, so-  
lange die vorgegebenen Abstände eingehalten sind.

Gleiches gilt für die Verlegung entsprechend vorheriger Abbildung „Beispielabbildung für  
die Verlegung im Viererbündel“ in durchzugsbelüfteten Räumen.

#### **Montagehinweise für die Herstellung von Kabelbündel**

- Die Kabelbündel sind alle 0,5 m mit fünf Bandagen Bündelband zu umwickeln und al-  
le 2 m mit Kabelschellen an dem Kabelleiter zu fixieren.

#### **16.9.4.2 Neutralleiter**

Nach der aktuellen Richtlinie kann der N-Leiter mit halbem Querschnitt ausgeführt wer-  
den, vorausgesetzt der Oberwellengehalt im Strom ist kleiner als 10 %. Da die Oberwel-  
lenströme von der Last, sprich den Verbrauchern abhängig sind, variieren diese anlagen-  
spezifisch. Aus diesem Grund ist in der Übersichtstabelle der N-Leiter mit vollem Quer-  
schnitt ausgeführt.

#### **Erforderliche Informationen**

- Tabelle „Übersicht Kabelauslegung“ in Kapitel [Übersicht Verkabelung](#) ► 355]

#### **16.9.4.3 Kurzschlussfeste Verlegung**

Im Falle eines Kurzschlusses entstehen enorme Kräfte, die die Leistungskabel in große Be-  
wegung bringen können. Um Schäden an der Isolierung der Kabel oder an umgebenden  
Teilen zu verhindern, muss eine kurzschluss sichere Verlegung sichergestellt werden. Dafür  
werden die Kabelbündel alle 0,5 m bis 1 m mit fünf Bandagen Kabelbündelband umwi-  
ckelt. Damit die Kabelbündel sich nicht bewegen, werden diese ca. alle 2 m mit einer Ka-  
belschelle an dem Kabelleiter befestigt. Bei der Verlegung sind immer die minimalen Bie-  
geradien der verwendeten Kabel zu beachten. Bei Nichtbeachtung kann es zu Schäden an  
der Isolation kommen.

#### 16.9.4.4 Verschraubungen

Zur Einführung der Leistungskabel in den Generatorklemmenkasten sind Verschraubungen mit integrierter Zugentlastung zu verwenden. Diese verhindern, dass Kräfte auf die Anschlussklemmen im Generator einwirken. Außerdem sollten die Verschraubungen keine Kanten aufweisen, an denen das Kabel scheuert, wodurch die Isolation beschädigt wird. Hier ist die Empfehlung seitens Caterpillar Energy Solutions so genannte Trompetenverschraubungen zu verwenden (siehe folgende Abbildung).



3698897931: Trompetenverschraubung

#### 16.9.4.5 Kabelanschluss

Die Verlegung und der Anschluss der Leistungskabel sind gemäß den einschlägigen Normen und technischen Vorschriften durchzuführen. Dabei ist sicherzustellen, dass geeignete Kabelschuhe bzw. Kabelendverschlüsse verwendet werden, die sowohl den elektrischen und mechanischen Anforderungen der eingesetzten Leistungskabel als auch den Anschlussbedingungen der Generatorklemmen entsprechen. Technische Details und Spezifikationen zu den Generatoranschlusskästen können auf Anfrage bereitgestellt werden.

#### 16.9.4.6 Kabelabgang

Der Kabelabgang kann auf beiden Seiten (rechts oder links) nach oben oder unten aus den Generatoren erfolgen. Standardmäßig werden die Niederspannungs-Generatoren nach oben und die Mittelspannungs-Generatoren nach unten angeschlossen.

Die Kabel müssen relativ kurz nach dem Austritt aus dem Generator mit einer geeigneten Vorrichtung abgefangen werden (siehe folgende Abbildungen). Die Kabel sind mit Kabelschellen zu befestigen. Die Befestigung mit Kabelbindern ist nicht zulässig, da hiermit die Gefahr von Isolationsschäden besteht. Außerdem ist darauf zu achten, dass die Kabel nicht auf Zug verlegt werden, sondern mit einer Biegung versehen sind, welche die Schwingungen des Aggregats ausgleichen.

#### 16.9.4.7 Beispielrechnung

---

##### HINWEIS

Die Angaben beziehen sich auf die zum Zeitpunkt der Erstellung gültige Norm DIN VDE 0298-4: 2023-06 (IEC 60364-5-52:2009) und sind ggf. zu aktualisieren.

---

Die Berechnung erfolgt am Beispiel eines TCG 2020 V12 mit 400 V  $\pm 10$  %, 50 Hz die Kabelberechnung beschrieben.

##### Kabeltyp und Stromtragfähigkeit

Ausgewählt wird das empfohlene Kabel NSGAFÖU mit einem Querschnitt von 300 mm<sup>2</sup>.

Die Stromtragfähigkeit beträgt bei einer einzeln verlegten Leitung:

- 898 A\*

\* entsprechend Datenblatt bzw. der gültigen Norm für den gewählten Kabeltyp

##### Korrekturfaktor Umgebungstemperatur

Das Beispiel soll auch für die Container-Kraftwerke von CES gelten. Da in der Standardausführung im Sommer bis zu 45 °C dort möglich sind, wird diese Umgebungstemperatur als Grundlage für die Berechnung angenommen.

Da der gewählte Kabeltyp für eine zulässige Betriebstemperatur am Leiter von mindestens 90 °C geeignet sein muss, ergibt sich folgender Korrekturfaktor:

- 0,87\*

\* Tabelle 17 in der o.g. Norm

##### Korrekturfaktoren Verlegeart

In den Containern werden die Niederspannungs-Leistungskabel standardmäßig im Viererbündel auf Kabelleitern verlegt.

Für die Verlegung gebündelter Leitungen in Luft ergibt sich folgender Korrekturfaktor:

- 0,7\*

\* Tabelle 14 in der o.g. Norm

Da es sich um Drehstrom handelt, alle Kabel auf einer Kabelleiter verlegt werden und die Container durchzugsbelüftet sind, ergibt sich folgender Korrekturfaktor:

- 1,0\*

\* Tabelle 24 in der o.g. Norm

### Ergebnis

Unter Verwendung der genannten Korrekturfaktoren ergibt sich eine Stromtragfähigkeit pro Kabel von:

$$898 \text{ A} \times 0,87 \times 0,7 \times 1,0 = 547 \text{ A}$$

Der maximal dauerhaft zulässige Betriebsstrom des Aggregats fließt bei einem Leistungsfaktor  $\cos(\phi)$  von 0,8 % und 10 % Unterspannung und berechnet sich wie folgt:

$$\begin{aligned} I &= \frac{P}{\cos(\phi) \times \sqrt{3} \times 0,9 \times U_N} \\ &= \frac{1200 \text{ kW}}{0,8 \times \sqrt{3} \times 0,9 \times 400 \text{ V}} \\ &= 2406 \text{ A} \end{aligned}$$

3698905099: Formel Betriebsstrom

Aus dem maximalen Strom und der Stromtragfähigkeit des Kabels errechnet sich die Anzahl der zu verwendenden Kabel pro Phase:

- $2406 \text{ A} / 547 \text{ A} = 4,4$
- Zu wählen ist: 5 Kabel pro Phase

### HINWEIS

Dieses Berechnungsverfahren lässt sich auf alle Aggregatkombinationen adaptieren. Gelten vor Ort andere Regeln und Vorschriften, sind diese zu beachten. Werden andere Kabeltypen gewählt, gelten deren Korrekturfaktoren.

## 16.9.5 Starterkabel und Starterbatterien



### Zerstörungsgefahr von Bauteilen

Nicht eingehaltene Vorgaben für Starterbatterien und deren Verkabelung  
Überlastung des Startsystems durch zu hohe Antriebsleistung des Starters

Wie bereits erwähnt sind die Starterkabel flexible Einzeladergummileitungen aus Kupfer, z. B. NSGAFÖU nach VDE 0250-602. Der benötigte Leitungsquerschnitt ergibt sich aus der Leistung des Starters, der Batteriekapazität und der Kabellänge für die Hin- und Rückleitung zur Starterbatterie. Die für verschiedene Kabellängen erforderlichen Kabelquerschnitte finden sich in dem Klemmenbelegungsplan für das jeweilige Aggregat.

Weitere Informationen

- [Übersicht Verkabelung \[► 355\]](#)

### Starterbatterien

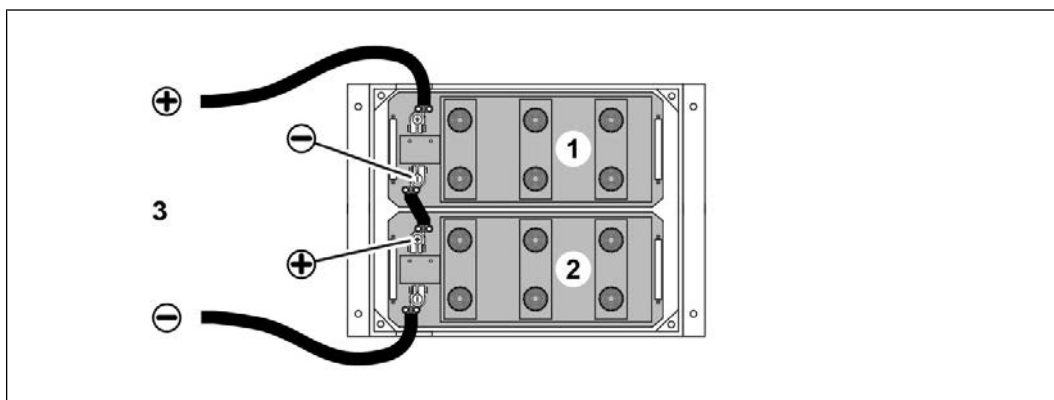
Als Starterbatterien liefert Caterpillar Energy Solutions Bleiakkumulatoren mit Kapazitäten von 143 Ah/12 V und 225 Ah/12 V. Die für das jeweilige Aggregat erforderliche Batteriekapazität ist in dem jeweiligen Datenblatt als auch in dem Klemmenbelegungsplan angegeben. Für die Aufstellung der Starterbatterie ist die Anordnung in Einzelkisten, Doppelkisten oder Viererkisten möglich.

Die Größe der eingesetzten Batterieversorgung muss auf die Größe des Starters am Motor abgestimmt sein. Die Starter am Motor benötigen eine Spannung von 24 V<sub>DC</sub>. Die Spannung und die erforderliche Kapazität wird durch entsprechende Schaltung der handelsüblichen 12 V-Blei-Batterien dargestellt.

Aggregat	Starter-Ausführung	Anzahl Batterien	Spannung/Kapazität
		Stück	V/Ah
TCG 3016 V08	Einzelstarter	2	12/143
TCG 3016 V12			24/143 (Abb. „Verschaltung von 2 Batterien je 12 V“)
TCG 3016 V16	Einzelstarter	4	12/143
			24/286 (Abb. „Verschaltung von 4 Batterien je 12 V“)
		2	12/225

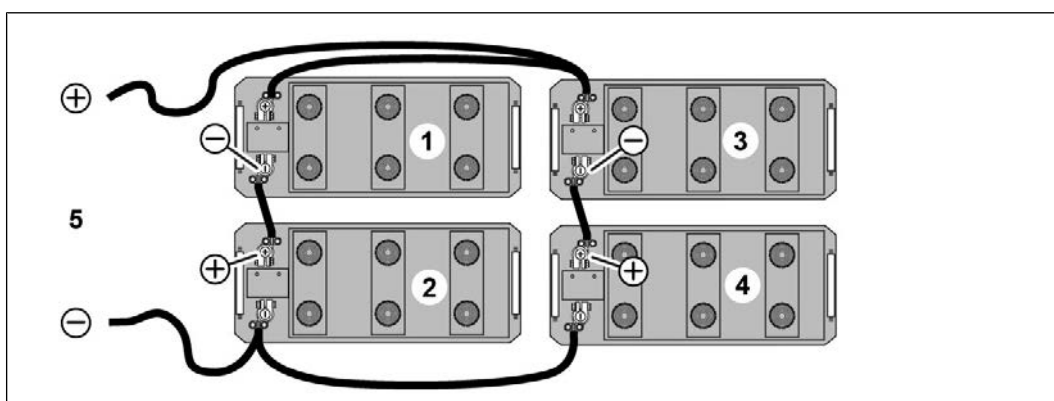
Aggregat	Starter-Ausführung	Anzahl Batterien	Spannung/Kapazität
			24/225 (Abb. „Verschaltung von 2 Batterien je 12 V“)
TCG 2020 / TCG 3020	Doppelstarter	4	12/225
			24/450 (Abb. „Verschaltung von 4 Batterien je 12 V“)

Tab. 54: Empfohlene Batterieversorgung



### 3699247115: Verschaltung von 2 Batterien je 12 V

1 - 2      12 V<sub>DC</sub>                  3                  24 V<sub>DC</sub>



### 3699249675: Verschaltung von 4 Batterien je 12 V

1 - 4      12 V<sub>DC</sub>                                  5                                  24 V<sub>DC</sub>

Eine wichtige Kenngröße für die Eignung einer Starterbatterie ist der Kaltstartstrom, der auch als Kälteprüfstrom bezeichnet wird. Für den Kälteprüfstrom gibt es nach DIN, IEC, SAE und DIN EN unterschiedliche Definitionen.

DIN 43539-2 definiert wie folgt:

*Eine vollgeladene Batterie, Spannung 12 V, wird mit dem Kälteprüfstrom bei einer Temperatur von - 18 °C bis zu einer Spannung von 6 V entladen. Nach 30 Sekunden muss dabei die Spannung mindestens noch 9 Volt betragen und die Zeit bis zum Erreichen einer Spannung von 6 V muss mindestens weitere 150 Sekunden betragen.*

Die Definitionen nach IEC, SAE und DIN EN weichen von der Definition nach DIN ab. Für die Kälteprüfströme nach den verschiedenen Regelwerken gibt es feste Beziehungen für die Umrechnung untereinander.

Für die von CES gelieferten Batterien der Größen von 143 Ah und 225 Ah sind die Kälteprüfströme nach den oben genannten Normen in der folgenden Tabelle angegeben.

	Kälteprüfstrom in A nach			
Batterie	DIN 43539-2	DIN EN 50342	SAE J537	IEC 60095-1
12 V/143 Ah	560	950	1000	645
12 V/225 Ah	675	1150	1200	775

Tab. 55: Kälteprüfstrom für Starterbatterien

### Starterkabel

Für die einwandfreie Funktion des Systems Batterie und Starter ist eine richtige Dimensionierung der Starterkabel erforderlich. Kabellängen und Kabelquerschnitte müssen zum Batteriesystem und der Startergröße passen. In den folgenden Tabellen sind Kabelabmessungen der Starterhauptleitungen für die Aggregate angegeben.

		Kabellänge* Starterhauptleitung in m
		1 – 8
Aggregat	Batteriepaket	Kabelquerschnitt in mm <sup>2</sup>
TCG 3016 V08 / TCG 3016 V12	24 V/143 Ah	95



		Kabellänge* Starterhauptleitung in m
	(2 × 12 V/143 Ah)	
* Summe der Längen der Zuleitung von der Batterie zum Starter und der Rückleitung vom Starter zur Batterie		

Tab. 56: Starterhauptleitungen für Batterien 143 Ah

		Kabellänge* Starterhauptleitung in m		
		4 – 6	6 - 18	18 - 24
Aggregat	Batteriepaket	Kabelquerschnitt in mm <sup>2</sup>		
TCG 3016 V16	24 V/286 Ah (4 × 12 V/143 Ah)	70	95	120
* Summe der Längen der Zuleitung von der Batterie zum Starter und der Rückleitung vom Starter zur Batterie				

Tab. 57: Starterhauptleitungen für Batterien 143 Ah

		Kabellänge* Starterhauptleitung in m		
		1 - 8	8 - 14	14 - 18
Aggregat	Batteriepaket	Kabelquerschnitt in mm <sup>2</sup>		
TCG 3016 V16	24 V/225 Ah (2 × 12 V/225 Ah)	95	120	160
TCG 2020 / TCG 3020	24 V/450 Ah (4 × 12 V/225 Ah)	185	240	-
* Summe der Längen der Zuleitung von der Batterie zum Starter und der Rückleitung vom Starter zur Batterie				

Tab. 58: Starterhauptleitungen für Batterien 225 Ah

Die optimale Positionierung der Batterien ist möglichst nahe am Starter, da hier die erforderlichen Querschnitte der Starterkabel klein sind. Die Positionierung im Bereich der Kühleintritte des Generators ist nicht zulässig, da aus den Starterbatterien austretende säurehaltige Dämpfe zu Schäden am Generator führen können.

Die Starterbatterien sind trocken vorgeladen, die Befüllung mit Batteriesäure erfolgt am Aufstellort.

Für die Wartung der Starterbatterien sind die in den Betriebsanleitungen angegebenen Sicherheitshinweise zu beachten.

Eine allpolige Absicherung der Batterieladespannung ist vorzusehen. Zusätzlich wird die Erdung des Massepols der Starter Batterie empfohlen.

### Anschlussklemmen

Drehmomente für die Anschlussklemmen des Motorstarter: (Auszug aus Bosch: „manual Basis - TKU [Seite 39]“)

- Klemme 31 (Batterie minus) M10 oder M12 Stahl mit Sn-Oberfläche  $24 \pm 4$  Nm
- Klemme 30 (Batterie plus) M12 Cu, optional mit Ag-Oberfläche  $26 \pm 4$  Nm
- Klemme 50 (Steuerleitung) M6 Stahl 3,7 ... 4,6 Nm

## 16.9.6 Starterkabel bei Einsatz eines Netzstartgeräts

Als Alternative zu Starterbatterien kann der Start der Aggregate mit einem Netzstartgerät erfolgen. Dann ist der Start des Aggregates nur bei vorhandener Netzspannung möglich.

Hinleiter und Rückleiter	Kabelquerschnitt
1 m bis 10 m	185 mm <sup>2</sup> bzw. AWG <sup>1)</sup> 350 MCM <sup>2)</sup>
10 m bis 14 m	240 mm <sup>2</sup> bzw. AWG <sup>1)</sup> 500 MCM <sup>2)</sup>
<sup>1)</sup> American Wire Gauge	
<sup>2)</sup> Mille Circular Mils	

Tab. 59: Starterhauptleitungen für Netzstartgerät

## 16.9.7 Erdungssystem

Das Erdungssystem ist bei der Anlagenauslegung frühzeitig genau zu betrachten. Das heißt, es muss gemäß dem kundenseitigen Single-Line-Diagramm der Gesamtanlage untersucht werden. Wegen der Komplexität einiger Anlagen muss das Erdungskonzept den individuellen Anforderungen angepasst werden. Das Erdungskonzept und die Umsetzung des Potentialausgleichs liegt in der Verantwortung des Kunden bzw. des Betreibers.

### Erforderliche Hinweise zum Erdungssystem und Potentialausgleich

- [Konzept Schutzerdung, Schutzleiter und Schutzpotentialausgleich](#) [► 30]

### 16.9.8 Spannungsversorgung TEM, TPEM und SPS

Die Spannungsversorgung des TEM-Systems bzw. TPEM-Systems erfolgt mit einem oder mehreren Schaltnetzteilen in Kombination mit Batterien. Die Batterien stellen bei einem Netzausfall ausreichend Spannung zur Verfügung, um die Anlage kontrolliert herunterfahren zu können.

Für die Spannungsversorgung des TEM-Systems bzw. TPEM-Systems sowie optionaler, im Hilfsantriebsschrank (HAS) eingebauter SPS, Messeinrichtungen oder einige Aktoren gelten folgende Anforderungen:

- Einspeisung Aggregateschrank (AGS):
  - $24 V_{DC} \pm 5\%$  - Restwelligkeit  $< 0,5 V_{SS}$
- Einspeisung TPEM Control Cabinet (TPEM CC):
  - $24 V_{DC} \pm 10\%$  - Restwelligkeit  $< 0,2 V_{SS}$

