

Aufbau von Energieanlagen

**mit Gasmotor-Antrieb
(Planungshinweise und Montagehinweise)**

DE

2021-03

Kompetenzklasse KK 1

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.

Impressum:
Caterpillar Energy Solutions GmbH
Serviceokumentation
Carl-Benz-Str. 1
68167 Mannheim
Deutschland
+49 621 384 0
+49 621 384 8800
www.caterpillar-energy-solutions.de
Alle Rechte vorbehalten

Inhaltsverzeichnis

1	Informationen.....	9
1.1	Vorwort.....	10
1.2	Rückmeldung zur Dokumentation.....	11
2	Aufbau von Anlagen mit Gasmotoraggregaten zur Kraft-Wärme-Kopp- lung in Blockheizkraftwerken.....	13
2.1	Allgemeiner Aufbau.....	14
2.2	Einsatzarten.....	16
3	Aggregateleistung.....	19
3.1	Auslegung.....	20
3.2	Bereitstellung von Regelenergie.....	21
3.3	Fast Ramp-Up.....	23
3.4	Leistungsangaben auf den Typenschildern.....	24
4	BHKW Aggregat.....	25
4.1	Aggregateaufbau.....	26
4.2	Aggregat.....	27
4.3	Generator.....	44
5	Anforderungen für die Aufstellung des Aggregats.....	51
5.1	Aggregaterraum.....	52
5.2	Fundamentierung und Schwingungsdämpfung.....	54
5.3	Geräuscentwicklung.....	56
6	Maschinenraumbelüftung.....	67
6.1	Übersicht Belüftungssysteme.....	68
6.2	Anforderungen und Richtwerte.....	72
6.3	Komponenten des Lüftungssystems.....	76
6.4	Hinweise zu Planung und Betrieb einer Belüftungsanlage.....	78

7	Motorkühlsysteme.....	79
7.1	Übersicht Motorkühlsysteme.....	80
7.2	Heizkreis.....	85
7.3	Notkühlkreis.....	89
7.4	Anforderungen und Richtwerte.....	91
7.5	Komponenten des Kühlwassersystems.....	92
7.6	Entlüftung der Kühlsysteme.....	107
7.7	Qualität der Kühlflüssigkeit.....	108
8	Brennstoffsystem.....	109
8.1	Übersicht Brennstoffsystem.....	110
8.2	Anforderungen und Richtwerte.....	112
8.3	Komponenten Brennstoffsystem.....	113
8.4	Hinweise zum Brennstoffsystem.....	124
9	Schmierölsystem.....	125
9.1	Übersicht Schmierölsysteme.....	126
9.2	Anforderungen und Richtwerte.....	128
9.3	Komponenten Schmierölsystem.....	129
9.4	Schmieröl.....	130
10	Verbrennungsluftsystem.....	131
10.1	Übersicht Verbrennungsluftsystem.....	132
10.2	Anforderungen und Richtwerte.....	133
10.3	Komponenten des Verbrennungsluftsystems.....	137
10.4	Druckverluste.....	138
11	Abgassystem.....	139
11.1	Übersicht Abgassystem.....	140
11.2	Anforderungen und Richtwerte.....	141
11.3	Komponenten des Abgassystems.....	149
11.4	Verpuffungen im Abgassystem.....	165

12	Druckluftsystem.....	169
12.1	Übersicht Druckluftsystem.....	170
12.2	Anforderungen und Richtwerte.....	172
12.3	Komponenten des Druckluftsystems.....	173
12.4	Sicherheitshinweise.....	174
13	Messeinrichtungen, Überwachungseinrichtungen und Begrenzungseinrichtungen.....	175
13.1	Übersicht Messeinrichtungen, Überwachungseinrichtungen und Begrenzungseinrichtungen.....	176
13.2	Temperaturmessung.....	177
14	Netzanschlussbedingungen.....	179
14.1	Übersicht Netzanschlussbedingungen.....	180
14.2	Netzanschlussbedingungen in Deutschland: Anschluss und Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz und Hochspannungsnetz.....	181
14.3	Internationale Netzanschlussbedingungen.....	185
15	Elektrische Schaltanlagen.....	187
15.1	Übersicht elektrische Schaltanlagen.....	188
15.2	TEM-System für Gasmotoren.....	189
15.3	TPEM-System für Gasmotoren.....	194
15.4	Schaltschränke und Module.....	201
16	Inselbetrieb.....	203
16.1	Übersicht Inselbetrieb.....	204
16.2	Inselbetrieb nach Umschaltung aus dem Netzparallelbetrieb.....	205
16.3	Inselbetrieb ohne öffentliches Netz.....	208
16.4	Hinweise zum Inselbetrieb.....	211
17	Lastschaltfähigkeit.....	215
17.1	Übersicht Lastschaltfähigkeit.....	216
17.2	Laststufen in Tabellenform.....	218
17.3	Laststufen als Diagramm.....	221

18	Verkabelung.....	225
18.1	Übersicht Verkabelung.....	226
18.2	Sicherheitsanforderungen für Kabel und Leitungen.....	227
18.3	Maßnahmen zur Sicherstellung der EMV.....	232
18.4	Komponenten der Verkabelung.....	234
18.5	Beispiele für Kabelverlegung.....	246
18.6	Spannungsversorgung TEM, TPEM und SPS.....	264
19	Aggregatetransport und Aggregateinbringung.....	265
19.1	Übersicht Aggregatetransport und Aggregateaufstellung.....	266
19.2	Aggregate.....	267
19.3	Transport und Aufstellung von Containern.....	269
19.4	Aggregateinbringung.....	276
19.5	Lagerung von Aggregaten und Anlagenkomponenten.....	277
20	Einbauhinweise und Ausrichtungshinweise für das Aggregat.....	279
20.1	Allgemeine Hinweise.....	280
20.2	Elastische Lagerung.....	281
20.3	Drehelastische Kupplung.....	282
20.4	Kompensatoren und Schlauchleitungen.....	283
21	Verlegung von Rohrleitungen.....	309
21.1	Allgemeine Montagehinweise.....	310
21.2	Werkstoffe für Rohrleitungen.....	311
21.3	Hinweise zum Schweißen und Löten von Rohrleitungen.....	313
21.4	Lösbare Rohrleitungsverbindungen.....	314
21.5	Montage, Isolierung und Oberflächenbehandlung von Rohrleitungen.....	315
22	Arbeitssicherheit, Unfallverhütung, Umweltschutz.....	317
22.1	Übersicht Arbeitssicherheit, Unfallverhütung, Umweltschutz.....	318
22.2	Unfallverhütungsvorschriften bei elektrischen Anlagen.....	319
22.3	Schutzmaßnahmen und Schutzeinrichtungen.....	320
22.4	Gerüste, Bühnen, Leitern.....	322
22.5	Lagerung und Entsorgung von Gefahrgut.....	323

22.6 Risikobeurteilung..... 324

1 Informationen

Inhaltsverzeichnis

1.1	Vorwort.....	10
1.2	Rückmeldung zur Dokumentation.....	11

1.1 Vorwort

Dieses Handbuch richtet sich an alle, die mit einer unserer Anlagen betraut sind, und dient nicht als Bedienungsanleitung für den Endkunden. Aus diesem Grund ist dieses Handbuch keine Benutzerinformation gemäß DIN EN 82079-1 (IEC 82079-1). Es erfüllt aber einen ähnlichen Zweck, da die Einhaltung dieser Richtlinie zur Funktion der Anlage beiträgt und deshalb den Endbenutzer vor Gefahren schützt, die durch den Gebrauch der Anlage verursacht werden können.

Betriebssicherheit und eine lange Betriebsdauer können nur von fachgerecht installierten Anlagen erfüllt werden. Wartungsarbeiten können dadurch einfacher und schneller ausgeführt werden. Dieses Handbuch gibt Informationen zum richtigen Einbau und gibt dabei Hinweise für einzuhaltende Grenzwerte.

Die Sicherheitsvorschriften, die Bestandteil der Aggregatedokumentation und/oder Anlagendokumentation sind, müssen bei Aufbau, Wartung und Betrieb der Anlagen zwingend eingehalten werden.

Durch die Vielfalt von Einbaumöglichkeiten ist es nur möglich, allgemein gültige Richtlinien festzulegen. Erfahrung und spezielles Fachwissen ist für einen optimalen Einbau der Aggregate notwendig. Die aufgeführten Normen, Richtlinien und Vorschriften haben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. In jedem einzelnen Einsatzfall sind deshalb die örtlichen Vorgaben zu prüfen und zu berücksichtigen.

Aus diesem Grund empfehlen wir, während der Planungsphase Mitarbeiter von Caterpillar Energy Solutions GmbH oder einen autorisierten Vertriebspartner zurate zu ziehen.

Gewährleistungsansprüche werden von Caterpillar Energy Solutions GmbH nicht akzeptiert und Caterpillar Energy Solutions GmbH haftet nicht für Schäden, die aus Nichteinhaltung der Informationen und Hinweise des Handbuches resultieren.

Für Kritik und Anregungen zur Verbesserung oder Ergänzung dieser Richtlinie sind wir jederzeit dankbar.

1.2 Rückmeldung zur Dokumentation

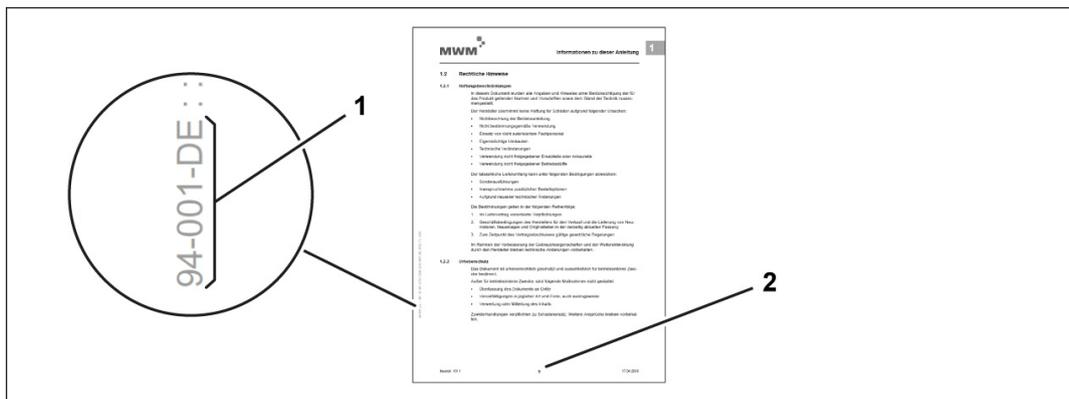
Haben Sie Lob, Kritik, Verbesserungsvorschläge zu diesem Dokument?

Schreiben Sie eine E-Mail an techred@mwm.net.

Beschreiben Sie Ihr Anliegen möglichst präzise.

Damit wir Ihre Rückmeldung zuordnen können, geben Sie außerdem bitte folgende Informationen an:

- Dokumentnummer (1)
- Seitenzahl (2)
- Kontaktdaten (Name, E-Mail) für eventuelle Rückfragen



72239-002

Danke für Ihre Mühe. Wir prüfen jede Rückmeldung sorgfältig.

Wir freuen uns, von Ihnen zu hören!

2 Aufbau von Anlagen mit Gasmotoraggregaten zur Kraft-Wärme-Kopplung in Blockheizkraftwerken

Inhaltsverzeichnis

2.1	Allgemeiner Aufbau.....	14
2.2	Einsatzarten.....	16
2.2.1	Wärmegeführte Betriebsweise.....	16
2.2.2	Stromgeführte Betriebsweise.....	16
2.2.3	Betriebsweise nach Brenngasangebot.....	17
2.2.4	Zweigasbetrieb.....	17

2.1 Allgemeiner Aufbau

Ein Gasmotoraggregat besteht aus dem Verbrennungsmotor, dem Generator, der Kuppelung, dem Grundrahmen und der Lagerung. Der Motor und Generator ist starr auf dem Grundrahmen aufgebaut. Die Bezeichnung dieser Einheit ist BHKW-Aggregat. Das BHKW-Aggregat dient zur Stromerzeugung und Wärmeerzeugung.

Ein BHKW-Modul besteht aus einem BHKW-Aggregat und den Komponenten:

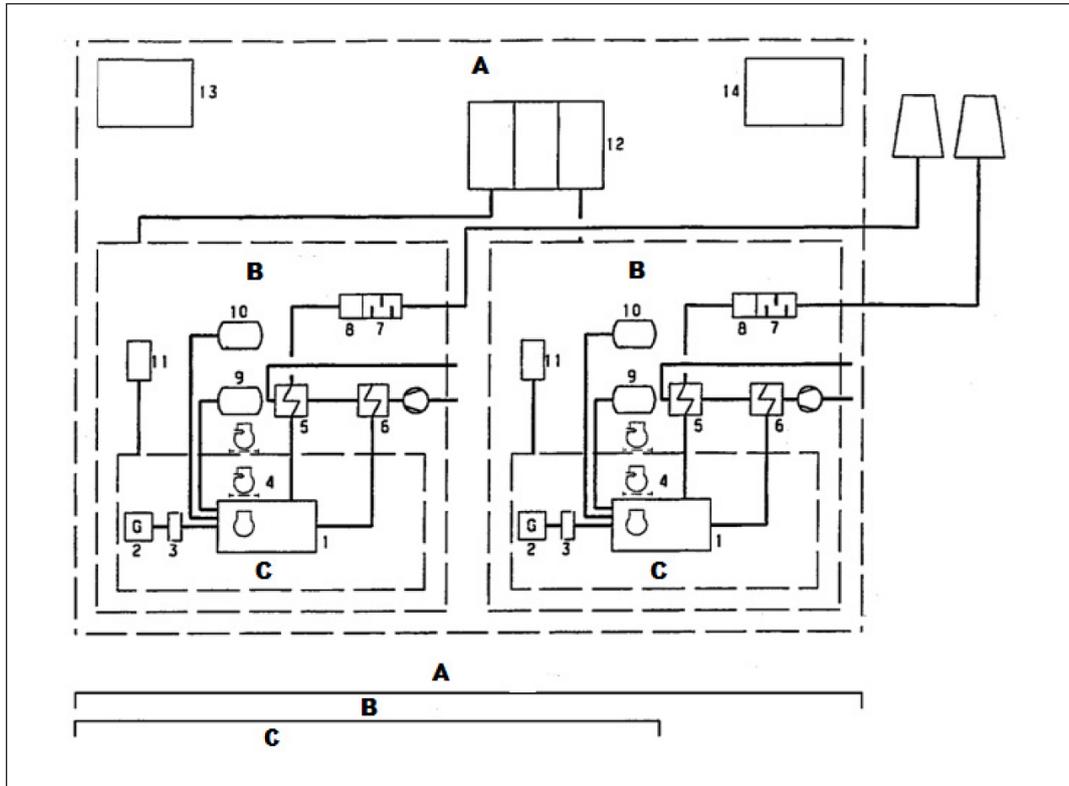
- Plattenwärmetauscher
- Abgaswärmetauscher
- Abgasschalldämpfer
- Abgasreinigungsanlage
- Kraftstoffbehälter bzw. Gasversorgung
- Schmierölversorgung
- Aggregateüberwachung

Ein Blockheizkraftwerk besteht aus einem oder mehreren BHKW-Modulen, der Schaltanlage mit Leittechnik, der Zuluftanlage und der Abluftanlage.

Hinweis

An den von dem Hersteller gelieferten Aggregaten, Komponenten und Schaltschränken dürfen keine Veränderungen vorgenommen und keine Fremdteile eingebaut werden.

Grundlagen, Anforderungen, Komponenten, Ausführung und Wartung von Stromerzeugungsaggregaten sind in DIN 6280 Teil 14 beschrieben (siehe Abb. 67603).



67603-001 Definition und Abgrenzung der BHKW-Komponenten nach DIN 6280-14

- A Blockheizkraftwerk BHKW
 - B BHKW-Modul
 - C BHKW-Aggregat
-
- 1 Hubkolben, Verbrennungsmotor
 - 2 Generator
 - 3 Kupplung und Lagerung
 - 4 Verbrennungsluftfilter (wahlweise vom Motor getrennt aufgebaut)
 - 5 Abgaswärmetauscher
 - 6 Plattenwärmetauscher
 - 7 Abgasschalldämpfer
 - 8 Abgasreinigungsanlage
 - 9 Kraftstoffbehälter bzw. Gasversorgung
 - 10 Schmierölversorgung
 - 11 Aggregateüberwachung
 - 12 Schaltanlage mit Leittechnik
 - 13 Zuluftanlage
 - 14 Abluftanlage

2.2 Einsatzarten

Je nach Einsatz kann die Anlage vorrangig zur Stromerzeugung oder Wärmeerzeugung genutzt werden.

2.2.1 Wärmegeführte Betriebsweise

Bei der wärmegeführten Betriebsweise ist der Wärmebedarf die Führungsgröße für die Leistungsabgabe des BHKW. Zur Deckung des momentanen Wärmebedarfs kann das BHKW durch andere Wärmeerzeuger unterstützt werden.

2.2.2 Stromgeführte Betriebsweise

Bei der stromgeführten Betriebsweise ist der Strombedarf die Führungsgröße für die Leistungsabgabe des BHKW.

Netzparallelbetrieb

Im Netzparallelbetrieb versorgt das Blockheizkraftwerk z.B. bis zum Erreichen der max. elektrischen Leistung entsprechend der Nennleistung des Motors die Verbraucher. Erforderlicher Mehrbedarf wird von dem elektrischen Versorgungsnetz abgedeckt. Zu Hochtarifzeiten können Lastspitzen mit den Aggregaten abgefahren werden.

Bei Netzausfall besteht die Möglichkeit, das Blockheizkraftwerk im Inselbetrieb zu betreiben.

Inselbetrieb

Im Inselbetrieb versorgt das Blockheizkraftwerk den Leistungsbedarf der Verbraucher allein. Die Aggregate müssen die Leistung der aufgeschalteten Verbraucher in jedem Betriebszustand zur Verfügung stellen. Das gilt für Leistungsänderungen, sowohl für die Lastzuschaltung, als auch für die Lastabschaltung.

Das Last-Management der Schaltanlage verhindert die Überlast der Aggregate. Auftretende Laststöße dürfen die maximal zulässigen Stufen, die für jeden Aggregatentyp gesondert festgelegt sind, keinesfalls überschreiten. Dies gilt für die Lastzuschaltung und die Lastabschaltung. Hierbei ist die Einschaltleistung der jeweiligen Verbraucher zu berücksichtigen und nicht die Nennleistung ⇒ Kapitel 16 Inselbetrieb 203 und Kapitel 17 Lastschaltfähigkeit 215.

Ersatzstrombetrieb

Bei Netzausfall kann das Blockheizkraftwerk unter Berücksichtigung entsprechender Zusatzmaßnahmen auch zur Ersatzstromversorgung eingesetzt werden. Das Blockheizkraftwerk deckt somit den Strombedarf nach:

- DIN VDE 0100-710 (IEC 60364-7-710)
- DIN VDE 0100-560 (IEC 60364-5-56)
- DIN EN 50172
- DIN VDE 0100-718 (IEC 60364-7-718)

Der Ersatzstrombetrieb ist im Einzelfall zu klären und muss genehmigt werden. Nicht alle Aggregate sind nach den oben aufgeführten Normen ersatzstromfähig. Die motorspezifischen Laststufen müssen beachtet werden.

Gleichzeitig ist die vom Blockheizkraftwerk bereitgestellte Wärmeenergie weitestgehend zu nutzen (z.B. Wärmenutzung oder Kälteerzeugung), gegebenenfalls Wärmespeicher einsetzen. Bei Ersatzstromversorgung ist die Wärmeabfuhr auf alle Fälle sicherzustellen, evtl. mit Hilfe von Speichern und/oder einer Notkühleinrichtung.

Schwarzstart

Der Schwarzstart ist eine Notfunktion der Gasaggregate und sollte nur für dringende Notfälle verwendet werden. Wenn ein Gasaggregat "schwarz gestartet" wird, startet es ohne Hilfsantriebeversorgung für die Vorschmierung und die Kühlwasserpumpen. Das Gasaggregat startet direkt, nachdem im TEM/TPEM der Anforderungskontakt geschlossen ist. Die Kühlwasserpumpen werden gestartet, sobald die Hilfsantriebeversorgung verfügbar ist. Des Weiteren wird auf eine vorherige Dichtheitskontrolle der Gasregelstrecke verzichtet.

Die Motoren der Baureihen TCG 3016, TCG 2020 und TCG 3020 sind schwarzstartfähig, die der Baureihe TCG 2032 nicht ⇒ Kapitel 16.4.4 Schwarzstart 212.

2.2.3 Betriebsweise nach Brenngasangebot

Bei dieser Betriebsweise ist die Führungsgröße das verfügbare Brenngasangebot (z.B. Deponiegas, Klärgas, Biogas, usw.). Je nach vorhandener Gasmenge schalten bei Mehrmotorenanlagen Aggregate zu oder ab. Bei Anlagen mit einem Aggregat ist die Leistung der verfügbaren Gasmenge angepasst.

2.2.4 Zweigasbetrieb

In besonderen Anwendungsfällen werden die Gasaggregate zum Betrieb mit zwei Gasarten ausgerüstet. Stehen z.B. Erdgas und Klärgas als Brenngas zur Verfügung, kann bei zu geringem Klärgasangebot auf Erdgas umgeschaltet werden. Die Umschaltung zwischen den Gasarten erfolgt beim Stillstand des Aggregates.

3 Aggregateleistung

Inhaltsverzeichnis

3.1	Auslegung.....	20
3.1.1	Jahreskennlinie.....	20
3.1.2	Wärmebedarf.....	20
3.1.3	Strombedarf.....	20
3.1.4	Brennstoffangebot.....	20
3.2	Bereitstellung von Regelenergie.....	21
3.3	Fast Ramp-Up.....	23
3.4	Leistungsangaben auf den Typenschildern.....	24
3.4.1	Typenschild des Motors.....	24
3.4.2	Typenschild des Generators.....	24
3.4.3	Typenschild des Aggregats.....	24

3.1 Auslegung

3.1.1 Jahreskennlinie

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

3.1.2 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.

3.1.3 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 max. Stromverbrauch (Gleichzeitigkeitsfaktor).

Einige Verbraucher nehmen reine Wirkleistung, andere dagegen eine Scheinleistung auf (Leistungsfaktor "cos phi"). 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 Normleistung abgeben. Eine Leistungsreduktion nach ISO 8528-1 bzw. DIN VDE 0530 sowie DIN EN 60034 ist die Folge.

3.1.4 Brennstoffangebot

Die Aggregateleistung bzw. Anzahl der Aggregate richtet sich nach der zur Verfügung stehenden Gasmenge. Die Aggregate sollten dabei nur im Leistungsbereich 50 % bis 100 % betrieben werden.

3.2 Bereitstellung von Regelenergie

Gasmotorenaggregate sind in der Regel für den Dauerbetrieb ausgelegt. Anlagen, die eine Förderung im Rahmen des EEGs (Erneuerbare-Energien-Gesetz) erfahren, sind so zu betreiben, wie es für die Stromeinspeisung nach dem EEG am wirtschaftlichsten ist.

In einem elektrischen Energieversorgungssystem müssen sich Erzeugung und Verbrauch von elektrischer Energie stets die Waage halten. In einem elektrischen Versorgungssystem lässt sich die Energie nur eingeschränkt speichern. Abweichungen zwischen Erzeugung und Entnahme gleicht der Einsatz von Regelenergie aus.

Im Stromnetz des Netzbetreibers ist Regelenergie die Energie, die unvorhergesehene Leistungsschwankungen ausgleicht. Dabei unterscheidet man zwischen zwei Regelenergiearten:

- Positive Regelenergie: Bei nicht prognostizierter erhöhter Stromnachfrage ist positive Regelenergie erforderlich.
- Negative Regelenergie: Bei Stromproduktion über den aktuellen Bedarf müssen kurzfristig Stromabnehmer eingeschaltet oder Stromerzeuger abgeschaltet werden.

Man unterscheidet zwischen drei Qualitäten der Regelenergie:

- Primärregelenergie: Wird zur schnellen Stabilisierung des Netzes innerhalb von 30 Sekunden benötigt.
- Sekundärregelenergie: Muss innerhalb von fünf Minuten in voller Höhe zur Verfügung stehen.
- Tertiärregelenergie (Minutenreserve): Wird zur Ablösung der Sekundärregelenergie 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 Energien gewinnt immer größere Bedeutung, da Windenergie und Solarenergie nicht permanent zur Verfügung stehen. Gasmotorenaggregate können diese Anforderungen einer flexiblen Fahrweise erfüllen. Für Biogasanlagen besteht die so genannte Flexibilitätsprämie. Dabei ist es das Ziel, möglichst viel Strom aus erneuerbaren Energien zu produzieren, wenn die Stromnachfrage hoch ist.

Im Flexbetrieb der Aggregate von Caterpillar Energy Solutions sind zwei Betriebsarten möglich:

- Bereitstellung der Regelenergie im Teillastbereich
- Starten aus dem Stillstand und Nutzung der vollen Leistung des Aggregates

Eine Empfehlung von CES ist der Betrieb im Teillastbereich. Dieser Betrieb schont das Aggregat am meisten. Im Teillastbetrieb stellen alle Aggregate von CES Regelenergie, in den drei oben genannten Qualitäten, zur Verfügung.

Die Bereitstellung von Regelenergie mit Start aus dem Stillstand ist mit folgenden Einschränkungen möglich:

- Bis zu vier Starts am Tag bzw. max. 1000 Starts im Jahr
- Zwei Stunden Mindestlaufzeit nach einem Start

Zur Bereitstellung von Sekundärenergie und Tertiärregelenergie sind beim Start aus dem Stillstand die Aggregate der Baureihen TCG 3016, TCG 2020 und TCG 3020 einsetzbar. Die Aggregate der Baureihe TCG 2032 können nur Tertiärregelenergie zur Verfügung stellen.

Zur Verminderung des Verschleißes bei diesen Aggregaten tragen Anpassungen an der Vorschmierung und an der Vorwärmung bei. Speziell auf den Flexbetrieb abgestimmte Wartungspläne und Instandhaltungspläne garantieren eine hohe Verfügbarkeit der Aggregate.

3.3 Fast Ramp-Up

Der britische nationale Netzbetreiber fordert den Zugang zu Extra-Stromleistung, die als zusätzliche Stromerzeugung oder Stromabschaltung für bestimmte Zeiträume eines Tages zur Verfügung steht. Diese Extraleistung dient zum Ausgleich von Situationen, bei denen der Strombedarf im Netz höher oder niedriger ist als der prognostizierte Bedarf.

Diese Extraleistung bezeichnet man als STOR (Short Term Operating Reserve) und wird vom nationalen Netzbetreiber bei privaten oder öffentlichen Stromanbietern mit individuell festgelegten Vertragsbedingungen eingekauft. Für die Beteiligung am STOR-Programm muss neben anderen Bedingungen die bereitgestellte Leistung mindestens 3 MW betragen.

Zur Darstellung von schnellen Antwortzeiten innerhalb des STOR-Programms wurde innerhalb der TEM-Steuerung die Option "Fast Ramp-Up (FRU)" entwickelt. Diese Option ermöglicht es, einen "kalten" Motor in kurzer Zeit auf Nennleistung zu fahren. Diese Option ist für die Aggregate TCG 2020 V20 und TCG 2032B V16 freigegeben.

3.4 Leistungsangaben auf den Typenschildern

Bei einem Generator-Aggregat haben Motor, Generator und das Aggregat jeweils ein eigenes Typenschild.

3.4.1 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.

Weitere Erweiterungen können sein:

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

3.4.2 Typenschild des Generators

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

3.4.3 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 kWel (Kilowatt elektrisch).

Aggregate mit Gasmotoren sind für den Dauerbetrieb konzipiert. Auf dem Aggregatetypenschild ist deshalb immer die Leistungsart COP angegeben.

4 BHKW Aggregat

Inhaltsverzeichnis

4.1	Aggregateaufbau.....	26
4.2	Aggregat.....	27
4.2.1	Motorüberwachung und Verkabelung.....	27
4.2.2	Aggregatebeispiele.....	38
4.3	Generator.....	44
4.3.1	Allgemeines.....	44
4.3.2	Generatorregelung.....	44
4.3.3	Generatorschutz.....	46
4.3.4	Erdung.....	47

4.1 Aggregateaufbau

Aggregate bestehen aus folgenden Hauptkomponenten:

- Gasmotor
- Generator
- Drehelastische Kupplung
- Grundrahmen
- Elastische Lagerelemente

Bei den Baureihen TCG 2020, TCG 3020 und TCG 2032 sind Motor und Generator drehelastisch miteinander gekuppelt und starr auf dem Grundrahmen befestigt. Der Grundrahmen steht mittels elastischer Lagerelemente auf dem Fundament.

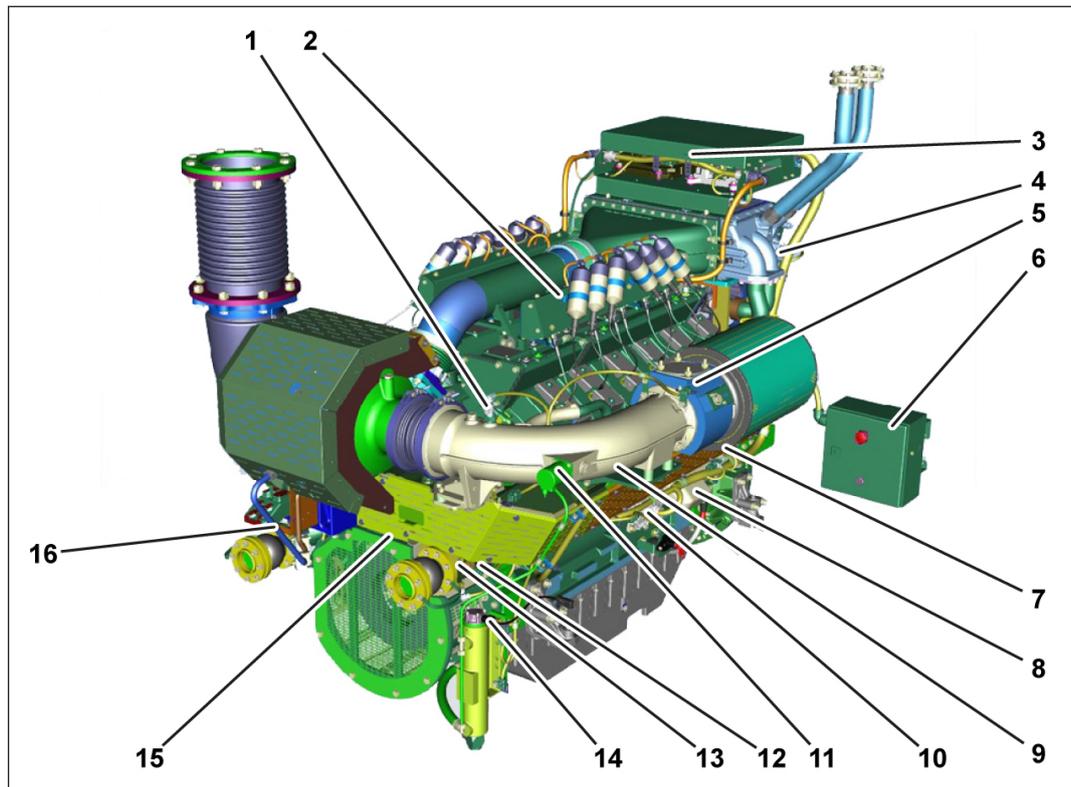
Bei der Baureihe TCG 3016 ist der Motor mit dem Generator über ein Flanschgehäuse fest verbunden. Die Drehmomentübertragung vom Motor zum Generator übernimmt eine drehelastische Kupplung. Die über das Flanschgehäuse verbundene Einheit Motor/Generator ist mit Gummielementen auf dem Grundrahmen elastisch gelagert. Der Grundrahmen ist starr auf dem Aggregatefundament aufgestellt. Am Aggregat sind alle elastischen Anschlüsse für die Betriebsstoffsysteme montiert. Hilfsaggregate wie Vorschmierung und Schmierölniveau-Überwachung sind am Grundrahmen angebaut.

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

4.2 Aggregat

4.2.1 Motorüberwachung und Verkabelung

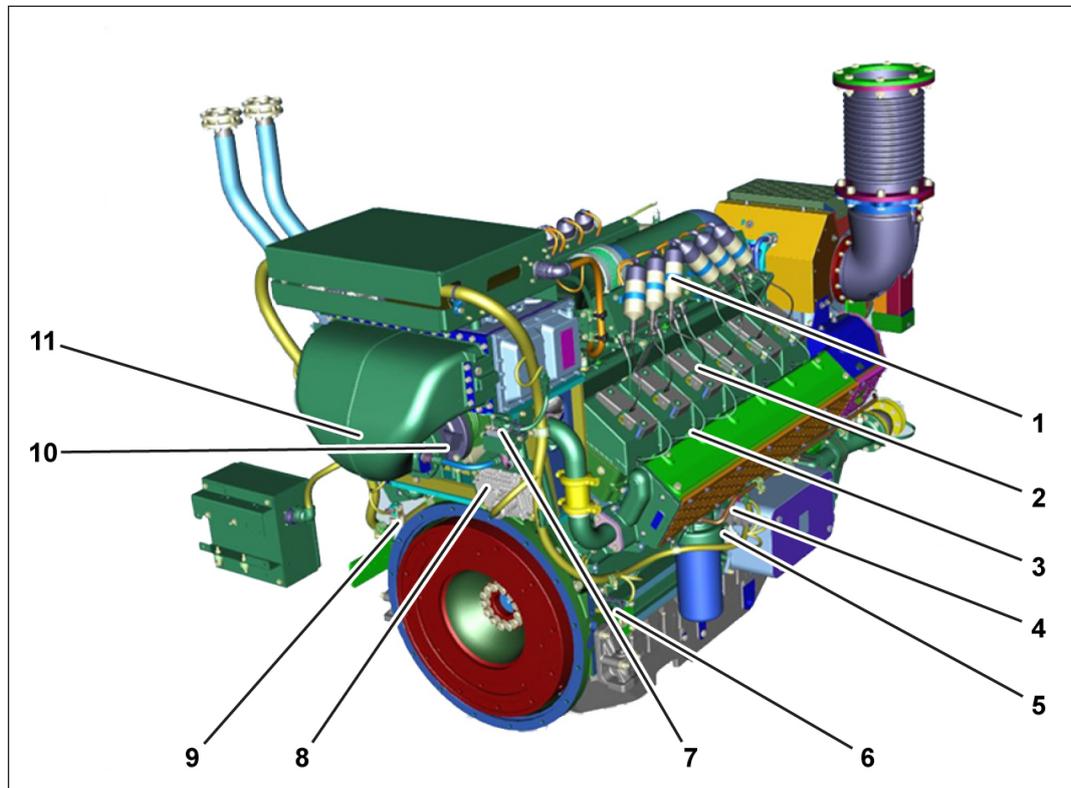
Der Gasmotor ist mit Gebern zur Überwachung und Steuerung ausgerüstet. Die Geber sind auf einer Multifunktionsschiene auf Zylinderreihe A und B verkabelt. Von jeder Multifunktionsschiene führen Sammelkabel zum TEM-/TPEM-System ⇒ Kapitel 15.2 TEM-System für Gasmotoren 189 und Kapitel 15.3 TPEM-System für Gasmotoren 194. Am Motor sind an der Kupferschiene alle zu erdenden Teile angeschlossen. Die Kupferschiene muss mit dem Erdungssystem der Schaltanlage verbunden sein. Einen Überblick der Überwachung zeigen die anschließenden Motordarstellungen.



67159-001 Motor TCG 3016 V12 - TPEM Komponenten und Geberanordnung

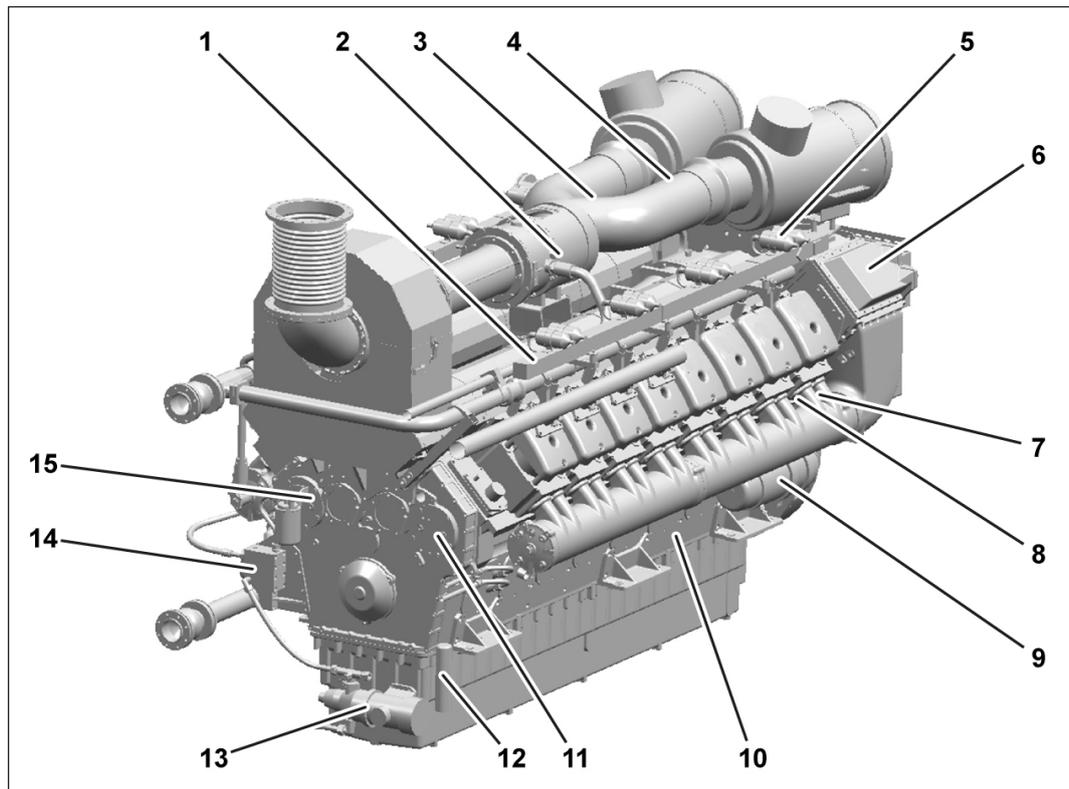
- 1 Gemisch-Tempersensoren vor Abgasturbolader
- 2 Receiver-Drucksensoren
- 3 TPEM Control Unit (TPEM CU)
- 4 Kühlflüssigkeits-Tempersensoren (Niedertemperaturkreis Eingang)
- 5 Näherungsschalter Gasmischerposition
- 6 TPEM Connection Box
- 7 Starterrelais
- 8 Starter
- 9 Klopfensensoren, jeweils ein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

- 14 Schmieröl-Niveausensor
- 15 Nockenwellensensor
- 16 Kühlflüssigkeits-Tempersensoren (Hochtemperatur Eingang)



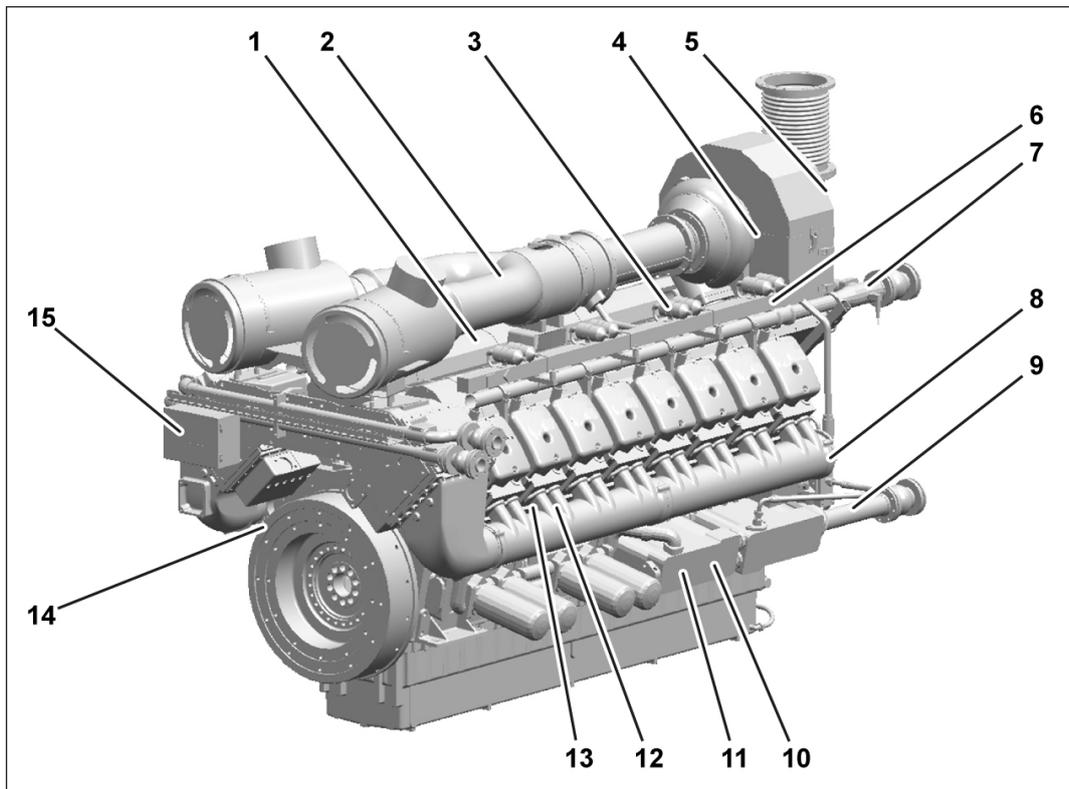
67160-001 Motor TCG 3016 V12 - TPEM Komponenten und Geberanordnung

- 1 Zündspule, jeweils eine Zündspule pro Zylinder
- 2 Zündkerze, jeweils eine Zündkerze pro Zylinder
- 3 Brennraum-Tempersensoren, jeweils ein Sensor pro Zylinder
- 4 Schmieröl-Drucksensoren
- 5 Schmieröl-Tempersensoren
- 6 Schwungradsensoren
- 7 Differenzdrucksensoren - Drosselklappe
- 8 Steuergerät - Drosselklappe / Wastegate (nur bei V16)
- 9 Starterrelais
- 10 Drosselklappe
- 11 Receiver-Tempersensoren



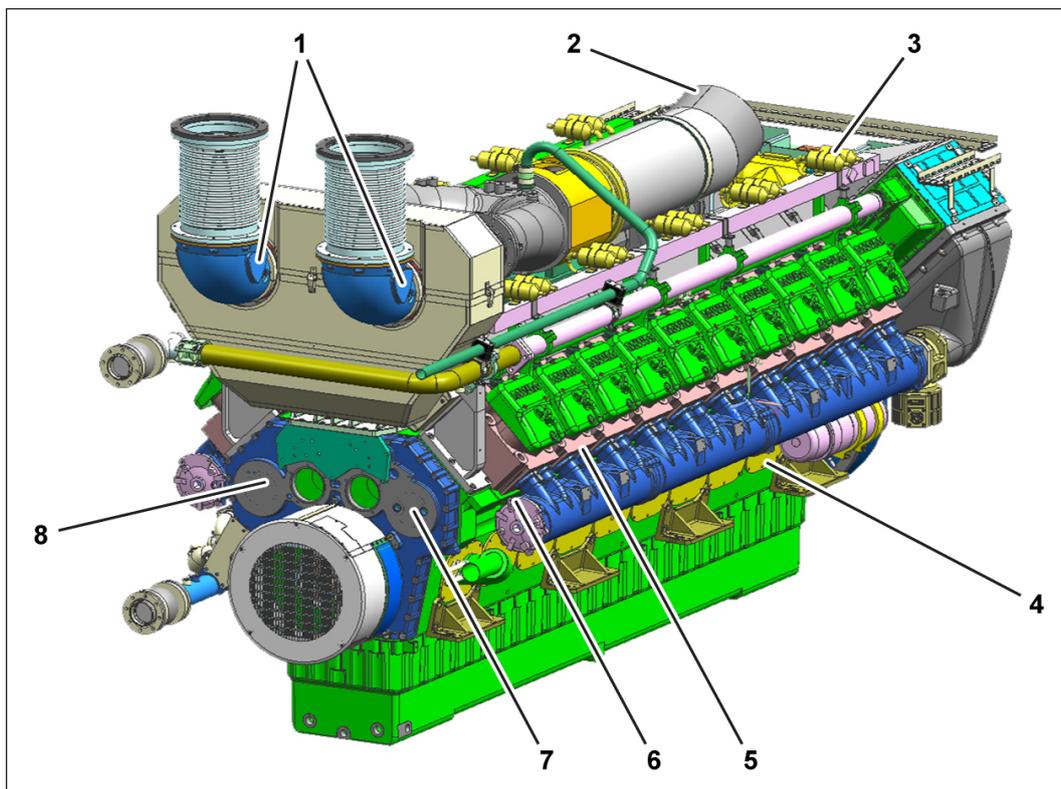
67161-001 Motor TCG 2020 K - Geberanordnung

- 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



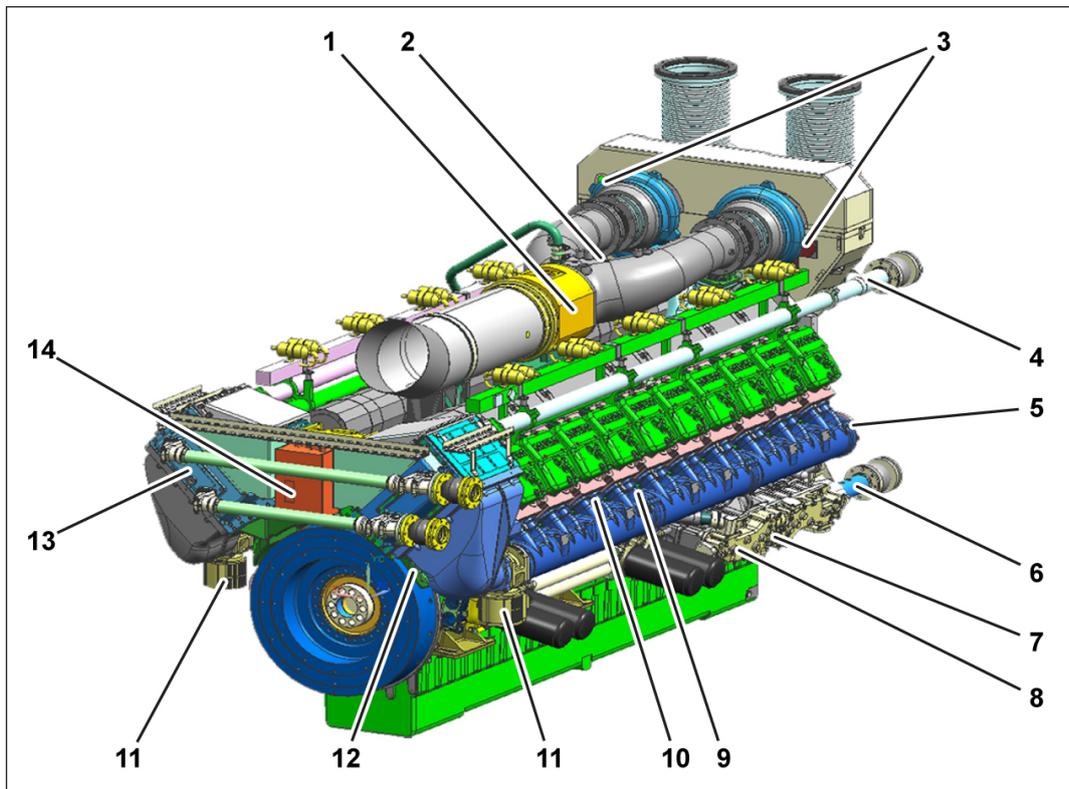
67162-001 Motor TCG 2020 V12 / TCG 2020 V16 - Geberanordnung

- 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



67163-001 Motor TCG 2020 V20 - Geberanordnung

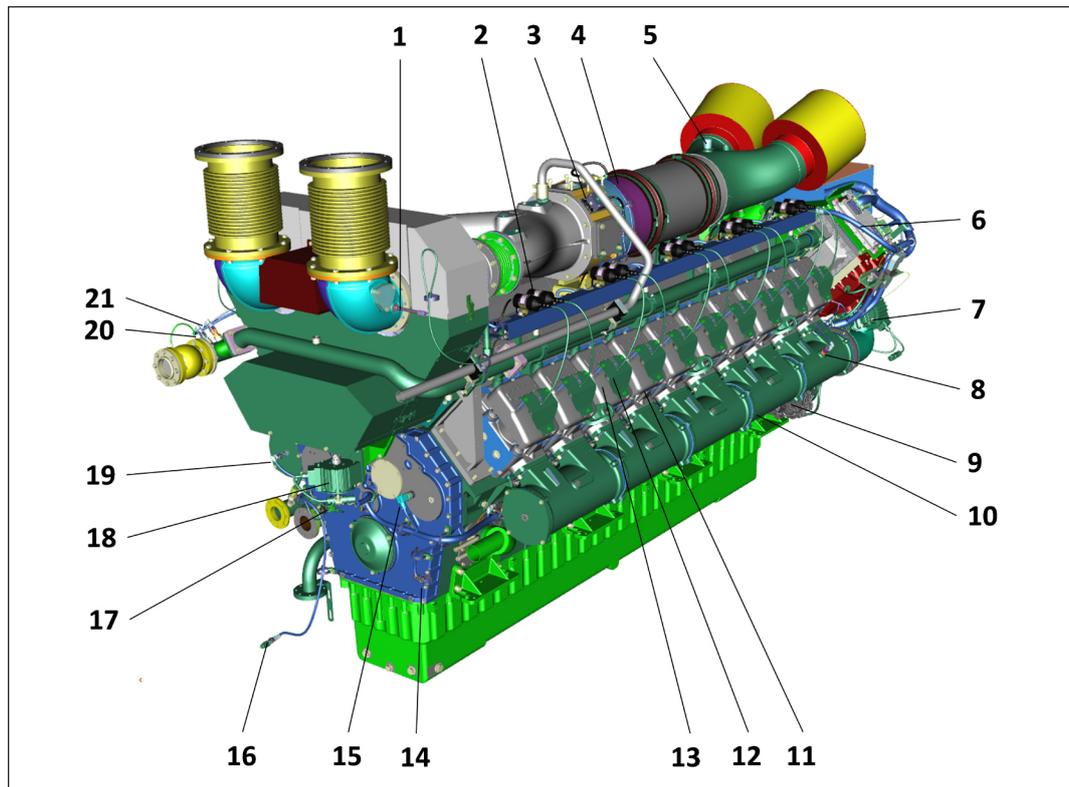
- 1 Abgasturbolader-Temperatursensor
- 2 Ansaugluft-Temperatursensor
- 3 Zündspule, jeweils eine Zündspule pro Zylinder
- 4 Starterrelais
- 5 Brennraum-Temperatursensor, jeweils ein Sensor pro Zylinder
- 6 Klopfsensor, jeweils ein Sensor pro Zylinder
- 7 Kurbelgehäuse-Drucksensor
- 8 Nockenwellensensor



67164-001 Motor TCG 2020 V20 - Geberanordnung

- 1 Näherungsschalter Gas-Luft-Mischer
- 2 Schrittmotor Gas-Luft-Mischer
- 3 Abgasturbolader-Drehzahlsensor
- 4 Kühlflüssigkeits-Temperatursensor (Motoraustritt)
- 5 Gemisch-Temperatursensor
- 6 Kühlflüssigkeits-Temperatursensor (Motoreintritt)
- 7 Schmieröl-Temperatursensor
- 8 Schmieröl-Drucksensor
- 9 Klopfsensor, jeweils ein Sensor pro Zylinder
- 10 Brennraum-Temperatursensor, jeweils ein Sensor pro Zylinder
- 11 Stellgerät
- 12 Schwungrad-Impulssensor
- 13 Kühlflüssigkeits-Temperatursensor vor Gemischkühler
- 14 Zündsteuergerät

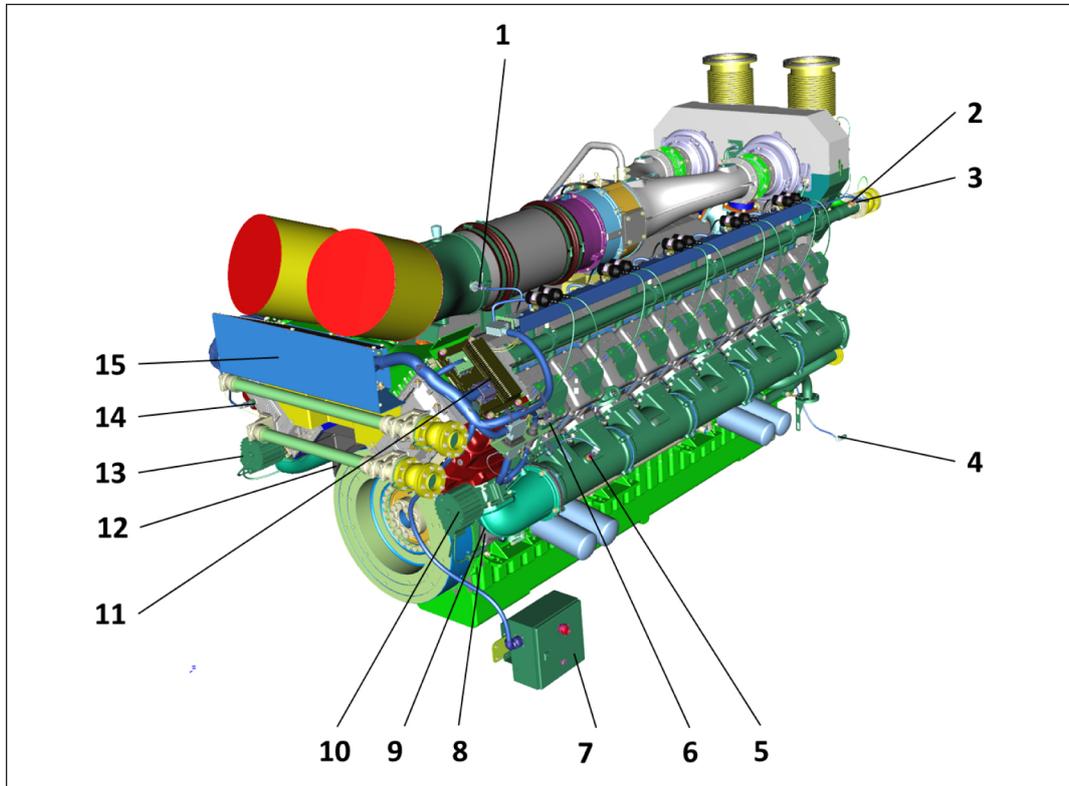
178-003-DE :: BA : VAR, COV, IMP, B, BA, BS, DEM, EIN, IBN, IST, WP, SK, MH, SB, STB, TA, TL



69023-001 Motor TCG 3020 V20 - Geberanordnung

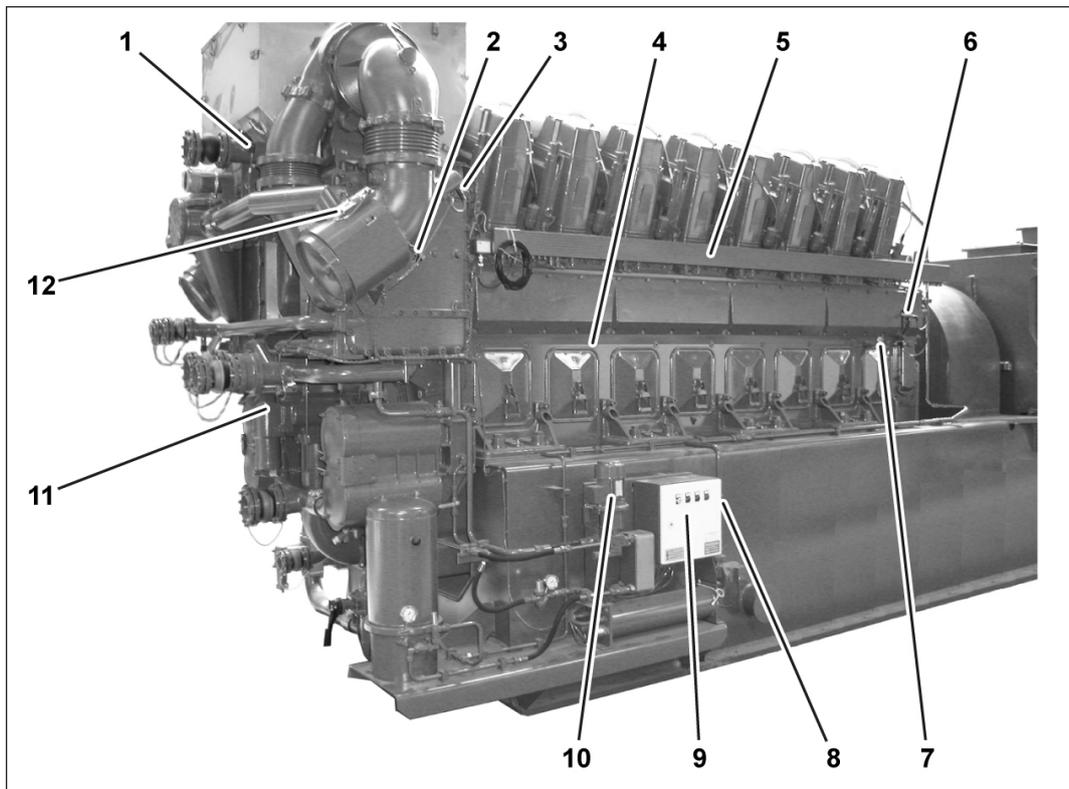
- 1 Abgasturbolader-Temperatursensor
- 2 Zündspule, jeweils eine Zündspule pro Zylinder
- 3 Näherungsschalter Gas-Luft-Mischer
- 4 Schrittmotor Gas-Luft-Mischer
- 5 Wartungsanzeiger - Verbrennungsluftfilter
- 6 Steuergerät
- 7 Stellgerät - Drosselklappe (Zylinderreihe A)
- 8 Gemisch-Drucksensor (Zylinderreihe 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 (MOTORAUSTRITT)

21 Kühlflüssigkeits-Temperatursensor (Motorausritt)



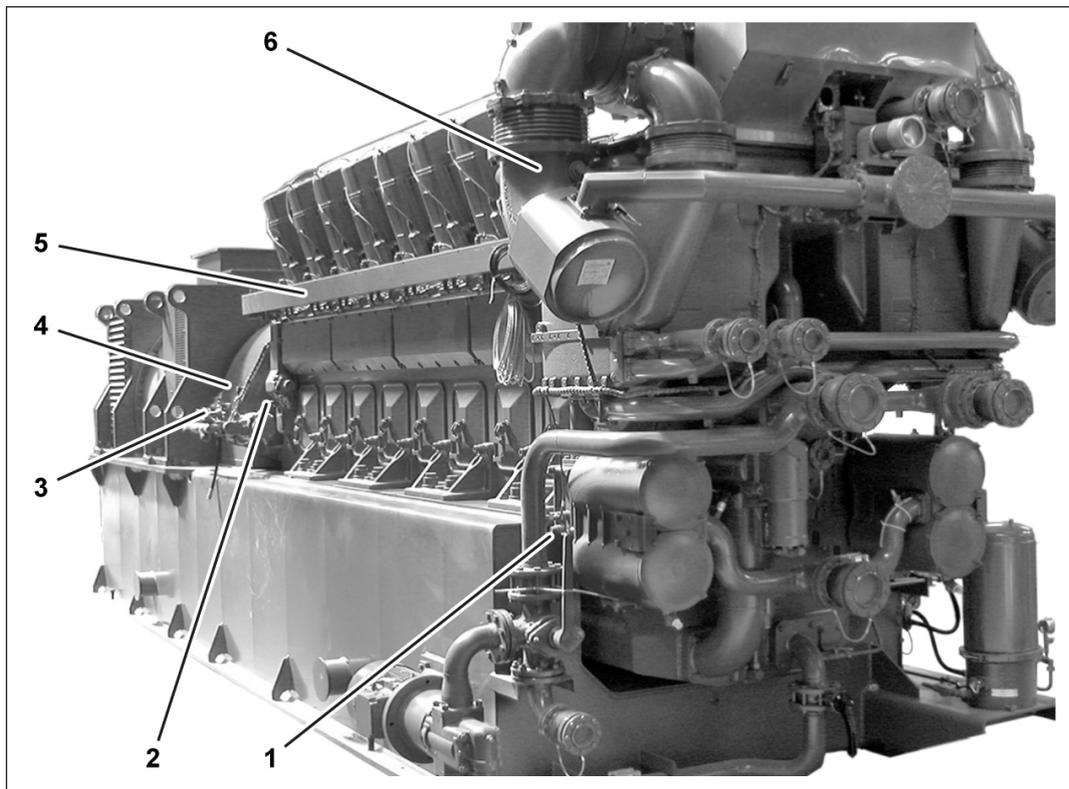
69024-001 Motor TCG 3020 V20 - Geberanordnung

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



67165-001 Motor TCG 2032 - Geberanordnung

- 1 Kühlflüssigkeits-Tempersensoren (Hochtemperaturkreis Austritt)
- 2 Gemisch-Tempersensoren, jeweils ein Sensor pro Gas-Luft-Mischer
- 3 Schrittmotor Gas-Luft-Mischer, jeweils ein Schrittmotor pro Gas-Luft-Mischer
- 4 Je nach Ausführung - Grundlager-Tempersensoren
- 5 Multifunktionsschiene Zylinderreihe A
- 6 Nockenwellensensoren
- 7 Kurbelgehäuse-Drucksensoren
- 8 Elektrische Pumpe für Vorwärmaggregat (Kühlflüssigkeit)
- 9 Elektrisches Vorwärmgerät für Kühlflüssigkeit und Schmieröl
- 10 Elektrische Pumpe für Vorwärmaggregat (Schmieröl)
- 11 Kühlflüssigkeits-Tempersensoren (Hochtemperaturkreis Eintritt)
- 12 Näherungsschalter Gas-Luft-Mischer (jeweils ein Schalter pro Gas-Luft-Mischer)

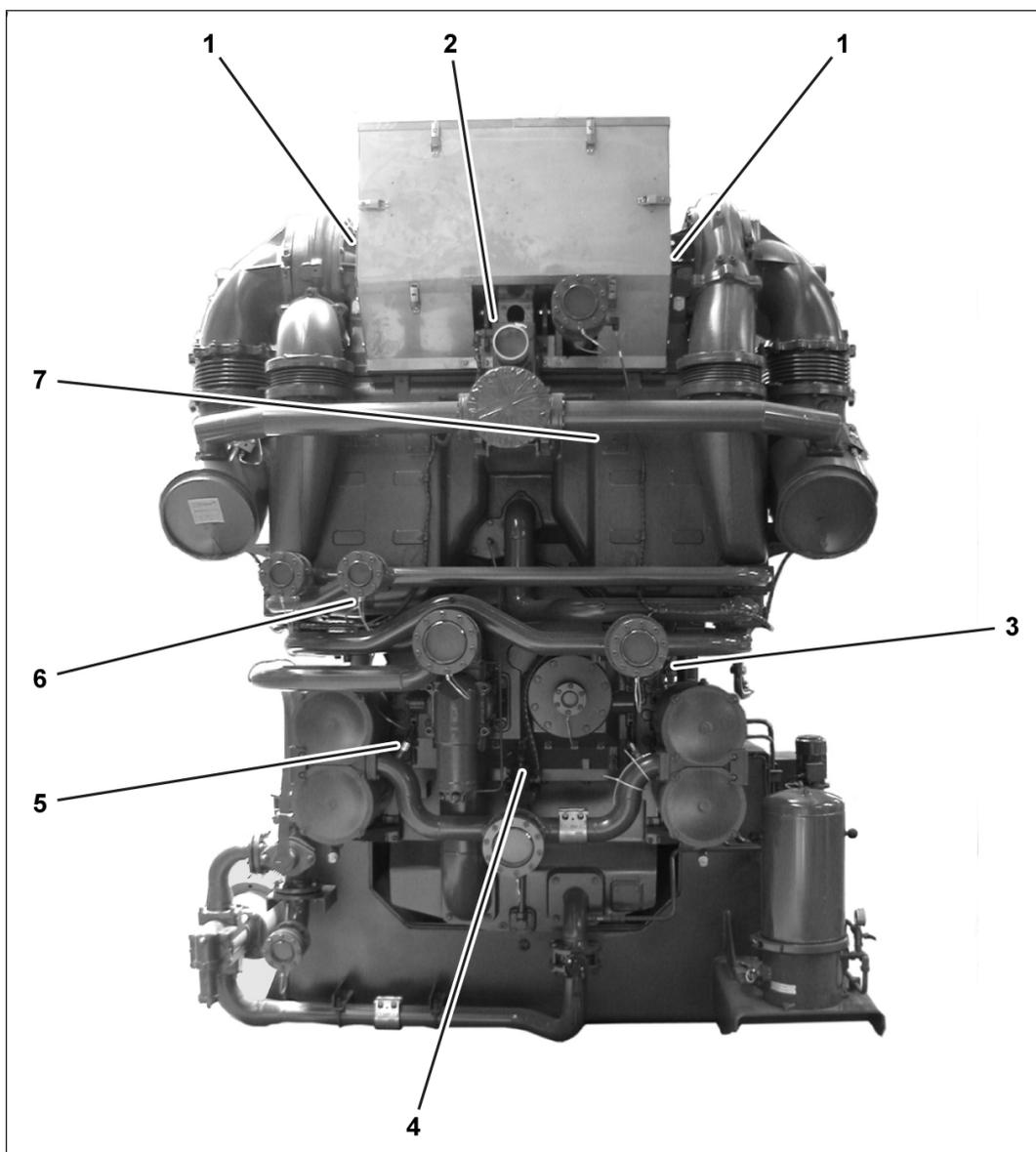


67166-001 Motor TCG 2032 - Geberanordnung

- 1 Schmieröl-Temperatursensor
- 2 Anlasssicherung für Motortörnvorrichtung
- 3 Magnetventil für Druckluftstarter
- 4 Schwungradsensor - Anbauort je nach Ausführung
- 5 Multifunktionsschiene Zylinderreihe B
- 6 Ladegemisch-Temperatursensor, jeweils ein Sensor für A-Seite und B-Seite

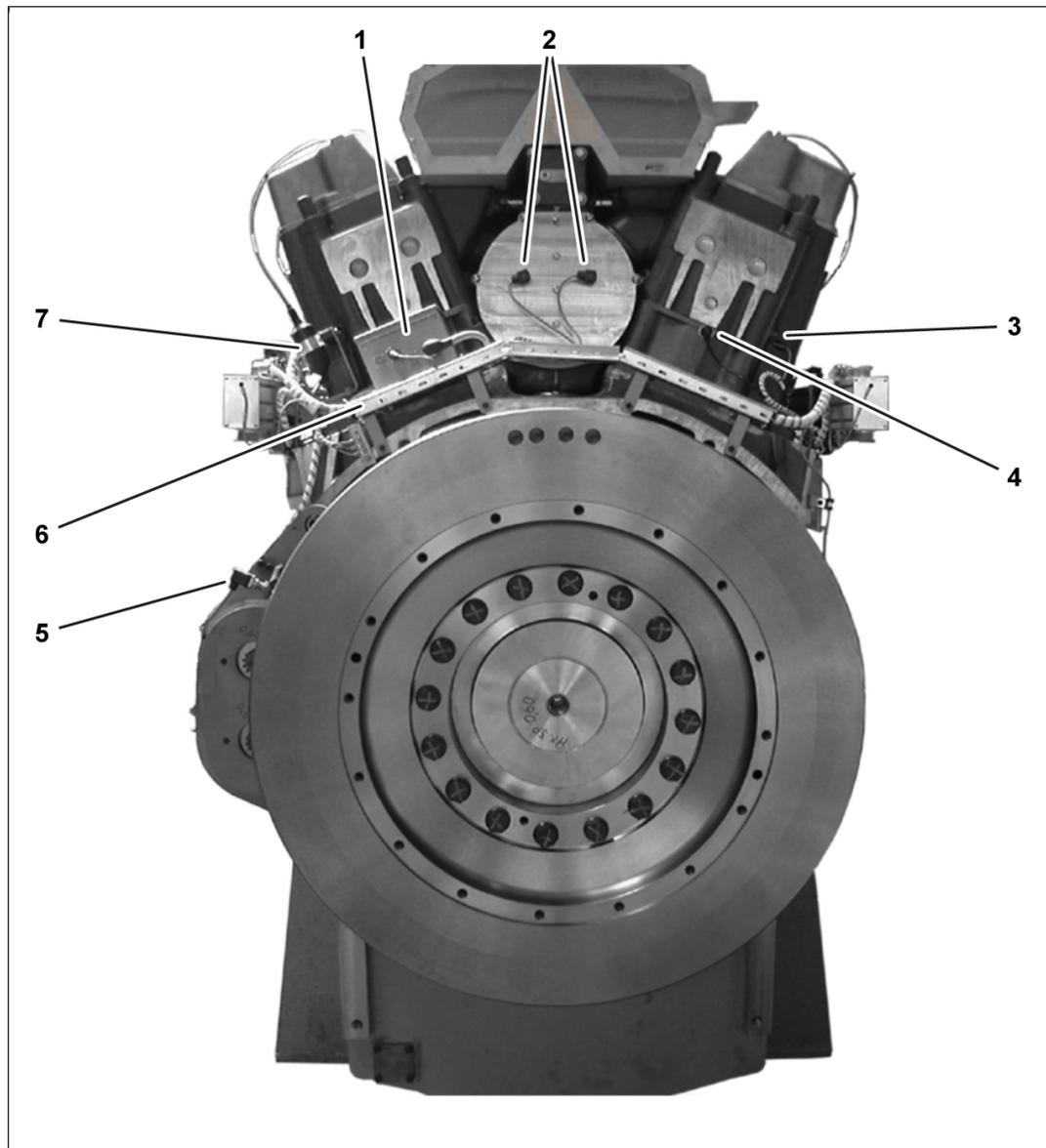
V12-Motor zwischen Zylinder A4 und A5 sowie vor B6

V16-Motor zwischen Zylinder A6 und A7 sowie vor B8



67167-001 Motor TCG 2032 - Geberanordnung

- 1 Abgasturbolader-Drehzahlsensor, jeweils ein Sensor pro Abgasturbolader
- 2 Stellgerät
- 3 Kühlflüssigkeits-Temperatursensor (Hochtemperaturkreis Eintritt)
- 4 Schmieröl-Niveausensor
- 5 Schmieröl-Drucksensor (Schmieröldruck vor Schmierölfilter)
- 6 Kühlflüssigkeits-Temperatursensor (Niedertemperaturkreis Eintritt)
- 7 Ladegemisch-Drucksensor A-Seite, Gemischkühler - je nach Ausführung



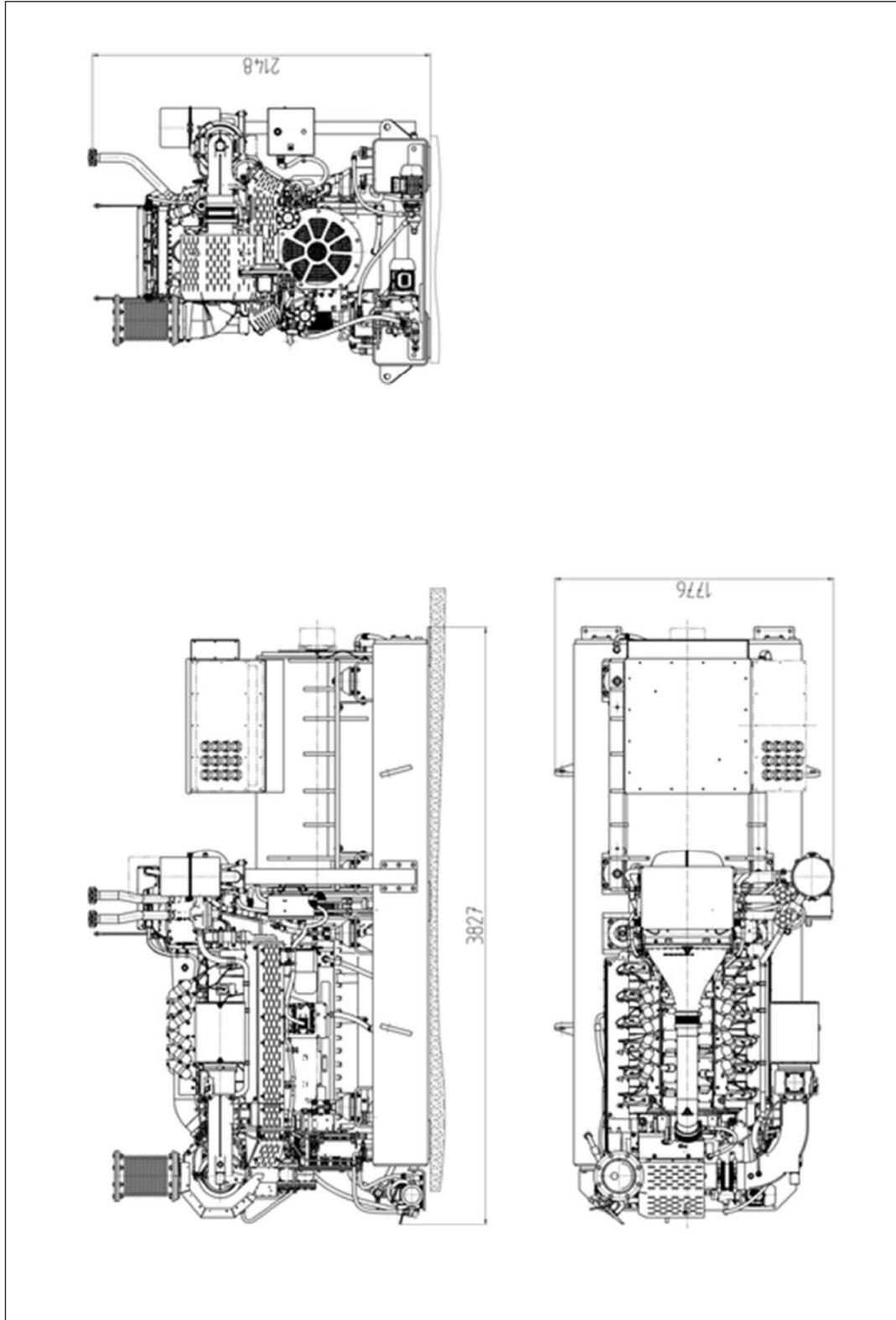
67169-001 Motor TCG 2032 - Geberanordnung

- 1 Zündsteuergerät
- 2 Ladegemisch-Drucksensor, jeweils ein Sensor für A-Seite und B-Seite
- 3 Brennraum-Temperatursensor, jeweils ein Sensor pro Zylinder
- 4 Klopfsensor, jeweils ein Sensor pro Zylinder
- 5 Schwungradsensor - Anbauort je nach Ausführung
- 6 Schmieröl-Drucksensor (Schmieröldruck nach Filter)
- 7 Zündspule, jeweils eine Zündspule pro Zylinder

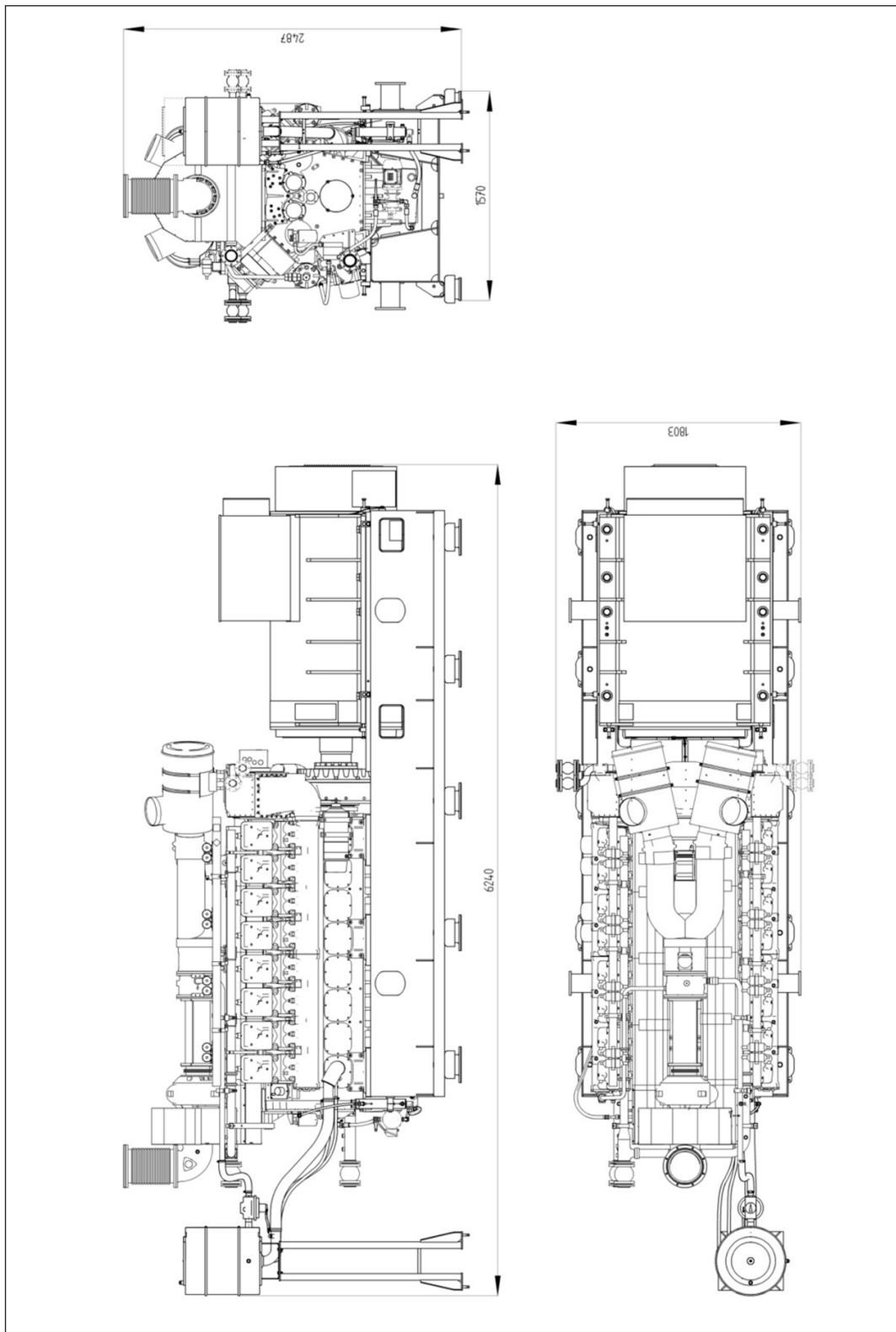
4.2.2 Aggregatebeispiele

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen Aggregate mit Gasmotoren der Baureihen TCG 3016, TCG 2020, TCG 3020, TCG 2032.

178-003-DE:: BA: VAR, COV, IMP, B, BA, BS, DEM, EIN, IBN, IST, WP, SK, MH, SB, STB, TA, TL



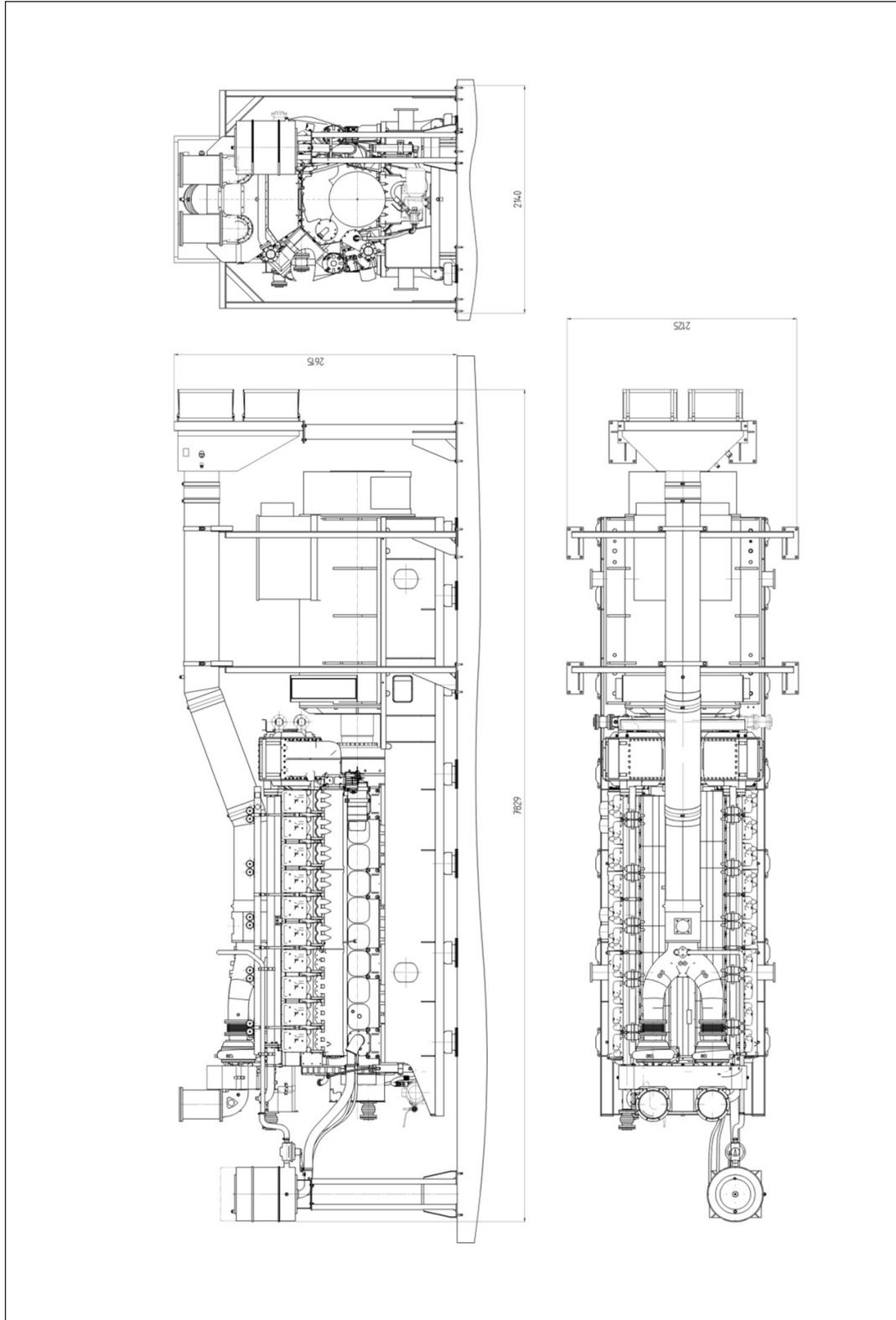
67171-001 Aggregat mit TCG 3016 V12, Aggregatgewicht ca. 6800 kg (Transport)



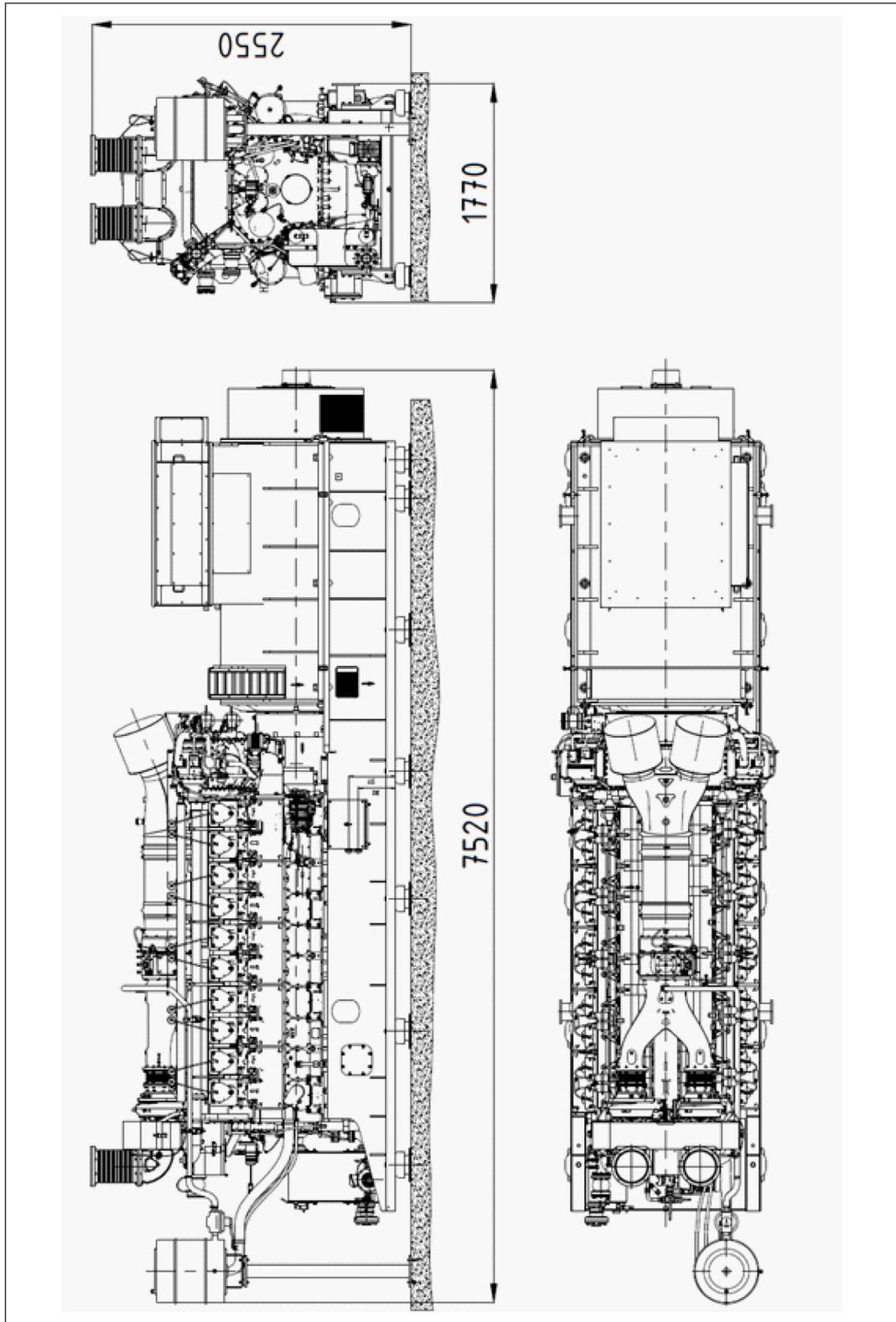
67172-001 Aggregat mit TCG 2020 V16 ,Aggregatgewicht ca. 13320 kg (Transport)

178-003-DE : : BA : VAR, COV, IMP, B, BA, BS, DEM, EIN, IBN, IST, WP, SK, MH, SB, STB, TA, TL

178-003-DE::BA:VAR,COV,IMP,B,BA,BS,DEM,EIN,IBN,IST,WP,SK,MH,SB,STB,TA,TL



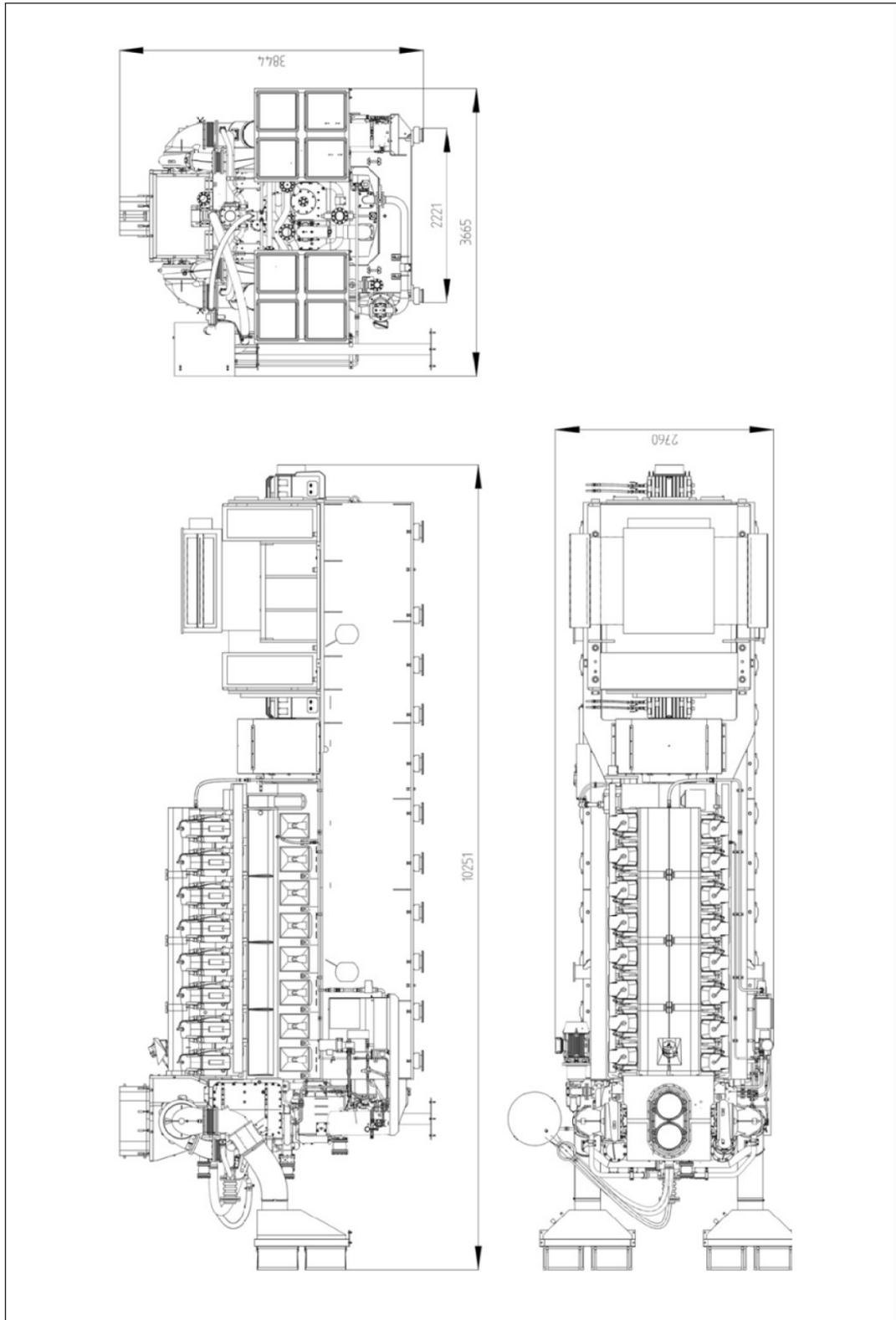
67173-001 Aggregat mit TCG 2020 V20, Aggregatgewicht ca. 17900 kg (Transport)



69058-001 Aggregat mit TCG 3020 V20, Aggregatgewicht ca. 20700 kg (Transport)

178-003-DE :: BA : VAR, COV, IMP, B, BA, BS, DEM, EIN, IBN, IST, WP, SK, MH, SB, STB, TA, TL

178-003-DE:: BA : VAR, COV, IMP, B, BA, BS, DEM, EIN, IBN, IST, WP, SK, MH, SB, STB, TA, TL



67174-001 Aggregat mit TCG 2032 V16, Aggregatgewicht ca. 51400 kg (Transport)

4.3 Generator

4.3.1 Allgemeines

Zum Einsatz kommen standardmäßig bürstenlose Synchrongeneratoren, die je nach Einsatzfall für den Netzparallelbetrieb und/oder 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 $\cos(\phi)$ zwischen 95,0 % und 98 % bei Vollast.

So hat z. B. ein 494 kVA-Generator bei einem $\cos(\phi) = 0,8$ einen Wirkungsgrad von 95,5 %. Ein 5336 kVA Mittelspannungs-Generator bei einem $\cos(\phi) = 0,8$ einen Wirkungsgrad von 97,2 %. Wird der Generator bei einem $\cos(\phi) = 1$ betrieben, so erhöht 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.

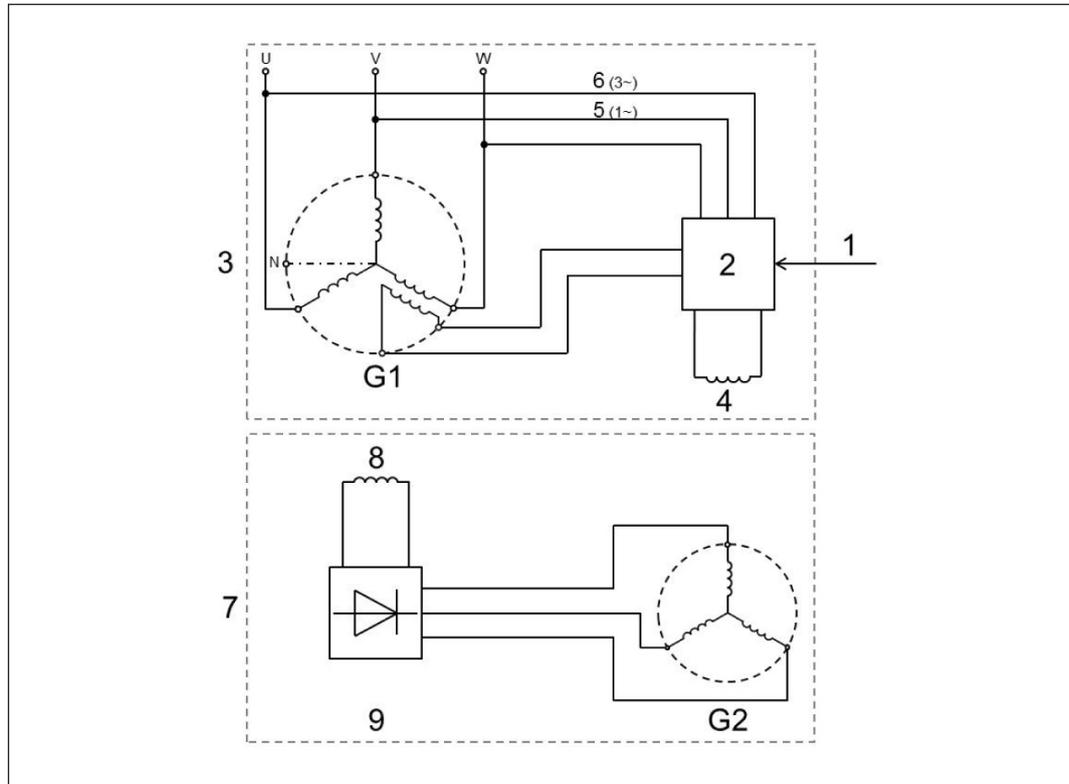
Die Generatoren sind nach DIN VDE 0530/IEC 60034 für eine Umgebungstemperatur von 40 °C und einer Aufstellungshöhe bis 1000 m ausgelegt. Bei höheren Umgebungstemperaturen bzw. einer höheren Aufstellung ist eine Leistungsreduktion gemäß den Herstellerangaben notwendig.

Alle Generatoren können dauerhaft bei voller Wirkleistungsabgabe im Frequenzbereich $f_n \pm 2 \% f_n$ bei Verschiebungsfaktoren von 0,8 übererregt bis 1 eingesetzt werden. Wenn die Generatoren zur Blindleistungskompensation eingesetzt werden, kann im Netzparallelbetrieb der $\cos(\phi)$ am Netzanschlusspunkt verbessert werden. Bei entsprechenden lokalen oder länderspezifischen Anforderungen in den Netzanschlussregeln kommen Generatoren zum Einsatz, die bei voller Wirkleistungsabgabe und im Frequenzbereich $f_n + 3 \% f_n / f_n$ bis $5 \% f_n$ im Verschiebungsfaktorbereich von 0,8 übererregt bis 0,95 untererregt dauerhaft betrieben werden können. Die unterschiedlichen Vorgaben am Anschlusspunkt sind dabei stets bei der Auslegung zu berücksichtigen. Für den Einsatz außerhalb des genannten Bereichs ist der Generator speziell auszulegen.

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

4.3.2 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 Unicontrol) ist es möglich, dem Regler extern Sollwerte vorzugeben. Der Generatorregler ist in der Regel im Generatorklemmenkasten eingebaut. Den systematischen Aufbau zeigt Abbildung 67176.

Generatorregelungssystem (beispielhaft mit Versorgung aus einer Hilfswicklung)


67176-001 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 Ausgangsleichstrom 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. Kommt ein analoger Generatorregler zum Einsatz, ist der Sollwert über einen Sollwertsteller vorzugeben. Der Generatorregler misst die Generatorklemmenspannung dreiphasig entweder direkt oder über Spannungswandler sowie den Generatorstrom einphasig über einen Stromwandler und berechnet daraus den Istwert der Regelgröße. 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.

4.3.3 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 Entkupplungsschutzfunktionen 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.

Das TPEM-System übernimmt das Multi-Funktions-Relais (MFR) neben Synchronisationsfunktionen auch Funktionen zur Überwachung des Generators und Entkupplungsschutzfunktionen an der Erzeugungseinheit. Das MFR ist serienmäßig im TPEM Control Cabinet (TPEM CC) eingebaut => Kapitel 15.3 TPEM-System für Gasmotoren 194.

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

Generatorschutzfunktionen					
Nummer nach ANSI/IEE C37-2	Bezeichnung	TEM MFR	TPEM MFR im TPEM CC	LV ¹	MV ²
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

Generatorschutzfunktionen					
Nummer nach ANSI/IEE C37-2	Bezeichnung	TEM MFR	TPEM MFR im TPEM CC	LV ¹	MV ²
51/51V	Abhängiger Überstromzeitschutz	x	x	x	x
87G	Generatordifferenzialschutz				x
50N/51N	Statorerdschlussschutz				x

¹ Bei Niederspannungsgeneratoren notwendig ($U_N \leq 1000 \text{ V}$)
² Bei Mittelspannungsgeneratoren notwendig ($U_N > 1000 \text{ V}$)

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 zu überwachen. Aggregate mit der TPEM-Steuerung verfügen darüber hinaus generell über die Funktionalität der Überwachung der Generatorlagertemperaturen.

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

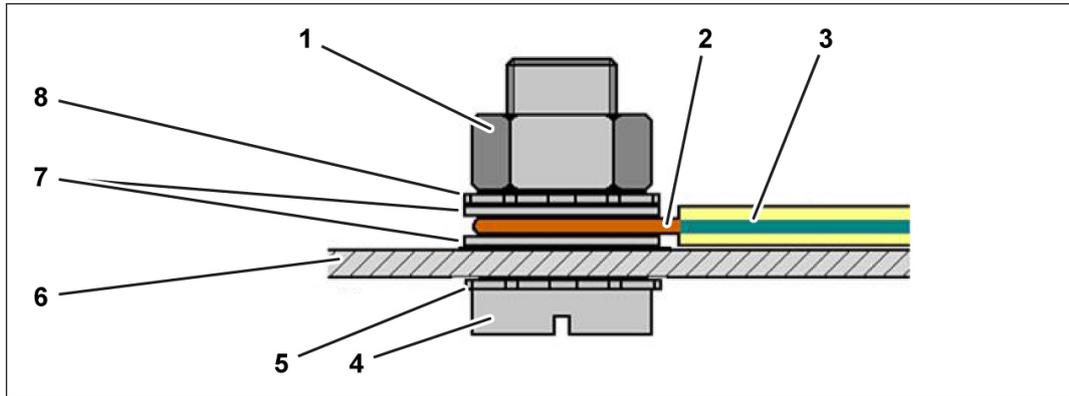
4.3.4 Erdung

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

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 Abb. 67178).

Der Schutzleiter wird vom Generatorgehäuse zum Haupterde der Anlage verlegt. Die Verlegung ist kurzschlussfest auszuführen. Der Anschluss des Schutzleiters ist nach der Vorgabe in Abb. 67177 auszuführen.

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.



67177-001 Empfohlene Schraubverbindung eines Schutzleiters

- 1 Mutter
- 2 Kabelschuh
- 3 Schutzleiter
- 4 Schraube
- 5 Zahnscheibe
- 6 Gehäuse
- 7 Unterlegscheibe
- 8 Zahnscheibe

Der Querschnitt des Schutzleiters wird über folgende Formel berechnet:

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

67336-002 Formel: Querschnitt des Schutzleiters

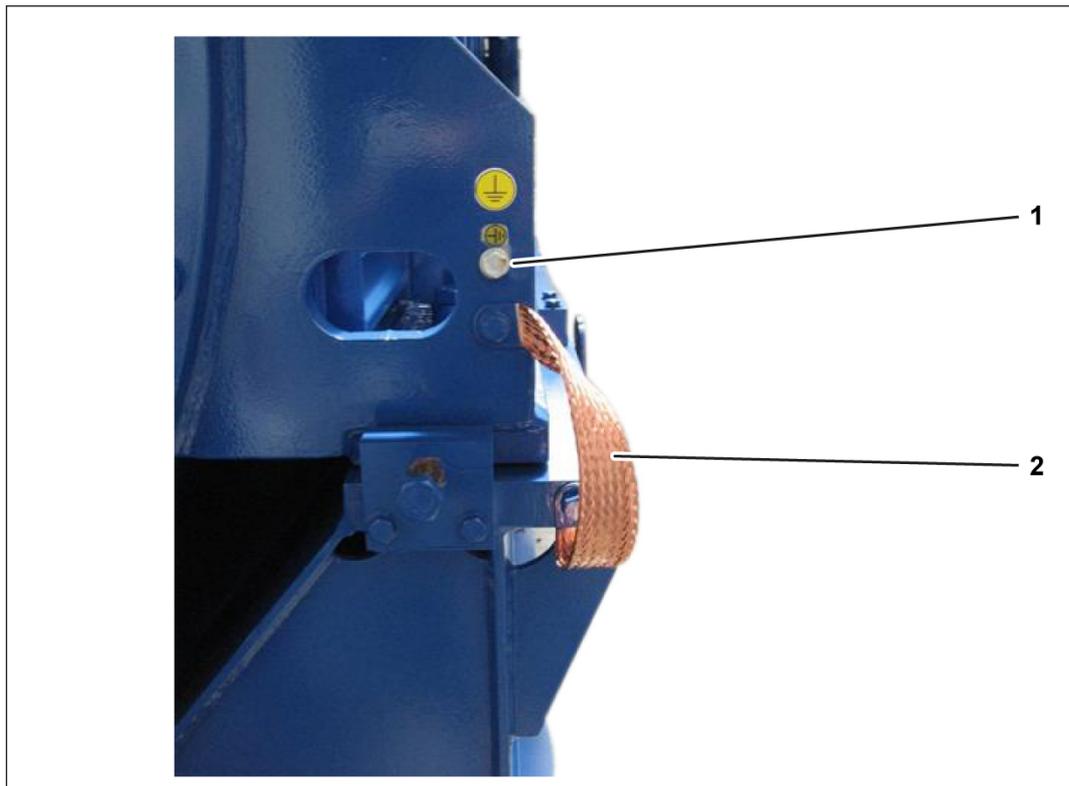
- S Querschnitt in mm²
- I_k'' Anfangskurzschlusswechselstrom in A
- k Beiwert, der vom Leitermaterial abhängig ist (z.B. 143 für Kupfer)
- t Zeit, in welcher der Fehlerstrom über den Leiter fließt

Um nicht jeden Fall einzeln betrachten zu müssen, lautet die Empfehlung für den Querschnitt des Schutzleiters bei Niederspannung 240 mm² für die Aggregate der Baureihe TCG 3016 und 300 mm² für die Aggregate der Baureihe TCG 2020 und TCG 3020. Bei Mittelspannungsaggregaten kann für alle Baureihen ein Querschnitt von 95 mm² verwendet werden. Diese Angaben beziehen sich nur auf Kupferleiter, für andere Materialien muss eine Berechnung erfolgen.

Der Schutzpotenzialausgleich dient als Schutz bei indirektem Berühren. Der Schutzpotenzialausgleich sorgt dafür, dass die Potentialdifferenz zwischen metallischen Teilen stets unter 50 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 Aggregatgrundrahmen 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 mm²) 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.



67178-001 Anschluss Schutzleiter am Generator

- 1 Anschluss für den PE
- 2 Schutzpotenzialausgleich

5 Anforderungen für die Aufstellung des Aggregats

Inhaltsverzeichnis

5.1	Aggregaterraum.....	52
5.1.1	Standort.....	52
5.1.2	Anforderungen an den Aggregaterraum.....	52
5.2	Fundamentierung und Schwingungsdämpfung.....	54
5.2.1	Fundamentblock.....	54
5.2.2	Elastische Lagerung.....	54
5.2.3	Unebene Fundamentoberflächen und Fundamentgefälle.....	55
5.2.4	Beurteilung von Schwingungen.....	55
5.2.5	Kabelkanäle und Rohrkanäle.....	55
5.3	Geräuscentwicklung.....	56
5.3.1	Akustische Abhängigkeiten.....	56
5.3.2	Möglichkeiten der Geräuschminderung.....	58
5.3.3	Schallangaben in Aggregatedatenblättern.....	59

5.1 Aggregaterraum

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.

5.1.1 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. Geräuschanforderung und Schwingungsanforderungen führen aber oft dazu, Aggregate abseits, vor allem abseits von Wohnbebauung, aufzustellen.

Bei einem eigenen Gebäude für die Energieerzeugung sind die Fragen der Raumbelüftung, Schwingungsisolierung, Zuführung und Lagerung von Kraftstoffen, als auch die Einbringung und Zugänglichkeit in der Regel leichter zu lösen.

Aggregaterräume 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 Aggregaterraum 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

5.1.2 Anforderungen an den Aggregaterraum

Der Aggregaterraum soll ausreichend groß bemessen sein. In zu kleinen Räumen ist, von der erschwerten Bedienung und Wartung abgesehen, auch das Belüftungsproblem nur schwierig zu lösen.

Einen freien Raum bei TCG 3016, TCG 2020 und TCG 3020 von etwa 1 m Breite und bei größeren Motoren von etwa 2 m Breite rings um das Aggregat sollten unter allen Umständen 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 mal 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 ⇒ 6.1.1 Maschinenraumbelüftung 68.

In keinem Aggregaterraum darf ein fest installiertes Hebezeug (Kran) fehlen. Die Tragfähigkeit muss dem Gewicht des schwersten im Raum vorhandenen Einzelteils entsprechen. 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.

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. Ziel dieser Maßnahmen ist die Verringerung des Eintrages von Körperschallemissionen in die Umgebung.

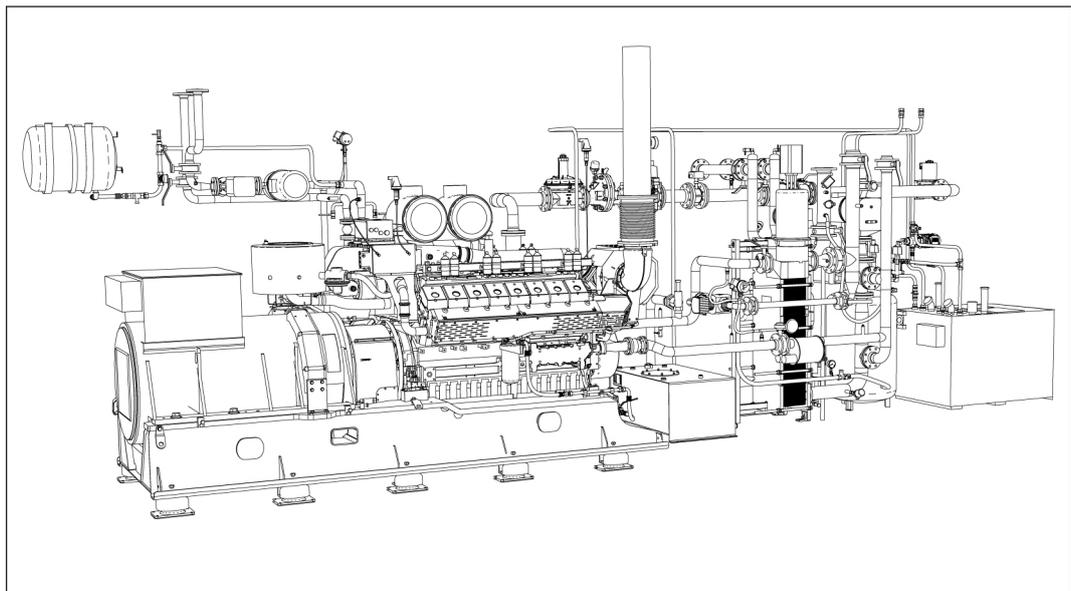
In der Regel können bei kleineren Aggregateleistungen Aggregat und Schaltanlage in einem Raum aufgestellt werden. Bei größeren Anlagen ist eine getrennte Aufstellung in einem schallisolierten Bedienungsraum der Schaltanlage zweckmäßig.

Bei der Planung des Aggregateriums ist auch der Transportweg zu berücksichtigen, um einen Motor oder Generator bei Bedarf ausbringen und wieder einbringen zu können (Fußbodenbelastung und Platzverhältnisse).

Eine zweckmäßige und bewährte Aggregateaufstellung zeigt das Beispiel in Abbildung 67179.

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 der Gewährleistung des Herstellers kann wegen schlechter Zugänglichkeit ein Mehraufwand geltend gemacht werden.

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.



67179-002 Aufstellungsbeispiel

Vor Beginn der Detailplanungen ist der Hersteller gerne bereit, Interessenten weitere Unterlagen über Standardaufstellungen zur Verfügung zu stellen. Bei größeren Planungsaufgaben werden Bauzeichnungen oder Bauentwurfszeichnungen erbeten.

5.2 Fundamentierung und Schwingungsdämpfung

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. Bei der Aufstellung von Aggregaten ist immer eine elastische Aggregat-lagerung zwischen Grundrahmen und Fundamentblock vorzusehen.

Hiervon ausgenommen sind Aggregate der Baureihe TCG 3016. Diese Aggregate verfügen über eine elastische Lagerung zwischen Motor/Generator und Grundrahmen. Das Aggregat wird ohne zusätzliche Lagerelemente auf dem Fundamentblock aufgestellt. Zur Entkoppelung zwischen Grundrahmen und Fundamentblock werden an den Auflageflächen lediglich Gummimatten vorgesehen.

5.2.1 Fundamentblock

Die Fundamentgründung muss mit besonderer Sorgfalt vorgenommen werden. Es wird zur Planung eine Bodenuntersuchung durch einen Fachmann empfohlen. Die hierfür aufgewendeten Kosten stehen in keinem Verhältnis zu den Aufwendungen für nachträgliche Maßnahmen. Das kann z.B. der Fall sein, wenn die Übertragung von Körperschall auf benachbarte Wohnbebauung stattfindet. Mitunter kann nur durch aufwändige Zusatzmaßnahmen bei der elastischen Lagerung des Aggregates und der Anlagenkomponenten ein zufrieden stellendes Ergebnis erreicht werden.

Unter dem Fundamentblock und in dessen Nähe können Grundwasseradern die Erschütterungen sehr weit fortleiten. Boden mit hohem Grundwasserstand überträgt Schwingungen stärker als trockener Boden. Je nach den örtlichen Bedingungen muss der Fundamentblock auf eine Sohlplatte oder auf einen Pfahlrost gesetzt werden.

Für die Ausführung und Gründung des Fundaments ist auf jeden Fall die Baufirma bzw. der Architekt verantwortlich. Die Baufirma oder der Architekt muss die Tragfähigkeit des Bodens beurteilen. Die Festigkeit des Fundamentblocks ist durch Angabe der erforderlichen Betonmischung und Eisenarmierung den örtlichen Verhältnissen entsprechend festzulegen.

Zur Berechnung können dem Kunden die Daten über die Fundamentbelastung durch das Aggregat sowie die Eigenfrequenzen der elastischen Lagerung zur Verfügung gestellt werden.

Der ausgeführte Fundamentblock darf aus oben genannten Gründen generell keinerlei Berührung mit Grundmauern des Gebäudes oder dem Fußboden haben. Der Spalt zwischen Fundamentblock und Fußboden kann mit einem elastischen Material verschlossen werden. Zur Aufnahme der elastischen Lagerelemente muss die Fundamentoberfläche waagrecht und gescheibt, ohne Glattstrich, sein. Die Ebenheit der Fundamentoberfläche soll eine Toleranz von max. 2 mm haben. Ein Aufsetzen des Aggregats auf Fliesen bzw. Estrich u.Ä. ist nicht zulässig.

5.2.2 Elastische Lagerung

Um eine möglichst große Schwingungsisolierung und Körperschallisolierung des Aggregats gegenüber dem Fundament zu erreichen, werden Stahlfeder-Lagerelemente verwendet. Diese Lagerelemente bewirken eine Reduzierung der dynamischen Kräfteinleitung in das Fundament. Die Isolierung tiefer Frequenzen in Gebäuden ist sehr wichtig und wird mit einer weichen Stahlfederlagerung realisiert. Die Körperschallisolierung wird durch die Reflektierung an der Fußplatte des Lagers, bedingt durch die Trennung mittels Stahlplatten oder Gummiplatte, gesichert.

Die elastische Lagerung muss für jeden Anwendungsfall nachgerechnet werden. Die Eigenschwingungszahl des Systems Aggregat mit elastischer Lagerung muss weit genug unter der Betriebsdrehzahl des Aggregats liegen.

Mit den verwendeten Lagerelementen werden Isoliergrade von ca. 88 - 98 % erreicht.

Die bei den Aggregaten TCG 2020, TCG 3020 und TCG 2032 verwendeten Federelemente sind in der Höhe über einen gewissen Bereich verstellbar. Die Federelemente müssen richtig eingestellt werden, d.h. die Last auf jedem Element muss gleich groß sein. Falsch eingestellte Federelemente werden auf Dauer zerstört und die angestrebte Schwingungsisolation ist nicht gegeben. Federelemente können Unebenheiten des Fundaments nur bedingt ausgleichen. Zu große Unebenheit des Fundaments und falsch eingestellte Federelemente führen durch die ungleichmäßige Belastung zur Verformung des Aggregategrundrahmens. Die Folge ist, dass die Ausrichtung zwischen Generator und Motor nicht mehr optimal ist. Eine unkalkulierbare Zerstörung von Bauteilen kann die Folge sein.

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.

5.2.3 Unebene Fundamentoberflächen und Fundamentgefälle

Wie im vorigen Absatz erwähnt, ist es zum Erreichen der angestrebten Schwingungsisolation unbedingt erforderlich, dass alle Federelemente gleich belastet sind bzw. die gleiche Einfederung haben. Vor der Aufstellung wird empfohlen, die Fundamentebenheit des Aggregats zu prüfen. Deshalb wird empfohlen, die Fundamentebenheit vor der Aufstellung des Aggregates zu überprüfen und gegebenenfalls vor dem Absetzen des Aggregates unter den Federelementen Unterlegbleche vorzusehen. Die Dicke der Bleche muss dem erforderlichen Höhenausgleich am jeweiligen Federelement angepasst sein. Caterpillar Energy Solutions bietet für die jeweiligen Lagertypen passende Bleche in den Dicken 1,2 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.

5.2.4 Beurteilung von Schwingungen

Für Aggregate ist die DIN ISO 8528-9 (ISO 8528-9) heranzuziehen. Diese Norm behandelt die Messung und Bewertung der mechanischen Schwingungen bei Stromerzeugungsaggregaten mit Hubkolben-Verbrennungsmotoren.

5.2.5 Kabelkanäle und Rohrkanäle

Kühlwasserleitungen und Abgasleitungen können in Kanälen unterhalb des Fußbodens verlegt werden. Die notwendigen Abmessungen müssen der Größe der Rohrleitungen und den örtlichen Gegebenheiten angepasst werden.

Generell ist darauf zu achten, dass Kanäle für Rohrleitungen und Kanäle für Kabel getrennt voneinander auszuführen sind. Bei Kanälen für Kabel gibt es eine weitere Unterscheidung für Kanäle mit Leistungskabeln, mit Steuerkabeln und mit Signalleitungen. Kanäle verlegt man mit Gefälle vom Fundamentblock weg und sieht an den tiefsten Stellen eine Entwässerung mit Ölabscheider vor. Die Abdeckung der Kanäle kann mit Linsenblech oder Gitterrosten erfolgen. Kanäle und Abdeckungen sind immer bauseits zu erstellen.

5.3 Geräuschentwicklung

Die akustischen Anforderungen an die Aufstellung von Aggregaten mit Verbrennungsmotoren durch Gesetze und Verordnungen wachsen ständig. 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 können ebenfalls Anlass zur Geräuschbelastigung geben.

Auch zu hohe Luftgeschwindigkeiten können Geräusche verursachen ⇒ Kapitel 6.4 Hinweise zu Planung und Betrieb einer Belüftungsanlage 78. Maßnahmen zur Geräuschminderung sind an der Geräuschquelle selbst nur schwer durchführbar. Deshalb zielen die meisten Maßnahmen darauf hin, die Geräuschübertragungen nach außerhalb des Aggregaterraums zu reduzieren.

5.3.1 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 über 16.000 bis 20.000 Hertz 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 Tabelle unten). 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 [Hz]	Bewertungskurve [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
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

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:

$$L_{(r_2)} = L_{(r_1)} - 10 \times \log \left(\frac{r_2}{r_1} \right)^2$$

67353-002 Formel Schalldruckpegel

- L(r1) = Schalldruckpegel 1
- L(r2) = Schalldruckpegel 2
- r1 = Abstand 1
- r2 = Abstand 2

Beispiel:

$$L_{(r_2)} = 70 - 10 \times \log \left(\frac{20}{10} \right)^2 = 64 \text{ dB}$$

67355-002 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:

$$L_{\Sigma} = 10 \times \log \left(\sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \right)$$

67354-002 Formel

- L_Σ = Summenpegel
- L_i = Einzelpegel

Beispiel:

$$L_{\Sigma} = 10 \times \log \left(10^{\frac{70,5}{10}} + 10^{\frac{71,5}{10}} + 10^{\frac{72,5}{10}} + 10^{\frac{75,5}{10}} + 10^{\frac{77,0}{10}} \right) = 81,1 \text{ dB}$$

67356-002 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:

$$L_{\Sigma} = L + 10 \times \log(n)$$

67357-002 Formel

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.

5.3.2 Möglichkeiten der Geräuschminderung

Normale Wandstärken von 24 cm oder 36 cm dämpfen das von innen kommende Geräusch bereits um 40 bis 50 dB. Für die Zuluftkanäle und Abluftkanäle sind 2 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 ⇒ Kapitel6 Maschinenraumbelüftung 67.

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 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.

5.3.3 Schallangaben in Aggregatedatenblättern

Die Aggregate-Datenblätter geben die Schallwerte für Luftschall und Abgasschall als Schalleistungspegel 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 f [Hz]	Luftschallemission⁴⁾ L_{W,Terz} [dB (lin)]	Abgasschall⁵⁾ L_{W,Octave} [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

Frequenzband f [Hz]	Luftschallemission⁴⁾ L_{W, Terz} [dB (lin)]	Abgasschall⁵⁾ L_{W, Octave} [dB (lin)]
630	109	131
800	109	123
1000	109	123
1250	108	123
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
⁴⁾ DIN EN ISO 3746 ⁵⁾ DIN 45635-11 Anhang A (±3 dB) L _W = Schalleistungspegel S = Messfläche im Abstand x zur Schallquelle (S ₀ =1m ²)		

Die folgende Tabelle zeigt die Korrekturwerte für die Einzelpegel nach den Bewertungen A, B, C und D

Frequenz [Hz]	Bewertungskurve [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
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

Umrechnung Schalleistungspegel in Schalldruckpegel

Die Schalleistung ist eine entfernungsabhängige und raumunabhängige Größe, die sich als Ausgangspunkt für alle schalltechnischen Berechnungen eignet. Die Schalleistung ist nicht direkt messbar sondern über vorgegebene Messverfahren ermittelt.

Der Schalleistungspegel L_W ist für eine Schallquelle die kennzeichnende schalltechnische Größe. Im Gegensatz zum Schalldruckpegel L_p ist der Schalleistungspegel L_W vollkommen unabhängig vom Schallfeld. Also unabhängig von der Größe des Raums und der Entfernung zur Quelle. Die abgestrahlte Schalleistung 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 Schalleistung einer Quelle berechnet. Mit der ermittelten Schalleistung lassen sich die Schalldruckpegel in beliebigen Abständen zur Schallquelle berechnen.

Für den Schalldruckpegel im Abstand x von der Schallquelle gilt folgende Beziehung:

$$L_p = L_W - 10 \times \log\left(\frac{S}{S_0}\right)$$

68447-002

Bei Angabe mit A-bewerteten Pegeln ergibt sich:

$$L_{pA} = L_{WA} - 10 \times \log\left(\frac{S}{S_0}\right)$$

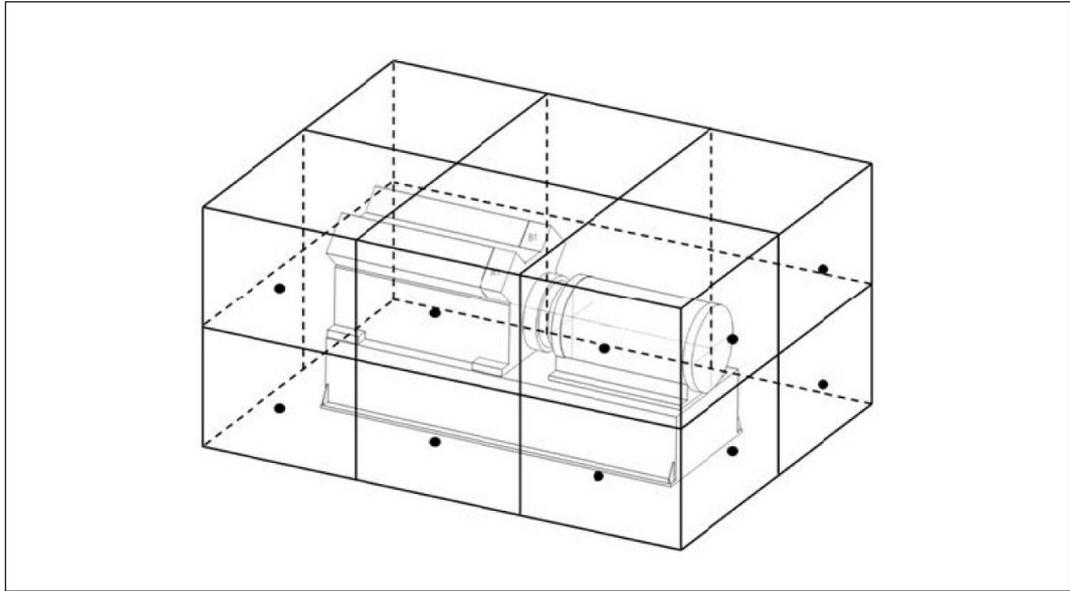
68448-002

Dabei sind:

L_p	Schalldruckpegel, linear (ohne Bewertung)
L_{pA}	Schalldruckpegel, Bewertung nach Kurve A
L_W	Schalleistungspegel, linear (ohne Bewertung)
L_{WA}	Schalleistungspegel, Bewertung nach Kurve A
S	Messfläche im Abstand x zur Schallquelle
S_0	Bezugsfläche, immer 1 m^2

Messflächen für das Aggregat

Bei der Ermittlung des Schalleistungspegels für das Aggregat wird von einer quaderförmigen Messfläche im Abstand von einem Meter zum Aggregat ausgegangen, siehe Abb. 67181. Die Messfläche wird in ein Raster mit jeweils einem Messpunkt im Mittelpunkt der einzelnen Rasterflächen aufgeteilt. Dieses Verfahren entspricht der DIN EN ISO 3476.



67181-001 Quaderförmige Messfläche für das Aggregat

Messflächen beim Abgasschall

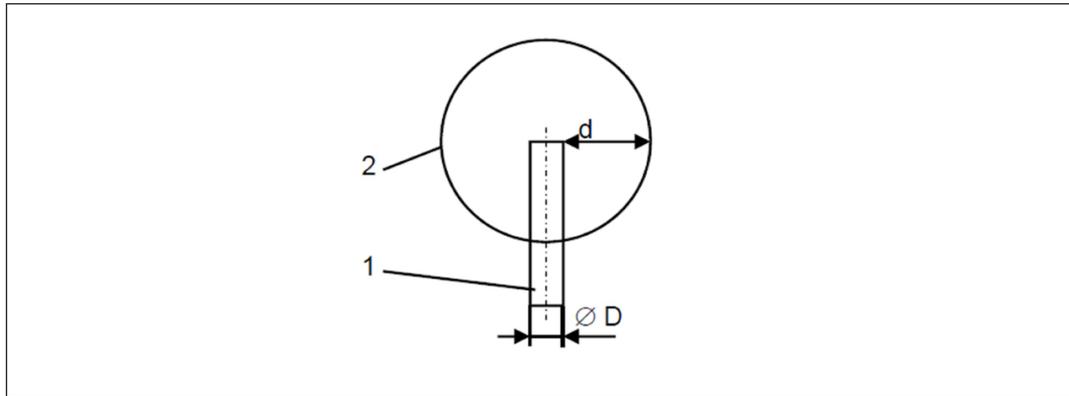
Beim Abgasschall wird von einer kugelförmigen Messfläche in einem Meter Abstand von der Außenkante des Abgasrohrs ausgegangen. Die Oberfläche der Messfläche ergibt sich dann mit der Gleichung:

$$S = 4 \times \pi \times \left(\frac{D}{2} + d \right)^2$$

68453-002

Dabei sind:

- S Messfläche [m²]
- D Durchmesser des Abgasrohrs [m]
- d Messabstand [1 m]



67182-001 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 m² 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 m² in 10 Meter Abstand.

Daraus erhält man mit zuvor angegebener Gleichung:

Schalldruckpegel in 1 Meter Abstand:

$$L_{pA} = L_{WA} - 10 * \log (S/S_0)$$

$$L_{pA} = 121 - 10 * \log (114/1)$$

$$L_{pA} = 121 - 10 * \log 114 = 121 - 10 * 2,06$$

$$L_{pA} = 100,4 \text{ dB(A)}$$

Schalldruckpegel in 10 Meter Abstand:

$$L_{pA} = L_{WA} - 10 * \log (S/S_0)$$

$$L_{pA} = 121 - 10 * \log (1763/1)$$

$$L_{pA} = 121 - 10 * \log 1763 = 121 - 10 * 3,25$$

$$L_{pA} = 88,6 \text{ dB (A)}$$

Beispiel 2:

Wie hoch ist der Abgas-Schalldruckpegel für ein Aggregat TCG 2020 V12 in 1 Meter und 10 Meter Abstand vom Abgasaustritt?

Der Schalleistungspegel 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 m² angegeben.

Die Oberfläche S einer Kugel mit 10 Meter Radius beträgt 1257 m²:

Daraus erhält man mit oben angegebener Gleichung:

Schalldruckpegel in 1 Meter Abstand von Rohraußenwand:

$$L_{pA} = L_{WA} - 10 \cdot \log (S/S_0)$$

$$L_{pA} = 132 - 10 \cdot \log (15,5/1)$$

$$L_{pA} = 132 - 10 \cdot \log 15,5 = 132 - 10 \cdot 1,19$$

$$L_{pA} = 120,1 \text{ dB (A)}$$

Schalldruckpegel in 10 Meter Abstand:

$$L_{pA} = L_{WA} - 10 \cdot \log (S/S_0)$$

$$L_{pA} = 132 - 10 \cdot \log (1257/1)$$

$$L_{pA} = 132 - 10 \cdot \log 1257 = 132 - 10 \cdot 3,1$$

$$L_{pA} = 101 \text{ dB (A)}$$

6 Maschinenraumbelüftung

Inhaltsverzeichnis

6.1	Übersicht Belüftungssysteme.....	68
6.1.1	Maschinenraumbelüftung.....	68
6.1.2	Drückendes System (empfehlenswert).....	68
6.1.3	Saugendes System (nicht empfehlenswert).....	68
6.1.4	Kombiniertes System (empfehlenswert).....	69
6.1.5	Lüftung mit frequenzgeregelten Ventilatoren.....	69
6.1.6	Umluftregelung.....	69
6.2	Anforderungen und Richtwerte.....	72
6.2.1	Ermittlung des Luftbedarfs.....	72
6.3	Komponenten des Lüftungssystems.....	76
6.3.1	Wetterschutzgitter.....	76
6.3.2	Schalldämmkulissen.....	76
6.3.3	Jalousien.....	76
6.3.4	Filter.....	76
6.3.5	Ventilatoren.....	76
6.3.6	Luftkanäle.....	77
6.4	Hinweise zu Planung und Betrieb einer Belüftungsanlage.....	78
6.4.1	Planung.....	78
6.4.2	Betrieb.....	78

6.1 Übersicht Belüftungssysteme

6.1.1 Maschinenraumbelüftung

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 Mindestansauglufttemperaturen 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 ⇒ Kapitel 10.2.1 Anforderungen an die Verbrennungsluft 133.

Bei Mehrmotorenanlagen sollte jedes Aggregat über ein eigenes regelbares Lüftungssystem verfügen.

Die ausführbaren Lüftungssysteme für die Maschinenräume lassen sich in drei Arten unterteilen (siehe Abb. 67183 bis 67186).

6.1.2 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, etc. Der mit den eingesetzten Zuluftfiltern zu erreichende Abscheidegrad muss dem Abscheidegrad eines Filters der Klasse G3 entsprechen ⇒ Kapitel 6.3.4 Filter 76.

6.1.3 Saugendes System (nicht empfehlenswert)

Die Umgebungsluft wird über das Zuluftsystem (Wetterschutzgitter, Filter, Schalldämmkulle 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 ⇒ 6.4 Hinweise zu Planung und Betrieb einer Belüftungsanlage 78. 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 ⇒ Kapitel 6.3.4 Filter 76.

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

6.1.4 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.

6.1.5 Lüftung mit frequenzgeregelten Ventilatoren

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 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 bis zu Umgebungslufttemperaturen von ca. 0 °C möglich. Bei tieferen Umgebungstemperaturen ist ein Umluftsystem erforderlich.

6.1.6 Umluftregelung

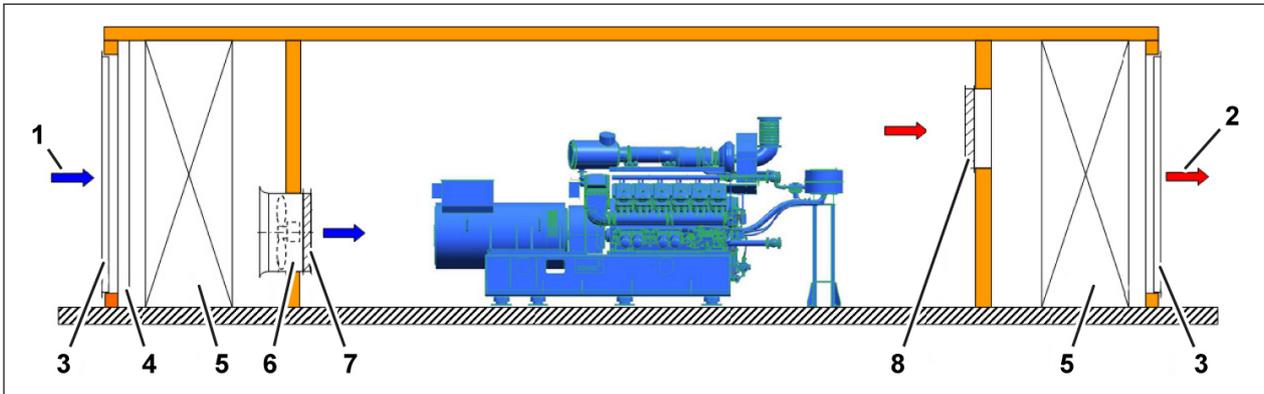
Zur Verhinderung von unzulässig niedrigen Temperaturen im Maschinenraum kann durch Beimischung von Abluft in die Zuluft die Temperatur geregelt werden.

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.

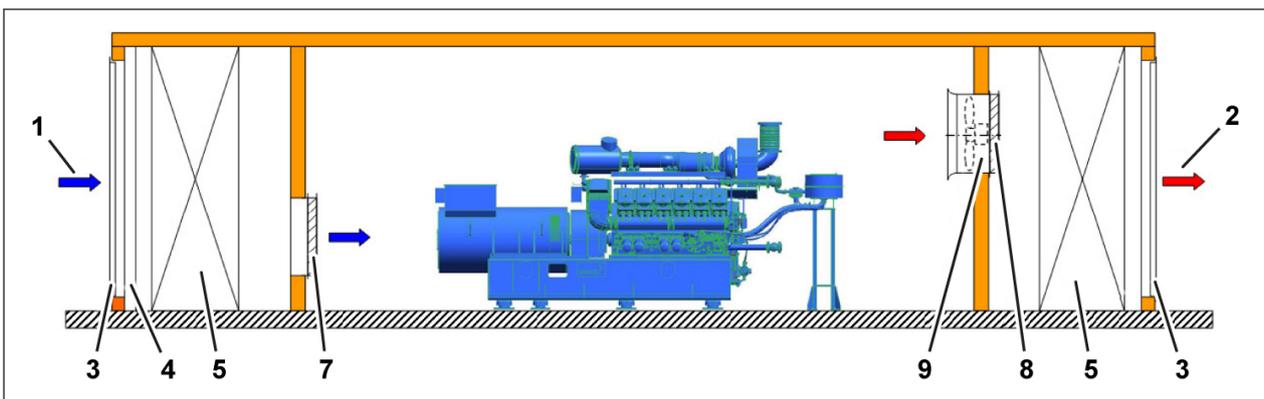
Die Umluftregelung empfiehlt sich grundsätzlich für Anlagen mit klimatischen Bedingungen, die dem nordeuropäischen gemäßigten Klima ähnlich sind.

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.



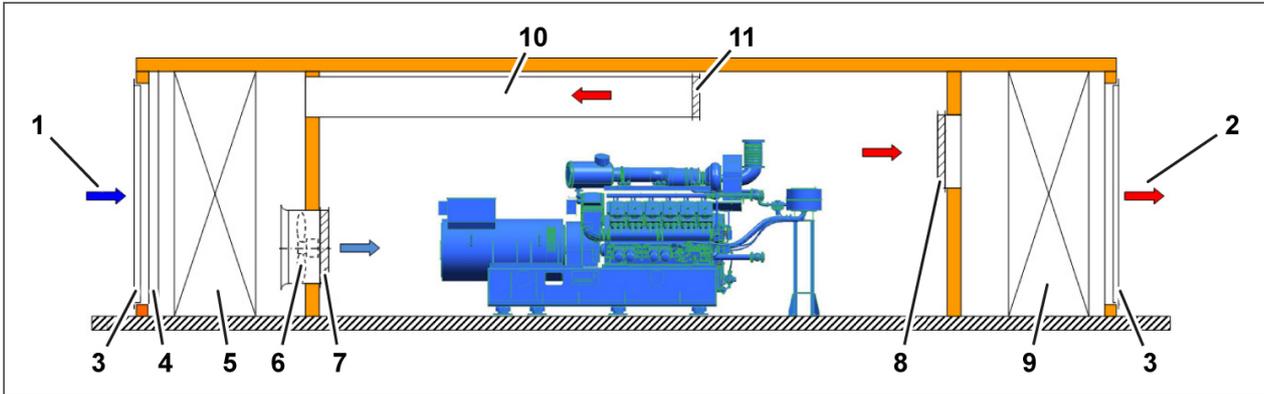
67183-001 Lüftungssysteme - Drückendes System



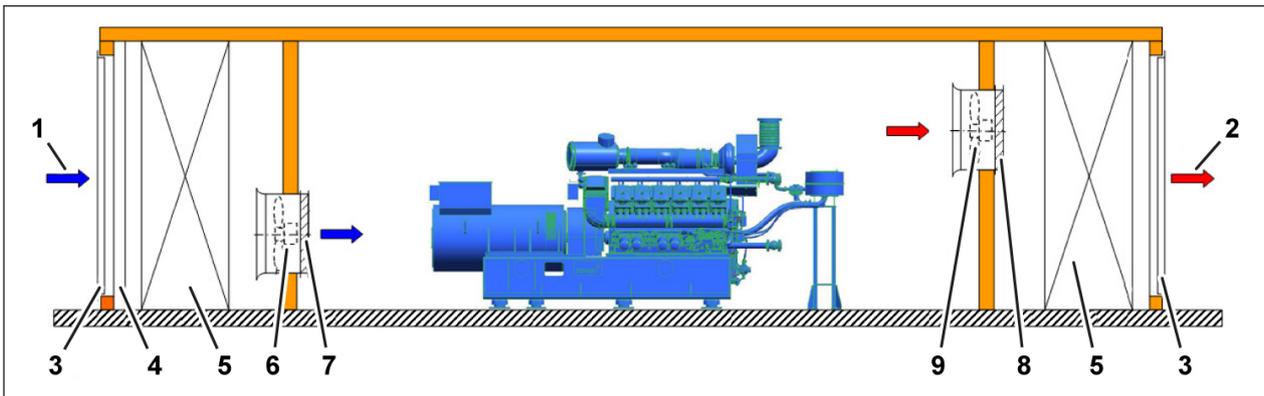
67184-001 Lüftungssysteme - Saugendes System (nicht empfehlenswert)

- 1 Zuluft
- 2 Abluft
- 3 Wetterschutzgitter
- 4 Filter
- 5 Schalldämmkulisse

- 6 Zuluftventilator
- 7 Zuluftjalousie
- 8 Abluftjalousie
- 9 Abluftventilator



67186-001 Lüftungssysteme - System mit Umluftreglung (empfehlenswert)



67185-001 Lüftungssysteme - Kombiniertes System (empfehlenswert)

- 1 Zuluft
- 2 Abluft
- 3 Wetterschutzgitter
- 4 Filter
- 5 Schalldämmkulisse
- 6 Zuluftventilator
- 7 Zuluftjalousie
- 8 Abluftjalousie
- 9 Abluftventilator
- 10 Umluftkanal
- 11 Umluftjalousie

6.2 Anforderungen und Richtwerte

6.2.1 Ermittlung des Luftbedarfs

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

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.

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.

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.

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

68461-002

Q_H	[kW]	Strahlungswärme der Hilfseinrichtungen
Q_M	[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.

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

68462-002

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

Gesamte Strahlungswärme

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

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

68460-002

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.

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:

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

68458-002

m_{Lerf}	[kg/h]	erforderlicher Luftmassenstrom zur Kühlung
Q_S	[kW]	gesamte Strahlungswärme
ΔT	[K]	zulässige Temperaturerhöhung
C_p	[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:

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

68459-002

- m_{Lerf} [kg/h] erforderlicher Luftmassenstrom
- V_{Lerf} [m³/h] erforderlicher Luftvolumenstrom
- ρ_L [kg/m³] Dichte der Luft (z.B. 1,172 kg/m³ 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 geodät. Höhe bei 25 °C								
Geodät. Höhe	Temperatur 25 °C		Geodät. Höhe	Temperatur 25 °C		Geodät. Höhe	Temperatur 25 °C	
in m	mbar	kg/m ³	in m	mbar	kg/m ³	in m	mbar	kg/m ³
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

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

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

68463-002

- $\rho_L(25\text{ °C})$ [kg/m³] Dichte der Luft bei 25 °C
- $\rho_L(t)$ [kg/m³] Dichte der Luft bei Temperatur t
- t [°C] Temperatur der Luft

Bei Anlagen, die aus dem Maschinenraum saugen, ist auf der Zuluftseite die Verbrennungsluftmenge des Motors zusätzlich zu berücksichtigen. In Kapitel 10.2.2 Verbrennungsluftmenge 136 sind Richtwerte für die spezifische Verbrennungsluftmenge der einzelnen Motorbaureihen angegeben.

6.3 Komponenten des Lüftungssystems

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

6.3.1 Wetterschutzgitter

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

6.3.2 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.

6.3.3 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.

6.3.4 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.

6.3.5 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 kann der Luftvolumenstrom verändert werden.

Hinweis

Bei Verwendung einzelner Ventilatoren 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.

6.3.6 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.

6.4 Hinweise zu Planung und Betrieb einer Belüftungsanlage

6.4.1 Planung

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

Komponente	Luftgeschwindigkeit (m/s)
Zuluftöffnung/Abluftöffnung	1,5 bis 2,5 / 2,5 bis 4
Lüftungskanal	10 bis 20
Freie Strömungen im Maschinenraum	0,3
Schalldämmstrecke	6 bis 8

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

6.4.2 Betrieb

Durch den Betrieb der Belüftungsanlage können auch die Druckverhältnisse am Verbrennungslufteintritt 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 Motorkühlsysteme

Inhaltsverzeichnis

7.1	Übersicht Motorkühlsysteme.....	80
7.1.1	Einkreiskühlung.....	80
7.1.2	Zweikreiskühlung.....	80
7.1.3	Gasmotoren.....	80
7.1.4	Beispiel für den Aufbau von Kühlsystemen von Gasmotoren.....	80
7.2	Heizkreis.....	85
7.2.1	Übersicht Heizkreis.....	85
7.2.2	Kühlbetriebsstoff im Heizkreis.....	85
7.2.3	Direkte Einbindung von Motorkühlkreisen in den Heizkreis.....	87
7.2.4	Auslegungsvorschriften für den Heizkreis.....	88
7.3	Notkühlkreis.....	89
7.4	Anforderungen und Richtwerte.....	91
7.4.1	Flüssigkeitsdrücke.....	91
7.4.2	Pumpeneinbaulage.....	91
7.4.3	Max. zulässiger Temperaturgradient.....	91
7.5	Komponenten des Kühlwassersystems.....	92
7.5.1	Kühlwasserwärmetauscher.....	92
7.5.2	Abgaswärmetauscher.....	94
7.5.3	Kühlanlagen.....	94
7.5.4	Auslegung der Komponenten - Reserven.....	98
7.5.5	Kältemaschinen.....	98
7.5.6	Kühlwasserpumpen.....	98
7.5.7	Membranausdehnungsgefäß.....	99
7.5.8	Temperaturregler.....	103
7.5.9	Kühlwasser-Überwachungsgruppe.....	103
7.5.10	Kühlwasservorwärmung.....	103
7.5.11	Kühlwasservorwärmung bei Aggregaten im Flexbetrieb.....	104
7.5.12	Rohrleitungen.....	105
7.6	Entlüftung der Kühlsysteme.....	107
7.7	Qualität der Kühlflüssigkeit.....	108

7.1 Übersicht Motorkühlsysteme

Die zum Einsatz kommenden Kühlsysteme haben Wasser als Kühlbetriebsstoff und sind motorseitig gesehen geschlossene Systeme. Aggregatmotoren verwenden zwei Kühlungsarten, die Einkreiskühlung und die Zweikreiskühlung. Der Aufbau muss nach den nachfolgenden Darstellungen erfolgen. Abweichungen davon bedürfen der schriftlichen Genehmigung.

7.1.1 Einkreiskühlung

Bei Motoren mit Einkreiskühlung durchfließt der Kühlbetriebsstoff den Schmierölkühler, die Gemischkühler und den Motor. Das heißt, die gesamte Wärme wird in einem Motor-Kühlwasserkreis abgeführt.

7.1.2 Zweikreiskühlung

Motoren mit Zweikreiskühlung haben neben dem Motor-Kühlwasserkreis zusätzlich einen Gemisch-Kühlwasserkreis/Ladeluft-Kühlwasserkreis 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.

7.1.3 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. Der Gemisch-Kühlwasserkreis führt die Wärme aus der NT-Stufe ab.

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 Wasserseite 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 wasserseitig im Motorkühlkreis, im Gemisch-Kühlwasserkreis oder im Heizwasserkreis installiert sein.

Dabei sind die Hinweise zum Schmierölkühler zu beachten ⇒ Kapitel 9 Schmierölsystem 125.

7.1.4 Beispiel für den Aufbau von Kühlsystemen von Gasmotoren

Ein anlagenseitiger Wärmetauscher überträgt die durch das Kühlwasser aufgenommene Wärme zur Nutzung in einem Heizwasserkreis 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 dem Kühlturmwasser direkt durch den Motor zu fahren! Hier ist ein Entkoppelungswärmetauscher oder geschlossener Kühlturm vorzusehen.

Generell wird die Kühlwasser-Eintrittstemperatur in den Gasmotor geregelt. Je nach Ausführung der Anlage ist der Temperaturregler direkt im Motorkreis oder im Heizkreis installiert.

Als Kühlwasserpumpen werden immer Elektropumpen verwendet.

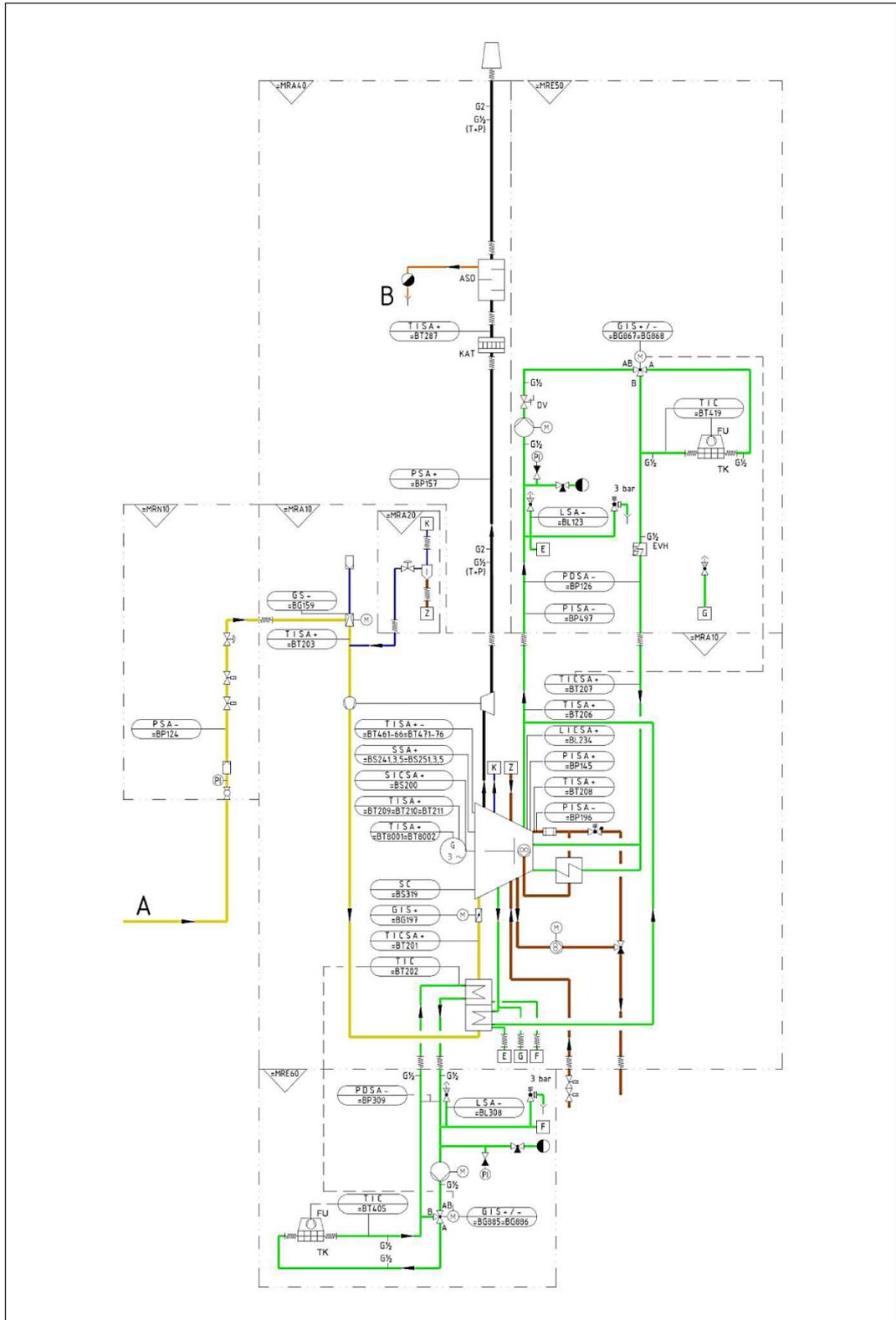
Die Feineinstellung des Kühlwasserdurchflusses erfolgt mit einer einstellbaren Drossel.

Die Volumenausdehnung wird in einem Membranausdehnungsgefäß aufgenommen. Im Kühlwasserkreis wird das Niveau mit der so genannten Überwachungsgruppe überwacht. In dieser Gruppe sind ein Sicherheitsventil, ein Belüftungsventil und Entlüftungsventil und die Wassermangelsicherung integriert.

Wie der Motorkreis ist auch der Gemisch-Kühlwasserkreis mit einer elektrisch angetriebenen Umwälzpumpe, Membran-Ausdehnungsgefäß, 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. In diesem Fall ist keine eindeutige Regelung der jeweiligen Motoreintrittstemperatur gewährleistet.

Abb. 67604 zeigt ein Kühlsystem ohne Wärmenutzung.

Abb. 67605 zeigt ein Kühlsystem mit Wärmenutzung.



A	Brenngas	ASD	Abgasschalldämpfer
B	Kondensat	DV	Drosselarmatur
MRA10	Aggregat	EVH	Elektrische Vorheizung

178-003-DE : : BA : VAR, COV, IMP, B, BA, BS, DEM, EIN, IBN, IST, WP, SK, MH, SB, STB, TA, TL

A	Brenngas	AWT	Abgaswärmetauscher
B	Kondensat	BK	Bypassklappe
MRA10	Aggregat	DV	Drosselarmatur
MRA40	Abgassystem	EVH	Elektrische Vorheizung
MRE20	Wärmenutzung	FU	Frequenzumrichter
MRE60	Gemischkühler	KAT	Katalysator
MRE70	Notkühlkreis	KWT	Kühlwasserwärmetauscher
MRN10	Gasregelstrecke	NK	Notkühler
ASD	Abgasschalldämpfer	TK	Tischkühler

7.2 Heizkreis

7.2.1 Übersicht Heizkreis

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

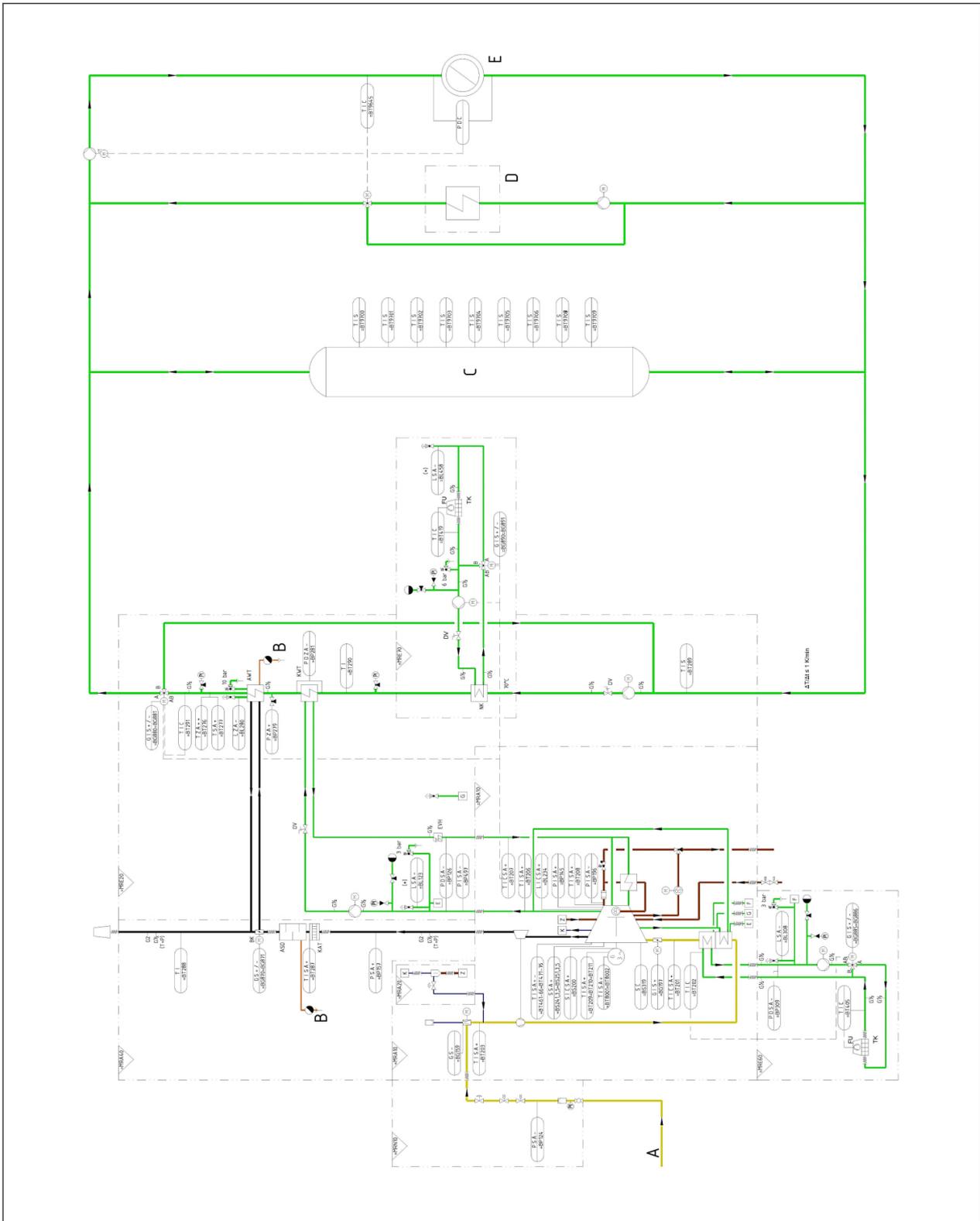
Die von dem Motor abgegebene Wärmeleistung im Kühlwasser und im Abgas sowie die dazugehörigen Durchflussmengen und Temperaturdifferenzen stehen für die Motoren bei den jeweiligen Betriebsarten fest. Die Fördermenge der Umwälzpumpe im Heizkreis wird durch die Temperaturdifferenz zwischen Vorlauf und Rücklauf des Heizkreises festgelegt. Bei der Pumpendimensionierung sind der um die Leistungsreserve erhöhte Volumenstrom und der damit verbundene höhere Druckverlust zu berücksichtigen. Siehe auch Abb. 67805 Systemgrenze MRE20.

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 wärmeerzeugenden und wärmenutzenden Seite des Heiznetzes erreicht man durch eine hydraulische Weiche. Die Funktion einer hydraulischen Entkoppelung können Wärmespeicher übernehmen (siehe Abbildung 67606).

7.2.2 Kühlobetriebsstoff im Heizkreis

Der Heizkreis ist ein geschlossener Kreis. Auch in diesem Kreis ist eine gewisse Wasserqualität einzuhalten. 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 Zugeben 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.



67606-001 RI - Fließbild mit hydraulischer Entkopplung zwischen Wärmeerzeugung und Wärmenutzung

- MRA10 Aggregat
- MRN10 Gasregelstrecke
- MRE20 Wärmeverwertung

MRE60	Gemischkühlung
MRE70	Notkühler
A	Brenngas
B	Kondensat
C	Wärmespeicher
D	Kessel
E	Verbraucher
ASD	Abgasschalldämpfer
AWT	Abgaswärmetauscher
DV	Drosselventil
KAT	Katalysator
KWT	Kühlwasser-Wärmetauscher
TK	Tischkühler
NK	Notkühler

7.2.3 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
- Der maximale Kühlwasserdruck am Motor- und NT-Gemischkühlerausstritt darf den Einstelldruck des Sicherheitsventiles nicht überschreiten ⇒ Kapitel Maximaler Druck 91.
- Die Kühlsysteme müssen geschlossen sein und über eine zuverlässige Leckageerkennung verfügen.
- Systeme mit automatischer Kühlwassernachspeisung sind nicht zulässig.

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.

7.2.4 Auslegungsvorschriften für den Heizkreis

Für die Auslegung des Heizkreises gelten die Vorschriften für Wasserheizungsanlagen und Dampfkesselanlagen.

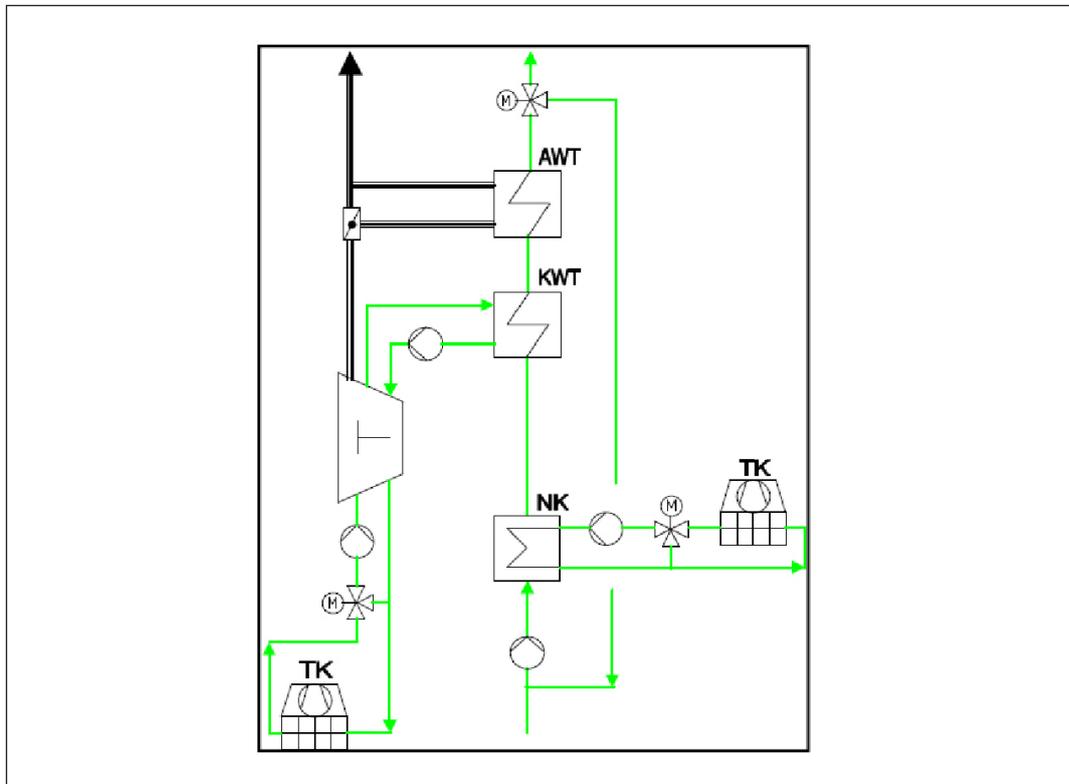
DIN EN 12828	Heizungssysteme in Gebäuden (für max. Betriebstemperaturen bis 105 °C). Sofern bei Planung und Bau von Wärmezeugungsanlagen Absicherungstemperaturen > 110 °C notwendig sind, empfehlen wir die vorherige Absprache mit dem TÜV oder anderen zuständigen Behörden. Dort kann die gewünschte und für die Festlegung der Prüffristen (BetrSichV) erforderliche Ausrüstung abgestimmt werden.
DIN EN 12953	Großwasserraumkessel
TRD 604 BI.1	Betrieb von Dampfkesselanlagen mit Dampferzeugern der Gruppe IV ohne ständige Beaufsichtigung
TRD 604 BI.2	Betrieb von Dampfkesselanlagen mit Heißwassererzeugern der Gruppe IV ohne ständige Beaufsichtigung
TRD 702	Dampfkesselanlagen mit Heißwassererzeugern der Gruppe II

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/TPEM-System verarbeitet.

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

7.3 Notkühlkreis

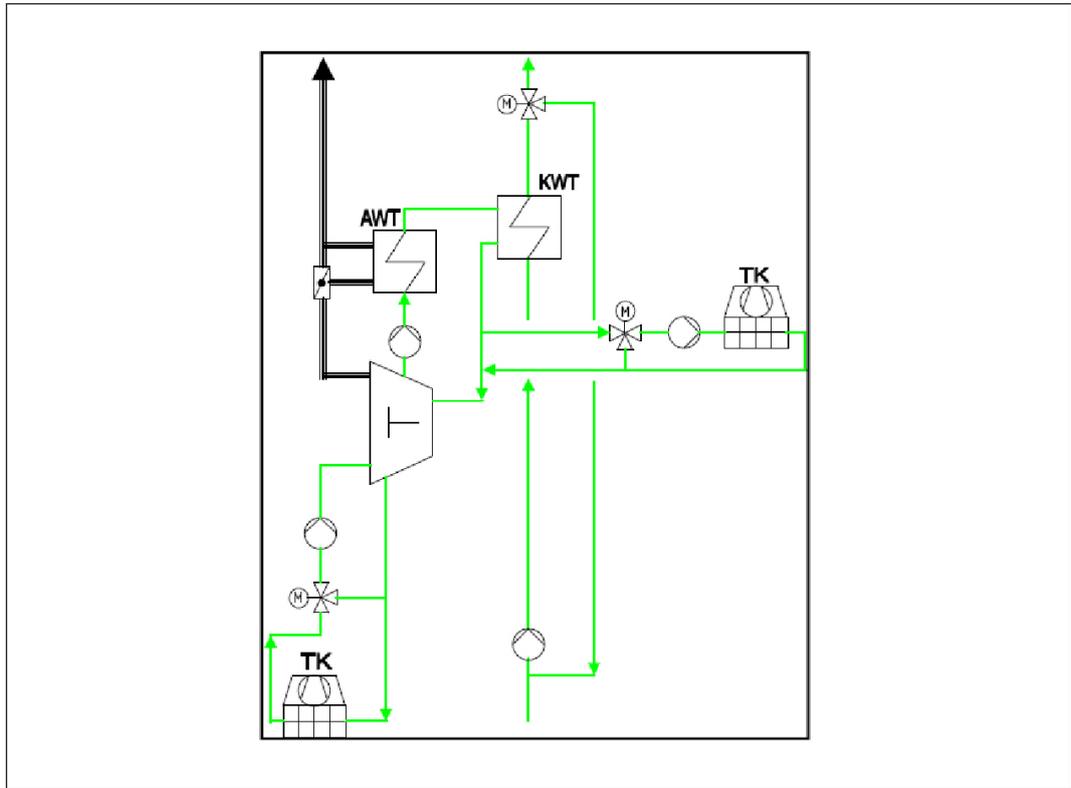
In Anlagen, in denen die Wärmeabfuhr über den Heizkreis nicht immer gewährleistet ist, aber dennoch die elektrische Leistung des Aggregats zur Verfügung stehen muss, wird die vom Motor erzeugte Wärme über den so genannten Notkühlkreis abgeführt. Die Einbindung des Notkühlkreises hängt von dem jeweiligen 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 Abb. 67195. Bei der Pumpendimensionierung sind der um die Leistungsreserve erhöhte Volumenstrom und der damit verbundene höhere Druckverlust zu berücksichtigen.



67195-001 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 Abb. 67196.



67196-001 Direkte Einbindung der Notkühlung im Motorkreis

- AWT Abgaswärmetauscher
- KWT Kühlwasser-Wärmetauscher
- TK Tischkühler

178-003-DE :: BA : VAR, COV, IMP, B, BA, BS, DEM, EIN, IBN, IST, WP, SK, MH, SB, STB, TA, TL

7.4 Anforderungen und Richtwerte

7.4.1 Flüssigkeitsdrücke

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

Minimaler Druck

Der minimal erforderliche Betriebsdruck am Motoraustritt ist 1,5 bar. Alle Gasmotoren haben im Motorkühlkreis eine Überwachung des Drucks am Kühlwasseraustritt. Bei Unterschreitung von 1,5 bar gibt es eine Warnung. Bei Unterschreitung von 1,0 bar wird der Motor abgestellt. Die Membranausdehngefäße sollten so dimensioniert werden, dass bei stehender Anlage ein Mindestdruck von 1,5 bar eingehalten wird.

Maximaler Druck

Bei der Berücksichtigung einer Wasservorlage von 25 bis 50 Liter wird bei kaltem System ein Fülldruck von ca. 2 bar erreicht. Unter diesen Bedingungen erreicht der Druck am Motoraustritt beim Betrieb des Motors den angestrebten Wert von ca. 2,5 bar. Zur Vermeidung von Kavitation im Kühlkreis muss insbesondere im Motorkühlkreis ein Druck von ca. 2,5 bar am Motoraustritt eingehalten werden.

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

Hoher Kühlwasserdruck 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.

7.4.2 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.

7.4.3 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.

7.5 Komponenten des Kühlwassersystems

7.5.1 Kühlwasserwärmetauscher

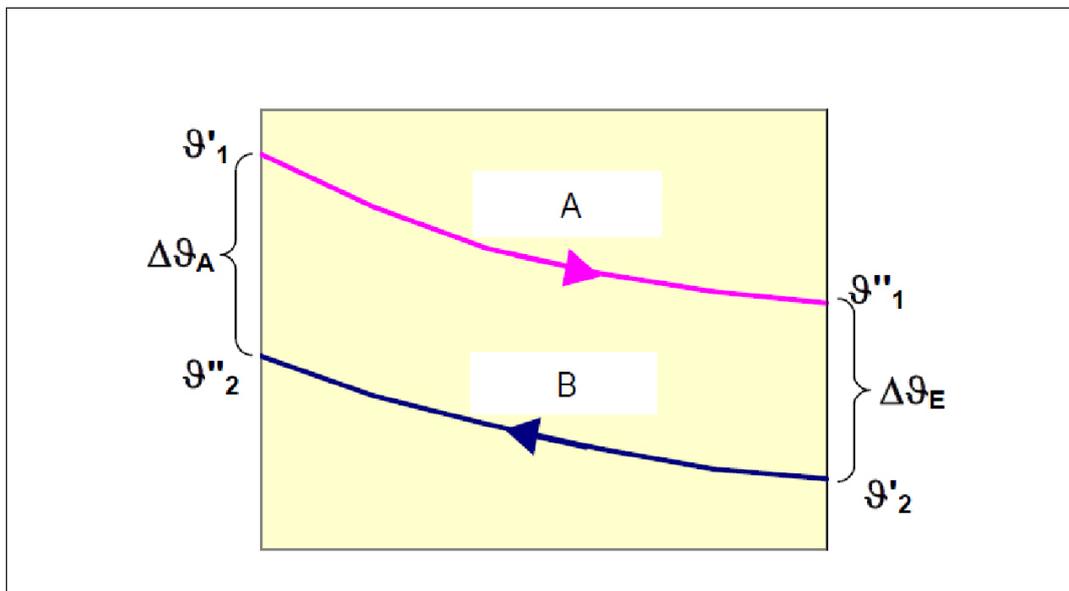
Leistungsreserve und Flächenreserve (in Abb. 67187, logarithmische Temperaturdifferenz) ist zu berücksichtigen.

Die vorgegebenen Motoreintrittstemperaturen und Motoraustrittstemperaturen sind zu beachten \Rightarrow 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.

Die Eintrittstemperaturdifferenz bzw. Austrittstemperaturdifferenz muss mindestens 2 K betragen (siehe Abb. 67187, logarithmische Temperaturdifferenz).

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.



67187-001 Logarithmische Temperaturdifferenz

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

67188-002 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

$\Delta\Theta \geq 4K$ $\Delta\vartheta_A$ und $\Delta\vartheta_E \geq 2K$.

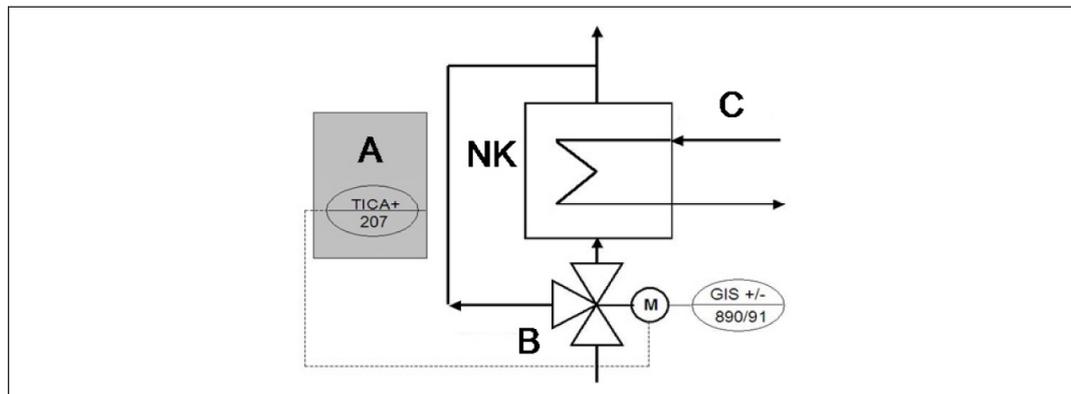
Einbindung Kühlwasserwärmetauscher bei Notkühlung mit Rohwasser

Wenn die Notkühlung mit Rohwasser gekühlt werden soll, dann sollte man die Regelung der primärseitigen Notkühler-Austrittstemperatur auch auf der Primärseite durchführen (siehe Abb. 67189). 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.

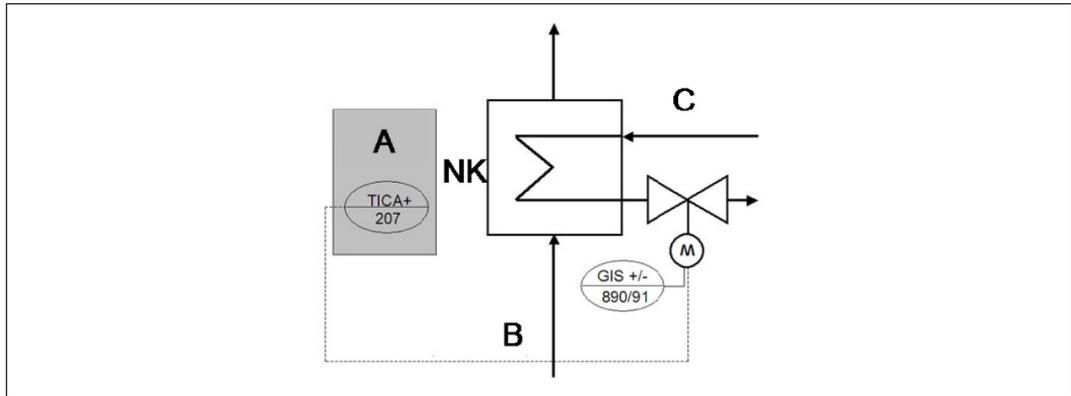
Man sollte die Regelung keinesfalls nach Abb. 67190 durchführen. Bei dieser Abbildung ist der Notkühlplatten-Wärmetauscher ständig von Warmwasser durchflossen. Dadurch kann das sekundärseitige Rohwasser, je nach Durchflussmenge, die Warmwassertemperatur erreichen. Der Plattenwärmetauscher verkalkt mit der Zeit.

Der Temperaturgradient auf der Rohwasserseite sollte nicht mehr als +/- 1 K/min betragen.

Für die Stellantriebe hat der I/O Controller des TEM/TPEM-Systems digitale Ausgänge für +/- (24-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.



67189-001 Richtiger Aufbau



67190-001 Falscher Aufbau

- A Motorkühlkreis
- B Primärseite (Motorkreis/Heizkreis)
- C Sekundärseite
- NK Notkühler

7.5.2 Abgaswärmetauscher

Leistungsreserve und Flächenreserve nach Tabelle **"Reserven für Leistung und Fläche"** sind zu berücksichtigen. Bei der Festlegung der Abgas-Abkühltemperatur muss der Anteil von H₂S und Schwefel im Brenngas berücksichtigt werden. Dadurch vermeidet man saures Kondensat, das den Abgaswärmetauscher beschädigt.

Empfohlene Abgasabkühltemperaturen:	
Erdgas	≥ 120 °C
Klärgas	≥ 150 °C
Deponiegas und NAWARO Gas	≥ 180 °C

Um eine ausreichende Kühlung des Abgaswärmetauschers zu gewährleisten, ist der vom Hersteller vorgegebene Mindestvolumenstrom 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.

7.5.3 Kühlanlagen

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. Bei Stirnkühlanlagen drücken die Lüfter die Luft durch das Kühlnetz. Bei Tischkühlanlagen wird die Luft durch das Kühlnetz gesaugt.

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 Geräuschdämmmaßnahmen erforderlich.

Tischkühler

Leistungsreserve und Flächenreserve nach Tabelle **"Reserven für Leistung und Fläche"** sind zu berücksichtigen. Bei Verschmutzungsgefahr durch die Umgebung (z.B. Blätter, Pollen, Sand, Kohlenstaub etc.) 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. Sonst kann durch die Verschlechterung des Wärmeübergangs die Wärme nicht mehr abgeführt werden. Bei Luftkühlern ist wegen der Frostgefahr Frostschutzmittel im Kühlwasser vorzusehen.

Bei der Tischkühleraufstellung ist zu beachten, dass der Abstand nach unten für eine gute Luftzuführung ausreicht. Bei mehreren Kühlern ist auf ausreichenden Abstand zwischen den Kühlern zu achten, damit Kurzschluss von Luftströmen vermieden wird.

Ab einer Tischkühler-Aufstellhöhe von 15 Metern über Motor ist ein Koppelwärmetauscher zwischen Motor und Tischkühler einzubauen. Damit werden die in Absatz „Maximaler Druck“ erwähnten maximal zulässigen Betriebsdrücke im Motor nicht überschritten.

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 oder EC-Regelung. Die FU-Regelung/EC-Regelung bietet den Vorteil der kontinuierlichen Anpassung der Kühlerleistung an die abzuführende Wärmeleistung.

Für die verschiedenen Motortypen ist die Tischkühlerregelung für die einzelnen Kühlkreise gemäß Tabelle unten auszuführen.

Für die Abführung der Wärme im Gemischkühlkreis und/oder Motorkühlkreis/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.

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/EC-geregelte Variante empfohlen. Für sehr kalte Umgebungsbedingungen, d.h. regelmäßig niedrige Temperaturen unter -15 °C sind alle Kühlkreisläufe FU/EC geregelt auszuführen. Nur so ist sichergestellt, dass unter allen Umgebungsbedingungen die erforderlichen Randbedingungen für den Gasmotor eingehalten werden.

Sandwich-Tischkühler (nicht empfehlenswert)

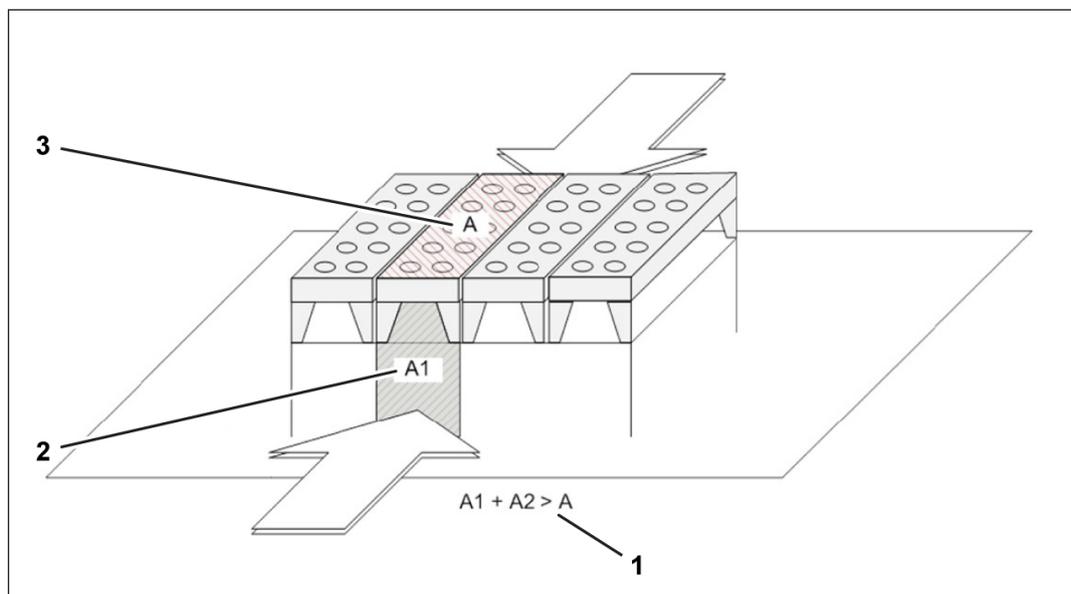
Eine Sonderbauform des Tischkühlers ist der Sandwich-Tischkühler, bei dem zwei getrennte Kühlerstufen übereinander angeordnet sind und durch gemeinsame Lüfter mit Luft versorgt werden. Die erste Stufe ist die NT-Stufe (NT=Niedertemperatur), die zweite Stufe die HT-Stufe (HT=Hochtemperatur). In der NT-Stufe wird in der Regel die Gemischwärme abgeführt, in der HT-Stufe die Motor-Kühlwasserwärme. Diese Kühlerbauart wird nur bei reinen Stromerzeugungsanlagen eingesetzt. Es kommt nur bei reinen Strommodulen zu einer angemessen 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 Kühlwasser-Temperaturregelung führen. Deshalb wird dem Einsatz dieser Kühlerbauart bei Anlagen mit Wärmenutzung nicht zugestimmt.

Aufstellung und Auslegung von Tischkühlern

Leistungsreserve und Flächenreserve nach Tabelle Reserven für Leistung und Fläche sind zu berücksichtigen. Bei Verschmutzungsgefahr durch die Umgebung (z.B. Blätter, Pollen, Sand, Kohlenstaub etc.) müssen die Abstände der Lamellen so vergrößert werden, dass die Kühlerfläche nicht zu schnell zugesetzt wird, da sonst durch die Verschlechterung des Wärmeübergangs die Wärme nicht mehr abgeführt werden kann.

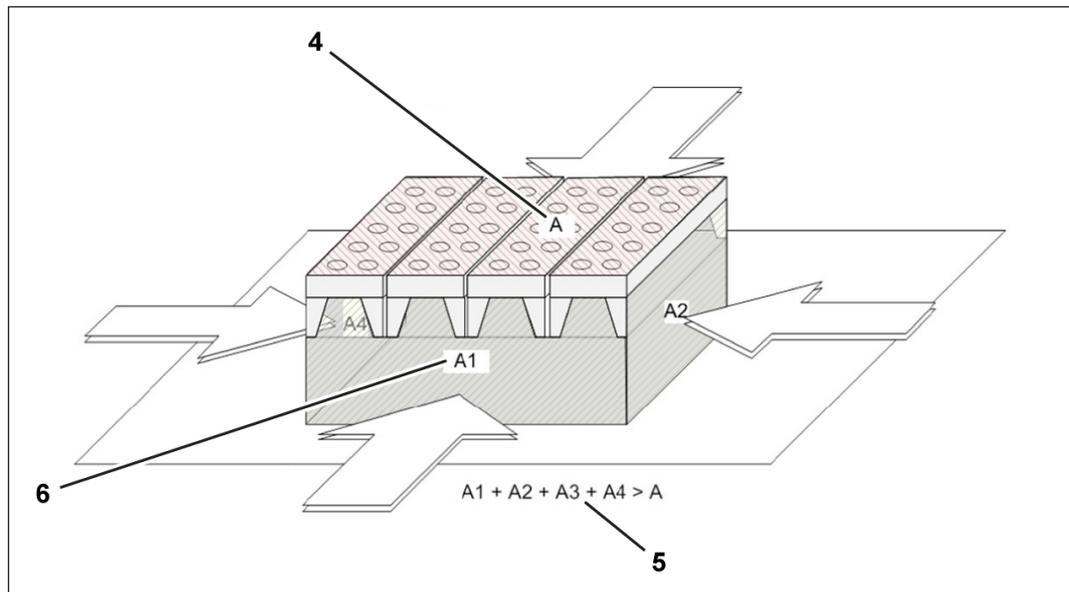
Bei Luftkühlern ist wegen der Frostgefahr Frostschutzmittel im Kühlwasser vorzusehen.

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



67191-001 Aufstellung von Tischkühlern

178-003-DE :: BA : VAR, COV, IMP, B, BA, BS, DEM, EIN, IBN, IST, WP, SK, MH, SB, STB, TA, TL



67192-001 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)

Kühltürme

Kühltürme nutzen den Verdampfungskühleffekt von Wasser zur Kühlung aus und kommen in geschlossener oder offener Bauweise zur Anwendung. Beim offenen Kühlturm verdunstet ein Teil des umlaufenden Kühlwassers (ca. 3 %). Die verdunstete 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.

7.5.4 Auslegung der Komponenten - Reserven

Bei der Auslegung der Komponenten für das Kühlwassersystem 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 0 bei Biogas, Klärgas und Deponiegas etc.

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

7.5.5 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 Kühlwasserkreis des Motors dargestellt werden kann. Für diesen Einsatzfall müssen folgende Bedingungen eingehalten werden:

- Die Anforderungen an die Kühlwasserqualität des Motors, Korrosionsschutz oder Gefrierschutz einhalten.
- Die vom Motorenhersteller frei gegebenen Kühlwasserzusätze 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.

7.5.6 Kühlwasserpumpen

Bei allen Baureihen muss über den gesamten Lastbereich im Motor-Kühlwasserkreis und im Gemischkreis (MK und GK) ein fester Volumenstrom eingehalten werden. Daher werden in der Regel von Elektromotoren angetriebene Kühlwasserpumpen 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 dem Kühlwasser 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, siehe Tabelle Reserven für Leistung und Fläche. 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 Auslegungstemperaturspannung zu erreichen, muss bei Pumpen mit frequenzregelbaren Antriebsmotoren die Drehzahl für den Auslegungspunkt fest eingestellt werden. Bei Pumpen mit nicht regelbaren Antriebsmotoren wird die Kühlwassermenge über eine Drosselarmatur genau eingestellt.

In Heizkreisen mit Rücklauf Temperaturerhöhung über ein 3-Wege-Ventil werden im Allgemeinen auch Elektropumpen mit festen Drehzahlen eingesetzt. Spezielle Anforderungen im Heizkreis, z. B. Einhaltung einer konstanten Vorlauf temperatur 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.

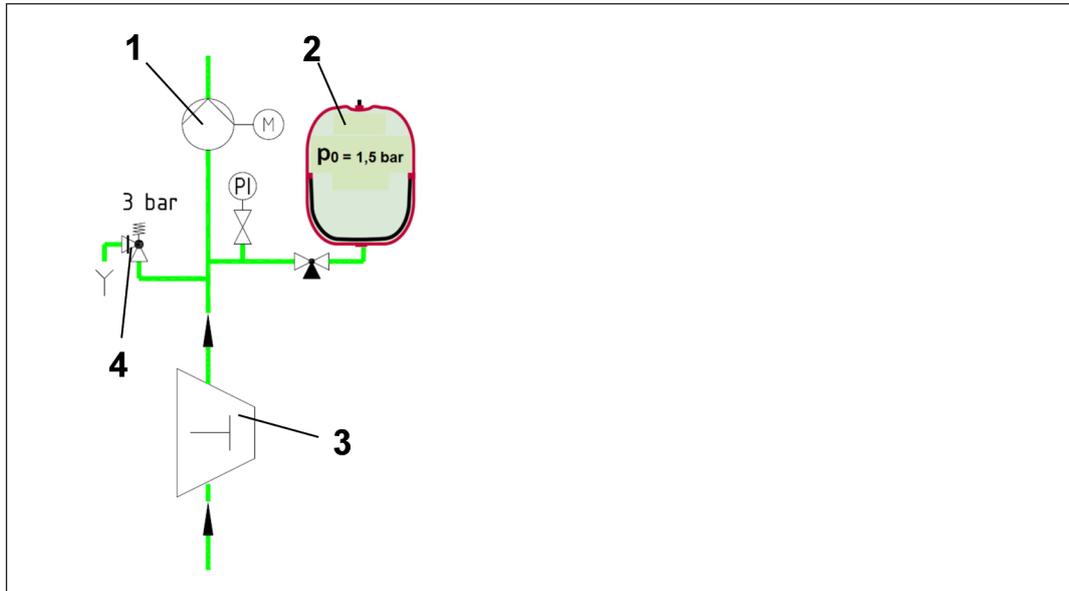
Generell werden Blockpumpen in Inline-Bauweise mit Norm-Motoren eingesetzt. Die Abdichtung des Wasserraums übernimmt eine ungekühlte Gleitringdichtung. Die Pumpen dürfen nicht trocken betrieben werden, da bei Trockenlauf die Gleitringdichtung beschädigt wird. Auch bei der Befüllung der Kühlsysteme muss darauf geachtet werden, dass vorkonditioniertes Kühlflüssigkeit eingefüllt wird. Reines Frostschutzmittel kann die Gleitringdichtung ebenfalls beschädigen.

7.5.7 Membranausdehnungsgefäß

Zum Ausgleich der Volumenausdehnung bei Erwärmung des Kühlwassers werden im Kühlsystem Membranausdehnungsgefäße vorgesehen. Die Volumenausdehnung des Kühlwassers 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 Kühlwasserkreis gegen Überdruck mit einem Sicherheitsventil abzusichern. Im Motorkühlkreis und Gemischkühlkreis werden Sicherheitsventile mit 3,0 bar Ansprechdruck eingesetzt. Der Einbauort sollte möglichst nah am Motorkühlwasseraustritt sein. Bei der Auslegung des Ausdehnungsgefäßes sind der statische Druck, der Strömungsdruckverlust zwischen dem Sicherheitsventil und dem Ausdehnungsgefäß und der Wasservorlage zu berücksichtigen. Die Wasservorlage in dem Motorkühlkreis und Gemischkühlkreis sollte ca. 10 bis 15 % des Kühlwasserinhaltes betragen, darf aber 20 Liter nicht unterschreiten.

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

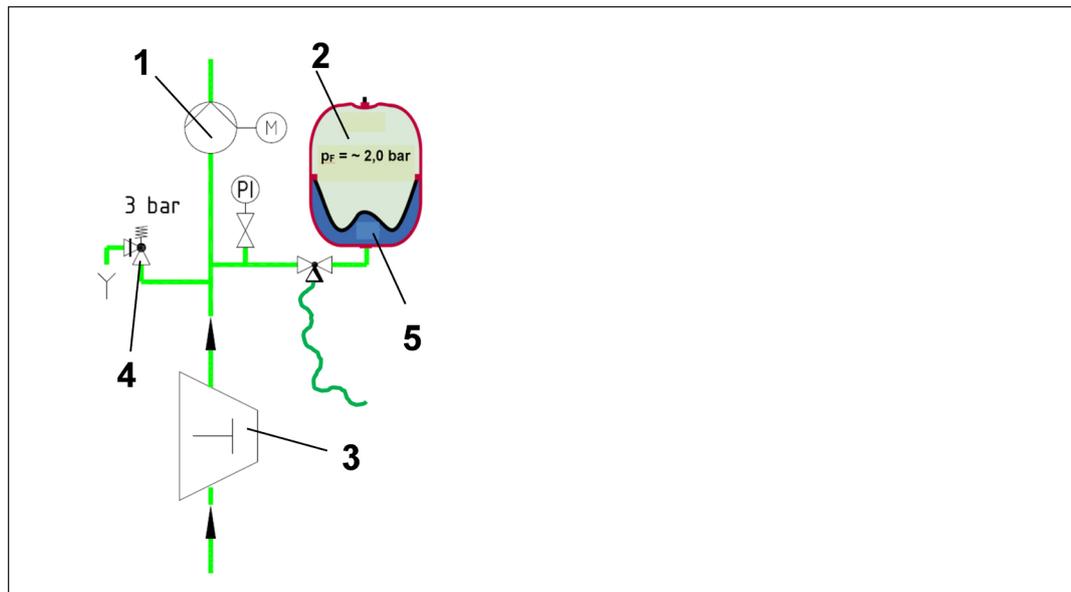
- Vor dem Befüllen des Kühlkreises
 - Das Membranausdehnungsgefäß ist mit einem Gasvordruck p_0 von 1,5 bar mit Stickstoff gefüllt. Die Gummimembran liegt an der Wand an.



69012-001

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

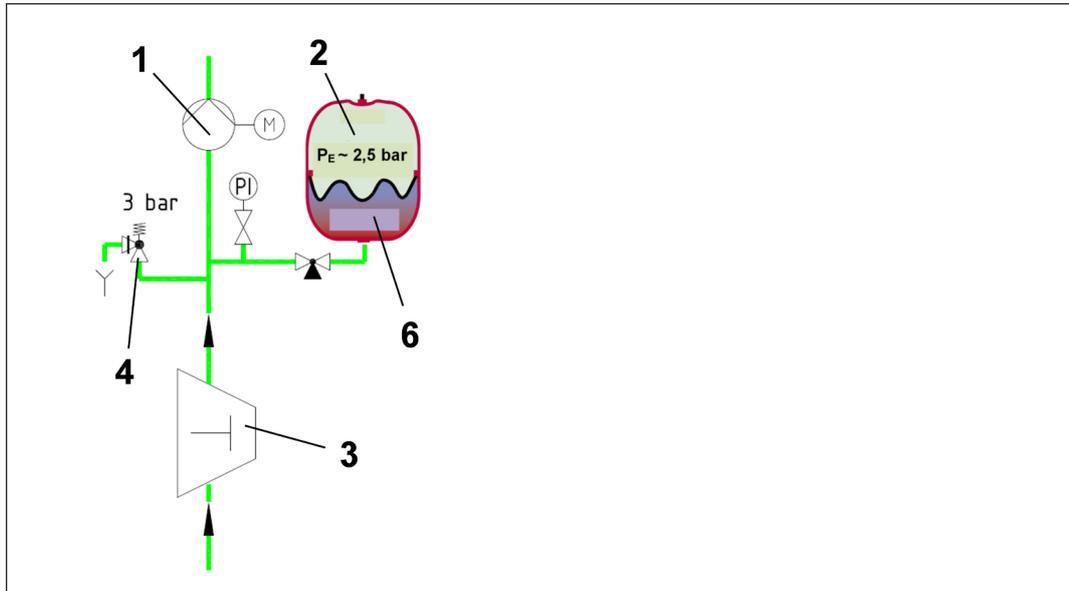
- Befüllen des Kühlkreises
 - Beim Befüllen des Kühlkreises überschreitet der Druck auf der Wasserseite den Gasvordruck in der Gasblase. Es strömt Wasser in das Membranausdehnungsgefäß und der Druck erhöht sich auf den Fülldruck p_F . Das Membranausdehnungsgefäß wird so dimensioniert, dass eine Wasservorlage im Bereich von 25 bis 50 Liter bei kaltem Zustand der Anlage im Membranausdehnungsgefäß vorhanden ist. Der Fülldruck p_F ist ca. 2 bar.



69013-001

5 Wasservorlage bei kaltem System

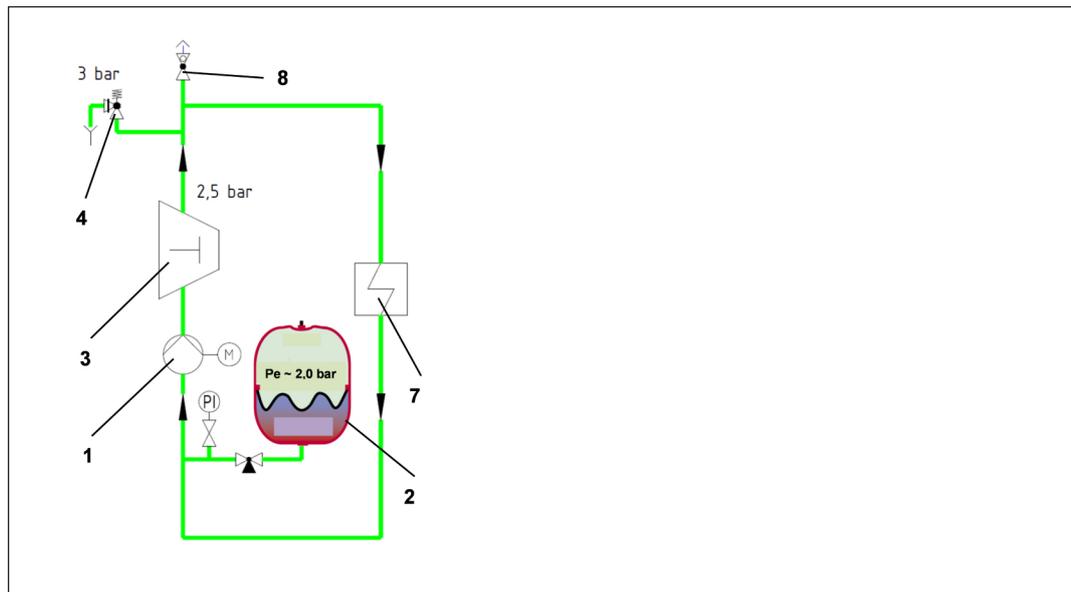
- Bedingungen beim Betrieb des Motors
 - Unter Betriebsbedingungen erwärmt sich das Kühlmittel und dehnt sich aus. Das Ausdehnungsvolumen führt im Membranausdehnungsgefäß zu einer weiteren Druckerhöhung. Es stellt sich ein Enddruck p_E von ca. 2,5 bar ein.



69014-001

6 Wasservorlage bei betriebswarmem 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 Kühlwasserwärmetauscher. In diesem Fall muss der Enddruck im Membranausdehngefäß geringer sein.
 - Bei der Anordnung des Membranausdehnungsgefäßes am Motoeintritt führt das zu einem größeren Membranausdehnungsgefäß, da für die Kompensation des Ausdehnungsvolumens eine geringere Druckdifferenz ausgenutzt werden kann.



69015-001

- 7 Kühlwasserwärmetauscher
- 8 Entlüftungsventil

7.5.8 Temperaturregler

Die Temperaturregler sind als elektronische Regler mit elektrischem Stellantrieb ausgeführt. Elektronische Temperaturregler 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 bis 0,5 bar im Durchgang (Bypass geschlossen) liegt.

7.5.9 Kühlwasser-Überwachungsgruppe

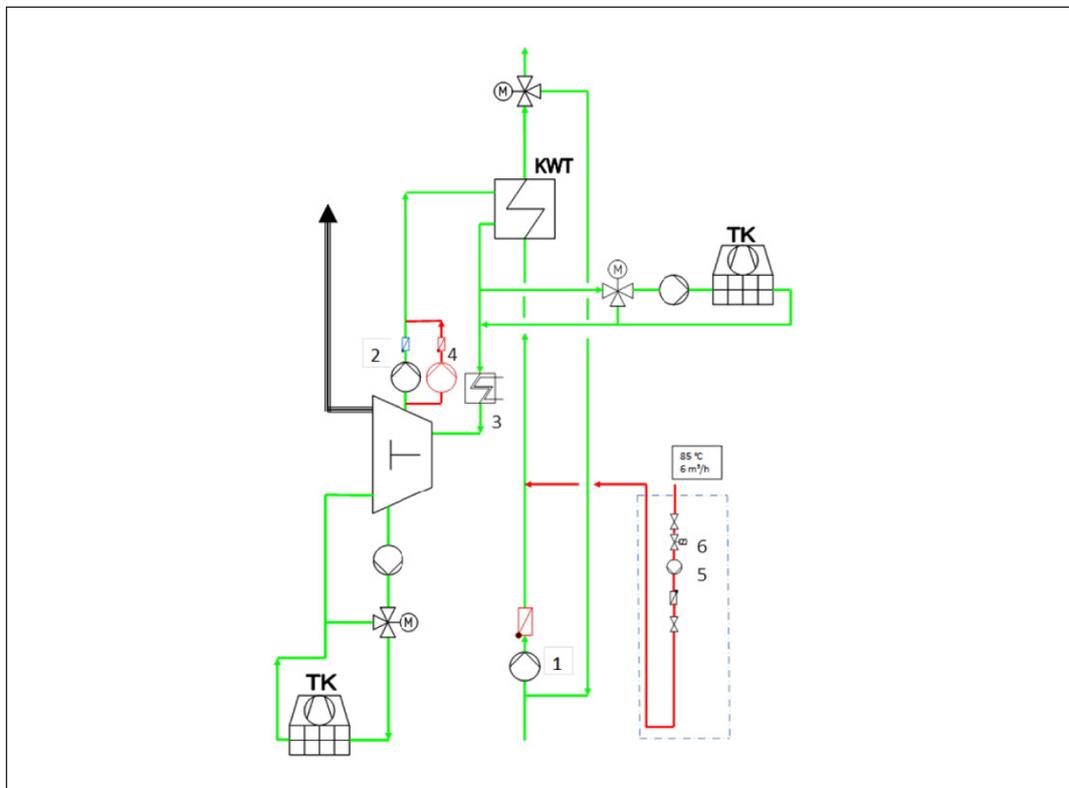
In der Kühlwasser-Überwachungsgruppe sind drei Funktionen integriert: Absicherung gegen Überdruck Entlüftung des Kühlkreises und Kühlwasserniveau-Überwachung. Die Kühlwasser-Überwachungsgruppe muss an der höchsten Stelle des Kühlwassersystems, nach Möglichkeit unmittelbar nach dem Motor, eingebaut werden. Bei Motoren der Baureihe TCG 3016 müssen Entlüftungsleitungen zur Überwachungsgruppe geführt werden. Zusätzlich ist es notwendig, den Kühlwasserdurchfluss des Motors mittels Differenzdruck zu überwachen.

7.5.10 Kühlwasservorwärmung

Gasmotorenaggregate sind für einen sicheren Start des Motors grundsätzlich mit einer Kühlwasservorwärmung auszurüsten. Als Vorwärmung für Motorwasser 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 Kühlwasserleitung eingebaut wird. Als Umwälzpumpe wird die elektrisch angetriebene Kühlwasserpumpe benutzt. Die Regelung erfolgt über das TEM/TPEM-System.

7.5.11 Kühlwasservorwärmung bei Aggregaten im Flexbetrieb

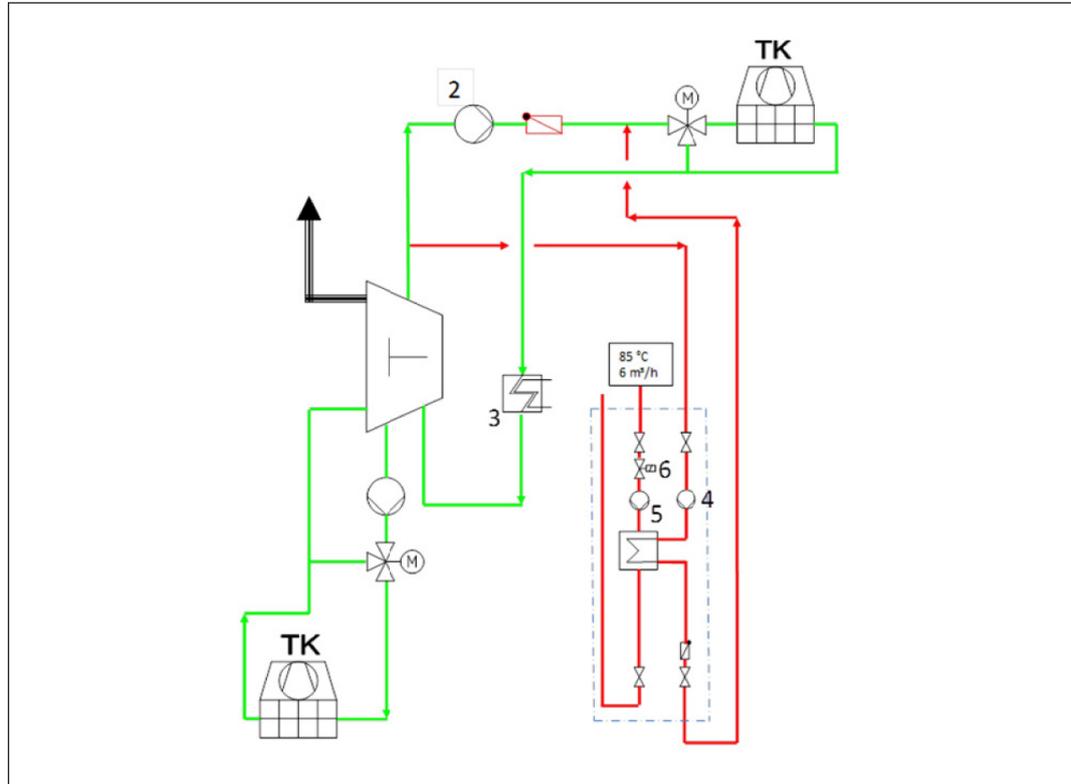
Wie bereits erwähnt, werden bei der Bereitstellung von Regelenergie Anpassungen bei der Kühlwasser-Vorwärmung und Vorschmierung zur Garantie der Startbereitschaft der Gasmotorenaggregate erforderlich \Rightarrow Kapitel 3.2 Bereitstellung von Regelenergie 21. Schnelles Hochfahren und anschließende Lastübernahme erfordern es, dass die Aggregate bzw. das komplette Motorkühlsystem ständig auf Temperaturen über 60 °C vorgewärmt sind. Wenn warmes Wasser aus einem externen Heizungssystem zur Verfügung steht, kann dieses zur Warmhaltung der Aggregate genutzt werden. Bei BHKW-Aggregaten wird der Kühlwasserwärmetauscher als Wärmeüberträger genutzt, die Wasserzirkulation wird dabei von hocheffizienten Nasläuferpumpen übernommen. Die herkömmliche elektrische Vorwärmung mit Zuschaltung der Motor-Kühlwasserpumpe 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 Abb. 67194 für das BHKW-Aggregat und Abb. 67193 für das Strommodul. Die Steuerung der Vorwärmung wird im Hilfsantriebsschrank umgesetzt.



67194-001 Flex-Vorwärmung BHKW-Aggregat

- 1 Pumpe Heizkreis
- 2 Pumpe Motorkreis
- 3 Elektrische Vorheizung
- 4 Umwälzpumpe Motorkreis
- 5 Umwälzpumpe Heizkreis
- 6 Magnetventil

TK	Tischkühler
KWT	Kühlwasser-Wärmetauscher



67193-001 Flex-Vorwärmung Strommodul

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

7.5.12 Rohrleitungen

Die Rohrleitungen für die Kühlwassersysteme sind grundsätzlich aus nahtlosem Stahlrohr auszuführen. Verzinkte Stahlrohre und Kupferrohre sind nicht zugelassen ⇒ Kapitel 21 Verlegung von Rohrleitungen 309.

Bei der Dimensionierung der Rohrleitungen sind folgende Richtwerte einzuhalten:

- Strömungsgeschwindigkeit anlagenseitig: < 3,5 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 Rohrkrümmen und Rohrverengungen sind zu vermeiden. Werkstoffe für Dichtungen, Gummimuffen und Schlauchleitungen müssen gegen Korrosionsschutzmittel und gegen äußere Einwirkungen durch Kraftstoff und Schmieröl beständig sein.

7.6 Entlüftung der Kühlsysteme

Das Kühlwassersystem 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 Kühlwasserleitungsführung ist so zu gestalten, dass Luftsäcke im System vermieden werden. Gegebenenfalls sind weitere Dauerentlüftungen oder Entlüftungshähne an den Hochpunkten vorzusehen. Insbesondere für einen ständig entlüfteten Motor wird eine automatische Entlüftung am Motorausstritt empfohlen. Für einen sicheren und von Druckstößen freien Betrieb des Kühlsystems ist es unbedingt erforderlich, dass das System einwandfrei entlüftet ist bzw. sich eventuell bildende Luftblasen von selbst entlüftet werden.

7.7 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 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 Brennstoffsystem

Inhaltsverzeichnis

8.1	Übersicht Brennstoffsystem.....	110
8.1.1	Die Methanzahl.....	110
8.1.2	Begleitgase/Begleitstoffe.....	110
8.1.3	Wasserdampf, Kohlenwasserstoffdämpfe, Staub im Gas.....	111
8.2	Anforderungen und Richtwerte.....	112
8.2.1	Vorschriften.....	112
8.3	Komponenten Brennstoffsystem.....	113
8.3.1	Gaskühltrocknung.....	113
8.3.2	Aktivkohlefilter.....	113
8.3.3	Gemischaufbereitung.....	115
8.3.4	Gasregelstrecken.....	116
8.3.5	Gasmischer.....	122
8.3.6	Drosselklappe.....	123
8.4	Hinweise zum Brennstoffsystem.....	124
8.4.1	Anfahren von Biogasanlagen.....	124
8.4.2	Wartung, Instandhaltung.....	124

8.1 Übersicht Brennstoffsystem

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

Als Brenngase kommen im Wesentlichen Erdgas, Klärgas, Deponiegas und Biogas zum Einsatz. Wegen ihres geringeren Heizwerts gegenüber Erdgas bezeichnet man z.B. Klärgas, Deponiegas und Biogas auch als Schwachgase. Die Hauptbestandteile der Gase sind Kohlenwasserstoffe (Methan, Ethan, Butan und Propan) sowie Stickstoff und Kohlendioxid.

Die Mindesteigenschaften von Brenngasen sind gemäß den Angaben im technischen Rundschreiben für Brenngas einzuhalten.

Für den Einsatz der Motoren mit Sondergasen wie z.B. Erdölbegleitgas, Grubengas usw. ist Rücksprache im Stammhaus zu halten.

8.1.1 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 Klopf Eigenschaften 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.

8.1.2 Begleitgase/Begleitstoffe

Begleitgase sind bei Klärgasen und Biogasen 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 Gasauflbereitung 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 Gasauflbereitung vorzusehen.

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

8.1.3 Wasserdampf, Kohlenwasserstoffdämpfe, Staub im Gas

Um in allen auftretenden Betriebszuständen, auch bei kalt gestartetem Motor, eine Kondensation im Motor auszuschließen, muss der Wasserdampfgehalt im Motor beschränkt werden. Im Brenngas darf eine relative Feuchte 80 % bei der niedrigsten Gastemperatur nicht überschritten werden. Höhere Feuchtegrenzwerte müssen genehmigt 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.

Der Staubgehalt (Partikelgröße 3-10 μm) im Gas ist auf 10 $\text{mg}/\text{m}^3\text{nCH}_4$ im Brenngas beschränkt. Höhere Staubgehalte dieser Korngröße führen neben möglichen Ablagerungen zu einer stärkeren Verschmutzung des Schmieröls, wodurch auch der Verschleiß erhöht wird.

8.2 Anforderungen und Richtwerte

8.2.1 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 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
BGR 500	⇒ Kapitel 8.4.2 Wartung, Instandhaltung 124

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.

8.3 Komponenten Brennstoffsystem

8.3.1 Gaskühlrocknung

Für alle biogenen Sondergase und alle Gase, die die Grenze von 80 % relativer Feuchte überschreiten, sollte 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.

8.3.2 Aktivkohlefilter

Zur Feinentschwefelung von Biogas hat sich die dotierte/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/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 unter guten Betriebsbedingungen bei 500 g Schwefel pro 1 kg Aktivkohle und mehr \Rightarrow Herstellerangaben. Dadurch sind auf vielen Biogasanlagen verhältnismäßig große Standzeiten von 2000 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 H_2S -Fracht so weit abzusenken, 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:

Die unbeladene Aktivkohle vor der Adsorptionszone.

Die Adsorptionszone, in der die Adsorption stattfindet (klein im Verhältnis zum Behälter).

Die beladene Schicht hinter der aktiven Schicht.

Die Adsorptionszone wandert in Gasströmungsrichtung durch den Adsorber. Am Gasaustritt kann durch Messung der H_2S -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 H_2S -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 H_2S -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 H_2S -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 bestätigt worden ist und damit das Brenngas die geforderte Qualität hatte. Und zweitens reichen auch kurze Betriebszeiten mit H_2S -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 Gaskühlrocknung mit Nacherwärmung zur Konditionierung vorgeschaltet werden.

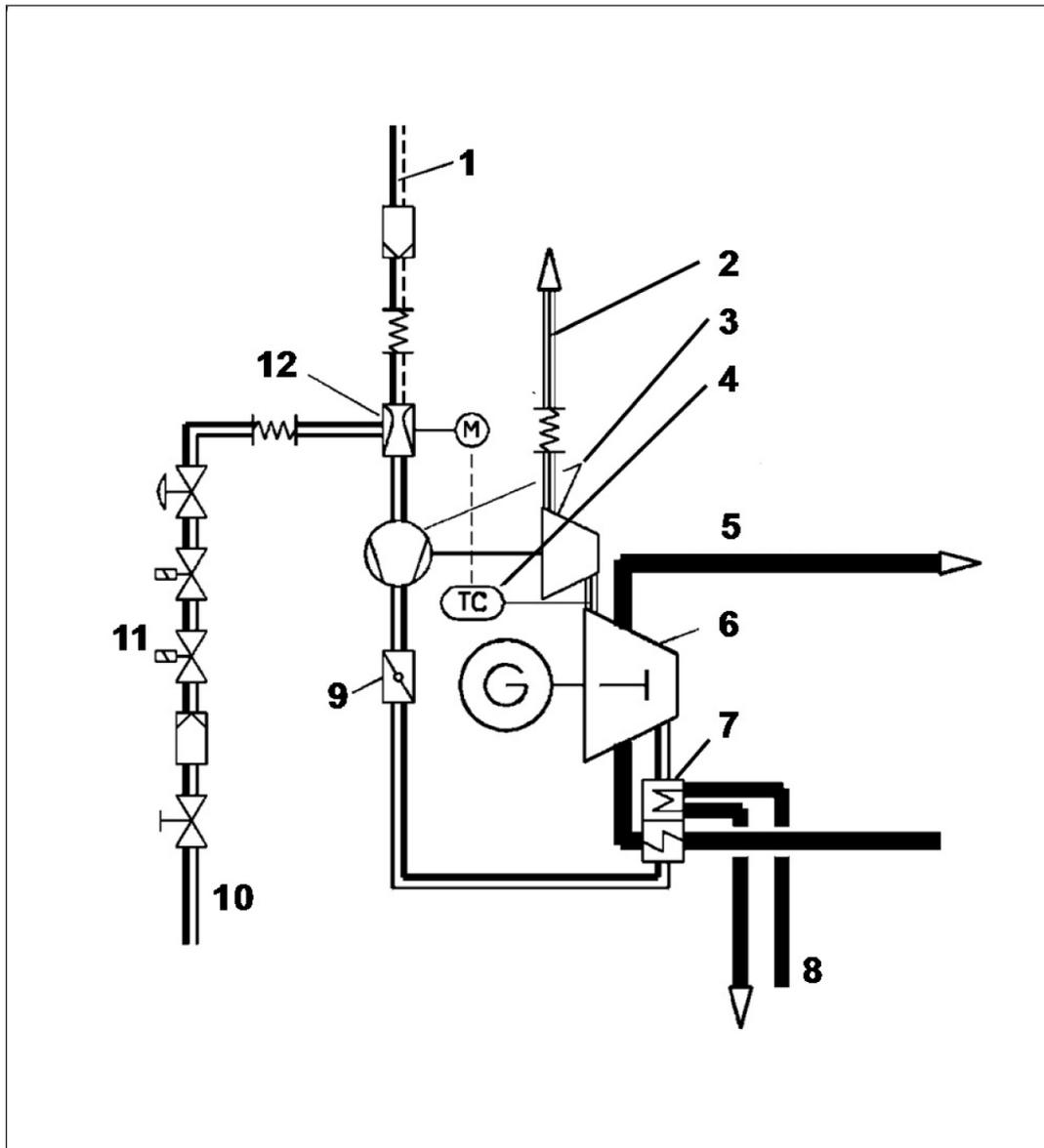
Nicht mit der H_2S -Adsorption zu vergleichen ist die Adsorption von siliziumorganischen Kohlenwasserstoffen. Diese finden sich in Klärgas und Deponiegas und teilweise auch im Brenngas von Biogasanlagen, die der Abfallverwertung dienen.

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.

8.3.3 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. Abb. 67197 zeigt u.a. die Komponenten der Gemischaufbereitung bei Magerverbrennung.



67197-001 Prinzip der Magerverbrennung mit Turboaufladung, Zweikreis-Kühlung und Brennraumtemperaturregelung

- 1 Verbrennungsluft
- 2 Abgas
- 3 Turbolader
- 4 Brennraum-Temperaturmessung
- 5 Kühlwasser
- 6 Motor
- 7 Gemischkühler

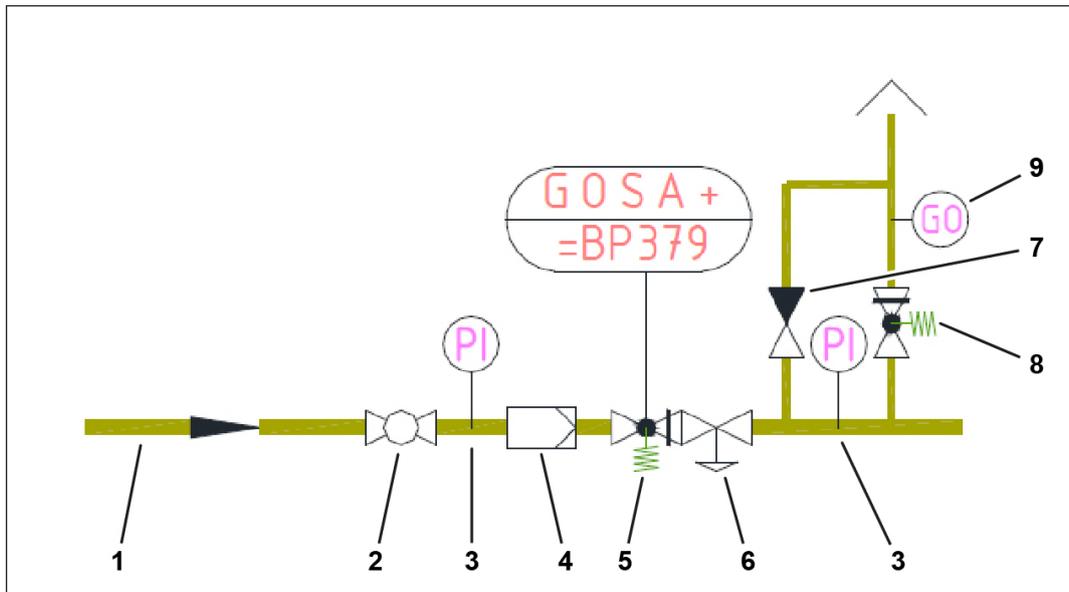
- 8 NT-Gemisch-Kühlwasser
- 9 Drosselklappe
- 10 Gas
- 11 Gasregelstrecke
- 12 Mischer mit Stellmotor für Gemischregelung

8.3.4 Gasregelstrecken

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

Vorregelstrecke

Die Gasvorregelstrecke reduziert den Gasdruck auf unter 200 mbar. Die Hauptkomponenten der Vorregelstrecke sind der Kugelhahn am Eintritt, der Gasfilter, das Gas-Druckregelgerät mit Sicherheitsabsperreinrichtung (SAV) und das Sicherheitsabblaseventil (SBV). Das Sicherheitsabsperventil schließt die Gaszufuhr ab, wenn der Ausgangsdruck hinter der Vorregelstrecke den eingestellten Grenzwert überschreitet. Kleinere Druckstöße, die z. B. beim Schließen der Magnetventile in der stromab liegenden Gasregelstrecke auftreten, werden durch Öffnen des Abblaseventils gegen Federkraft abgefangen. In der Abb. 67199 ist eine Gas-Vorregelstrecke dargestellt.



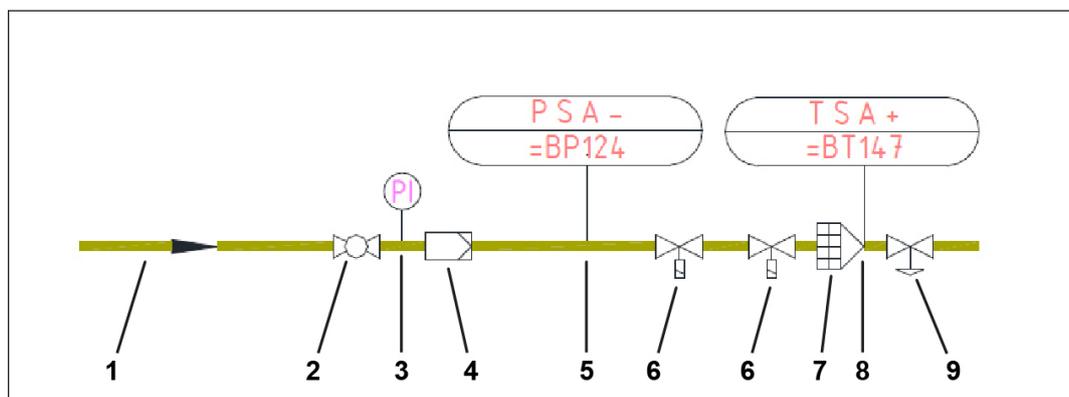
67199-001 Gas-Vorregelstrecke

- 1 Gas
- 2 Kugelhahn
- 3 Manometer
- 4 Gasfilter
- 5 Sicherheitsabsperventil (SAV)
- 6 Druckregler
- 7 Entlüfterhahn
- 8 Sicherheitsabblaseventil (SBV)
- 9 Anzeige für Leckgasmengen

Nulldruckgasregelstrecken

Vor der Mischung von Gas und Luft im Venturimischer muss Druckgleichheit von Gas und Luft hergestellt werden. Das wird von dem Membran-Nulldruckregler in der Gasregelstrecke übernommen. Den prinzipiellen Aufbau einer Gasregelstrecke zeigt Abb. 67198. Die Nulldruckregler sind als Regler ohne Hilfsenergie ausgeführt. Am Eintritt einer Gasregelstrecke befindet sich ein manuell zu betätigender Kugelhahn. Danach ist zum Schutz vor Unreinheiten ein Gasfilter eingebaut. Der Filtereinsatz besteht aus einer Filtermatte, der Filterungsgrad beträgt ca. 85 % für Teilchen > 5 µm. Danach folgen zwei Absperrventile, die je nach Nennweite als Magnetventile oder als pneumatisch betätigte Ventile ausgeführt sind. Bei Betrieb mit Brenngasen, die Sauerstoff enthalten können, z.B. Deponiegas und Klärgas, wird hinter den beiden Absperrventilen eine Flammdurchschlagsicherung mit Temperaturüberwachung vorgesehen. Schließlich folgt der Nulldruckregler. Vor den Magnetventilen ist immer ein Druckminimumwächter angebaut. Je nach den für die Anlage geforderten Sicherheitsauflagen können die Gasregelstrecken mit Dichtheitskontrolle oder Zwischenentlüftungsventil bzw. Druckmaximumwächter ausgerüstet werden.

Die Nulldruckgasregelstrecken werden mit einem Vordruck bis zu 200 mbar betrieben. Bei höheren Vordrücken ist entweder eine spezielle Auslegung der Gasregelstrecke oder eine Vorregelstrecke erforderlich.



67198-001 Gasregelstrecke

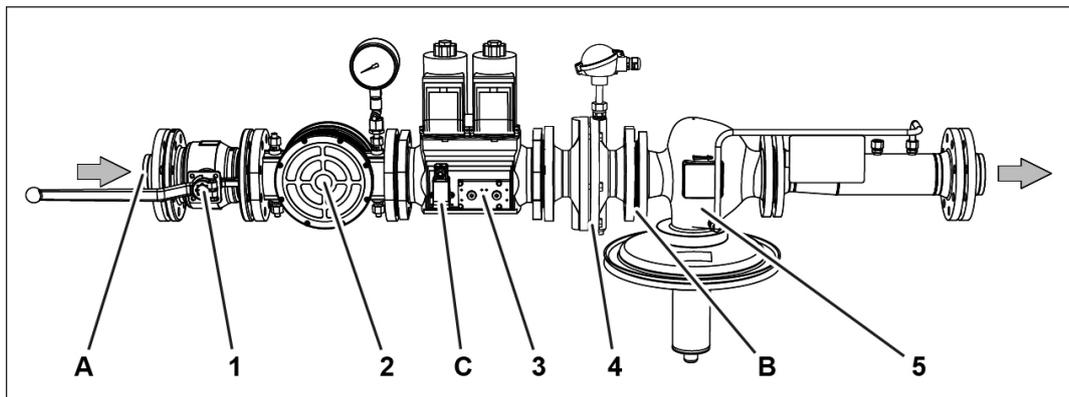
- 1 Gas
- 2 Kugelhahn
- 3 Manometer
- 4 Gasfilter
- 5 Druckwächter
- 6 Magnetventil
- 7 Flammdurchschlagsicherung (nicht bei Erdgas)
- 8 Temperatursensor
- 9 Nulldruckregler

Anforderungen an die Gaszufuhr zur Nulldruckgasregelstrecke

Für einen störungsfreien Betrieb des Gasmotors ist ein Mindestgasdruck von ca. 10-20 mbar direkt am Eintritt des Nulldruckreglers der Nulldruckgasregelstrecke zu gewährleisten (siehe. Abb. 73220 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 Nulldruckreglers ist der Mindestgasdruck vor der Nulldruckgasregelstrecke durch den Aufbau der Nulldruckgasregelstrecke definiert (siehe Abb. 73220)

Der erforderliche Mindestdruck am Eintritt der Nulldruckgasregelstrecke (Abb. 73220, Pos. A) ist von folgenden Faktoren abhängig:

- Volumenstrom Brenngas
- Feuchte Brenngas
- Dichte Brenngas
- Gasäquivalentfaktor, wenn abweichend zu Erdgas
- Nennweite der Nulldruckgasregelstrecke
- Summe Druckverluste der Einzelbauteile der Nulldruckgasregelstrecke



73220-001 Nulldruckgasregelstrecke

- | | |
|---|-----------------------------------|
| 1 | Kugelhahn |
| 2 | Gasfilter |
| 3 | Doppelmagnetventil |
| 4 | Flammensperre |
| 5 | Nulldruckregler |
| A | Eintritt Nulldruckgasregelstrecke |
| B | Eintritt Nulldruckregler |
| C | Position Schalter Mindestdruck |

Jede Nulldruckgasregelstrecke enthält den einstellbaren Schalter Mindestdruck. Der Schalter Mindestdruck muss so eingestellt werden, dass mit diesem Vordruck ein störungsfreier Betrieb des Gasmotors bei Vollast gewährleistet ist. Eine Unterschreitung des eingestellten Mindestdrucks verhindert den Aggregatstart oder führt zur Abstellung des Aggregats. Der Einbauort des Druckschalters ist in der Regel zwischen Gasfilter und den Absperrventilen (s. Abb. 73220 Pos. C), die entweder als Magnetventile oder elektro-pneumatische Ventile ausgeführt sind. Der am Eintritt der Gasregelstrecke zu gewährleistende Vordruck muss also größer sein als der Einstellwert des Druckschalters plus dem Druckverlust der vorgelagerten Bauteile bei Vollast.

Der Mindestvordruck für Inselbetrieb, d. h. dem Betrieb mit Lastzuschaltungen und Lastabschaltungen, ist generell für den Erdgasbetrieb mit größer 100 mbar festgelegt. Bei Biogasbetrieb ist je nach Gaszusammensetzung, Aggregat und Konfiguration der Gasregelstrecke ein höherer Vordruck erforderlich. Der erforderliche Vordruck kann bis 120 mbar ansteigen.

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 Nulldruckgasregelstrecke. Diese Veränderungen sollen sich nach Möglichkeit nicht oder nur im begrenzten Rahmen auf den Vordruck vor der Nulldruckgasregelstrecke 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 Nulldruckgasregelstrecke und der Gasversorgung vorgehalten werden. Das Puffervolumen sollte in der Größenordnung von 1000 Liter@1013 mbar pro 1000 Nm³/h Gasverbrauch liegen. Als Puffervolumen kann die Rohrleitung zwischen der Gasversorgung und der Nulldruckgasregelstrecke angesehen werden. Bei Biogasanlagen übernehmen diese Funktion z. B. die Aktivkohlefilter, die normalerweise zwischen Gasverdichter und Nulldruckgasregelstrecke eingebaut sind.

Beispiel:

Ein Gasmotoren-Aggregat hat einen Brenngasverbrauch von 1000 Nm³ Erdgas pro Stunde. Der Gasvordruck ist 100 mbar und die Nulldruckregelstrecke hat eine Nennweite von DN125. Wenn wir die Rohrleitung vor der Gasregelstrecke als Puffervolumen ansehen und die Nennweite der Leitung mit DN125 annehmen, ergibt sich eine Leitungslänge von ca. 70 Metern@1013mbar.

Nulldruckgasregelstrecken 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 Flammensperre 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 Nulldruckgasregelstrecke zu reduzieren. Bei Vordrücken größer 500 mbar ist der Einbau von Vordruckregelstrecken mit Sicherheitsabsperrentil (SAV) und Sicherheitsabblaseventil (SBV) erforderlich. Vorregler sind in der Regel direkt in der Nulldruckregelstrecke nach dem Gasfilter eingebaut. Vordruckregelstrecken sind in unmittelbarer Nähe vor Nulldruckgasregelstrecken installiert. Vordruckregler und Vordruckregelstrecken sind zusammen mit den Nulldruckgasregelstrecken als Gesamtsystem abgestimmt. In diesen Fällen gilt die Forderung nach dem einzuhaltenden Puffervolumen vor der Nulldruckregelstrecke nicht.

Zweigasbetrieb

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/gleich zwei Nennweiten ist.

Bei ungünstigen Konstellationen kann die Interaktion zwischen den Membranen der beiden Nulldruckregler zu permanenten Druckschwankungen in dem Gasvolumen zwischen den Nulldruckregelstrecken und dem Gasmischer führen. Das kann so weit führen, dass ein stabiler Betrieb des Gasmotors nicht möglich ist. In diesen Fällen muss in der jeweiligen Gasleitung eine weitere automatische Absperrereinrichtung vor dem Gasmischer 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.

Darüber hinaus kann bei speziellen Anforderungen das Gas vor der Gasregelstrecke gemischt werden. Das ist bei jedem einzelnen Fall zu prüfen und auszulegen.

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 Vordruckregelstrecke und Nulldruckregelstrecke 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.

Hinweise zum Einbau von Gasregelstrecken

Die Gasregelstrecke ist im gleichen Raum wie der Gasmotor anzuordnen, damit der Druckregler auf Veränderungen des Ansaugluftdrucks reagieren kann. 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 Normallage 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. Der maximale Abstand zwischen Austritt Gasregelstrecke und Eintritt Gasmischer am Gasmotor darf 3 m nicht überschreiten. In diese Leitung dürfen maximal drei 90° Bögen eingebaut werden.

Hinweis

Da vor dem Eintritt in den Gasmotor keine weitere Filterung des Gases erfolgt, muss die Leitung zwischen Gasregelstrecke und Gasmischer innen gesäubert werden ⇒ Kapitel 21.1 Allgemeine Montagehinweise 310. In Brenngasgemischen, die auch Sauerstoff als Komponente enthalten (z.B. Klärgas, Biogas und Deponiegas), kann es zu Rückzündungen in der Gasleitung kommen. Um ein Durchschlagen einer Flamme in die Gas zuführende Leitung zu vermeiden, sind dauerbrandsichere Flammdurchschlagsicherungen mit Temperaturüberwachung in den Standard-Gasregelstrecken enthalten. Bei den eingebauten Flammenrückschlagsicherungen ist zwischen Motor und Gasregelstrecke ein Abstand von maximal 40 x DN der Gasleitung zulässig. Bei größeren Abständen muss eine dauerbrandsichere Detonationssicherung vorgesehen werden.

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.

Bei den Baureihen TCG 3016, TCG 3020 und TCG 2032B wurden Gasmischer mit hoher Effizienz eingeführt. Der Strömungsdruckverlust über den Gasmischer wurde minimiert. Deshalb steht für die Ansaugung des Brenngases über den Nulldruckregler der Gasregelstrecke ein geringerer Unterdruck zur Verfügung. Daher muss bei diesen Aggregaten der Druckverlust in der Gasleitung zwischen Nulldruckregler und Gasmischer möglichst gering gehalten werden. Hier ist generell ein Kompensator anstelle des Wellrohrschlauches am Gasmischer zu verwenden. Der Wellrohrschlauch erzeugt einen zu hohen Druckverlust. Das führt zu Problemen beim Start des Gasmotors und zu instabilen Betriebszuständen bei Lastwechseln.

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 Vorregelstrecke 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 Absperrvorrichtung ist im Gefahrenfall schnell zu schließen. Es werden fernbedienbare Ventile mit ständig zur Verfügung stehender Hilfsenergie (z. B. Schließfeder) empfohlen.

Hinweise zu den Abblaseleitungen und Atmungsleitungen an Gasregelstrecken

Leitungen zur Atmosphäre sind ohne Querschnittsverengung (Druckverlust beachten) in der vom Hersteller des Gas-Druckregelgerätes und der Sicherheitseinrichtung vorgesehenen Dimensionierung zu verlegen.

Atmungsleitungen dürfen nicht absperrbar sein. Abblaseleitungen und Entspannungsleitungen dürfen grundsätzlich nicht mit Atmungsleitungen in eine Sammelleitung zusammengeführt werden. Ausgenommen sind Leitungen zur Atmosphäre an Geräten, in denen Atmungs-Abblaseeinrichtungen und Sicherheits-Abblaseeinrichtungen apparativ zusammengefasst sind. Abb. 67200 zeigt eine Vorregelstrecke, die diese Vorgabe nicht erfüllt, da die Abblaseleitung und Atmungsleitung zu einer Leitung zusammengefasst wird, dies ist nicht zulässig.

Die Ausmündungen von Ableitungen ins Freie müssen von Zündquellen weit genug entfernt sein. Ausmündungen müssen gegen Außenkorrosion geschützt und zum Schutz gegen Verstopfen mit geeigneten Einrichtungen versehen sein. Ausmündungen müssen so anordnet sein, dass ausströmendes Gas nicht in geschlossene Räume eintreten oder auf andere Weise unzumutbare Belästigung oder Gefährdung verursachen kann.



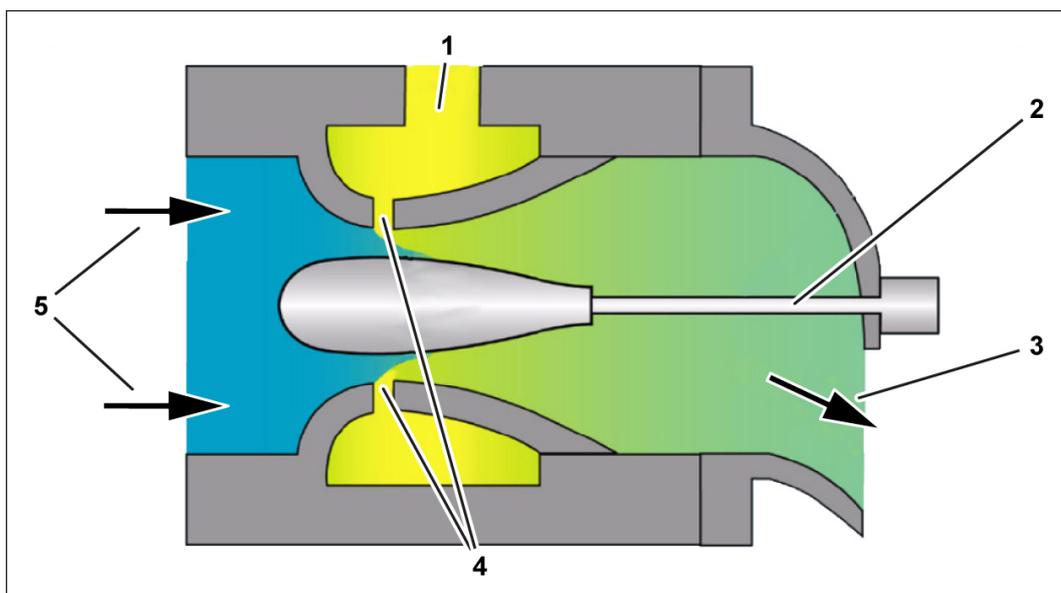
67200-001 Vorregelstrecke mit nicht zulässiger Zusammenführung der Abblaseleitung und Atmungsleitung

8.3.5 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. Abb. 67201 zeigt das Prinzip eines Gas-Luftmischers mit verstellbarem Spalt.



67201-001 Multigas-Mischer

- 1 Gaseintritt
- 2 Verbindungsgestänge zum Schrittmotor
- 3 Gas-Luft-Gemischaustritt
- 4 Gasspalt
- 5 Lufteintritt

8.3.6 Drosselklappe

Über die Drosselklappe wird die Menge des verdichteten Gemisches zum Motor und damit letzten Endes die vom Motor abgegebene Leistung bzw. Drehzahl geregelt.

8.4 Hinweise zum Brennstoffsystem

8.4.1 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_u 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 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.

8.4.2 Wartung, Instandhaltung

Bei Arbeiten an Gasleitungen sind u.a. die Vorschriften BGR 500 und das DVGW-Arbeitsblatt G 495 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.

9 Schmierölsystem

Inhaltsverzeichnis

9.1	Übersicht Schmierölsysteme.....	126
9.1.1	Aggregat.....	126
9.1.2	Anlage.....	126
9.2	Anforderungen und Richtwerte.....	128
9.2.1	Aggregat.....	128
9.2.2	Anlage.....	128
9.3	Komponenten Schmierölsystem.....	129
9.3.1	Motorvorschmierung.....	129
9.4	Schmieröl.....	130
9.4.1	Schmierölsorten.....	130
9.4.2	Schmieröl bei Biogasanwendungen.....	130
9.4.3	Schmierölwechsel, Schmierölnachfüllung.....	130

9.1 Übersicht Schmierölsysteme

Die Schmierölsysteme unterteilen sich in das System des Aggregats und das optionale System der Anlage.

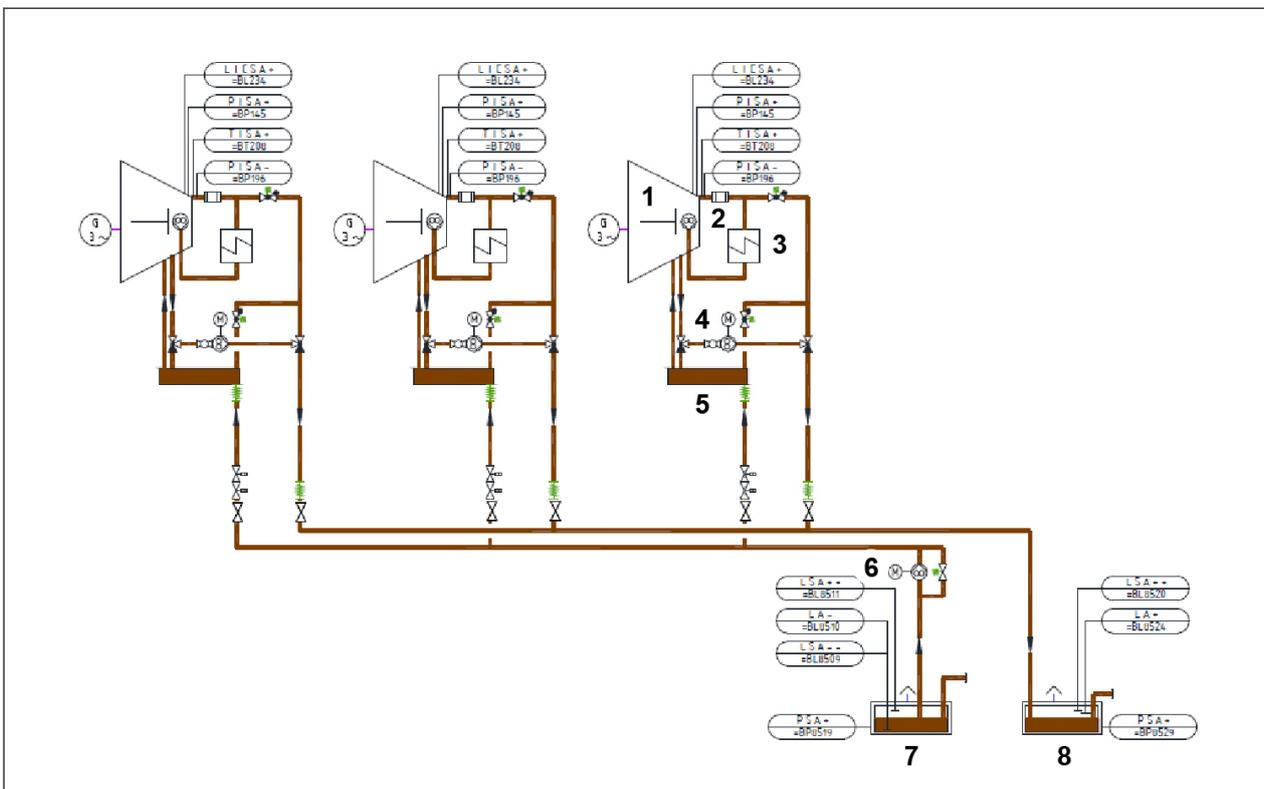
9.1.1 Aggregat

Die Schmierölsysteme der Motoren sind als Nasssumpfschmierung ausgeführt. Tabelle (siehe unten) zeigt die für die Motorbaureihen angewandten Schmierölsysteme.

Motortyp	Nasssumpf Ölwanne am Motor	Erweiterter Öltank im Grundrahmen	Frischöltank im Grundrahmen	Externer Öltank in der Anlage
TCG 3016	X	X	X	
TCG 2020	X	X		
TCG 3020	X	X		
TCG 2032	X			

9.1.2 Anlage

Das Schmierölsystem der Anlage ist abhängig von der Auslegung.



67202-001 Schmierölsystem einer Anlage

- 1 Gasmotor
- 2 Schmierölfilter
- 3 Schmierölkühler

-
- 4 Vorschmierpumpe
 - 5 Grundrahmen Öltank
 - 6 Frischölpumpe
 - 7 Frischöltank
 - 8 Altöltank

9.2 Anforderungen und Richtwerte

9.2.1 Aggregat

Externe Ölkühler, inklusive Einbauteile, sind auf mindestens 16 bar auszulegen.

9.2.2 Anlage

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. 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.

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.

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.

Altöltank

Als minimale Größe empfiehlt sich die Menge von zwei Ölwechseln.

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 dm³).

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.

Gasmotoren

Die bei Gasmotoren an den Motoren angebauten SchmierölfILTER sind für den uneingeschränkten Betrieb ausgelegt. Zur Schmierölaufbereitung ist keine weitere Maßnahme anlagenseitig nötig.

9.3 Komponenten Schmierölsystem

Alle Motorbaureihen verfügen über angebaute Schmieröldruckpumpen, die Schmierölfiltration und Schmierölkühlung erfolgt über am Motor angebaute oder externe Filter und Ölkühler.

9.3.1 Motorvorschmierung

Für alle Motortypen ist generell eine Vorschmierung vorgesehen. Die Vorschmierung reduziert den Motorverschleiß deutlich. Zur Vorschmierung werden elektrisch angetriebene Vorschmierpumpenaggregate eingesetzt. Die Vorschmierpumpenaggregate sind in den meisten Fällen an dem Aggregategrundrahmen 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/TPEM-System. Bei laufendem Motor ist die Vorschmierung nicht aktiv. Die Baureihe TCG 2032 hat keine Intervallvorschmierung und muss vor jedem Start vorgeschmiert werden.

9.4 Schmieröl

9.4.1 Schmierölsorten

In den technischen Rundschreiben 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. In den Rundschreiben 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.

9.4.2 Schmieröl bei Biogasanwendungen

In dem technischen Rundschreiben "Optimierung des Ölmanagements bei Biogasanwendungen" sind für die Gasmotoren zusätzliche Hinweise für das Schmieröl bei Biogas angegeben.

9.4.3 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 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 Anlageaufbau 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/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/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 Frisch- und/oder Altölen sind die jeweiligen Sicherheits- und sonstigen gesetzlichen Vorschriften unbedingt zu beachten.

10 Verbrennungsluftsystem

Inhaltsverzeichnis

10.1	Übersicht Verbrennungsluftsystem.....	132
10.1.1	Definition Umgebungsluft.....	132
10.1.2	Definition Ansaugluft, Verbrennungsluft.....	132
10.2	Anforderungen und Richtwerte.....	133
10.2.1	Anforderungen an die Verbrennungsluft.....	133
10.2.2	Verbrennungsluftmenge.....	136
10.3	Komponenten des Verbrennungsluftsystems.....	137
10.3.1	Filterungsarten für die Verbrennungsluft.....	137
10.3.2	Schalldämpfer.....	137
10.3.3	Luftansaugleitung.....	137
10.3.4	Kurbelgehäuseentlüftung.....	137
10.4	Druckverluste.....	138

10.1 Übersicht Verbrennungsluftsystem

10.1.1 Definition Umgebungsluft

In der freien Umgebung bezeichnet man Luft als Umgebungsluft. Umgebungsluft versorgt die Gasmotorenanlage. Die Temperatur der Umgebungsluft wird im Normalfall in Bodennähe 2 m über dem Boden gemessen. Umgebungslufttemperatur ist weder von Sonnenstrahlung noch von Bodenwärme oder Wärmeleitung beeinflusst.

10.1.2 Definition Ansaugluft, Verbrennungsluft

Die Ansaugluft bzw. Verbrennungsluft ist die Luft, die der Gasmotor unmittelbar vor dem Verbrennungsluftfilter vorfindet. Die Ansaugluft bzw. Verbrennungsluft erfährt durch das Belüftungssystem der Anlage eine Filterung. Die Gestaltung der Luftführung und die durchgesetzte Luftmenge können eine Erhöhung der Ansauglufttemperatur gegenüber der Umgebungslufttemperatur bewirken.

10.2 Anforderungen und Richtwerte

10.2.1 Anforderungen an die Verbrennungsluft

Verbrennungslufttemperatur und Verbrennungsluftdruck

In den Datenblättern ist nach ISO 8528-1 die elektrische Klemmenleistung des Stromerzeugungsaggregats angegeben. In dieser Norm sind bezüglich der Verbrennungsluftparameter folgende Normbezugsbedingungen festgelegt:

Lufttemperatur	298 K (25 °C)
Luftdruck	1000 mbar (100 kPa)
Relative Luftfeuchte	30 %

Die Leistungsangabe in den Caterpillar Energy Solutions GmbH Standarddatenblättern weicht von diesen Normbezugsbedingungen teilweise ab und je nach Motortyp sind spezielle Bezugsbedingungen definiert. Für Verbrennungslufttemperaturen und Aufstellhöhen, die nach oben von den Bezugsbedingungen abweichen, erfolgt eine Leistungsreduktion.

Für den Start und Betrieb der Motoren gelten folgende Anforderungen bezüglich der Verbrennungslufttemperatur:

Beim Betrieb der Motoren sind die Verbrennungslufttemperaturen (Minimum/Auslegung) laut Datenblättern bzw. RI-Fließbildern einzuhalten.

Für den Start der Motoren im Maschinenraum ist folgende Verbrennungslufttemperatur sicher zu stellen:

- Gasmotoren mit Luftvorwärmer oder Wastegate
 - ≥ 5 bis 10 °C
- Gasmotoren ohne Luftvorwärmer und Wastegate
 - ≤ 10 K unter Auslegungstemperatur nach Datenblatt bzw. RI-Fließbild
- Gasmotoren TCG 2032 mit Luftfilter und Luftvorwärmer für jede Zylinderbank
 - Die den Filtern und Vorwärmern zugeführte Luft muss für Bank A und B die gleiche Temperatur haben

Zusammensetzung der Verbrennungsluft

Bei der Verbrennungsluft geht man von der normalen Zusammensetzung trockener Luft plus einem Anteil Wasserdampf aus. Bei einem bestimmten Luftdruck und einer bestimmten Lufttemperatur definiert die relative Luftfeuchtigkeit den Wasserdampfanteil in der Luft. Grundsätzlich muss die Verbrennungsluft frei von Säure bildenden oder Basen bildenden Bestandteilen sein; z.B. Schwefeldioxid (SO_2) verbindet sich mit Wasser (H_2O) zu schwefeliger Säure. In der Tabelle „Hauptbestandteile trockener Luft“ sind in der Höhe von Normalnull (NN) die Hauptbestandteile trockener Luft angegeben.

Hauptbestandteile trockener Luft	
Gas	Volumenanteile
Stickstoff N ₂	78,084 %
Sauerstoff O ₂	20,946 %
Kohlendioxid CO ₂	0,035 %
Argon Ar	0,934 %
Summe	99,999 %

Bei den restlichen 0,001 Volumenprozent handelt es sich um so genannte Spurengase. Im Wesentlichen handelt es sich um die Edelgase Neon (18 ppm), Helium (5 ppm) und Krypton (1 ppm). Bedingt durch das Austreten von Prozessgasen, in der Umgebung von Industriebetrieben oder chemischen Anlagen, ist die Zusammensetzung der Verbrennungsluft merklich negativ beeinflusst. Durch Schwefelwasserstoff (H₂S), Chlor (Cl), Fluor (F), Ammoniak (NH₃) usw.

Das technische Rundschreiben für Brenngas definiert Grenzwerte für den Gehalt von "schädlichen" Begleitgasen. Die Grenzwerte sind definiert für Schwefel (S), Schwefelwasserstoff (H₂S), Chlor (Cl), Fluor (F) und Ammoniak. Bei diesen Grenzwerten geht man davon aus, dass die Verbrennungsluft sich wie in Tabelle „Zulässige Belastung der Verbrennungsluft“ angegeben zusammensetzt, also selbst keinen Schwefel, Schwefelwasserstoff, Chlor usw. enthält. Mit den gegebenen Grenzwerten für die Begleitgase im Brenngas lassen sich entsprechende Grenzwerte für das Gemisch (Brenngas und Verbrennungsluft) und die Verbrennungsluft selbst ableiten.

Beispiel: In dem Rundschreiben ist der Grenzwert für Ammoniak im Brenngas mit 30 mg/mn³ CH₄ angegeben. Bei der Verbrennung von Erdgas (Annahme 100 % CH₄) sind zur Verbrennung von 1 Normkubikmeter Erdgas ca. 17 Normkubikmeter Luft nötig. Daraus lässt sich ermitteln, dass der Anteil von Ammoniak in der Verbrennungsluft nur 1,8 (30/17) mg/mn³ betragen darf. Damit ist der Grenzwert für das Brenngas von 30 mg/mn³CH₄ eingehalten. Wenn das Brenngas selbst bereits Anteile von Ammoniak enthält, reduziert sich der zulässige Anteil in der Verbrennungsluft entsprechend.

In der Verbrennungsluft lassen sich in ähnlicher Weise obere Grenzwerte für weitere schädliche Begleitgase ableiten. Obere Grenzwerte sind in Tabelle „Zulässige Belastung der Verbrennungsluft“ aufgelistet.

Zulässige Belastung der Verbrennungsluft	
Komponente	Anteil Luft
Schwefel (gesamt) S oder Schwefelwasserstoff H ₂ S	< 130 mg/m _n ³ < 135 mg/m _n ³
Chlor (gesamt) Cl	< 5,9 mg/m _n ³
Fluor (gesamt) F oder Summe Chlor und Fluor	< 2,9 mg/m _n ³ < 5,9 mg/m _n ³
Ammoniak NH ₃	< 1,8 mg/m _n ³
Öldämpfe >C5<C10	< 176 mg/m _n ³
Öldämpfe >C10	< 14,7 mg/m _n ³
Silizium (organisch) Si	< 0,59 mg/m _n ³

Säurebildner wie SO₂, SO₃, HCl oder HF (aber auch andere Stoffe) sind in der Verbrennungsluft grundsätzlich nicht zugelassen. Besonders bei warmen und feuchten Bedingungen (z.B. Tropen) kommt es zu Säureangriffen durch Kondensation im Gemischkühler. Im Abgastrakt wird der Taupunkt wegen der hohen Temperaturen in der Regel nicht unterschritten und daher sind hier Säurebildner weniger kritisch.

Die in Tabelle „Zulässige Belastung der Verbrennungsluft“ genannten Komponenten der Verbrennungsluft beeinflussen die Wartungsintervalle der Motoren negativ und beschädigen bzw. zerstören nachgeschaltete Emissionsminderungssysteme. Daher legt man das Verbrennungsluftsystem so aus, dass es keine Luft aus Bereichen mit Belastung durch schädliche Begleitgase ansaugt. Dazu zählen z.B. Räume, in denen durch installierte Maschinen (z.B. Kälteanlagen) oder ablaufende Prozesse eine erhöhte Konzentration dieser Begleitgase auftreten kann.

Sauberkeit der Verbrennungsluft

Saugt der Motor feinen Sand oder Staub an, verringert sich die Lebensdauer des Motors wesentlich. Deshalb muss die dem Motor zugeführte Verbrennungsluft bestimmte Sauberkeitsanforderungen erfüllen. Die grundsätzlich vorgesehenen Verbrennungsluftfilter sind als Feinstaubfilter der Klasse F6 bis F7 ausgeführt. Die mittleren Wirkungsgrade dieser Filter gegenüber atmosphärischem Staub sind in DIN EN 779 festgelegt. Die bei diesen Filterklassen zu erreichenden Abscheidegrade sind in der untenstehenden Tabelle angegeben:

Partikelgröße	Abscheidegrad in %	
	Klasse F6	Klasse F7
> 0,5 µm	30	65
> 1,0 µm	50	85
> 1,5 µm	70	95
> 2,0 µm	80	98
> 2,5 µm	85	> 99
> 3,0 µm	95	> 99
> 4,0 µm	> 99	> 99
Mittlerer Wirkungsgrad (%) nach DIN EN 779	$60 \leq E_m \leq 80$	$80 \leq E_m \leq 90$

Nach den Umgebungsverhältnissen, aus denen der Motor seine Verbrennungsluft bezieht, wählt man nach den Verhältnissen eine angepasste Filterungsart oder auch eine Filter-Kombination als Vorfilterung aus. In Kapitel 6 Maschinenraumbelüftung ist erwähnt, dass im Belüftungssystem für den Maschinenraum eine Grobstaubfilterung durch Einbau von Filtern der Filterklasse G3 gefordert ist. Nach dieser Grobstaubfilterung der Luft ist die Größenordnung der Staubpartikel 1 µm. In der Luft liegt dann die Größenordnung der Staubkonzentration bei 0,5 bis 1 mg/m³. Diese Größenordnung entspricht etwa der angenommenen Staubkonzentration für die Auslegung des Luftfilters eines LKW im normalen europäischen Straßenverkehr.

Tropenbedingungen

In immer feuchten beziehungsweise wechselfeuchten Tropen übersteigt für einige Monate im Jahr die gefallene Niederschlagsmenge die mögliche atmosphärische Verdunstung. Bei einer im Jahresmittel verhältnismäßig hohen Umgebungstemperatur von 25 °C führt dies zu einer hohen Luftfeuchtigkeit. Deshalb ist der Wassergehalt (Wasserdampf) in der Luft bzw. Verbrennungsluft sehr hoch.

Beim Einsatz von hoch aufgeladenen Verbrennungsmotoren mit Ladeluftkühlung oder Gemischkühlung kondensiert der mit der Verbrennungsluft angesaugte Wasserdampf zu flüssigem Wasser aus. Kondensat führt zu Korrosion und Verschleiß an Bauteilen. Betroffen sind Bauteile wie Ladeluftkühler, Gemischkühler, Drosselklappe, Receiverrohr, Ventile usw. Ist die Verbrennungsluft oder das Brenngas zusätzlich mit Säure bildenden oder Basen bildenden Begleitgasen wie z.B. Schwefeldioxid (SO₂) belastet, führt das zur Bildung von schwefliger Säure. Die Korrosion der genannten Bauteile erhöht sich um ein Vielfaches. Beim Betrieb in dieser Umgebung verringert eine Tropenausführung die Korrosion der betroffenen Bauteile. Bei der Tropenausführung wird Kondensat im Gemisch durch Kondensatableiter abgeschieden. Die Ansaugluft sollte keine Säurebildner enthalten.

IFE Entwässerung bei Aggregaten TCG 2032

Für Aggregate der Baureihe TCG 2032 wird für den Tropeneinsatz eine so genannte IFE (Integrated Front End) Entwässerung angeboten. Das nach der Abkühlung des Gemisches anfallende Kondensat wird über Kondensatableiter abgeführt. Das Kondensat kann entweder in einen Kondensatsammelbehälter mit entsprechenden Einrichtungen für Niveau-Überwachung und automatische Entleerung oder in ein Kanalsystem außerhalb des Maschinenraumes angeschlossen werden. Die Kondensatableitungen 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 über eine hinreichend dimensionierte Entlüftung ins Freie verfügen. Bei Aggregaten mit IFE Entwässerung gibt es in der Betriebsanleitung einen ausführlichen Montagehinweis.

10.2.2 Verbrennungsluftmenge

Bei Gasmotoren verändert sich die Verbrennungsluftmenge mit der Zusammensetzung des Brenngases und mit dem gefahrenen Verbrennungsluftverhältnis. Die in der untenstehenden Tabelle angegebenen spezifischen Werte für die Verbrennungsluftmenge gelten für die häufigste Gasmotorenanwendung, Erdgasbetrieb mit Magerverbrennung.

Motorbaureihe	Verbrennungsluftmenge m _L
TCG 3016	5,2 kg/kWh
TCG 2020(K)	5,2 kg/kWh
TCG 3020	5,0 kg/kWh
TCG 2032	5,0 kg/kWh

Die genauen Daten sind aus den Datenblättern zu entnehmen.

178-003-DE :: BA : VAR, COV, IMP, B, BA, BS, DEM, EIN, IBN, IST, WP, SK, MH, SB, STB, TA, TL

10.3 Komponenten des Verbrennungsluftsystems

10.3.1 Filterungsarten für die Verbrennungsluft

Luftfilter - Papier und Kunststoff

Zur Luftfilterung wird in den meisten Anwendungsfällen bei verhältnismäßig sauberer Luft (Staubkonzentration $< 1 \text{ mg/m}^3$) ein Filter eingesetzt, der als Plattenfilter, Taschenfilter oder Rundluftfilter ausgeführt ist. Diese Filter sind bei den Motorbaureihen TCG 3016, TCG 2020 V12, TCG 2020 V16 und TCG 3020 mit den entsprechenden Filtergehäusen am Aggregat angebaut. Die Motorbaureihe TCG 2020 V20 ist mit einem separat aufgestellten Luftfilter ausgerüstet. Bei der Motorbaureihe TCG 2032 ist pro Zylinderbank ein separat aufgestelltes Filtergehäuse vorgesehen, in dem jeweils vier Filterelemente eingebaut sind. In diesem Gehäuse ist, je nach Ausführung, auch die Ansaugluftvorwärmung integriert. Die gleiche Ansaugluftvorwärmung wird optional für Motoren der Baureihe TCG 2020 bei entsprechenden Anforderungen an die Temperatur der Verbrennungsluft verwendet.

Wegen des stark ansteigenden Druckverlusts bei Verschmutzung ist bei diesen Filtern grundsätzlich eine Unterdrucküberwachung bzw. Unterdruckanzeige vorgesehen. Je sauberer die Verbrennungsluft, desto langsamer verschmutzt das Filter. Ein verschmutztes Filter verbraucht auch mehr Energie als ein sauberes Filter. Die verschmutzten Filter führen zu einem leicht erhöhten Brennstoffverbrauch und zu einem ungünstigen Betriebspunkt des Verdichters. Im Extremfall kommt es zum Pumpen des Verdichters. Der Betrieb des Aggregats ist nicht mehr sicher. Die Luftfilter sind zu erneuern, bevor es zu diesen kritischen Betriebszuständen kommt.

10.3.2 Schalldämpfer

Bei Luftfiltern, die außerhalb des Aggregaterraums aufgestellt sind, überträgt insbesondere die Luftleitung das Verdichtergeräusch nach außen. Das Verdichtergeräusch macht sich als hochfrequentes Pfeifen bemerkbar. In diesen Fällen müssen in den Ansaugleitungen Schalldämpfer vorgesehen werden, die den jeweiligen Auflagen entsprechend zu dimensionieren sind.

10.3.3 Luftansaugleitung

Wenn die Luftfilter nicht am Motor angebaut sind, muss eine Ansaugleitung zwischen Motor und Luftfilter installiert werden. Für diese Leitung sind glatte und saubere, z.B. lackierte oder verzinkte Rohre zu verwenden. Die Leitung darf nicht am Motor abgestützt werden, d.h. es sind Gummimuffen bzw. Faltenschläuche zwischen Lufteintrittsgehäuse und Leitung zu installieren. Muffen und Schläuche dürfen nicht durch Knickung eine Engstelle bilden. In der Ansaugleitung müssen alle Verbindungsstellen zwischen Filter und Motoranschluss dicht sein. Wenn die Ansaugleitung mit Gefälle zum Motor hin verlegt ist, ist vor dem Motor ein Wassersack mit Ablassmöglichkeit vorzusehen.

Im Ansaugrohr ist die Luftgeschwindigkeit die Richtgröße für die Dimensionierung der Luftleitungen. Eine Richtgröße für die Luftgeschwindigkeit ist $\leq 20 \text{ m/s}$.

10.3.4 Kurbelgehäuseentlüftung

Die Motoren der Baureihen TCG 3016, TCG 2020, TCG 3020 und TCG 2032 verfügen über eine geschlossene Kurbelgehäuseentlüftung. Kurbelgehäusedämpfe gelangen über einen Ölabscheider zurück in die Ansaugleitung. Das abgeschiedene Schmieröl fließt zurück in den Kurbelraum. Bei den Aggregaten TCG 2032B ist zur Unterstützung der Kurbelgehäuseentlüftung ein Sauggebläse eingesetzt. Nach der Ölabscheidung gelangt das abgesaugte Gas in das Verbrennungsluftsystem zurück. Das System ist geschlossen.

10.4 Druckverluste

Im Ansaugsystem verursachen Rohrleitungen, Bögen, Filter, Schalldämpfer etc. einen Druckverlust. Der bei Nennvolumenstrom auftretende Druckverlust darf festgelegte Werte nicht überschreiten. Diese Werte sind für die einzelnen Motorbaureihen in der untenstehenden Tabelle angegeben.

Motorbaureihe	Max. zulässiger Unterdruck ¹⁾
TCG 3016	5 mbar
TCG 2020(K)	5 mbar
TCG 3020	5 mbar
TCG 2032	5 mbar

¹⁾ zulässiger Unterdruck vor Luftfilter

11 Abgassystem

Inhaltsverzeichnis

- 11.1 Übersicht Abgassystem..... 140
- 11.2 Anforderungen und Richtwerte..... 141
 - 11.2.1 Zulässiger Abgasgegendruck..... 141
 - 11.2.2 Abgasemissionen von Gasmotoren..... 143
- 11.3 Komponenten des Abgassystems..... 149
 - 11.3.1 Katalysatoren..... 149
 - 11.3.2 Abgasschalldämpfer..... 158
 - 11.3.3 Abgaswärmetauscher..... 158
 - 11.3.4 Abgaskomponenten in Biogasanlagen..... 159
 - 11.3.5 Abgasklappen..... 160
 - 11.3.6 Verlegung von Abgasrohrleitungen..... 163
 - 11.3.7 Zusätzliche Planungshinweise für Abgaswärmetauscher und Schalldämpfer..... 164
 - 11.3.8 Abgaskamine..... 164
- 11.4 Verpuffungen im Abgassystem..... 165
 - 11.4.1 Gasregelstrecken..... 165
 - 11.4.2 Startablauf..... 165
 - 11.4.3 Fehlstart und Startwiederholung..... 165
 - 11.4.4 Normaler Stopp des Gasmotorenaggregates..... 166
 - 11.4.5 Zündstörung im Betrieb..... 166
 - 11.4.6 Gemischmengen und Luftmengen..... 166
 - 11.4.7 Abgastemperaturen..... 167
 - 11.4.8 Selbstzündungsbedingungen..... 167
 - 11.4.9 Risiko einer Verpuffung..... 167
 - 11.4.10 Zündquellen im Abgassystem..... 167

11.1 Übersicht Abgassystem

Das Abgassystem leitet die bei der Verbrennung im Motor entstehenden Gase der Atmosphäre zu. Zur Erfüllung der am Aufstellort geltenden Umweltauflagen muss die Gestaltung des Abgassystems diesen Anforderungen gerecht werden. Die Umweltauflagen beziehen sich auf die Abgasemission und auf die Schallemission.

Wenn die Verbrennung im Motor nicht so gestaltet werden kann, dass die örtlichen Auflagen an die Abgasemission erfüllt werden, muss eine Abgas-Nachbehandlung durch z. B. Katalysatoren und Thermoreaktoren erfolgen.

Die Abgasschallemission wird durch den Einbau von Schalldämpfern minimiert. Jeder Motor ist mit einem eigenen Abgassystem auszurüsten.

11.2 Anforderungen und Richtwerte

11.2.1 Zulässiger Abgasgegendruck

Der wichtigste Auslegungsparameter für die Dimensionierung des Abgassystems ist neben dem Abgasmassenstrom und der Abgastemperatur der zulässige Abgasgegendruck. Überschreitungen 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 gemessen. Der zulässige Abgasgegendruck darf nicht überschritten werden.

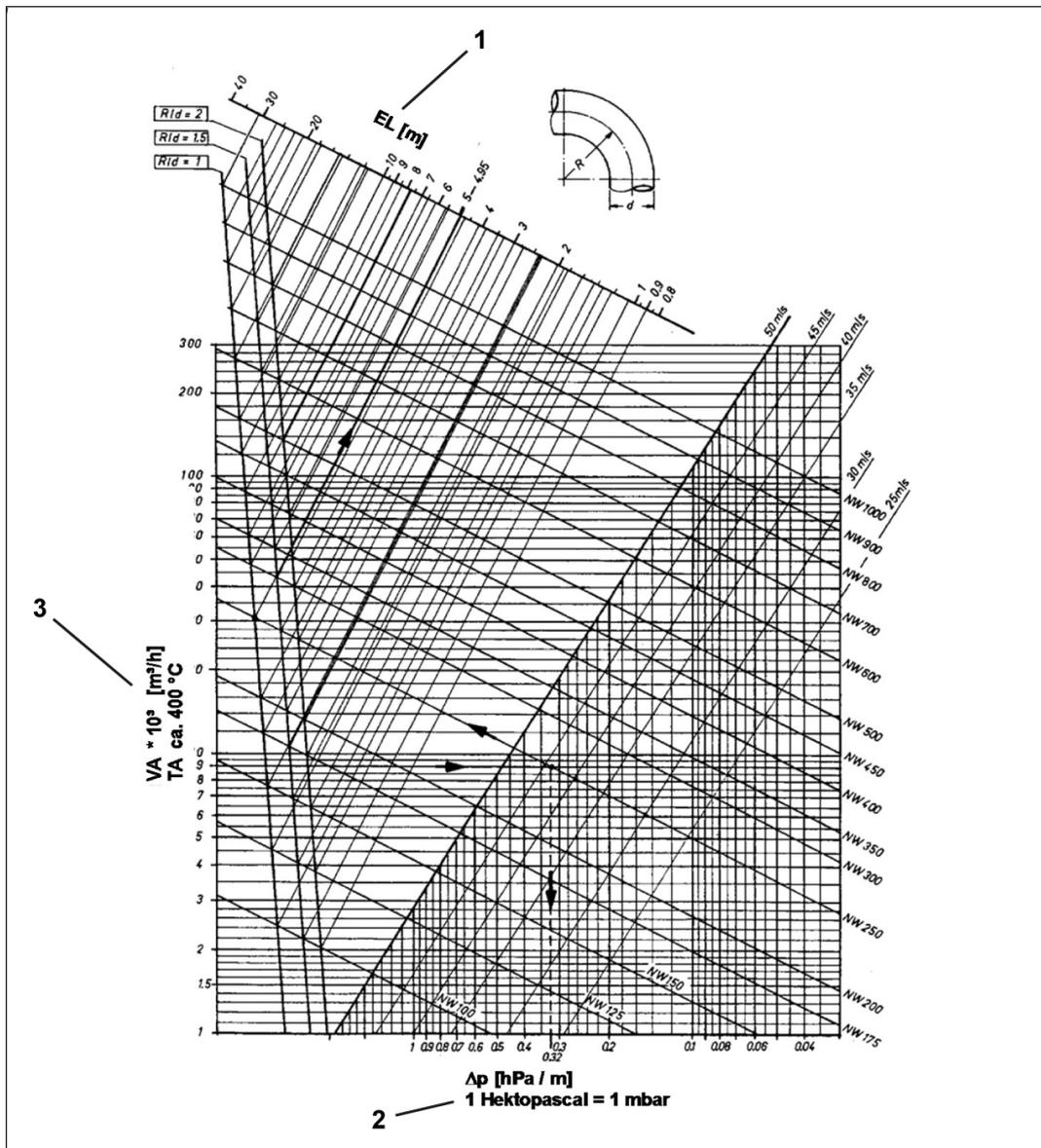
Der Abgasgegendruck entsteht durch den Strömungswiderstand in Rohrleitungen, Krümmern, Kompensatoren, Abgaswärmetauschern, Katalysatoren, Schalldämpfern, Funkenfängern, Regenhauben und Kaminen. Diese Widerstände müssen bei der Ermittlung des Gegendrucks berücksichtigt werden.

Die Strömungswiderstände in den Abgasrohrleitungen und Krümmern können in Abhängigkeit vom Abgasvolumenstrom mit dem Diagramm in Abb. 67203 ermittelt werden. Für die im Abgassystem eingebauten Komponenten sind die Widerstände den Datenblättern für diese Komponenten zu entnehmen. Die zulässigen Abgasgegendrücke der einzelnen Motorbaureihen sind in der untenstehenden Tabelle aufgeführt.

Messung des Abgasgegendrucks hinter Turbine

Motorbaureihe	Zulässiger Abgasgegendruck Minimum / Auslegung [mbar]
TCG 3016	30 / 50 (60)
TCG 2020(K)	30 / 50
TCG 3020	30 / 50
TCG 2032	30 / 50

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 bis 35 m/s liegen. Bei der Materialauswahl ist die Temperaturerhöhung im Teillastbereich zu beachten.



67203-001 Strömungswiderstände für Abgas-Rohrleitungen

- | | | |
|---|------------|-------------------------------------------|
| 1 | EL | Ersatzlänge für Rohrbogen 90° |
| 2 | Δp | Druckverlust pro Meter gerade Rohrleitung |
| 3 | VA | Abgasvolumenstrom |
| | TA | Abgasbezugstemperatur |
| | NW | Nennweite des Abgasrohres in Millimeter |
| | R | Radius des Bogens |
| | d | Rohrdurchmesser in Millimeter |

178-003-DE :: BA : VAR, COV, IMP, B, BA, BS, DEM, E, IN, IBN, IST, WP, SK, MH, SB, STB, TA, TL

Beispiel zu Abb. 67203

Gegeben	Abgasvolumenstrom $VA = 9000 \text{ m}^3/\text{h}$ Gerade Rohrleitung $l = 10 \text{ m}$ 3 Bögen 90° mit $R/d = 1$
Gesucht	Δp 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_{ges})	$10 + (3 * 4,95) = 24,85 \text{ m}$
Druckverlust (Δp_{ges})	$24,85 * 0,32 = 8 \text{ hPa (mbar)}$

11.2.2 Abgasemissionen von Gasmotoren

Abgasemissionen nach der 44. BImSchV

Alle Gasmotoren von CES arbeiten nach dem Magerverbrennungskonzept. Das Magerverbrennungskonzept hält die Werte für die Emission von Stickoxiden (NO_x) unter den Grenzwerten der TA-Luft¹ ($\text{NO}_x \leq 500 \text{ mg/m}^3$). Die 44. BImSchV² 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
		$\text{mg/Nm}^3@5\%\text{O}_2$	$\text{mg/Nm}^3@5\%\text{O}_2$	
Klärgas, Grubengas	NO_x	500	500	
	CO	650	500	20.06.2019
	HCOH	60	20	01.01.2020
Biogas	NO_x	500	100	01.01.2023
	CO	650	500	01.01.2025
	HCOH	60	20	01.01.2020
Deponiegas	NO_x	500	500	
	CO	650	650	
	HCOH	60	40	20.06.2019
Erdgas	NO_x	500	100	01.01.2025
	CO	300	250	01.01.2025
	HCOH	60	20	01.01.2020

Tab. 11-1 Grenzwerte für Abgasemissionen

1) TA-Luft – Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft

2) BImSchV – Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes

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 reduziert Kohlenmonoxid und Formaldehyd entsprechend. Für die zulässige Emission von Stickoxiden sorgt eine entsprechende Motoreinstellung.

Die nach der neuen Verordnung geforderte Stickoxid-Emission von 100 mg/Nm³ können motorische Einstellungen nicht darstellen. Bei diesen Anlagen kommen SCR-Katalysatoren im Abgassystem zum Einsatz. Deren selektive katalytische Reduktion (SCR) wandelt die Stickoxide unter Zumischung einer Harnstofflösung in Stickstoff und Wasser um. Die Reduktion von Kohlenmonoxid und Formaldehyd erfolgt wie bisher in einer nachgeschalteten Oxidationsstufe.

Weiterhin darf nach der 44. BImSchV bei allen Anwendungen die Emission an organischen Stoffen im Abgas, angegeben als Gesamtkohlenstoff, den Grenzwert von 1300 mg/Nm³ nicht überschreiten.

Abgasanlagen, die selektive katalytische Reduktion zur Verminderung der Emissionen nutzen, sind so einzustellen, dass die Emission an Ammoniak weniger als 30 mg/Nm³ beträgt.

Die 44. BImSchV ist die Umsetzung der EU-Richtlinie (EU) 2015/2193 für den deutschen Raum. 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 NO_x-Sensoren erfolgen.

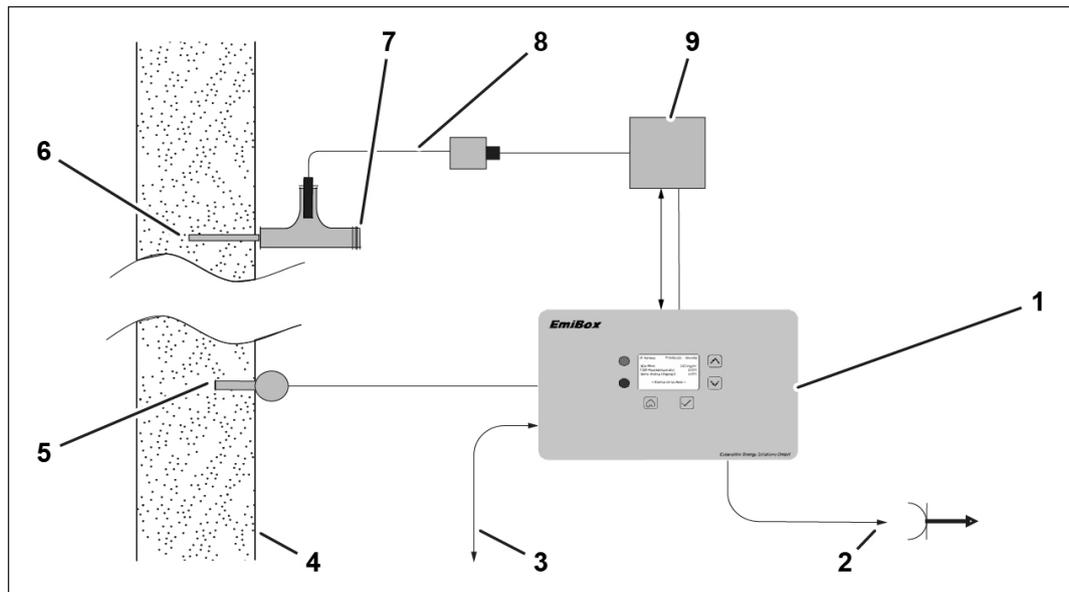
Um diese Forderung umzusetzen, sind alle im Geltungsbereich der 44. BImSchV im Betrieb befindlichen Gasmotorenanlagen mit einer Überwachung der Stickoxidemission auszurüsten. Dabei ist es unerheblich, wann welche Grenzwerte gültig sind. Dies gilt für Neuanlagen und für Bestandsanlagen. Die Einhaltung des aktuell gültigen Grenzwertes muss nach den Vorgaben der 44. BImSchV dokumentiert werden.

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 TPEM-System bieten die Möglichkeit, die Messdaten innerhalb des TPEM-Systems aufzuzeichnen, auszuwerten und zu speichern. Die Bestandteile der Messdatenerfassung (NO_x-Sensor, Messlanze und Anschlusszubehör) ist bei beiden Ausführungen gleich.

Messung der Stickoxidemission mit EmiBox – Anlagen mit TEM-System

Den prinzipiellen Aufbau der Stickoxidmessung mit der EmiBox zeigt Abb. 73153.



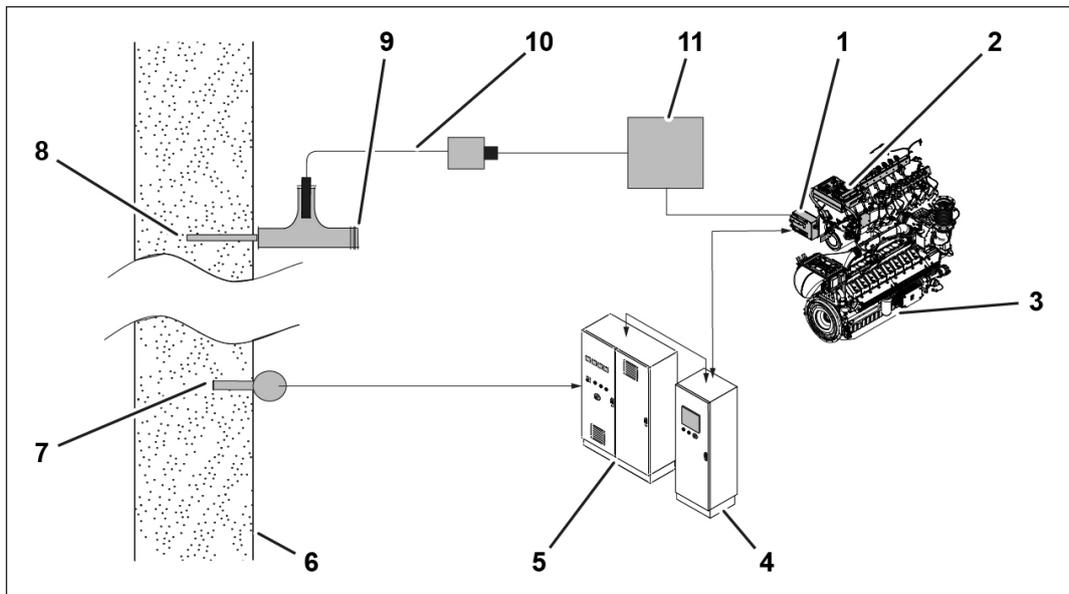
73153-001 Messung der Stickoxidemission mit der EmiBox beim TEM-System

- 1 EmiBox
- 2 Stromversorgung
- 3 Signalleitung
- 4 Abgasrohr / Abgassystem
- 5 Tempertursensor (optional)
- 6 Messlanze
- 7 Anschlusszubehör
- 8 NO_x-Sensor mit Steuergerät
- 9 Sensorverbindungsbox

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_x-Sensor misst neben der Stickoxidemission auch den Sauerstoffgehalt im Abgas. Die Umrechnung auf den Bezugssauerstoffgehalt erfolgt in der EmiBox.

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_x-Sensor, Messlanze und Anschlusssteile bleiben unverändert. Für den Anschluss des NO_x-Sensors ist eine Umrüstung in der TPEM CU erforderlich. Die dazu benötigten Klemmen, Stecker und Schalter sind Bestandteil des Lieferumfangs für die NO_x-Messung. Den prinzipiellen Aufbau zeigt Abb. 73160).

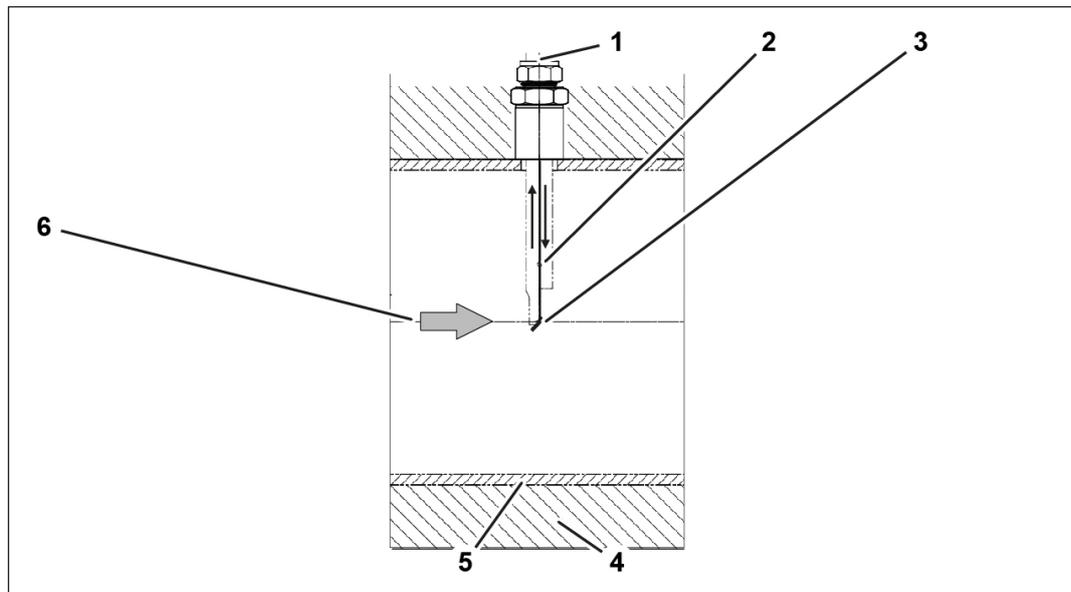


73160-001 Messung der Stickoxid-Emission beim TPEM-System

- 1 TPEM Connection Box
- 2 TPEM CU
- 3 Beispielmotor
- 4 TPEM Control Cabinet (TPEM CC)
- 5 Schaltschrank (z. B. HAS) mit TPEM I/O-Controller (TPEM IO)
- 6 Abgasrohr / Abgassystem
- 7 Tempertursensor (optional)
- 8 Messlanze
- 9 Anschlusszubör
- 10 NO_x-Sensor mit Steuergerät
- 11 Sensorverbindungsbox

Hinweise zum Anschluss des NO_x-Sensors im Abgassystem

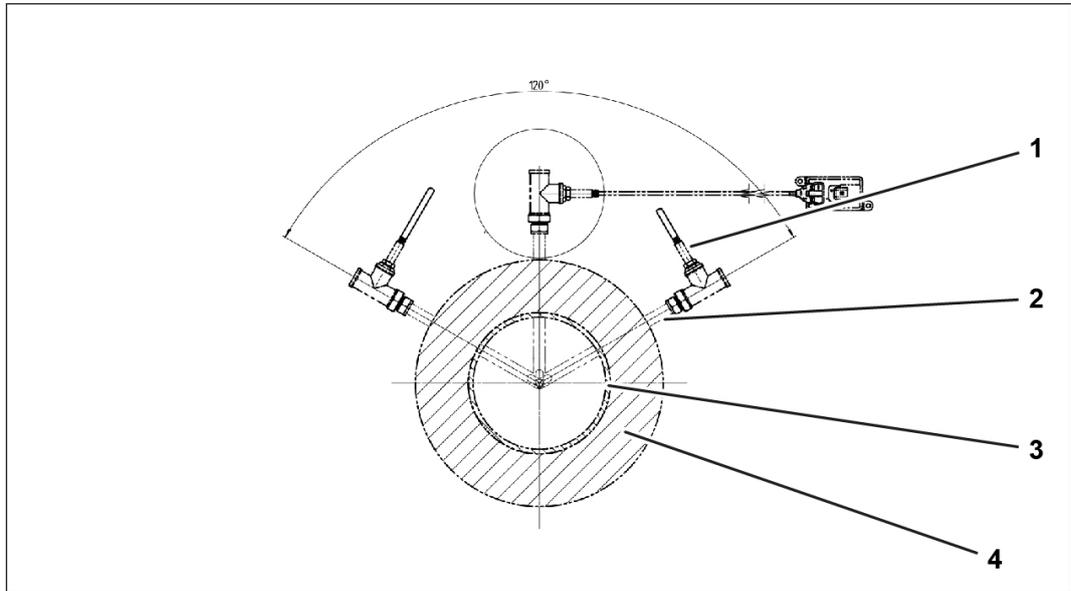
Der NO_x-Sensor befindet sich außerhalb der Abgasleitung. Eine Messlanze ragt in die Abgasleitung. Die Messlanze besteht aus einem Rohr, in das ein Trennblech eingeführt ist. Dadurch entstehen zwei Strömungskanäle für die ständige Zuleitung und Ableitung von Abgas am Sensor. Am offenen Ende der Lanze 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 Abb. 73161).



73161-001 Einbau und Ausrichtung der Messlanze in das Abgasrohr

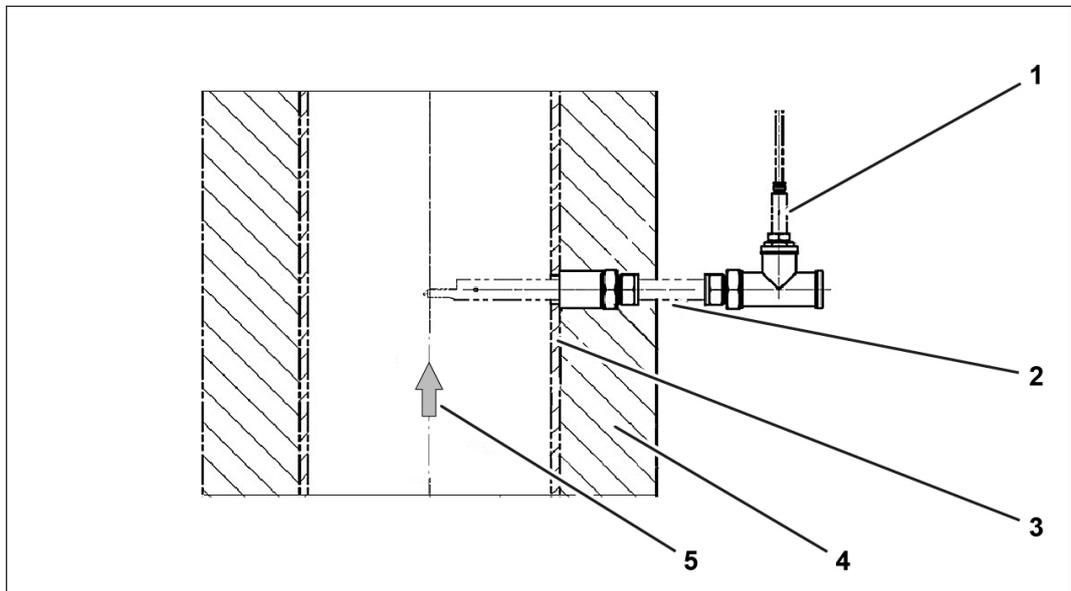
- 1 Zum NO_x-Sensor
- 2 Messlanze
- 3 Mitte der Abgasleitung
- 4 Isolierung
- 5 Abgasrohr
- 6 Abgasströmung

Die Abgastemperatur am Sensor darf 110°C nicht unterschreiten. Weiterhin ist bei der Einbaulage des Sensors darauf zu achten, dass sich am Sensor kein Kondensat sammeln kann. Dadurch ergeben sich für den Einbau des Sensors in einer waagerechten und senkrecht verlaufenden Abgasleitung folgende Einschränkungen (siehe Abb. 73162 und Abb. 73163).



73162-001 Einbau des NO_x-Sensors in ein waagrechtes Abgasrohr

- 1 NO_x-Sensor
- 2 Messlanze
- 3 Abgasrohr
- 4 Isolierung



73163-001 Einbau des NO_x-Sensors in ein senkrechtes Abgasrohr

- 1 NO_x-Sensor
- 2 Messlanze
- 3 Abgasrohr
- 4 Isolierung
- 5 Abgasströmung

11.3 Komponenten des Abgassystems

11.3.1 Katalysatoren

Oxidationskatalysatoren (Oxi-Kat)

Alle Gasmotoren arbeiten nach dem Magerverbrennungskonzept. Bei dem Magerverbrennungskonzept werden die Werte für NO_x unter den Grenzwerten der TA-Luft ($\text{NO}_x \leq 500 \text{ mg/m}^3$) gehalten. Die Einhaltung dieses Grenzwertes ermöglicht der Luftüberschuss bei der Verbrennung. Je nach Motortyp und Emissionsanforderung ist für die Komponente CO der Einsatz eines Oxidationskatalysators erforderlich. Das Verfahren ist besonders wirtschaftlich und auch in allen Betriebspunkten sauber und langfristig sicher. Gegenüber schädlichen Bestandteilen im Brenngas ist der Oxidationskatalysator von allen Katalysatorsystemen am widerstandsfähigsten. Der Katalysator muss das erste Bauteil des Abgassystems sein.

Planungshinweise Oxidationskatalysatoren

Hebeösen

Bei größeren Motoren wiegen die Katalysatorengehäuse weit über 100 kg, dies schon bei der Planung bzgl. der späteren Montage berücksichtigen. Bei Gehäusen mit Konen auf beiden Seiten ist Aufhängen mittels Rundschnitten üblich. Bei sehr engen Platzverhältnissen oder bei anderen Gehäuseformen ist es sinnvoll Hebeösen anzubringen. Hebeösen sind wichtig bei großen Katalysatorscheiben, die z.B. in Vorköpfen von Wärmetauschern oder Schalldämpfern eingeschoben werden.

Isolierung

Die Isolierung des Katalysators muss so gestaltet werden, dass diese zur Reinigung oder zum Austausch des Katalysators leicht entfernt werden kann. Dies ist auch für das Nachziehen der Schrauben der Flanschverbindungen vorteilhaft.

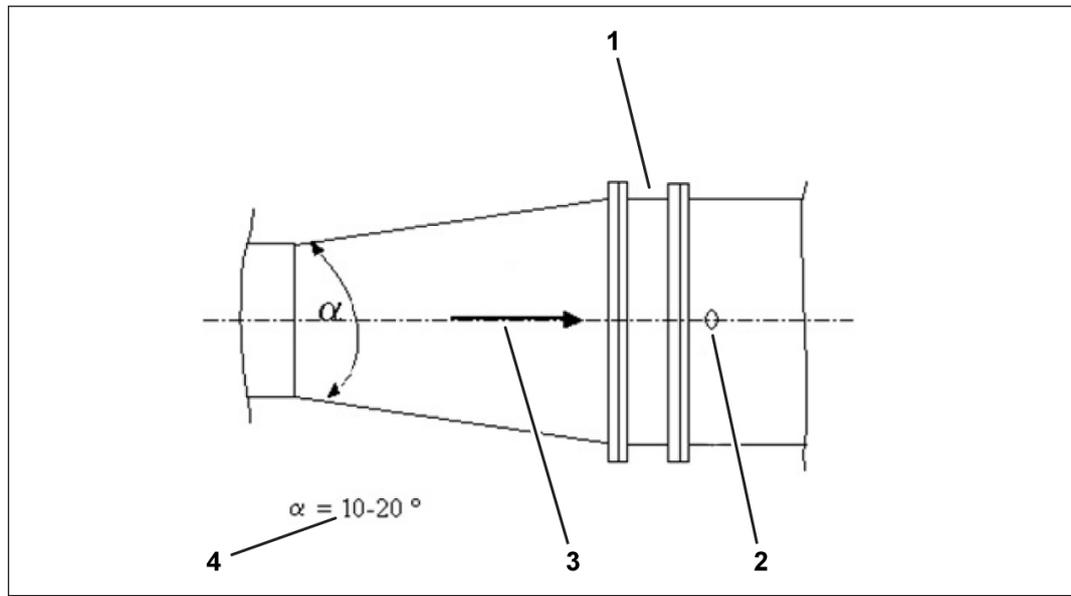
Einbau

Wenn nicht besonders darauf hingewiesen wird, können Katalysatoren in jeder Lage d.h. waagrecht, senkrecht oder schräg eingebaut werden. Lediglich bei Gehäusen mit unterschiedlich langen Konen ist auf die Strömungsrichtung zu achten. Üblicherweise ist der Eintrittskonus länger und schlanker als der Austrittskonus. Beim Katalysatoreinbau ist es wichtig, dass das Abgas gleichmäßig durch den Katalysator strömt. Ist dies nicht der Fall, kann keine optimale Schadstoffreduzierung erfolgen. Der Katalysator ist dann an bestimmten Stellen überproportional beansprucht und wird beschädigt. Zwei verschiedene Einbaumöglichkeiten vermeiden dies:

- Beim Einbau in die Abgasleitung ist der Durchmesser der Abgasleitung durch konische Übergangsstücke an den Durchmesser des Abgaskatalysators anzupassen. Für eine möglichst gleichmäßige Anströmung des Katalysators muss der Einströmkonus zwischen 10° bis 20° (s. Abb. 67206) betragen und die Abgasleitung ist entsprechend anzuordnen (Beruhigungsstrecke). Die Nennweite des Abgasrohres vor dem Einströmkonus muss so gewählt werden, dass die Abgasgeschwindigkeit $< 40 \text{ m/s}$ beträgt.
- Beim Einbau in den Schalldämpfer oder Wärmetauscher wird ein Vorkopf mit radialem Abgaseintritt gemäß Abbildung 67204 benötigt. Der radiale Abgaseintritt garantiert die gleichmäßige Anströmung des Katalysators. Der Abstand zwischen Mitte Eintrittsrohr und Flanschverbindung vom Katalysator soll mindestens so groß wie der Katalysatordurchmesser sein. Die Nennweite des Eintrittsstutzens vor dem Katalysator muss so gewählt werden, dass die Abgasgeschwindigkeit $< 40 \text{ m/s}$.

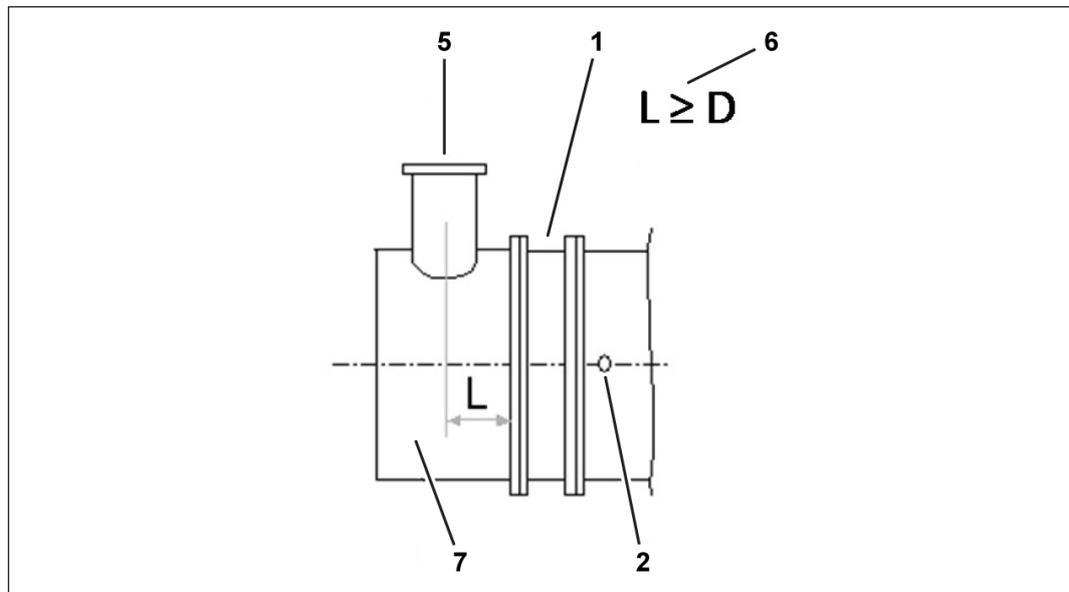
Der beschriebene Einbau in den Vorkopf des Schalldämpfers als auch die Ausführung mit Konen dienen dazu, eine möglichst homogene Anströmung des Katalysators zu erreichen. Nur bei einer homogenen Anströmung wird die volle Wirkung des Katalysators erreicht.

Die Katalysatoren und deren Gehäuse müssen im Betrieb möglichst frei von Spannungen bleiben, die sich durch Ausdehnung der Abgasleitungen bei Betriebstemperatur ergeben. An geeigneten Positionen im Abgassystem sind Kompensatoren zu verwenden.



67206-001 Einstömkonus

- 1 Katalysator
- 2 Temperaturmessstutzen
- 3 Abgasfließrichtung
- 4 Konuswinkel



67204-001 Vorkopf

- 1 Katalysator
- 2 Temperatur-Messstutzen
- 5 Abgaseintritt
- 6 Abstand Katalysator-Eintritt bis Mitte Abgaseintritt ($L \geq D$)
- 7 Vorkopf

Inspektion

Der Katalysator sollte in regelmäßigen Abständen auf mechanische Beschädigung bzw. auf Verunreinigungen untersucht werden. Bei einem partikelfreien Erdgasbetrieb und einem niedrigen Ölverbrauch reicht eine jährliche Inspektion aus. Eine Inspektion ist unter Umständen nach 2 bis 6 Monaten bei anderen Gasarten oder bei erhöhtem Ölverbrauch erforderlich. Diese regelmäßigen Inspektionen verhindern, dass Stillstandszeiten der Anlage eintreten. Bereits bei der Planung muss man berücksichtigen, dass ein guter Zugang zum Katalysator möglich ist und die Inspektionen zügig durchgeführt werden kann.

Montagevorschrift für Oxidationskatalysatoren

Die Katalysatoren werden komplett mit Lochflanschgehäuse zum Einbau in den Schalldämpfer (Vorkopf) geliefert, oder als Konen-Katalysatoren mit Anschlussflanschen zum Einbau in der Abgasleitung. Für die Katalysatorflanschverbindung die Montagevorschrift 1240 2390 UE 0499 41 beachten:

Dichtungen

Die Dichtungen sind für Betriebsstofftemperaturen bis max. 650 °C ausgelegt. Die Dichtungen bestehen aus Segmenten, ein Dichtungssatz besteht aus zwei Lagen. Es ist unbedingt darauf zu achten, dass die Segmentstöße der einzelnen Lagen versetzt zueinander eingebaut werden. Die speziellen Eigenschaften der Dichtung im Hochtemperaturbereich erfordern eine genaue Einhaltung der Montagevorschrift.

Schrauben

Die Schrauben bestehen aus hochwarmfestem Material, das speziell für den Hochtemperaturbereich geeignet ist.

Montage

- Die Anlage muss abgekühlt sein.
- Katalysatordurchflussrichtung; Stützkreuz für die Matrix auf der Abströmseite.
- Reinigung und Sichtprüfung der Dichtflächen.
- Katalysator und Dichtungen montieren, die Schrauben mit etwas Hochtemperaturpaste einsetzen und von Hand leicht anziehen.
- Korrekten Sitz der Dichtungen prüfen.
- Die Schrauben in Gruppen (2 bis 6 Stück) wechselseitig mit 40 Nm anziehen.
- Danach mit dem Nennmoment von 50 Nm alle Schrauben der Reihe nach, rundherum nachziehen.
- Die Anlage kann in Betrieb genommen werden.
- Bei Abgastemperaturen über 400 °C die Flanschverbindung, auf Grund der Setzeigenschaften der Dichtung, nach ca. 20 Betriebsstunden mit dem Nennmoment nachziehen. Nachziehen nur im abgekühlten Zustand.
- Um während des Betriebs Schäden am Gehäuse zu vermeiden, ist es wichtig, dass auf das Gehäuse keine Druckspannungen oder Zugspannungen kommen. Aus diesem Grund Katalysatorgehäuse immer spannungsfrei einbauen.
- Der Katalysator wird aus Temperaturgründen möglichst nahe am Motor platziert. Daher gibt es meist keine langen Rohrleitungen oder andere Bauteile vor dem Katalysator. Aus diesem Grund ist ein einfacher Kompensator, der selbst bei einem vorhandenen Rohrbogen axiale und radiale Kräfte aufnehmen kann, ausreichend. Ist nach dem Katalysatorgehäuse eine längere Rohrleitung vorhanden, hier einen weiteren Kompensator vorsehen.
- Ist das Katalysatorgehäuse in die Rohrleitung eingebaut, wird es mittels einer oder mehrerer Stützen auf dem Fundament oder auf einem Stahlbau abgestützt. Auch Abhängungen sind möglich. Ist das Katalysatorgehäuse mittels einer Flanschverbindung im Vorkopf eines Wärmetauschers oder eines Schalldämpfers eingebaut, kann es je nach Aufbau des Abgassystems erforderlich sein, den Vorkopf separat mittels eines Schiebesitzes abzustützen. Der Festpunkt ist in diesem Fall am Wärmetauscher bzw. am Schalldämpfer. Somit ist sichergestellt, dass das Gehäuse spannungsfrei eingebaut ist, aber auch einfach eingebaut und ausgebaut werden kann.

Katalysatorreinigung

Wenn die Flanschverbindung zur Katalysatorreinigung geöffnet wird, müssen neue Dichtungen und Schrauben verwendet werden. Die Montage muss wie oben beschrieben durchgeführt werden.

Betriebsempfehlungen für Oxidationskatalysatoren

Die Entfernung von Kohlenwasserstoffen und Kohlenmonoxid durch einen Oxidationskatalysator ist eine einfache Methode der Abgasreinigung. Dieser Katalysator verfügt über einen sehr weiten Arbeitsbereich.

Für den sicheren Betrieb der Katalysatoren folgende Punkte beachten:

- Zündaussetzer müssen vermieden werden, da es durch unverbrannten Brennstoff im Katalysator zu einer unerwünschten Nachverbrennung mit unzulässig hohen Abgas-temperaturen kommen kann. Auch Temperaturen unterhalb der Schmelztemperatur des Trägermaterials (ab 700 °C) führen bereits zum vorzeitigen Altern und mit zunehmender Temperatur auch zu einer Schädigung des Katalysators.
- Explosionsartige Zündungen im Abgastrakt können, sofern bauseits keine Explosionsklappen vorgesehen sind, zu einer mechanischen Zerstörung des Katalysators führen.
- Zur Vermeidung der thermischen Alterung sollte die Abgaseintrittstemperatur in den Katalysator zwischen 400 bis 560 °C liegen. Im Abgas kommt es durch die exotherme Reaktion im Katalysator zu einer Temperaturerhöhung. Diese Temperatur darf 650 °C nicht überschreiten. Deshalb muss nach dem Katalysator eine Temperaturüberwachung vorgesehen werden, die bei Überschreitung des Grenzwertes die Brennstoffzufuhr abstellt.
- Es müssen aschearme, niedrig legierte Motorenöle verwendet werden, um die Ablagerungen am Katalysator zu minimieren. Verstopfungen der Kanäle durch Ölasche können die Katalysatorfunktion stark beeinträchtigen. Die Einwirkung von Feuchtigkeit oder Lösemitteln im Katalysator ist zu vermeiden; Ausnahme ist das Durchfahren des Taupunktes beim An- und Abstellen der Anlage. Ausnahme ist das Durchfahren des Taupunktes beim Anstellen und Abstellen der Anlage.
- Der Katalysator ist im feuchten Zustand vor Frost zu schützen. Einzige Ausnahme ist Restfeuchtigkeit bzw. Kondensat, das sich beim Kaltstart bei niedriger Außentemperatur bildet. Beispielsweise ist eine Montage oben auf einem Container zulässig, wenn sichergestellt ist, dass niemals Feuchtigkeit in das Abgasrohr von außen eindringen kann.
- Bei Biogasanlagen ist der Einsatz von Oxidationskatalysatoren nur möglich, wenn das Brenngas zuvor durchbruchssicher fein entschwefelt worden ist ⇒ Kapitel 8.1 Übersicht Brennstoffsystem 110. Die Oxidationskatalysatoren altern selber durch die Schwefelverbindungen. Der größere Schaden entsteht aber im Abgaswärmetauscher. Durch die Oxidation von SO₂ (im Motorenabgas aus Schwefelverbindungen entstehend) zu SO₃ verschiebt sich der Taupunkt. Bei konventionelle Auslegung des Abgaswärmetauschers wird der Taupunkt unterschritten und es kommt zur Kondensation von Schwefelsäure. Schwefelsäurekondensat führt zu schneller massiver Verschmutzung des Abgaswärmetauschers und zu einem anschließenden Säureangriff bis zur Zerstörung des Abgaswärmetauschers.
- Bei Deponiegasbetrieb oder Klärgasbetrieb ist der Einsatz von Oxidationskatalysatoren auch bei Einbau einer Gasreinigung vor dem Motor nur bedingt möglich.
- Folgende Stoffe führen zur Katalysatorvergiftung und sind im Brenngas zu vermeiden: Silicon, Silizium, Natrium, Kalzium, Blei, Wismut, Quecksilber, Mangan, Kalium, Eisen, Arsen, Antimon, Kadmium. Bedingt auch Chlorverbindungen, Schwefelverbindungen und Phosphorverbindungen; sowohl organische als auch anorganische Verbindungen.
- Der Katalysator wird vor dem Schalldämpfer eingebaut, um Verstopfung durch sich lösende Absorberwolle zu vermeiden. Verstopfung des Katalysators führt zu einer Erhöhung des Gegendrucks und zu einer Verminderung der Schadstoffreduzierung. Die Wolle lässt sich aus den Kanälen des Katalysators sehr schlecht entfernen. Eine 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.

- Schwefel in Form von SO₂ hat bei Temperaturen über 420 °C so gut wie keinen Einfluss auf den Katalysator. Jedoch ist zu beachten, dass ein Teil SO₂ im Katalysator zu SO₃ afoxidiert. Wenn dann der Taupunkt im Abgassystem unterschritten wird, entsteht bei SO₂ schweflige Säure und bei SO₃ Schwefelsäure. Der Taupunkt liegt bei ca. 140 °C.
- Auch wenn sich feste Substanzen, die sich im Abgasstrom befinden und auf dem Katalysator ablagern, diesen nicht direkt schädigen, wird der Schadstoffumsatz mit der Zeit schlechter. Die aktive Oberfläche wird zum Teil bedeckt. Nehmen die Ablagerungen weiter zu, kommt es zu Verstopfungen der einzelnen Kanäle. Das Abgas muss dann durch die noch freien Kanäle strömen. Somit steigt die Raumgeschwindigkeit an und der Umsatz wird schlechter. Durch den Anstieg des Gegendrucks im Abgassystem kommt es zunächst zu einem Leistungsverlust und bei weiterem Anstieg zu einem Abschalten des Motors. Dieser Vorgang kann mit einer einfachen Differenzdruckmessung überwacht werden.

Vorgaben zur Abgaszusammensetzung (Quelle: Air Sonic)

Die Standzeit des Katalysators ist stark abhängig von der Konzentration der Katalysatorgifte. Aus diesem Grund muss das Abgas im Wesentlichen frei von den bekannten katalysatorschädigenden Verbindungen, wie Silizium, Silikon, Schwefel bzw. Phosphor, Arsen und Schwermetallen, sein. Die Konzentration der Katalysatorgifte dürfen folgende Werte nicht überschreiten:

Oxidationskatalysatoren für Biogasmotoren und Klärgasmotoren		
Katalysatorgift	Gewährleistungszeitraum	
	8000 Betriebsstunden bzw. 1 Jahr	16000 Betriebsstunden bzw. 2 Jahre
Silikon	0 µg/Nm ³	0 µg/Nm ³
Silizium	0 µg/Nm ³	0 µg/Nm ³
Arsen	< 1 µg/Nm ³	< 1 µg/Nm ³
Quecksilber	< 1 µg/Nm ³	< 1 µg/Nm ³
Blei	< 2 µg/Nm ³	< 1 µg/Nm ³
Cadmium	< 10 µg/Nm ³	< 10 µg/Nm ³
Zink	< 100 µg/Nm ³	< 50 µg/Nm ³
Wismut	< 1 µg/Nm ³	< 1 µg/Nm ³
Antimon	< 1 µg/Nm ³	< 1 µg/Nm ³
Schwefelwasserstoff	< 10 mg/Nm ³	< 5 mg/Nm ³
Schwefel	< 10 mg/Nm ³	< 5 mg/Nm ³
Ammoniak	< 100 mg/Nm ³	< 100 mg/Nm ³
Phosphorverbindungen und Halogene	< 5mg/Nm ³	< 1 mg/Nm ³
Chlor	< 10 µg/Nm ³	< 10 µg/Nm ³
Natrium	< 10 µg/Nm ³	< 10 µg/Nm ³
Kalzium	< 10 µg/Nm ³	< 10 µg/Nm ³
Mangan	< 10 µg/Nm ³	< 10 µg/Nm ³

178-003-DE :: BA : VAR, COV, IMP, B, BA, BS, DEM, EIN, IBN, IST, WP, SK, MH, SB, STB, TA, TL

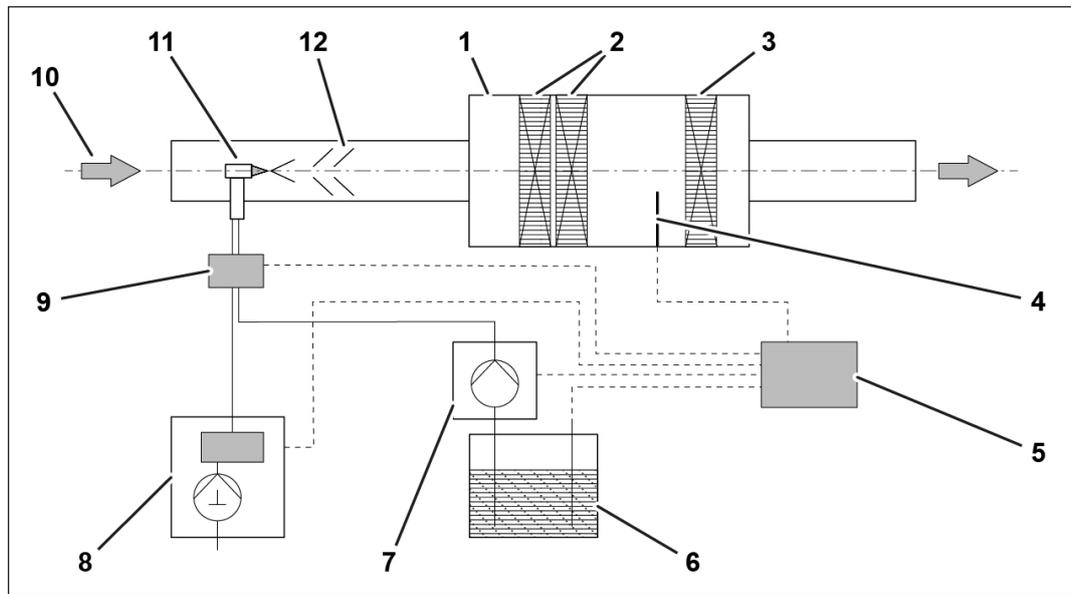
Oxidationskatalysatoren für Biogasmotoren und Klärgasmotoren		
Katalysatorgift	Gewährleistungszeitraum	
	8000 Betriebsstunden bzw. 1 Jahr	16000 Betriebsstunden bzw. 2 Jahre
Kalium	< 10 µg/Nm ³	< 10 µg/Nm ³
Eisen	< 10 mg/Nm ³	< 10 mg/Nm ³

Oxidationskatalysatoren für Biogasmotoren und Klärgasmotoren (Quelle: Air Sonic)

Die meisten Hersteller geben auf ihre Katalysatoren keine Gewährleistung, wenn der Motor mit Deponiegas und Klärgas betrieben wird. Die meisten Hersteller geben auf ihre Katalysatoren keine Gewährleistung, wenn der Motor mit Deponie- und Klärgas betrieben wird. Das Problem der Betreiber bei diesen Anlagen ist, dass keine Voraussagen bezüglich der Schadstoffe im Abgas in den nächsten Wochen, Monaten oder Jahren getroffen werden können. Selbst wenn ausführliche Analysen durchgeführt werden, ist dies nur eine Momentaufnahme, auch wenn die Analysen wenig Schadstoffe aufweisen. Meist wird das Abgas nicht auf alle möglichen Schadstoffe hin untersucht. Das Abgas kann schon einige Tage später eine ganz andere Zusammensetzung haben. Dies wird dadurch bestätigt, dass bei ähnlichen Klärgasanlagen sehr unterschiedliche Betriebszeiten bei gleichen Katalysatoren erreicht wurden. Bei Biogas ist die Problematik etwas anders. Hier kann im Einzelfall geprüft werden, ob eine Gewährleistung gegeben werden kann. Notwendig sind allerdings eine genaue Analyse des Abgases und eine genaue Beschreibung der Anlage. Ohne ausreichende Gasreinigungsanlage entfällt bei Klärgas, Deponiegas und Biogas die Gewährleistung für die Schadstoffumsetzung des Katalysators.

SCR-Katalysatoren

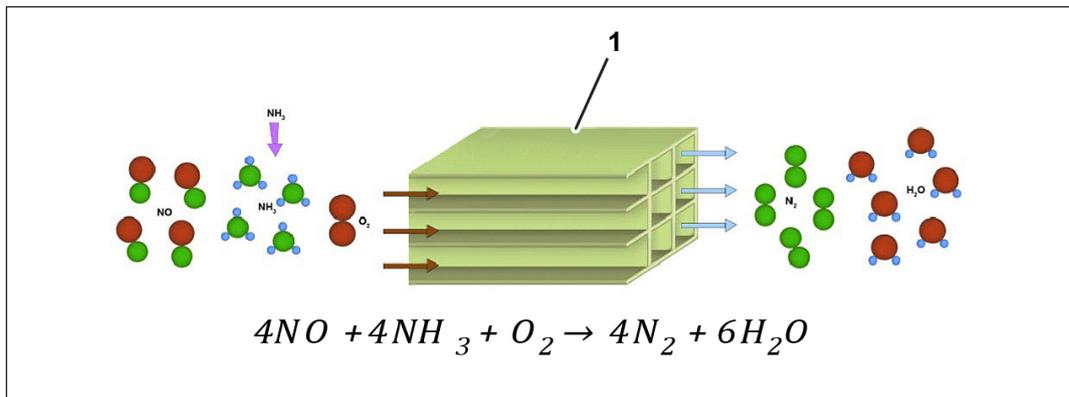
Die nach der 44. BImSchV geforderten Emissionen an Stickoxid lassen sich nicht durch innermotorische Maßnahmen am Gasmotor erreichen ⇒ Kapitel 11.2 Anforderungen und Richtwerte 141. Die Abgasnachbehandlung in einem SCR-Katalysator reduziert die Emission an Stickoxid auf das geforderte Niveau. Die Reduktion von Kohlemonoxid und Formaldehyd findet in einer dem SCR-Katalysator nachgeschalteten Oxidationsstufe statt. In der Regel kommen kombinierte Abgasnachbehandlungssysteme zum Einsatz, die sowohl die Reduktion von Stickoxid als auch von Kohlenmonoxid und Formaldehyd übernehmen. Den prinzipiellen Aufbau eines solchen Abgasnachbehandlungssystems zeigt Abb. 73135.



73135-001 Schematischer Aufbau des SCR-Katalysator-Systems

- 1 Reaktorgehäuse
- 2 SCR-Waben
- 3 Oxi-Waben
- 4 NO_x-Sensor
- 5 SCR-Steuerung
- 6 Harnstofftank
- 7 Harnstoffversorgungseinheit
- 8 Luftversorgungseinheit
- 9 Dosiereinheit
- 10 Abgas
- 11 Injektor
- 12 Harnstoff-Eindüsstrecke und Mischstrecke

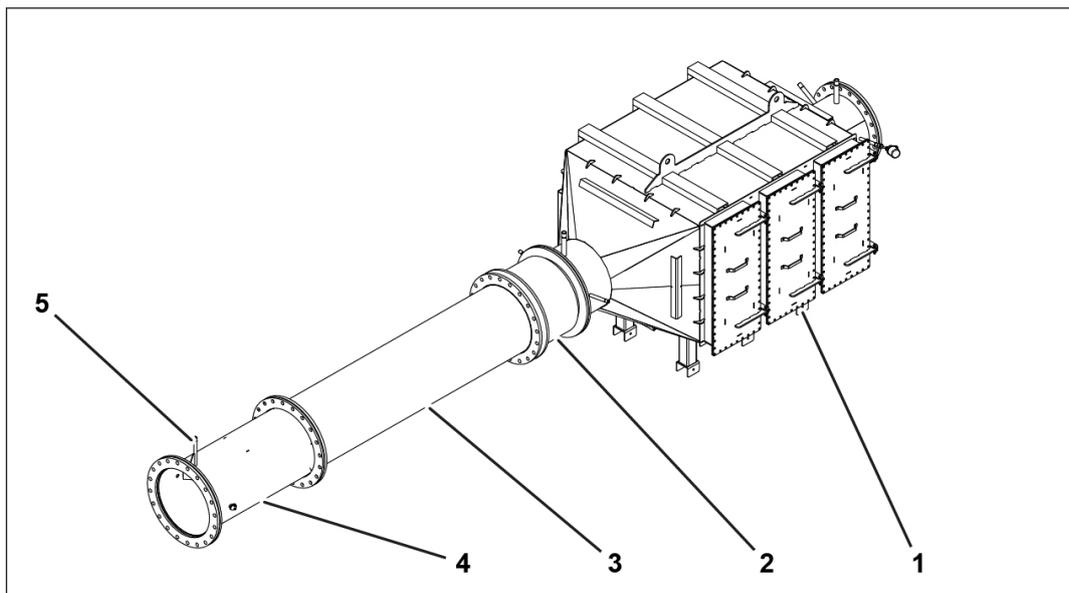
Die Reaktion im SCR-Katalysator zeigt Abb. 73142. Eine dem Abgas zugemischte Harnstofflösung wandelt die giftigen Stickoxide zusammen mit Sauerstoff in die ungiftigen Bestandteile Wasser und Stickstoff um.



73142-001 Reaktion im SCR-Katalysator

- 1 SCR-Waben

Abb. 73143 zeigt die typische Ausführung eines SCR-Katalysators mit Harnstoff-Eindüsstrecke und Reaktorgehäuse. Im Reaktorgehäuse sind die SCR-Waben für die Reduktion der Stickoxide angeordnet. Im gleichen Gehäuse sind nach den SCR-Waben die Waben des Oxidationskatalysators installiert. Der Oxidationskatalysator reduziert Kohlenmonoxid und Formaldehyd auf die geforderten Grenzwerte.



73143-001 Ausführung einer SCR-Anlage - Komponenten im Abgassystem

- 1 Reaktorgehäuse
- 2 Kompensator
- 3 Mischstrecke
- 4 Eindüsstrecke
- 5 Injektor

Vorrüstungen für SCR-Katalysatoren

Bei Neuanlagen kommen auch Vorrüstungen für SCR-Katalysatoren zum Einsatz. Nach der 44. BImSchV greifen die einzuhaltenden Grenzwerte für die Stickoxide je nach Brenngas erst in den Jahren 2023 bzw. 2025 ⇒ Kapitel 11.2 Anforderungen und Richtwerte 141. Hier installiert man im Abgassystem zunächst das Reaktorgehäuse, die Eindüsstrecke und die Mischstrecke. Der Reaktor wird aber zunächst nur mit Oxi-Waben bestückt, um die Grenzwerte für Kohlenmonoxid und Formaldehyd einzuhalten. Erst beim Inkrafttreten der Grenzwerte nach der 44. BImSchV erfolgt die Nachrüstung der SCR-Waben und der Ausrüstung für die Harnstoffeindüsung.

11.3.2 Abgasschalldämpfer

Abgasschalldämpfer haben die Aufgabe, das beim Betrieb des Motors entstehende Abgasgeräusch auf ein an die jeweiligen Umgebungsverhältnisse angepasstes Maß zu dämpfen. Die eingesetzten Schalldämpfer arbeiten als Reflexionsdämpfer, Absorptionsdämpfer oder Kombinationsdämpfer. Im tieferen Frequenzbereich von 125 - 500 Hz erreichen Reflexionsdämpfer ihre höchste Dämpfung. Absorptionsdämpfer erreichen ihr Dämpfungsmaximum im Frequenzbereich von 250 - 1000 Hz. Beim Kombinationsdämpfer sind der erste Teil als Reflexionsdämpfer und der zweite Teil als Absorptionsdämpfer ausgebildet. 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 Kombinationsdämpfer erreicht wird, müssen weitere Absorptionsdämpfer hinter dem Kombinationsdämpfer nachgeschaltet werden. Zur Körperschallisolierung ist zwischen den Schalldämpfern ein Kompensator einzubauen ⇒ Kapitel 5.3 Geräuscentwicklung 56.

Die Abgasschalldämpfer erfahren eine Wärmeausdehnung bei Betriebstemperatur. Dementsprechende Festlager und Loslager bei der Planung vorsehen.

11.3.3 Abgaswärmetauscher

Zur Wärmenutzung aus dem Abgas wird ein Abgaswärmetauscher eingesetzt. Die Abgaswärmetauscher sind nach europäischer Druckgeräterichtlinie (PED 2014/68/EU) gefertigt. Prüfgrundlage sind nationale Vorschriften, z.B. TRD³ und AD-Merkblätter⁴ des Herstellerlands.

In der Regel werden Abgaswärmetauscher im BHKW in Edelstahl (1.4571 oder gleichwertig) ausgeführt. Die Abgasaustrittstemperatur bei erdgasbetriebenen Motoren ist normalerweise bei 120 °C. Zur Verhinderung von Korrosionsschäden muss im Abgas die Taupunktunterschreitung sicher vermieden werden. Generell ist bei allen Anlagen, bei denen Abgaswärmetauscher über dem Motor angeordnet sind, ein ausreichend großer kontinuierlicher Kondensatablass/Abscheider vorzusehen. Dadurch wird verhindert, dass bei einem Wasserdurchbruch im Abgaswärmetauscher über die Abgasleitung Wasser in den Motor gelangt. Bei Anlagen, die mit Klärgas oder Deponiegas betrieben werden, ist bei der Werkstoffauswahl der erhöhte Gehalt von Schwefel, Chloriden, Salzsäure und Flusssäure im Abgas zu beachten. Diese Komponenten 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 statt dünnwandiger Rohre aus Edelstahl dickwandige Materialien aus niedrig legiertem Kesselstahl eingesetzt werden. Dieser Stahl ist unempfindlicher gegen Lochfraß und Spannungskorrosion. Um flächige Korrosion zu vermeiden, muss generell die Kondensation von oben genannten Säuren und Wasser aus dem Abgas vermieden werden. Das Abgas sollte daher nicht unter 180 °C abgekühlt werden.

³) TRD = Technische Regeln für Dampfkessel = Technical Directions for Steam Boilers

⁴) AD = Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter = Pressure Vessels Working Party

Bei Anlagen mit Schwefel im Brenngas und mit einem dem Abgaswärmetauscher vorgeschalteten Oxidationskatalysator muss eine Feinentschwefelung des Brenngases vorgesehen werden. Im Oxidationskatalysator wird im Abgas enthaltenes Schwefeldioxid zu Schwefeltrioxid oxidiert. Bei der Abkühlung des Abgases im nachgeschalteten Abgaswärmetauscher reagiert Schwefeltrioxid mit Wasser und es kommt zur Bildung von konzentrierter Schwefelsäure. Konzentrierte Schwefelsäure wirkt stark korrodierend und kann zu einer schnellen Zerstörung des Abgaswärmetauschers führen. Weiterhin kann es zu Betriebsstörungen durch einen erhöhten Abgasgedruck kommen, der von schwefelbedingten Ablagerungen hervorgerufen wird. Ein wirksamer Schutz kann bei diesem Anlagenaufbau nur mit einer Feinentschwefelung des Brenngases gewährleistet werden.

Die Wasserqualitäten bezüglich der Heizwasseranforderungen sind einzuhalten \Rightarrow 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. In dem technischen Rundschreiben für Kühlwasser wird für die Kühlflüssigkeit im Heizkreis ein Chloridgehalt kleiner 20 mg/l gefordert. 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 $> 110\text{ °C}$ ein Abgaswärmetauscher mit Wasser führenden Bauteilen (Rohre, Rohrplatte und Mantel) in Normalstahl vorzusehen, wenn keine Einschränkungen auf der Abgasseite dagegen sprechen \Rightarrow 7.2 Heizkreis 85 und 7.2.2 Kühlbetriebsstoff im Heizkreis 85.

Die Abgaswärmetauscher erfahren eine Wärmeausdehnung bei Betriebstemperatur. Dementsprechend sind Festlager und Loslager bei der Planung vorzusehen.

11.3.4 Abgaskomponenten in Biogasanlagen

Bei Biogasanlagen müssen folgende Punkte bei der Auslegung des Abgassystems berücksichtigt werden:

- Mit einem zugelassenen Gesamtschwefelgehalt von maximal $2,2\text{ g/m}^3\text{n}$ oder H_2S -Gehalt von maximal 0,15 % Vol. im Biogas dürfen die Abgase nur auf maximal 180 °C heruntergekühlt werden. Die Biogaswerte müssen dauerhaft eingehalten werden. Es darf dann kein Oxidationskatalysator eingesetzt werden.
- Bei einer gewünschten Abgasabkühlung auf 120 °C muss im Biogas zusätzlich zu den Mindesteigenschaften von Brenngasen für Gasmotoren der Schwefelgehalt auf $< 0,1\text{ g/m}^3\text{n}$ oder der H_2S -Gehalt auf $< 70\text{ ppm}$ begrenzt werden.
- Bei der Verwendung von Oxidationskatalysatoren ist eine Feinentschwefelung des Brenngases vorzunehmen. Diese muss das H_2S jederzeit vollständig entfernen (Nachweisgrenze der Feldmesstechnik, höchstens jedoch 5 ppm H_2S). Technisch ist dies mit einem Aktivkohleadsorber mit dotierter/imprägnierter Aktivkohle umsetzbar.
- Bei Biogasanlagen sind die Abgasschalldämpfer vorzugsweise vor dem Abgaswärmetauscher einzubauen, da bei höheren Abgastemperaturen die Gefahr von Säurekondensation geringer ist.
- Des Weiteren muss eine gesicherte Kondensatabführung vorgesehen werden. Der Kondensatablauf ist regelmäßig im Betrieb zu überprüfen und muss gegen Einfrieren im Winter gesichert werden.
- Der Abgaswärmetauscher ist rauchgasseitig regelmäßig zu reinigen.
- Abgasdurchströmte Bauteile müssen wegen der Kondensatgefahr isoliert werden, unbedingt auch im Freien.

11.3.5 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 (z.B. TRD 604 Bl. 2).

Umgehung von Komponenten im Abgassystem

Zur Umgehung von Abgaskomponenten wie z.B. Abgaswärmetauscher und/oder Dampferzeuger werden Abgasklappen eingesetzt. Der Antrieb erfolgt über einen elektrischen oder pneumatischen Stellantrieb. Sie dienen nur als Stellklappen und haben keine Regelfunktion. Es werden vorzugsweise Klappenkombinationen eingesetzt, bei denen zwei Klappen mit einem Stellmotor 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.

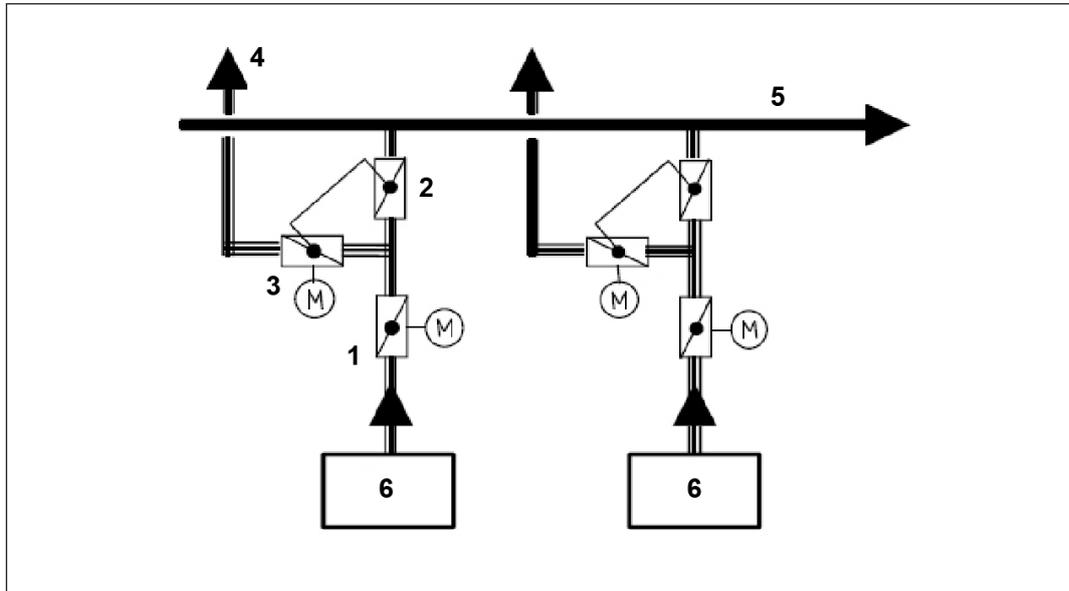
Abgasklappensystem mit separatem Abgasrohr

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 Abb. 67207). 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 Abgasgedruck 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.



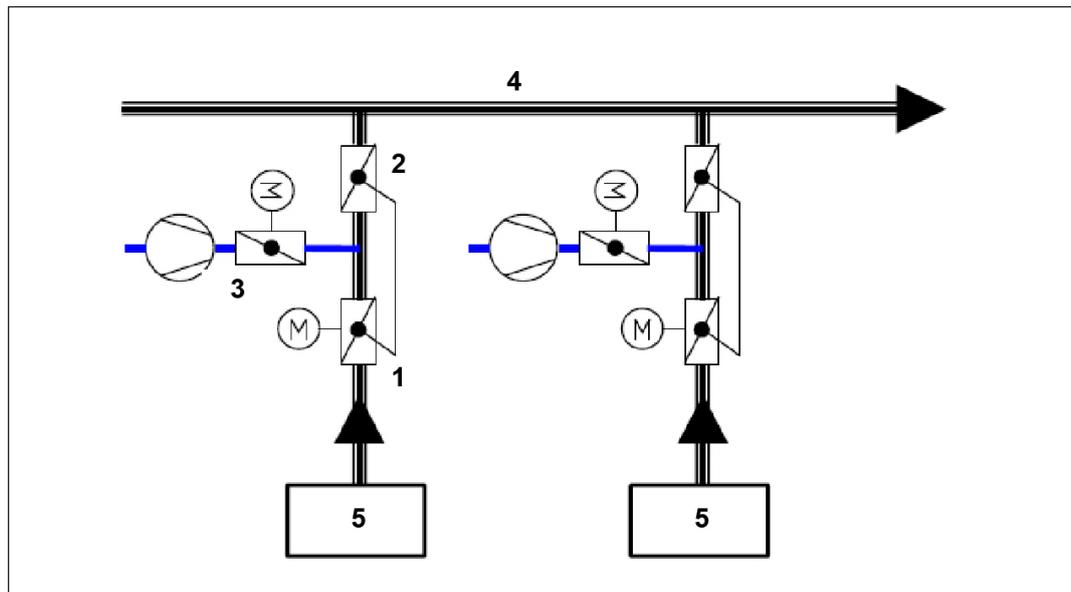
67207-001 Gemeinsames Abgassystem mit Bypass ins Freie

- 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 auch Abbildung 67208). Bei Stillstand des Motors sind beide Abgasklappen (Klappe 1 und 2) geschlossen. Der Raum zwischen den Klappen wird mit Sperrluft beaufschlagt. Der Sperrluftdruck muss größer als der maximale Abgasgedruck 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 nach Gebläse geschlossen und das Sperrluftgebläse abgeschaltet. Der Motor muss gegen den auf der Abgassammelleitung anstehenden Abgasgedruck starten.

Vorteil: Es muss keine separate Leitung ins Freie führen.



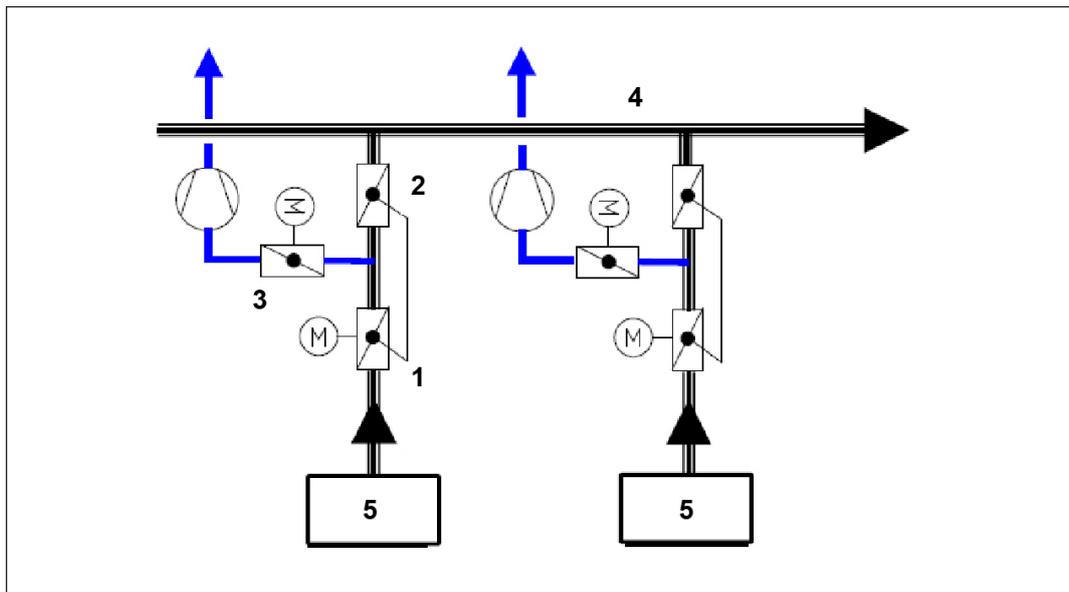
67208-001 Gemeinsames Abgassystem mit Sperrlufteinblasung

- 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 beföhrt (siehe Abb. 67209). Bei Stillstand des Motors sind beide Abgasklappen (Klappe 1 und 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 geföhrt. 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 föhren, der Querschnitt ist aber kleiner gegenüber einer Abgasleitung wie in Abb. 67207.



67209-001 Abgasklappensystem mit Zwischenentlüftung

- 1 Abgasklappe 1
- 2 Abgasklappe 2
- 3 Luftklappe
- 4 Abgassammelleitung
- 5 Gasmotor

11.3.6 Verlegung von Abgasrohrleitungen

Wegen der relativ hohen Abgastemperaturen ist die Wärmeausdehnung besonders groß (ca. 1 bis 1,5 mm/m und 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 auszuliegen. Sie dürfen nicht am ATL 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.

Isolierung von Abgasleitungen

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 Durchführung 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. Das 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.

11.3.7 Zusätzliche Planungshinweise für Abgaswärmetauscher und Schalldämpfer

Für die bessere Handhabung bei der Einbringung ist es sinnvoll Hebeösen anzubringen.

Körperschall

Bei der Befestigung ist zu beachten, dass gegebenenfalls schalltechnische Aspekte eine Rolle spielen. In diesem Fall ist sicherzustellen, dass wenig Körperschall auf andere Bauteile übertragen wird. Aus diesem Grund werden Schwingungsdämpfer in die Füße bzw. in die Aufhängung eingebaut. Dies gilt sowohl für die stehende als auch für die hängende Version. Da aus Temperaturgründen die Rohrleitungen und das Katalysatorgehäuse isoliert sind, ist bei den meisten Anlagen keine weitere Schallisolierung dieser Bauteile nötig.

Aufstellung

Beim Aufstellen von Katalysatorgehäusen, Abgaswärmetauscher und Abgasschalldämpfer ist zu vermeiden, dass die Bauteile über die Füße gekippt werden. Dies führt unweigerlich zu Beschädigungen an Gehäuse und Bauteilen. 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.

Reinigung des Abgaswärmetauschers

Bei der Aufstellung des Abgaswärmetauschers ist ausreichend Platz vorzusehen, damit der Abgaswärmetauscher gereinigt werden kann.

11.3.8 Abgaskamine

Besonders in der Nähe von Wohngebieten müssen unzulässige Immissionen durch die Abgase der Motoren vermieden werden. Durch Kamine werden die Abgase an einem hohen Punkt in die Atmosphäre abgeleitet. Abgaskamine sind zur Vermeidung von Taupunktunterschreitung im Abgas zu isolieren. Die Abgasgeschwindigkeit im Kamin sollte zwischen 15 bis 20 m/s liegen. Über 20 m/s besteht die Gefahr von Resonanzschwingungen der Gassäule. Eine große Austrittsgeschwindigkeit ergibt eine dynamische Schornsteinüberhöhung und verbessert die Ausbreitung des Abgases, erhöht jedoch das Strömungsrauschen. Die Zugwirkung des Kamins, diese ist von der Kaminhöhe abhängig, vermindert den Gegendruck im Abgassystem. Durch den Einbau von Deflektorhauben am Kaminaustritt kann jedoch die Zugwirkung des Kamins teilweise oder ganz kompensiert werden. In ungünstigen Fällen ist auch im Kamin mit einem Gegendruck zu rechnen.

Abgaskamine sind mit einer Dauerentwässerung auszurüsten und witterungsbedingte Verunreinigungen sind auszuschließen (z.B. Regen, Schnee usw.). Die Kondensatentsorgung ist im Einzelfall zu klären und im Bedarfsfall über eine Neutralisationseinrichtung zu leiten.

11.4 Verpuffungen im Abgassystem

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.

11.4.1 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.

11.4.2 Startablauf

Während der Startphase des Gasmotors werden das Gemischsystem und das Abgassystem des Motors mit Luft gespült. Die Spülung mit Luft erfolgt durch Drehen des Starter ohne Zufuhr von Brenngas (Absperrventile in der Gasregelstrecke geschlossen). Nach dem Vorspülen und Erreichen einer bestimmten Grenzdrehzahl wird die Zündung eingeschaltet und auf ordnungsgemäße Funktion überprüft. Erst dann und nur dann werden die Absperrventile der Gasregelstrecke geöffnet, das in den Motor eintretende Gas/Luft-Gemisch zündet und beschleunigt das Gasmotorenaggregat auf Nenndrehzahl.

11.4.3 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 Aggregats 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 quitiert 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 ⇒ Kapitel 11.4.8 Selbstzündungsbedingungen 167 Selbstzündungsbedingungen). Daher rückt bei warmem Gasmotor und heißen Abgasleitungen die Wahrscheinlichkeit einer Verpuffung von unverbranntem Gas/Luft-Gemisch eher in den Bereich des Möglichen.

11.4.4 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.

11.4.5 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 mit "kalter" Luft gespült.

11.4.6 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 Spülvolumen 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 Vollast: 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.

11.4.7 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 Vollast ca. 400 °C, bei 50 % Teillast ca. 470 °C.

11.4.8 Selbstzündungsbedingungen

Die aus der Literatur bekannte Zündtemperatur für Erdgas liegt bei einem Verbrennungsluftverhältnis von 1,8 bei ca. 570 °C. Diese Temperatur gilt für Methan und Erdgase H mit einem hohen Methananteil. Bei Erdgasen mit länger-kettigen Kohlenwasserstoffen oder Wasserstoffanteilen können die Zündgrenzen niedriger liegen.

11.4.9 Risiko einer Verpuffung

Bei Störungen beim Start und Betrieb des Gasmotorenaggregates lässt es sich nicht immer vermeiden, dass Gas/Luft-Gemisch in das Abgassystem gelangen kann. Beim Start des kalten Motors besteht kein Risiko einer Verpuffung, da keine Zündquelle (heiße Oberfläche) vorhanden ist. Deshalb sind Störungen bei Betriebsbedingungen und heißem Abgassystem kritischer zu bewerten. Wie bereits erwähnt, liegen die Abgastemperaturen unter 500 °C und liegen damit deutlich unter der Selbstzündungstemperatur von 570 °C für Erdgas H bei einem Verbrennungsluftverhältnis von 1,8. Weiterhin wird wie oben beschrieben bei jeder Störung "kaltes" Gemisch bzw. kalte Luft in das Abgassystem gefördert, was zu einer weiteren Absenkung der Temperatur führt und den Abstand zur Selbstzündungstemperatur vergrößert. Die Selbstzündung des Gemisches an heißen Oberflächen ist aus technischer Sicht und bei ordnungsgemäßem Betrieb des Gasmotorenaggregats unwahrscheinlich.

11.4.10 Zündquellen im Abgassystem

Als mögliche Zündquellen in einem Abgassystem kommen in einem normalen Abgassystem eigentlich nur zwei mögliche Zündquellen infrage:

- Heiße Oberfläche eines Oxidationskatalysators
- Zündfunken im Abgassystem durch elektrostatische Entladung

Oxidationskatalysator

Eine mögliche Zündung von brennbarem Gas/Luft-Gemisch an den heißen Oberflächen eines Oxidationskatalysators kann eingeschränkt werden. Dazu muss der Katalysator in dem Bereich des Abgassystems eingebaut werden, der bei den oben beschriebenen Start- und Stoppvorgängen sicher mit Luft beaufschlagt ist. Daher wird der Oxidationskatalysator als erste Komponente des Abgassystems nach dem Gasmotor installiert. Die Länge des Abgasohres vom Abgasaustritt bis zum Oxidationskatalysator soll dabei möglichst klein sein und 7 Meter nicht überschreiten. Bei 7 Meter Abgasrohrlänge in der für die jeweilige Baureihe verwendeten Abgasrohrnennweite liegt das Verhältnis von Abgasrohrvolumen vor Oxidationskatalysator und Gesamthubvolumen in der Größenordnung 10 - 20. Damit ist gewährleistet, dass das Abgassystem bis zum Oxidationskatalysator sicher mit kalter Luft gespült wird.

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. Deshalb ist es auch beim Abgassystem unbedingt erforderlich, dass alle Komponenten und Rohre am Potenzialausgleich angeschlossen werden.

12 Druckluftsystem

Inhaltsverzeichnis

12.1	Übersicht Druckluftsystem.....	170
12.1.1	Startsystem.....	170
12.1.2	Niederdruckluft-System.....	171
12.2	Anforderungen und Richtwerte.....	172
12.2.1	Druckluftqualität.....	172
12.3	Komponenten des Druckluftsystems.....	173
12.3.1	Kompressoren.....	173
12.3.2	Druckluftbehälter.....	173
12.3.3	Druckluftleitungen.....	173
12.4	Sicherheitshinweise.....	174

- 10 Sicherheitsventil
- 11 Anfahrventil
- 12 Starter
- 13 Steuerventil
- 14 Druckschalter/Kompressor EIN/AUS
- 15 Drucksensor/Anzeige und Auswertung in TEM/TPEM

Der Kompressor (1) befüllt 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 das Hochdruck-Absperrventil (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.

12.1.2 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.

12.2 Anforderungen und Richtwerte

12.2.1 Druckluftqualität

Die Druckluft muss staubfrei und ölfrei sein. Die Kompressoren und die Luftfilterung entsprechend auslegen.

12.3 Komponenten des Druckluftsystems

12.3.1 Kompressoren

Die Kompressoren sollten redundant als Diesel- oder Elektrokompessoren 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.

12.3.2 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. Stehende Behälter werden über den Ventilkopf entwässert, 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.

12.3.3 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 (Sieb ausbau 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 ⇒ 21.2 Werkstoffe für Rohrleitungen 311

12.4 Sicherheitshinweise

Bei der Durchführung von Arbeiten am Motor ist die Druckluftzufuhr zum Motor grundsätzlich abzusperren, damit kein unbeabsichtigter Start des Motors möglich ist.

13 Messeinrichtungen, Überwachungseinrichtungen und Begrenzungseinrichtungen

Inhaltsverzeichnis

13.1	Übersicht Messeinrichtungen, Überwachungseinrichtungen und Begrenzungseinrichtungen.....	176
13.1.1	Überwachung nach DIN EN 12828.....	176
13.1.2	Überwachung nach TRD 604.....	176
13.2	Temperaturmessung.....	177
13.2.1	Einbauhinweise des Temperaturfühler.....	177
13.2.2	Differenzdrucküberwachung.....	177
13.2.3	Abgasgedruckt-Überwachung.....	177

13.1 Übersicht Messeinrichtungen, Überwachungseinrichtungen und Begrenzungseinrichtungen

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 nach Kapitel 18.1 (geschirmte Sensoranschlussleitung)

13.1.1 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"
- Wasserstandsbeschränker bauteilgeprüft nach VdTÜV Merkblatt "Wasserstand 100/2"

13.1.2 Überwachung nach TRD 604

Für die Begrenzung von Temperatur, Druck und Wassermangel müssen Geräte besonderer Bauart eingesetzt werden. Der Strömungsbegrenzer muss dem VdTÜV Merkblatt "Strömung 100" entsprechen.

13.2 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 - 20 mA umgesetzt.

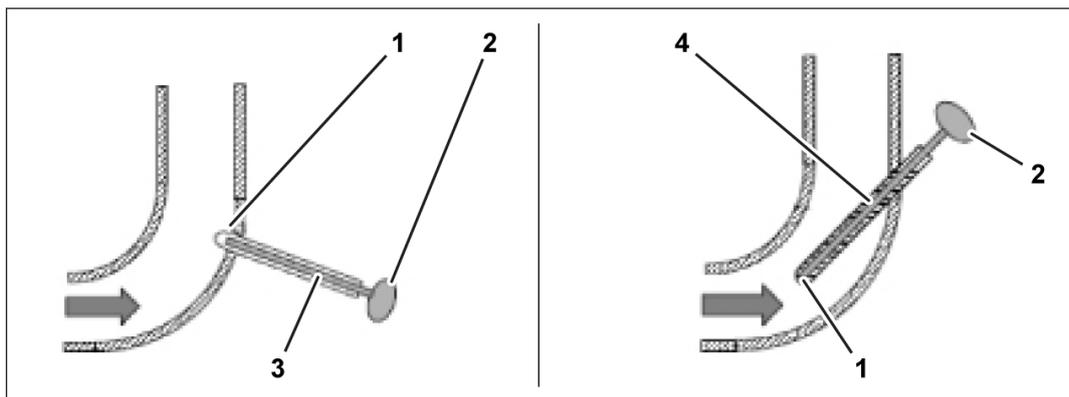
13.2.1 Einbauhinweise des Temperaturfühler

Zwingende Voraussetzung für eine gute Regelung ist die schnelle Erfassung von dynamischen Temperaturänderungen. Die Einbaulage hat erhebliche Auswirkungen auf die Ansprechzeiten und Messfehler.

Abb. 67211 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)



67211-001 Einbau des Temperaturfühlers

- 1 PT 100 Sensor
- 2 4 bis 20 mA Transmitter
- 3 Tauchhülse mit Luftspalt
- 4 Spalt mit Wärmeübertragungs-Betriebsstoff gefüllt

13.2.2 Differenzdrucküberwachung

Zur Differenzdrucküberwachung werden Differenzdruckschalter eingesetzt.

13.2.3 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.

14 Netzanschlussbedingungen

Inhaltsverzeichnis

14.1	Übersicht Netzanschlussbedingungen.....	180
14.2	Netzanschlussbedingungen in Deutschland: Anschluss und Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz und Hochspannungsnetz.....	181
14.2.1	Statische Spannungshaltung.....	181
14.2.2	Dynamische Netzstützung.....	181
14.2.3	Anforderungen an das BHKW-Aggregat.....	181
14.2.4	Zertifizierung der Aggregate.....	184
14.3	Internationale Netzanschlussbedingungen.....	185

14.1 Übersicht Netzanschlussbedingungen

Netzanschlussbedingungen regeln u. a. das Verhalten von Erzeugungsanlagen elektrischer Energie am öffentlichen Stromnetz bei bestimmten Betriebsbedingungen. Der jeweilige Netzbetreiber legt Netzanschlussbedingungen entsprechend der Bedürfnisse des betrachteten Netzes fest. Der Netzbetreiber berücksichtigt dabei Regelungen, die von Verbänden, nationalen, europäischen oder internationalen Gremien abgestimmt und festgelegt wurden.

14.2 Netzanschlussbedingungen in Deutschland: Anschluss und Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz und Hochspannungsnetz

Fotovoltaikanlagen, Windenergieanlagen, Wasserkraftanlagen und BHKW-Anlagen 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 neu 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 Fotovoltaikanlagen, Windenergieanlagen, Wasserkraftanlagen auch BHKW-Anlagen 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.

14.2.1 Statische Spannungshaltung

Unter statischer Spannungshaltung versteht man die Spannungshaltung im Mittelspannungsnetz/Hochspannungsnetz für den normalen Betriebsfall. Im Verteilungsnetz werden langsame Spannungsänderungen in verträglichen Grenzen gehalten.

14.2.2 Dynamische Netzstützung

Im Mittelspannungsnetz/Hochspannungsnetz versteht man unter dynamischer Netzstützung die Spannungshaltung bei kurzzeitigen Spannungseinbrüchen und Spannungsanstiegen. Die Spannungshaltung vermeidet die Abschaltung großer Einspeiseleistungen und Netzzusammenbrüche.

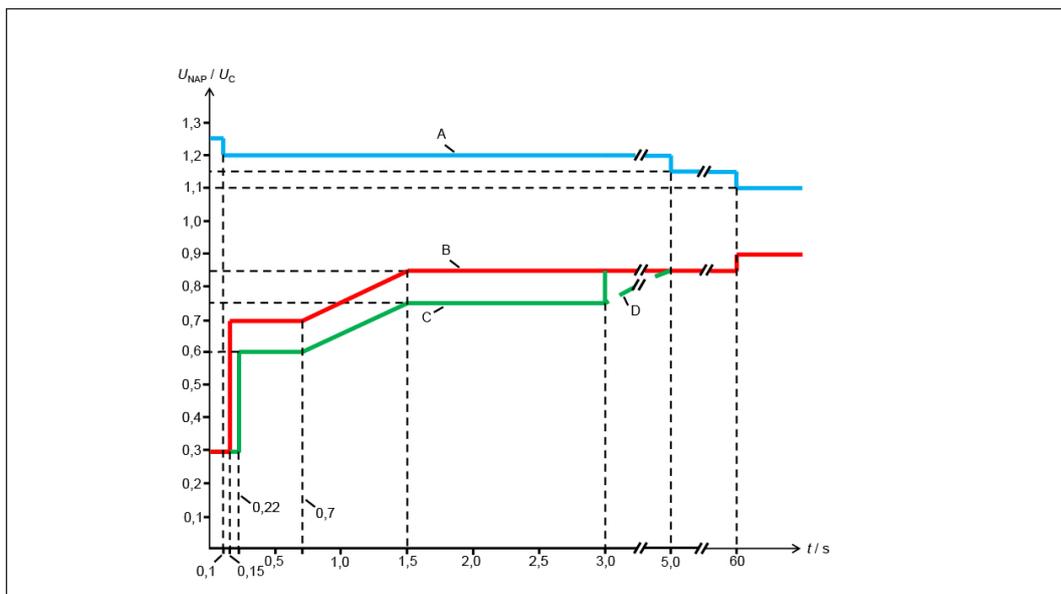
14.2.3 Anforderungen an das BHKW-Aggregat

Mit den oben beschriebenen technischen Bedingungen verändern sich die Anforderungen an das BHKW-Aggregat. Die statische und dynamische Netzstützung erfordert eine Änderung der Betriebsweise der Anlage. Früher wurde die BHKW-Anlage für maximalen Wirkungsgrad und maximale Leistung bei einem Leistungsfaktor $\cos(\phi)=1$ ausgelegt.

Gemäß der neuen Mittelspannungsrichtlinie bzw. Hochspannungsrichtlinie müssen u.a. weitere Anforderungen berücksichtigt werden:

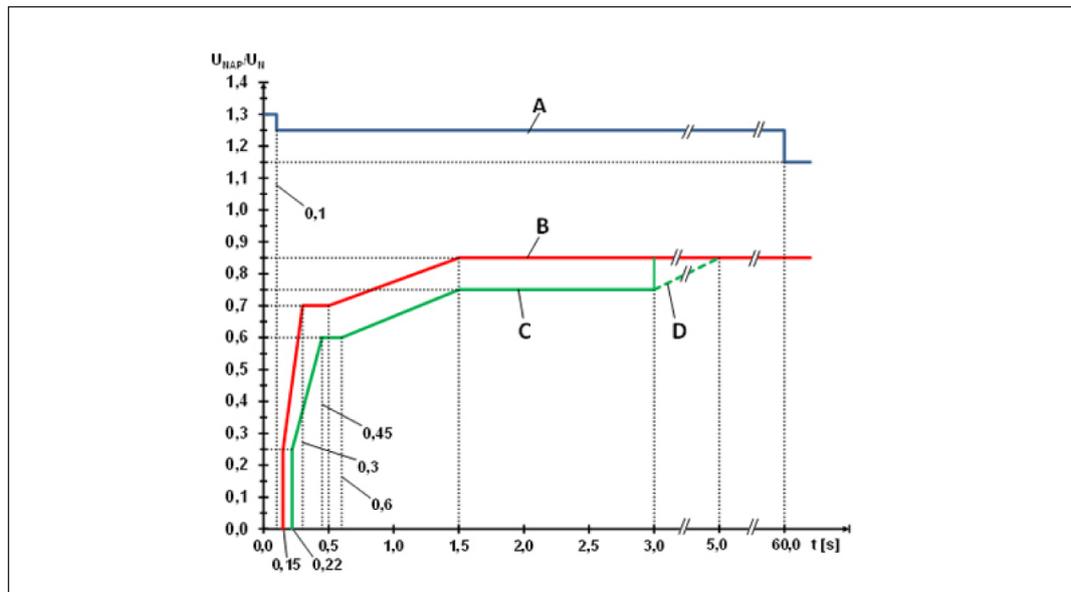
- Vergrößerter Spannungsbereich und Frequenzbereich
- Leistungsänderung über der Frequenz
- Leistungsbeschränkung durch Netzbetreiber
- Variabler $\cos(\phi)$, variable Blindleistung und Blindleistungskennlinien
- Dynamische Netzstützung
- Entkopplungsschutz an der Erzeugungseinheit
- Zuschaltbedingungen im Normalbetrieb sowie nach Netzentkopplung

Die BHKW-Anlage muss bei dynamischer Netzstützung in der Lage sein, bei und nach einer kurzzeitigen Spannungsänderung innerhalb der Grenzkurven in den Abbildungen 73223-001 und 67637-001 am Netz zu bleiben um die Spannung mittels Blindleistungseinspeisung zu stützen (Fault Ride Through (FRT)). Außerhalb der Grenzkurven ist eine sofortige Trennung vom Netz erlaubt.



73223-001 Grenzlinie für den Spannungsverlauf am Netzanschlusspunkt (FRT-Fall) 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
- U_{NAP}/U_N Verhältnis Netz-Ist-Spannung zu Netz-Nennspannung



67637-001 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_C	Verhältnis Netz-Ist-Spannung zu vereinbarter Versorgungsspannung
U_{NAP}/U_N	Verhältnis Netz-Ist-Spannung zu Netz-Nennspannung

Die vereinbarte Netzspannung U_C ist im Normalfall gleich der Nennspannung U_N des Netzes.

Die dynamische Netzstützung stellt technisch hohe Anforderungen an das BHKW-Aggregat. 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 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.

14.2.4 Zertifizierung der Aggregate

Die Eignung der Erzeugungsanlage für den Betrieb am Mittelspannungsnetz/Hochspannungsnetz muss nachgewiesen und durch eine nach DIN EN ISO/IEC 17065 akkreditierte Zertifizierungsstelle mit einem Zertifikat bestätigt werden.

Für die EZE (Erzeugungseinheit) 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 Schutzrichtungen nicht im EZE-Zertifikat ausgewiesen erfüllt ein Komponentenzertifikat des betreffenden Herstellers den Konformitätsnachweis. Dafür müssen jedoch alle Rahmenbedingungen erfüllt sein.

Vor Baubeginn 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 Erklärung.

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 Abbildung 73223 oder 67637 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. Sobald verfügbar, wird der Hauptteil des EZE-Zertifikats der Kundendokumentation beigelegt. Das vollständige EZE-Zertifikat inkl. Rechenmodellen wird der mit EZA-Zertifizierung betrauten Zertifizierungsstelle nach Abschluss einer Geheimhaltungsvereinbarung direkt von Caterpillar Energy Solutions zur Verfügung gestellt.

14.3 Internationale Netzanschlussbedingungen

Neben Deutschland gibt es in anderen Ländern, innerhalb und auch außerhalb der EU, gibt es länderspezifische Vorschriften, in welchen Anforderungen an Erzeugungsanlagen verschiedener Leistungsklassen mit Anschluss an bestimmte Netzebenen festgelegt sind. Unter dem Gesichtspunkt der dezentralen 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 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 CE-NELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization) erarbeitet. Als EN 50549 werden Anforderungen an den Anschluss von Erzeugungsanlagen an das Nieder- sowie das Mittelspannungsverteilnetz formuliert. Eine zugehöriger Normenteil zum Nachweisverfahren ist derzeit noch in Arbeit.

Viele Länder haben ihre Vorschriften überarbeitet oder neu erstellt bzw. stellen die relevanten Dokumente derzeit noch fertig. Sowohl die Anforderungen an Erzeugungseinheiten und -anlagen als auch der jeweilige Nachweisprozess unterscheiden sich zum Teil erheblich. 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.

15 Elektrische Schaltanlagen

Inhaltsverzeichnis

- 15.1 Übersicht elektrische Schaltanlagen..... 188
- 15.2 TEM-System für Gasmotoren..... 189
 - 15.2.1 TEM-EVO-System..... 189
 - 15.2.2 Aufbau..... 189
 - 15.2.3 Betriebstagebuch und Historien..... 189
 - 15.2.4 Diagnose und Servicefunktionen..... 190
 - 15.2.5 Technische Daten..... 191
 - 15.2.6 Einbauhinweise für den I/O-Controller..... 191
 - 15.2.7 Vorteile für den Anwender..... 193
- 15.3 TPEM-System für Gasmotoren..... 194
 - 15.3.1 Aufbau des TPEM-Systems..... 195
 - 15.3.2 TPEM-Funktionen..... 196
 - 15.3.3 TPEM Control Cabinet..... 197
 - 15.3.4 Einbauhinweise für den TPEM I/O-Controller..... 198
 - 15.3.5 Technische Daten..... 199
 - 15.3.6 Bedienung des TPEM-Systems..... 200
 - 15.3.7 Chronik..... 200
 - 15.3.8 Historien..... 200
 - 15.3.9 Diagnosefunktionen und Servicefunktionen..... 200
- 15.4 Schaltschränke und Module..... 201
 - 15.4.1 Steuerung und Versorgung der Hilfsantriebe - Schaltschrank Hilfsantriebe (HAS)..... 201
 - 15.4.2 Leistungsteil - Schaltschrank Generatorleistungsfeld (GLF)..... 201
 - 15.4.3 Zentralsteuerung - Schaltschrank Zentrale Anlagensteuerung (ZAS)..... 201
 - 15.4.4 Modul Grid Demand Interface (GDI)..... 202

15.1 Übersicht elektrische Schaltanlagen

Bei der Ausrüstung und der Installation von Schaltanlagen sind neben den allgemeinen anerkannten Regeln der Technik insbesondere folgende Vorschriften zu beachten:

- Niederspannungsrichtlinie 2014/35/EG
- EMV-Richtlinie 2014/30/EU
- DIN EN 50156-1:2016-03
- VDE 0660-600-2 (DIN EN 61439-2, IEC 61493-2)
- Ggf. DIN EN 602014-1
- DGUV Vorschrift 3, Elektrische Anlagen und Betriebsmittel

Beim Arbeiten in Steuerschränken und Schaltschränken mit elektrischen Baugruppen ist die DIN EN 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 thermostatgesteuerten 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.

15.2 TEM-System für Gasmotoren

Das TEM-System ist der Kopf des gesamten Gasmotor-Moduls. Das TEM-System umfasst die Motorsteuerung, Regelung und Überwachung des Gasmotors sowie optional die Notkühlung, Heizkreisregelung und Überwachung. Es ist Bedienschnittstelle und Beobachtungsschnittstelle zum Betreiber. Das TEM-System regelt und optimiert die Gasverbrennung in den Zylindern, steuert und überwacht das Motor/Generatoraggregat mit allen Hilfseinrichtungen. 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.

15.2.1 TEM-EVO-System

Im TEM-EVO-System sind die unter Kapitel 15.2 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 Antiklopregelung (AKR), Maschinenraumlüftung, Steuer- und Regelung der Tischkühler im Heizkreis, Motorkreis, Notkühlkreis und Gemischkühlkreis. Weitere Anpassungen sind möglich durch die Nutzung von parametrierbaren Messwerten, Zählwerten und Regelkreisen, CH₄-Wert geführtem Betrieb usw.. Einfache Bedienung, eine hohe Betriebssicherheit und optimierte Wirtschaftlichkeit ist das Ergebnis.

15.2.2 Aufbau

Das TEM-EVO-System besteht aus drei Komponenten:

- Aggregateschrank (AGS) komplett mit angeklebten Kabeln zum Aggregat, enthält die Aggregatsteuerung und die TÜV-geprüfte Sicherheitskette. Zwischen dem Gasmotor und dem TEM-Schrank beträgt die Kabellänge 8 m (optional 15 m).
- I/O-Controller zum Einbau in den Hilfsaggregateschrank (HAS, max. 250 m Abstand vom Aggregateschrank, Verkabelung mit geschirmter dreiadriger Busleitung)
- Bedienrechner für den Einbau in den Hilfsantriebeschrank bzw. externes Steuerfeld. Max. 100 m Abstand vom Aggregateschrank, Verkabelung mit geschirmter dreiadriger Leitung.

Durch diesen Aufbau wird der Verkabelungsaufwand in der Anlage minimiert. Der Aggregateschrank wird in unmittelbarer Nähe zum Aggregat aufgestellt. Zusammen mit der im Werk geprüften Motorverkabelung gewährleisten die fertig am Aggregateschrank angeklebten und geprüften Kabel zum Aggregat (aggregatseitig mit Steckverbindern) eine problemlose Inbetriebnahme und hohe Betriebssicherheit. Die den Leistungsteil betreffenden Signale werden direkt im Hilfsaggregateschrank über den I/O-Controller mit dem TEM-EVO-System ausgetauscht. Die Datenübertragung zur Aggregatsteuerung erfolgt über eine fehlersichere CAN-Busverbindung. Der Bedienrechner ist frei auf der Anlage platzierbar, je nach Wunsch im Hilfsaggregateschrank oder in der Schaltwarte. Die max. Entfernung zum TEM-Schrank beträgt 100 m.

15.2.3 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/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

15.2.4 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. Antiklopff-regelung, Zweigasbetrieb)

Die Servicemasken und Diagnosemasken können wie alle anderen Masken auch per Analog- Modem, Funk- Modem oder IP-Modem (Internet) optional übertragen werden. Dadurch sind Ferndiagnose und Ferntherapie durch unseren Kundendienst oder durch eigene Bereitschaftsmitarbeiter mit besonders kurzer Reaktionszeit möglich.

178-003-DE : : BA : VAR, COV, IMP, B, BA, BS, DEM, EIN, IBN, IST, WP, SK, MH, SB, STB, TA, TL

15.2.5 Technische Daten

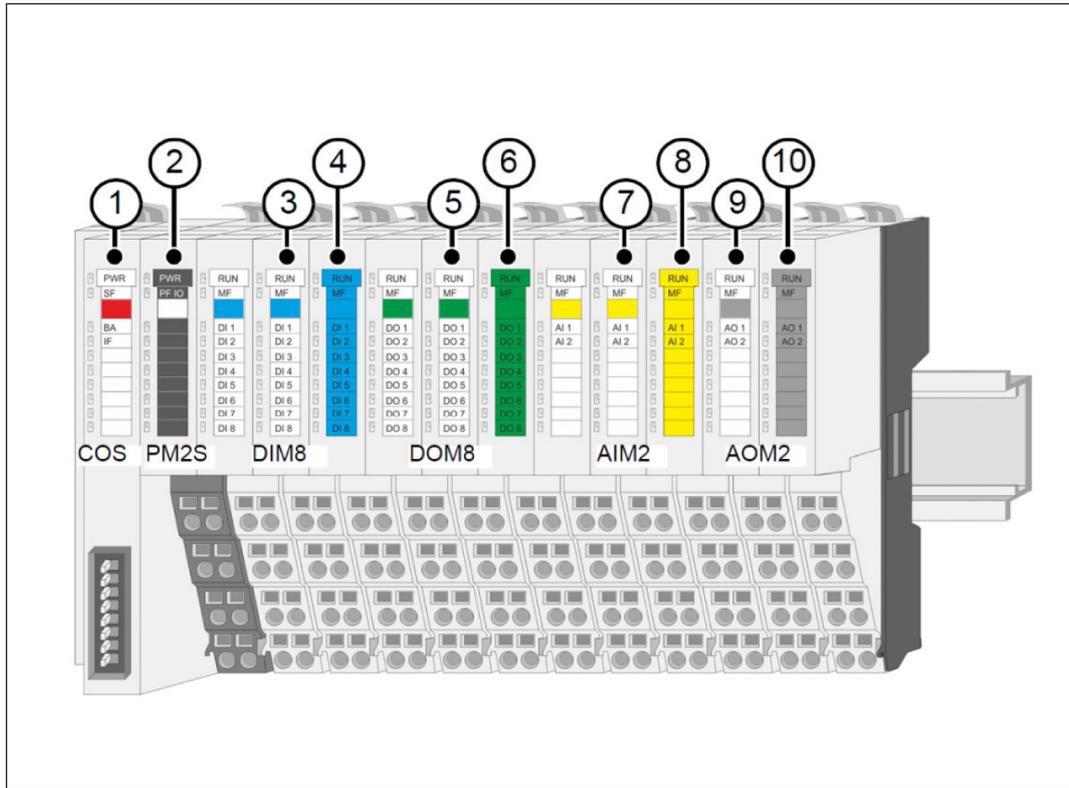
Aggregateschrank	
Kabeleinführungen von unten	
Standard-Abmessung (H x B x T)	1200 x 800 x 300 mm
Schutzart	IP 54
Zulässige Betriebstemperatur	5 bis 45 °C

I/O-Controller	
Abmessung (H x T)	112 x 114,5 mm
Breite je nach Anzahl der Optionen	
Schutzart	IP 20
Zulässige Betriebstemperatur	5 bis 45 °C

Bedienrechner	
Abmessung (H x B x T) inklusive Frontplatte	311 x 483 x 101 mm
Einbautiefe	95 mm
Montageausschnitt (H x B)	282 x 454 mm
Schutzart (frontseitig)	IP 65
Zulässige Betriebstemperatur	5 bis 40 °C

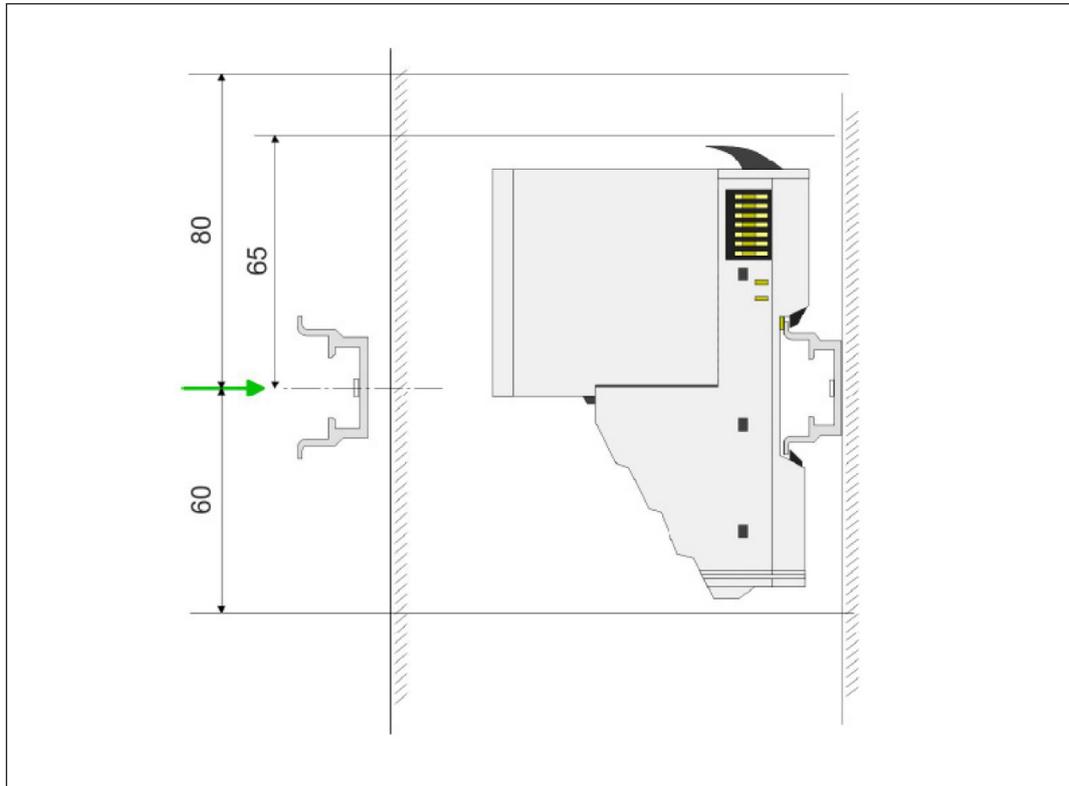
15.2.6 Einbauhinweise für den I/O-Controller

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 (Abb. 67213) sein, 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.



67213-001 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: Ersatzmodul AOM2



67214-001 Einbau des I/O-Controllers im Schaltschrank

15.2.7 Vorteile für den Anwender

Für den Anwender ergeben sich mit TEM-EVO folgende Vorteile:

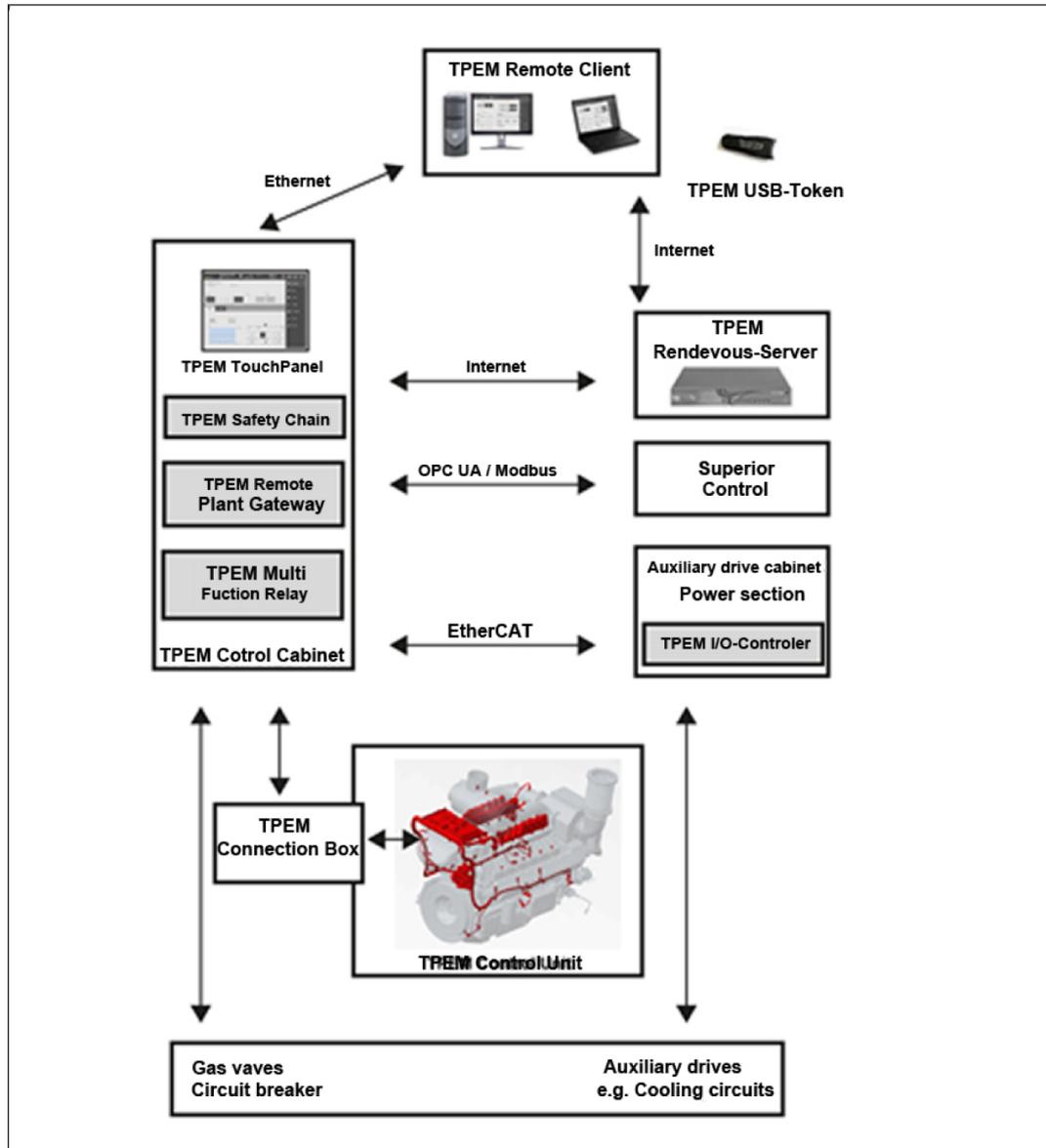
- Kompakter Aufbau und Integration vieler peripherer Zusatzfunktionen wie Wärmeverwertung u.Ä.
- Hoher Motorwirkungsgrad durch geregelten Betrieb im Optimal-Betriebspunkt.
- Dauerhaft niedrige Abgas-Emissionswerte.
- Hohe Anlagensicherheit durch automatische Plausibilitätsüberprüfung.
- Schnelle Störungsbeseitigung 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).

15.3 TPEM-System für Gasmotoren

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.

15.3.1 Aufbau des TPEM-Systems



67215-001

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. Die Verkabelung zwischen der TPEM Connection Box und der TPEM-Steuerung wird vom Kunden gemäß der von CES vorgegebenen Kabelspezifikation ausgeführt. Der maximal mögliche Abstand zwischen TPEM Connection Box und der TPEM-Steuerung beträgt 100 Meter.

- TPEM Control Cabinet (TPEM CC)
 - Das TPEM Control Cabinet ist der Steuerschrank mit fest verbautem 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 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.

15.3.2 TPEM-Funktionen

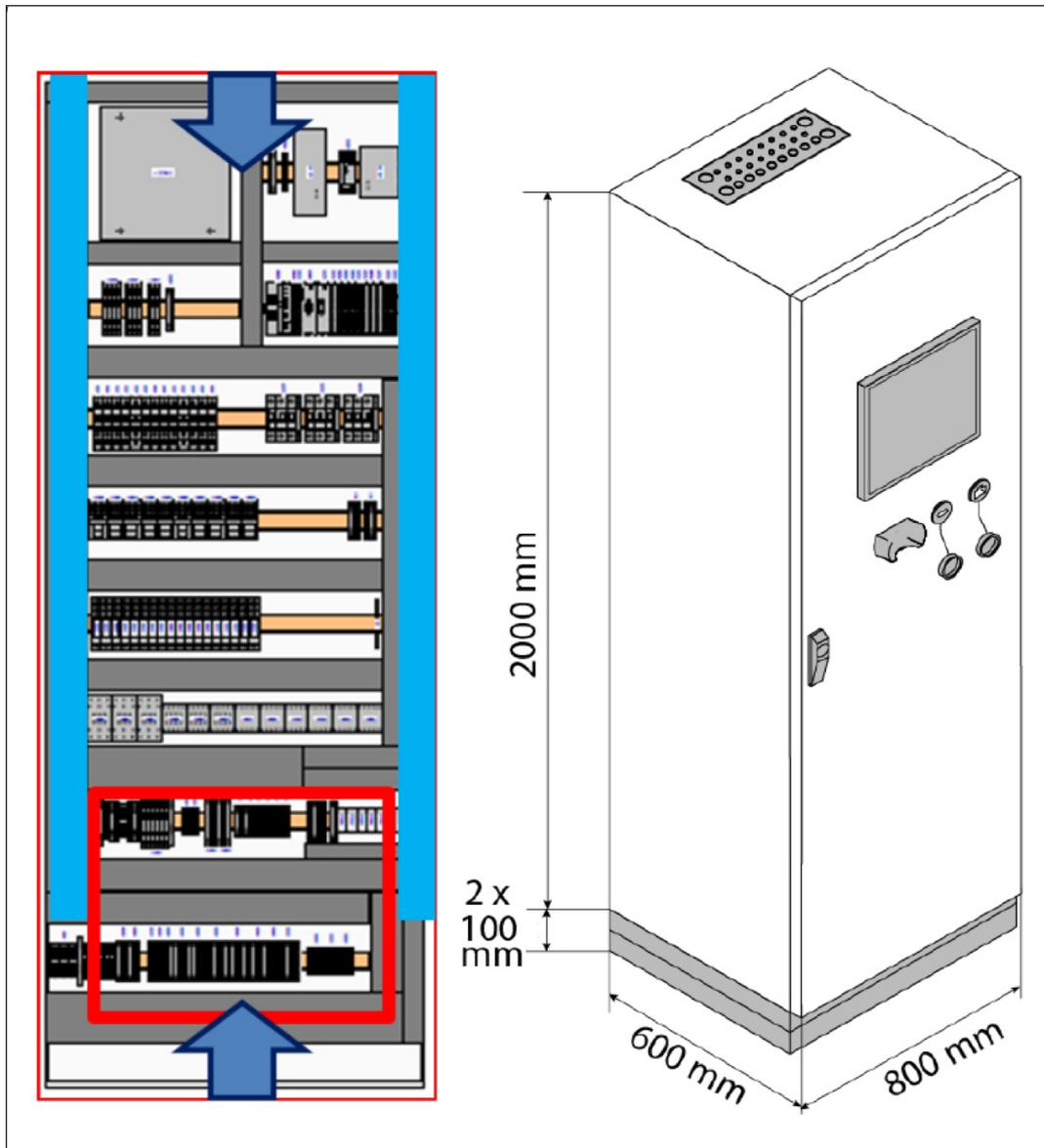
Das TPEM-System umfasst alle Funktionen, die für die sichere komfortable Regelung und Steuerung des Gasmotorenaggregats und der dazugehörigen Anlage erforderlich sind. Diese Funktionen sind:

- Ansteuerung der Aktoren und Signalauswertung der Sensoren am TPEM I/O-Controller im Hilfsantriebsschrank; Datenübertragung zum und vom TPEM Control Cabinet.
- 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.

15.3.3 TPEM Control Cabinet

Die Abb. 67218 zeigt das TPEM Control Cabinet. Alle nötigen Klemmleisten für den Anschluss des TPEM CC befinden sich im unteren Bereich des Schaltschranks, siehe rot markierter Bereich in Abb. 67218. 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 Abb. 67218. Die von oben eingeführten Kabel werden über an den Seitenwänden eingebaute Kabelkanäle (untere Markierungen in Abb. 67218) zu den Anschlussklemmen im unteren Bereich des Schaltschranks geführt.



67218-001 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. In jedem Fall 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	Schiefelast
32/32 R	Überlast und Rückleistung
25	Synchronisationscheck

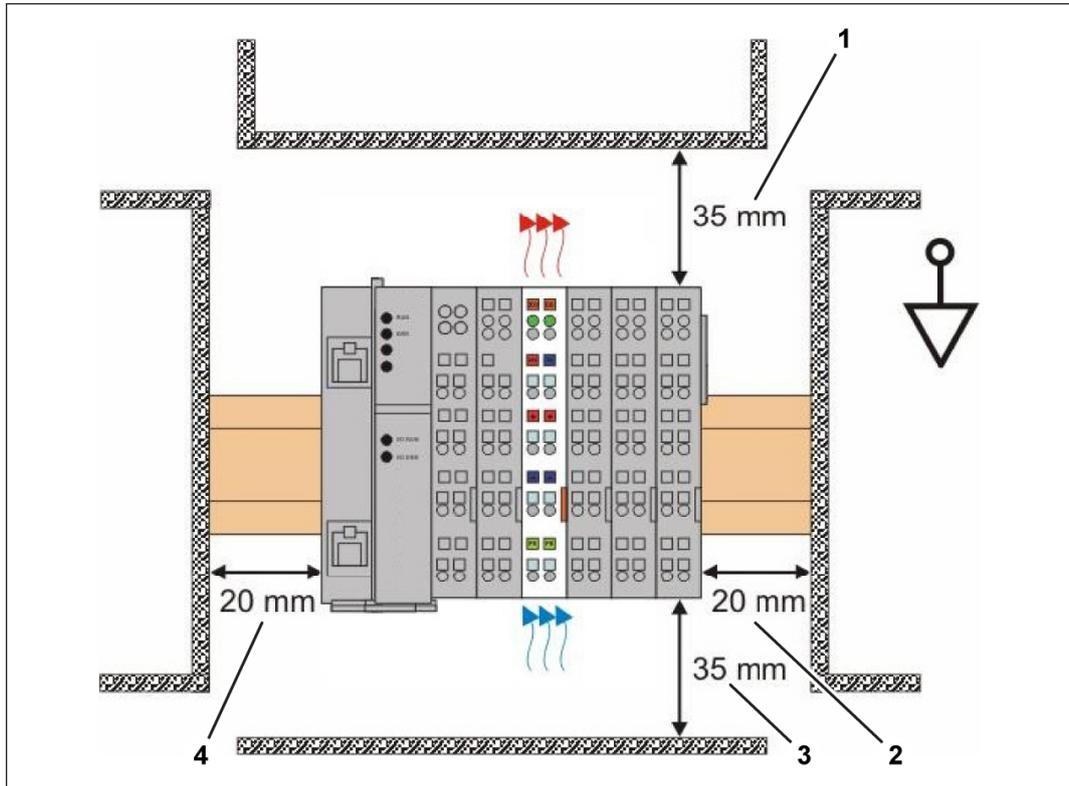
Netzschutzfunktion	
Nummer nach ANSI/IEE C37-2	Funktion
81O/U	Überfrequenz und Unterfrequenz
59/27	Überspannung und Unterspannung
78	Zeitabhängiger Überstrom
25	Synchronisationscheck

Hinweise zum TPEM Control Cabinet

- Der Sockel des TPEM Control Cabinet ist in der Höhe teilbar. Damit können Sockelhöhen von 100 und 200 mm dargestellt werden (siehe Abb. 67218).
- 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 vorkonfektionierte Kabel in den Längen von 25, 50, 75 und 100 Meter als Bestelloptionen verfügbar. Falls nötig, kann eine weitere Längen Anpassung der Kabel durchgeführt werden. Die Kabelspezifikation wird von CES zur Verfügung gestellt.

15.3.4 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 auch Abb. 67219. Damit eine ausreichende Durchlüftung gewährleistet ist, müssen die Abstände gemäß Abb. 67219 eingehalten werden.



67219-001 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

15.3.5 Technische Daten

TPEM Control Cabinet (TPEM CC)	
Kabeleinführung wahlweise von unten oder von oben	
Abmessungen (H x B x T)	2200/2100 x 800 x 600 mm
Schutzart	IP 45
Zulässige Betriebstemperatur	5 bis 45 °C
Kabeleinführung wahlweise von unten oder von oben	

TPEM I/O-Controller	
Abmessungen ohne Grid Code (B x H x T)	340 x 100 x 70 mm
Abmessungen mit Grid Code (B x H x T)	500 x 100 x 70 mm
Schutzart	IP 20
Zulässige Betriebstemperatur	5 bis 45 °C

15.3.6 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.

15.3.7 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/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.

15.3.8 Historien

Die Historienfunktion zeichnet alle Messwerte auf. Diese können in einem Diagramm bei Bedarf gemeinsam dargestellt werden. Der Benutzer kann die Messwertkurven selbst zusammenstellen.

15.3.9 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

15.4 Schaltschränke und Module

15.4.1 Steuerung und Versorgung der Hilfsantriebe - Schaltschrank Hilfsantriebe (HAS)

Eine typische Anlage enthält neben dem TEM/TPEM-System pro Aggregat ein Feld für Hilfsantriebe, Synchronisierung und Generatorschutz sowie entsprechende Ladegeräte. Unter Hilfsantriebe sind alle Leistungsabgänge für Pumpen, Regelventile, Klappen, Lüfter, 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. Die Batterieladegeräte laden die Starterbatterie im Normalbetrieb entsprechend der Konstant-Spannung/Konstant-Strom-Kennlinien auf.

15.4.2 Leistungsteil - Schaltschrank Generatorleistungsfeld (GLF)

Im Leistungsteil befindet sich der Generatorleistungsschalter und die entsprechenden Wandler für den Generatorschutz. Die Messwandler für Strom und Spannung sind ebenfalls im Leistungsteil angeordnet. Bei Spannungen < 1 kV wird die Spannung direkt von der Schiene abgegriffen. In größeren Anlagen bzw. Mittelspannungsanlagen erfolgt die Aufstellung der Leistungsteile in einem separaten Schaltanlagenraum.

15.4.3 Zentralsteuerung - Schaltschrank Zentrale Anlagensteuerung (ZAS)

Die Zentralsteuerung übernimmt alle übergeordneten Steuerfunktionen und Überwachungsfunktionen, die bei einer Mehrmotorenanlage zu berücksichtigen sind. Die ZAS beinhaltet:

- Integrierte SPS (speicherprogrammbare Steuerung)
- Vor Ort Bedienebene über Touch Panel

Funktionen der Zentralsteuerung für die einzelnen Aggregate:

- automatische/manuelle Anwahl und Abwahl
- Leistungsvorgabe der Aggregate
- Vorgabe der Betriebsart (Netzparallelbetrieb, Inselbetrieb, Ersatzstrombetrieb)
- Netzbezugslastregelung
- Lastverteilung

Mögliche zusätzliche Funktionen der Zentralsteuerung:

- 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.

15.4.4 Modul Grid Demand Interface (GDI)

Das SPS-Modul Grid Demand Interface (GDI) realisiert die in den Netzanschlussbedingungen geforderten Regelfunktionen bezüglich Wirkleistung, Blindleistung und Zuschaltung bei TEM-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

16 Inselbetrieb

Inhaltsverzeichnis

16.1	Übersicht Inselbetrieb.....	204
16.2	Inselbetrieb nach Umschaltung aus dem Netzparallelbetrieb.....	205
16.3	Inselbetrieb ohne öffentliches Netz.....	208
16.4	Hinweise zum Inselbetrieb.....	211
16.4.1	Ersatzstrombetrieb gemäß DIN VDE 0100-710 / DIN VDE 0100-560 / DIN EN 50172/ DIN VDE 0100-718.....	211
16.4.2	Wirklastverteilung im Inselbetrieb.....	211
16.4.3	Start von großen Verbrauchern.....	211
16.4.4	Schwarzstart.....	212
16.4.5	Mindestlasten.....	212
16.4.6	Erdungssystem.....	213
16.4.7	Emissionen.....	213
16.4.8	Zusammenfassung.....	214

16.1 Übersicht Inselbetrieb

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 angeboten.

Im Inselbetrieb ist die Leistungsregelung des Gasaggregats über das TEM/TPEM-System nicht möglich. Der Leistungsregler ist dabei deaktiviert und die Drehzahlregelung hält die Frequenz konstant. Im Inselbetrieb kann das TEM/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 Lastmanagement-System geregelt werden. Für diesen Fall wurden maximal zulässige Laststufen für jedes Gasaggregat definiert ⇒ Kapitel 17.1 Übersicht Lastschaltfähigkeit 216.

Für den Inselbetrieb mit Gasaggregaten muss das Gesamtkonzept der Anlage entsprechend von Beginn des Planungsprozesses detailliert projektiert werden. Aus diesem Grund sind das Anlagen-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. Um ein effektives, in sich geschlossenes Konzept zu erarbeiten, wird den Kunden während der Projektplanung Unterstützung angeboten.

Zwei Möglichkeiten des Inselbetriebs werden klassifiziert:

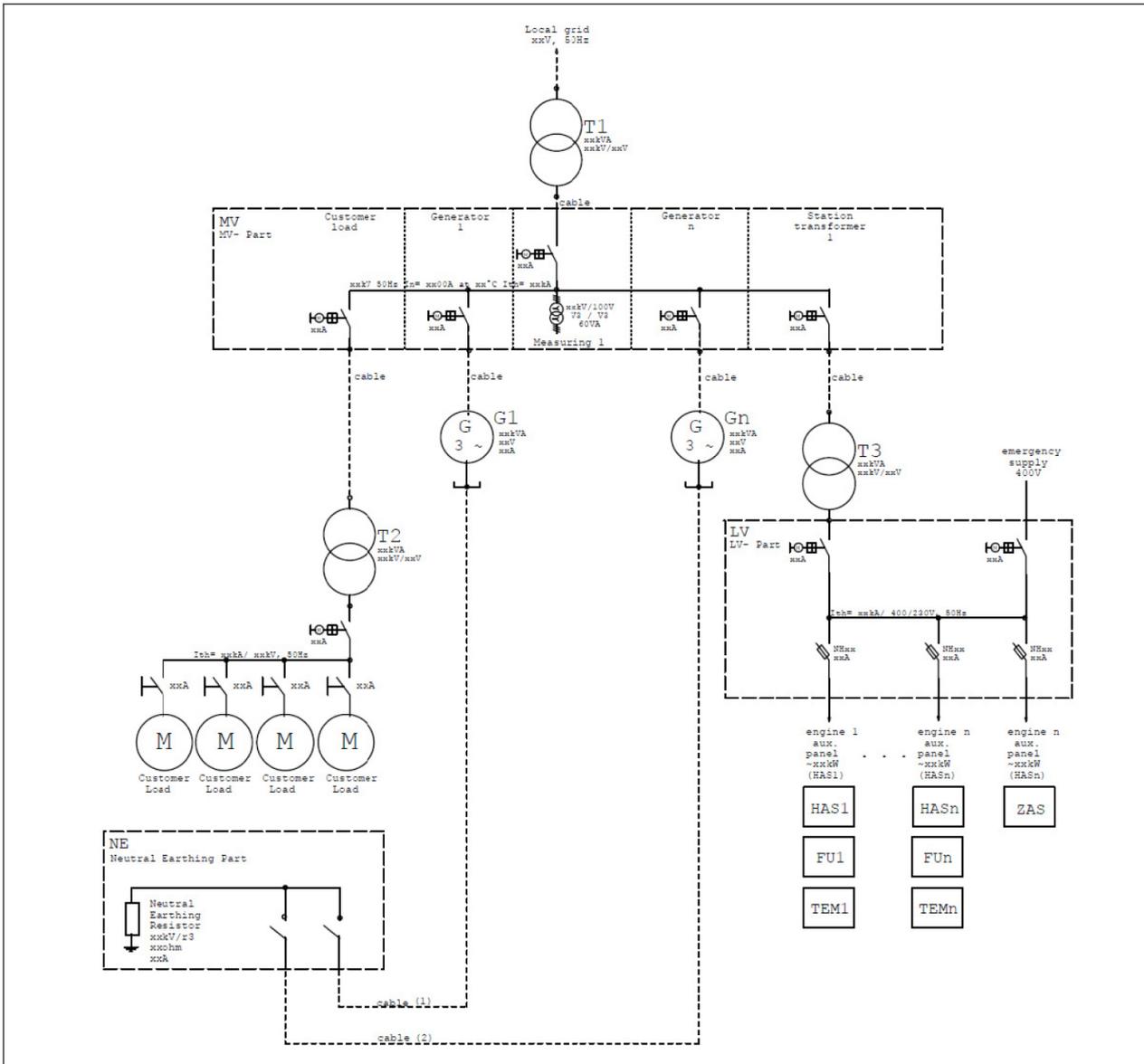
- Inselbetrieb nach Umschaltung aus dem Netzparallelbetrieb
- Inselbetrieb ohne öffentliches Netz

16.2 Inselbetrieb nach Umschaltung aus dem Netzparallelbetrieb

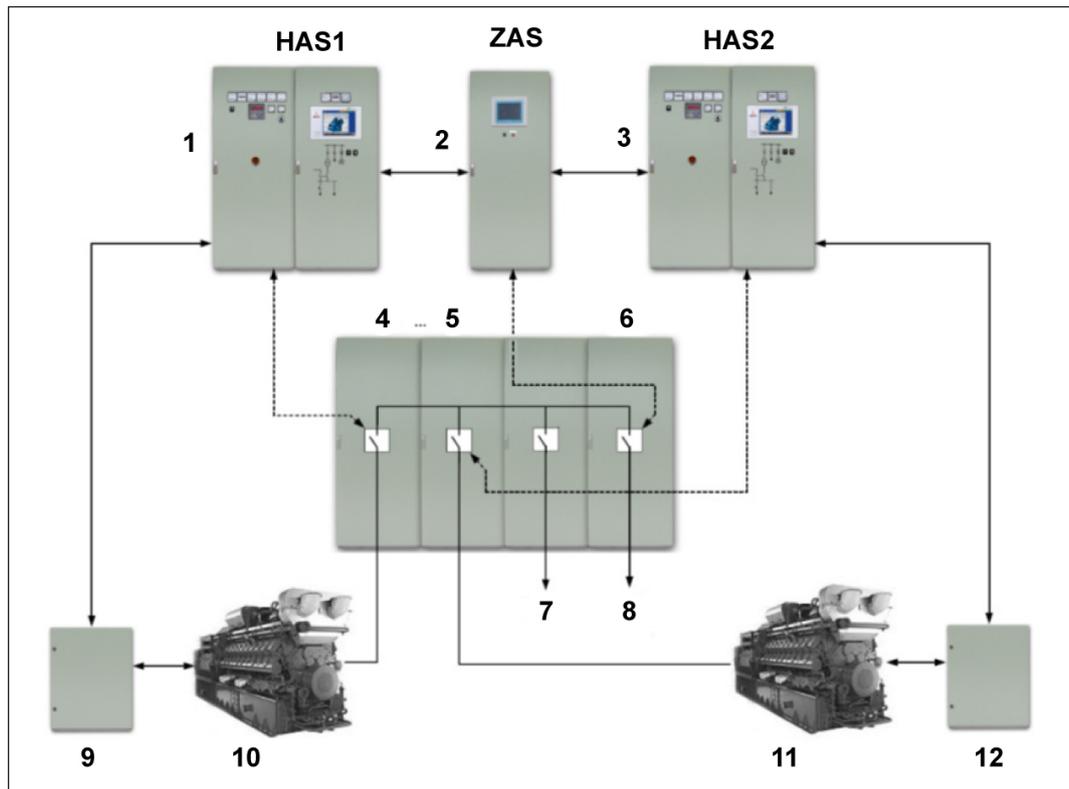
Im Normalbetrieb werden die Gasaggregate parallel zum öffentlichen Netz betrieben. Die Aggregate werden vom Leistungsregler der TEM/TPEM-Steuerung geregelt. Das öffentliche Netz bestimmt Frequenz und Spannung der Aggregate. Im Falle eines Netzausfalls wird sofort der Netzleistungsschalter geöffnet. Die Gasaggregate versorgen die Verbraucher der Kundenanlage ohne Unterbrechung.

Das Single-Line-Diagramm (Abb. 67610) zeigt einen typischen Aufbau für eine Notstromversorgung. Die Hilfsantriebeversorgung der Gasmotoren wird über einen Hilfsantriebetransformator gewährleistet. Bei einem Netzfehler wird der Netzleistungsschalter geöffnet und das Gasaggregat übernimmt die Versorgung der Verbraucher auf der Anlage. Normalerweise verursacht ein 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. Ein totaler Stromausfall für das gesamte System ist die Folge.

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.



67610-001 Inselbetrieb nach einem Wechsel aus dem Netzparallelbetrieb

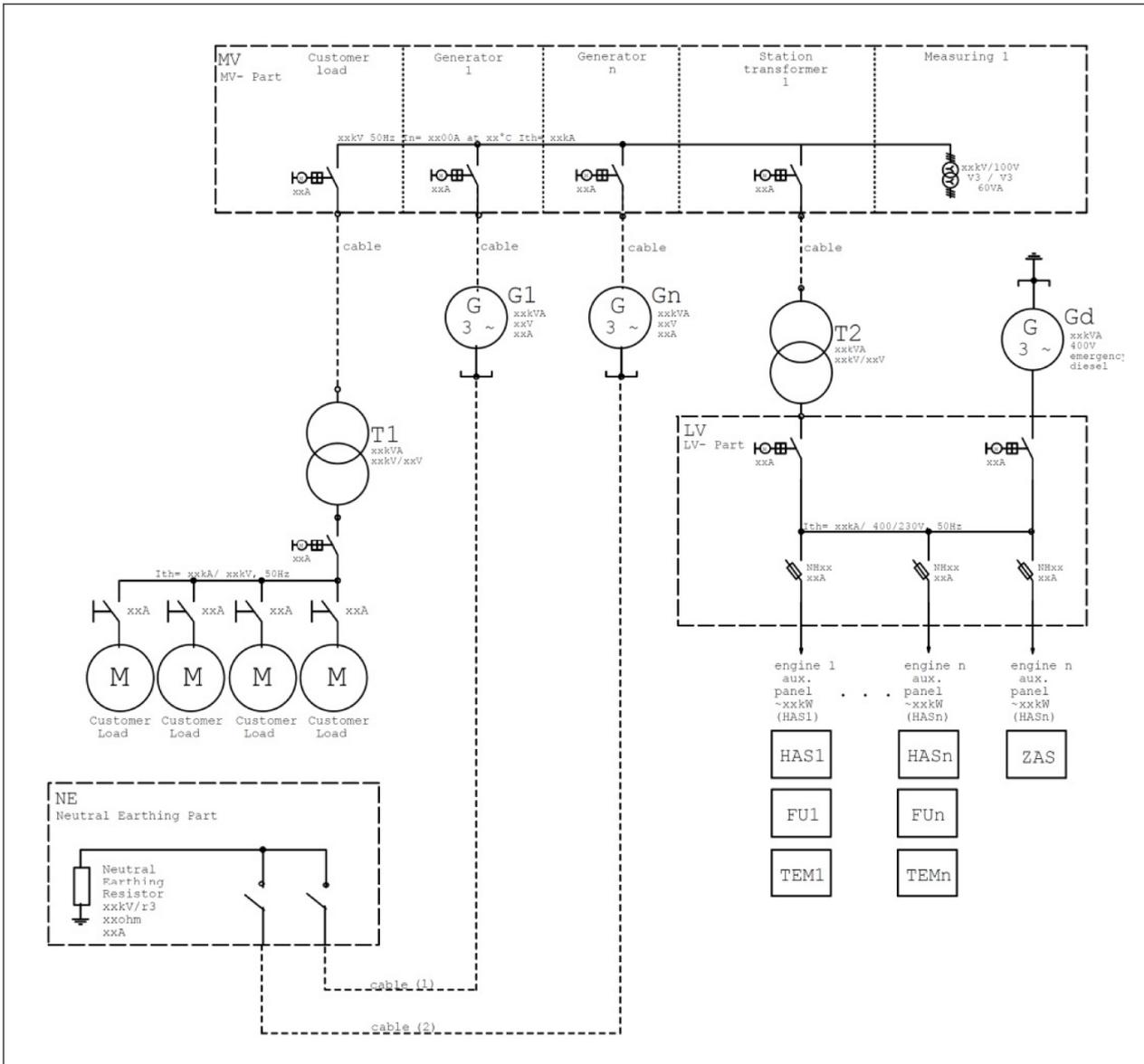


67220-001 Inselbetrieb nach einem Wechsel aus dem Netzparallelbetrieb

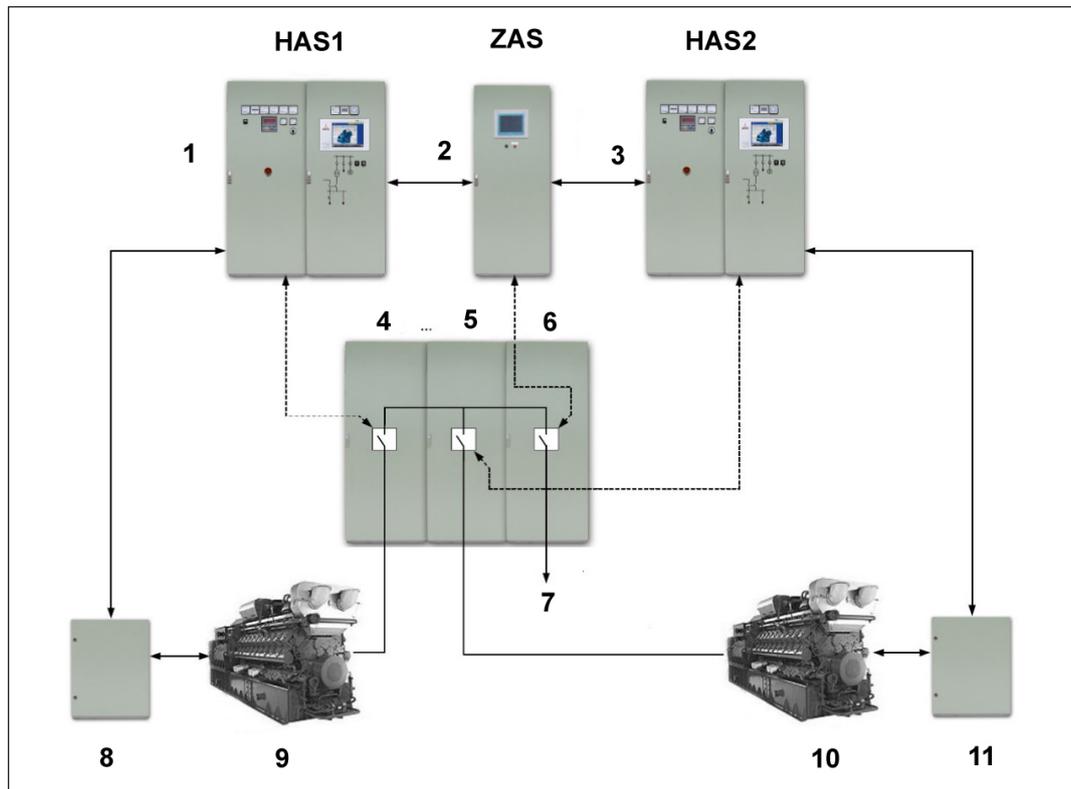
- 1 Hilfsantriebeschrank (HAS) Aggregat 1
- 2 Zentrale Anlagensteuerung (ZAS)
- 3 Hilfsantriebeschrank (HAS) Aggregat 2
- 4 Generatorleistungsfeld (GLF) Aggregat 1
- 5 Generatorleistungsfeld (GLF) Aggregat 2
- 6 Netzleistungsschalter (NLS) öffentliches Netz
- 7 Einspeisung internes Netz
- 8 Einspeisung öffentliches Netz
- 9 Aggregatesteuerung (AGS) Aggregat 1
- 10 Aggregat 1
- 11 Aggregat 2
- 12 Aggregatesteuerung (AGS) Aggregat 2

16.3 Inselbetrieb 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 \Rightarrow Kapitel 2.2.2.4 Schwarzstart 17. Das Single-Line-Diagramm (Abb. 67611) zeigt einen typischen Aufbau für diesen Inselbetrieb. 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. 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 Hilfsantriebstransformator 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/TPEM-System die Hilfsantriebe der Aggregate stoppen und das Dieselaggregat kann ebenfalls abgeschaltet werden.



67611-001 Inselbetrieb ohne öffentliches Netz



67221-001 Inselbetrieb ohne öffentliches Netz

- 1 Hilfsantriebeschrank (HAS) Aggregat 1
- 2 Zentrale Anlagensteuerung (ZAS)
- 3 Hilfsantriebeschrank (HAS) Aggregat 2
- 4 Generatorleistungsfeld (GLF) Aggregat 1
- 5 Generatorleistungsfeld (GLF) Aggregat 2
- 6 Netzleistungsschalter (NLS) öffentliches Netz
- 7 Einspeisung internes Netz
- 8 Aggregatsteuerung (AGS) Aggregat 1
- 9 Aggregat 1
- 10 Aggregat 2
- 11 Aggregatsteuerung (AGS) Aggregat 2

16.4 Hinweise zum Inselbetrieb

16.4.1 Ersatzstrombetrieb gemäß DIN VDE 0100-710 / DIN VDE 0100-560 / DIN EN 50172/ DIN VDE 0100-718

Bei einigen speziellen Anwendungsfällen ist es im Notfall erforderlich wichtige Verbraucher innerhalb von 15 Sekunden 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 ⇒ Kapitel 17 Lastschaltfähigkeit 215. Um den Start des Gasmotors zu gewährleisten, muss der Gasmotor schwarzstartfähig sein. Diese Bedingung erfüllen nur Einmotorenanlagen der Baureihen TCG 3016, TCG 2020 V12 und TCG 2020 V16. Die Baureihe TCG 2020 V20 und TCG 3020 V20 ist 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 Hilfsantriebeversorgung 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.

Entsprechende IEC Normen:

- DIN VDE 0100-560 IEC 60364-5-56
- DIN VDE 0100-710 IEC 60364-7-710
- DIN VDE 0100-718 IEC 60364-7-718

16.4.2 Wirklastverteilung im Inselbetrieb

Wenn mehr als ein Gasaggregat parallel im Inselbetrieb laufen, muss die Last zwischen den Aggregaten verteilt werden. Dazu wird ein Wirklastabgleich in der übergeordneten Steuerung integriert. Die Steuerung stellt folgende Merkmale bereit:

- Gemeinsame Frequenzregelung für alle synchronisierten Aggregate
- Optimierte Steuersignale zur Leistungserhöhung und Leistungssenkung je Aggregat, um Lastschwankungen zwischen den Aggregaten zu vermeiden.

16.4.3 Start von großen Verbrauchern

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.

16.4.4 Schwarzstart

Wenn ein Gasaggregat "schwarz gestartet" wird, startet das Gasaggregat ohne Hilfsantriebsversorgung für die Vorschmierung und die Kühlwasserpumpen. Das Gasaggregat startet direkt, nachdem im TEM/TPEM 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.

16.4.5 Mindestlasten

Insbesondere beim Inselbetrieb 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 50% der Nennleistung wird außerdem kein stabiles Verhalten gewährleistet für:

- Emissionen
- Schmierölverbrauch
- Brennstoffeinsatz

Daher gelten folgende Empfehlungen für den Betrieb.

Empfehlungen für den Betrieb		
Leistung bezogen auf Nennlast (Nennlast bei Bedingungen nach ISO 8528-1)	Empfohlene Höchstdauer mit dieser Last	Empfohlene Minstdauer im anschließenden Betrieb bei Last > 50 % der Nennlast
0 bis 30 %	30 Minuten	120 Minuten
30 bis 50 %	120 Minuten	120 Minuten
50 bis 100 %	keine Einschränkung	keine Einschränkung

Weiterhin sind in der TEM/TPem-Steuerung feste Werte für die Aggregateleistung hinterlegt. Bei der Unterschreitung dieser Werte wird das Aggregat nach vorangegangener Warnung abgestellt.

Mindestlasten			
Motorbaureihe	Eingestellte Mindestlast	bei Unterschreitung der Mindestlast	
		Warnung nach	Abstellung nach
TCG 3016 V08	100 kW	15 Minuten	60 Minuten
TCG 3016 V12	150 kW	15 Minuten	60 Minuten
TCG 3016 V16	200 kW	15 Minuten	60 Minuten
TCG 3016 V16 S	200 kW	15 Minuten	60 Minuten
TCG 2020 V12	305 kW	45 Minuten	60 Minuten
TCG 2020 V16	410 kW	45 Minuten	60 Minuten
TCG 2020 V20	585 kW	45 Minuten	60 Minuten
TCG 3020 V12	420 kW	15 Minuten	60 Minuten
TCG 3020 V16	560 kW	15 Minuten	60 Minuten
TCG 3020 V20	700 kW	15 Minuten	60 Minuten
TCG 2032 V12	800 kW	45 Minuten	60 Minuten
TCG 2032 V16	1060 kW	45 Minuten	60 Minuten
TCG 2032B V16	1060 kW	45 Minuten	60 Minuten

16.4.6 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. Der Aggregate-Hersteller bietet seinen Kunden die Zusammenarbeit während der Projektplanung an, um ein effektives vollständiges Konzept zu entwickeln.

16.4.7 Emissionen

Während des Inselbetriebs regelt das TEM/TPem-System die Abgasemissionen automatisch. Der typische Wert ist 500 mg NO_x/Nm³ (bezogen auf 5 % O₂, trocken) oder höher und kann von dem Inbetriebnehmer parametrisiert werden. Die höhere Anreicherung des Brenngas/Luft Gemisches bewirkt ein besseres Lastwechselverhalten des Gasmotors, hat jedoch einen höheren NO_x Wert zur Folge. Soll im Inselbetrieb der Emissionswert kleiner als 500 mg/Nm³ sein, muss das Brenngas/Luft Gemisch magerer eingestellt werden. Die Laststufentabelle muss entsprechend angepasst werden ⇒ Kapitel 17 Lastschaltfähigkeit 215. Die Stufenhöhe muss dadurch verringert werden, woraus resultiert, dass die Anzahl der Stufen von Leerlauf bis Volllast gesteigert wird.

16.4.8 Zusammenfassung

Um einen störungsfreien Inselbetrieb auslegen zu können, ist es wichtig, die Gesamtanlage und die Kundenanforderungen während der Projektierung zu analysieren. Aus diesem Grund ist es notwendig, folgende Kundenunterlagen gemäß den Anforderungen des Gasmotors zu prüfen (zum Beispiel Laststufen):

- Single-Line-Diagramm der Gesamtanlage
- Tatsächliche Startleistung und Startbedingungen von großen Verbrauchern
- Betriebsweise der Anlage

17 Lastschaltfähigkeit

Inhaltsverzeichnis

17.1	Übersicht Lastschaltfähigkeit.....	216
17.1.1	Bedingungen für Lastschaltungen.....	216
17.1.2	Einflussgrößen für die Laststufen.....	216
17.1.3	Normen.....	217
17.2	Laststufen in Tabellenform.....	218
17.2.1	Laststufen ohne Zuordnung einer Ausführungsklasse.....	218
17.2.2	Laststufen mit Ausführungsklassen nach DIN ISO 8528 Teil 5.....	219
17.3	Laststufen als Diagramm.....	221
17.3.1	Laststufen ohne Zuordnung einer Genauigkeitsklasse.....	221
17.3.2	Laststufen mit Ausführungsklassen nach DIN ISO 8528 Teil 5.....	222

17.1 Übersicht Lastschaltfähigkeit

In den folgenden Tabellen und Diagrammen werden die prinzipiellen Möglichkeiten der Lastzuschaltung und der Lastabschaltung für ein Gasmotorenaggregat dargestellt. Die Möglichkeiten von Lastzuschaltung und Lastabschaltung hängen von der Motorspezifikation, dem Gesamtträgheitsmoment vom Gasmotor und Generator sowie von den Anlagenbedingungen ab. Die für die einzelnen Motorbaureihen geltenden Tabellen und Diagramme sind in zwei separaten Rundschreiben zusammengestellt.

- Lastschaltfähigkeit ohne Ausführungsklassen
- Lastschaltfähigkeit mit Ausführungsklassen

Deshalb beschränkt sich dieses Kapitel auf eine allgemeine Beschreibung.

17.1.1 Bedingungen für Lastschaltungen

ID0AA23O0B23OFür die Laststufen gelten generell folgende Bedingungen:

- Abgasemission 500 mg NO_x, bez. 5 % O₂ (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 von 100 mbar (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.

17.1.2 Einflussgrößen für die Laststufen

Folgende Betriebsparameter haben Einfluss auf die Höhe der Laststufen:

- Luftfilter, sauber oder verschmutzt
- Erhöhter Abgasgegendruck
- Heizwert des Brenngases
- Verschleißzustand des Motors
- Aufstellhöhe
- Ansaugtemperatur
- Emissionsgrenzen für NO_x-Emissionen
- Generatorregler
- Wartezeit zwischen den einzelnen Lastzuschaltungen bzw. Lastabschaltungen

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

17.1.3 Normen

Die relevante Norm für die Lastschaltungen ist DIN ISO 8528 Teil 5. In dieser international gültigen Norm sind verschiedene Ausführungsklassen definiert. Bei Verbrennungsmotoren beschreiben die Ausführungsklassen die Anforderungen an die Regelgüte. Die Einteilung erfolgt in vier Ausführungsklassen: G1, G2, G3 und G4.

Mit steigender G-Klasse erhöhen sich die Anforderungen an das Aggregat. Die Toleranzbänder werden enger und die geforderten Ausregelzeiten werden kürzer.

Mit steigender G-Klasse 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.

Die Rundschriften zur Lastschaltfähigkeit unterscheiden zwei Arten von Diagrammen und Tabellen. 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.

17.2 Laststufen in Tabellenform

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 Drehzahlleinbruch, 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 der Tabelle „Lastzuschaltung“ dargestellte Gasmotorenaggregat kann 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 Tabelle „Lastabschaltung“ verhält es sich analog. Ausgehend von der aktuellen Last kann nur eine begrenzte Lastabschaltung stattfinden.

17.2.1 Laststufen ohne Zuordnung einer Ausführungsklasse

Allgemeine, beispielhafte Darstellung ohne Bezug zu einem Aggregat.

Bedingungen			Generatorträgheitsmoment		
Luftansaugtemperatur		30 °C	Zylinderzahl 1		≥ XX kgm ²
GKK-Eintritts- temperatur	Erdgas	40 °C	Zylinderzahl 2		≥ YY kgm ²
	Biogas	40 °C	Zylinderzahl 3		≥ ZZ kgm ²

Lastzuschaltung (Z)			Lastabschaltung (A)		
P _N [%]	t _{r,in} [s]	n [%]	P _N [%]	t _{r,in} [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

Tab. 17-1 Laststufen ohne Zuordnung einer Genauigkeitsklasse

P_N Aktuelle Last

t_{r,in} Ausregelzeit

n Drehzahländerung

Z Lastzuschaltung

A Lastabschaltung

17.2.2 Laststufen mit Ausführungsklassen nach DIN ISO 8528 Teil 5

Allgemeine, beispielhafte Darstellung ohne Bezug zu einem Aggregat

Luftansaugtemperatur	30 °C	G-Klasse	Wartezeit (s)
GKK-Eintrittstemperatur	45 °C	G1	25
Generatorträgheitsmoment	≥ XX kgm ²	G2	20
		G3	15

Lastzuschaltung (Z)		Lastabschaltung (A)			
G1		G2		G3	
P _N [%]	LS [%]	P _N [%]	LS [%]	P _N [%]	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

Tab. 17-2 Laststufen mit Zuordnung einer Genauigkeitsklasse

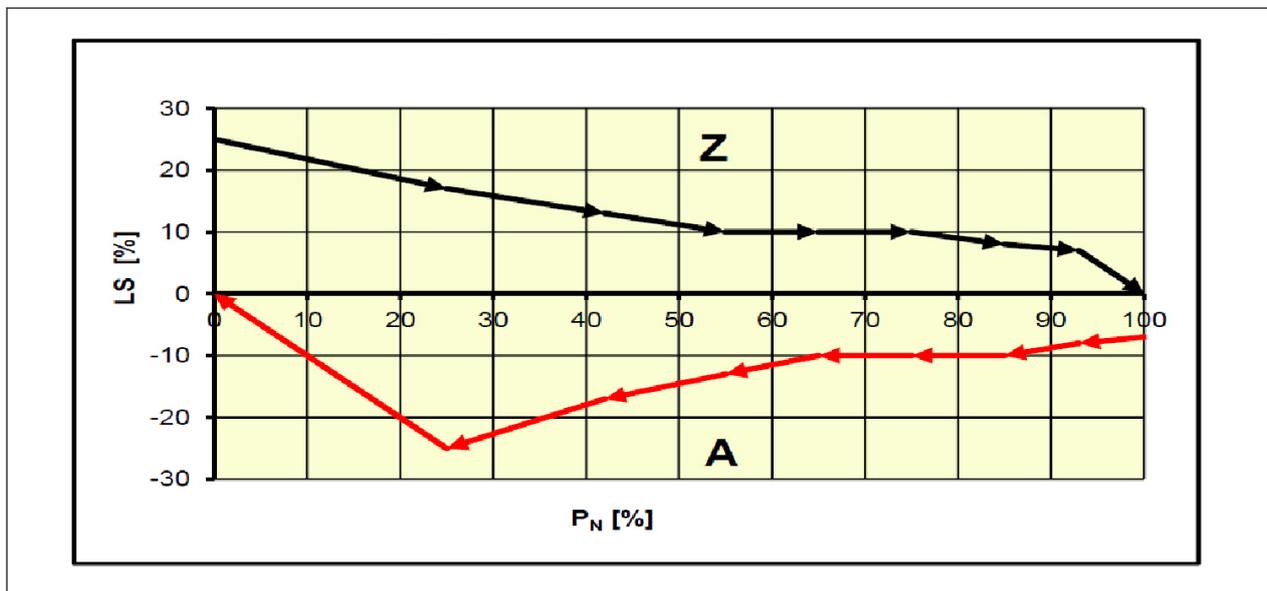
P_N	Aktuelle Last	G	Ausführungsklassen
LS	Laststufe	n	
Z	Lastzuschaltung	A	Lastabschaltung

17.3 Laststufen als Diagramm

In den Diagrammen, Abb. 67222 und 73187, ist die zulässige Lastzuschaltung bzw. Lastabschaltung der Motoren dargestellt. 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.

17.3.1 Laststufen ohne Zuordnung einer Genauigkeitsklasse

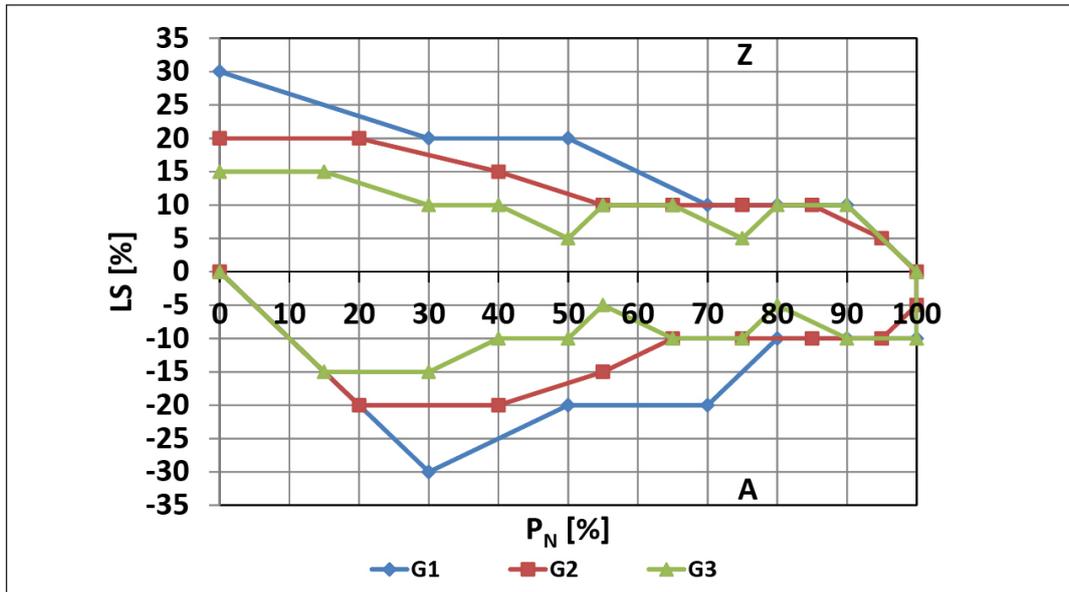
Das oben aufgeführte Beispiel wird nochmals betrachtet. Das Diagramm in Abb. 67222 zeigt im Motorlastbereich, im Bereich der Lastzuschaltung, eine fallende Kurve zwischen 0 % und 55 %. In diesem Lastbereich nimmt die mögliche Lastzuschaltung mit steigender Motorleistung von 25 % bis auf 10 % ab. Im Lastbereich 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.



67222-001 Laststufen ohne Ausführungsklassen

P_N	Aktuelle Last	LS	Laststufe
Z	Lastzuschaltung	A	Lastabschaltung

17.3.2 Laststufen mit Ausführungsklassen nach DIN ISO 8528 Teil 5



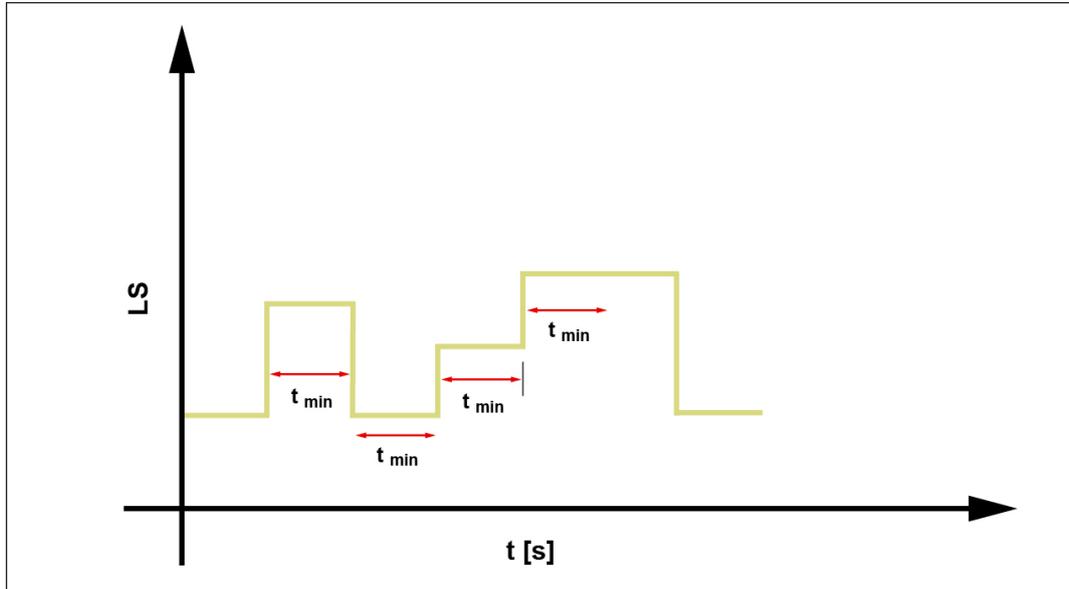
73187-001 Diagramm Laststufen mit Ausführungsklassen

- Z Lastzuschaltung
- A Lastabschaltung
- G1,G2, G3 Ausführungsklassen nach DIN ISO 8528 Teil 5
- P_N [%] Ist-Leistung in Prozent, bezogen auf die Nennleistung
- LS [%] maximal zulässige Lastzuschaltung und Lastabschaltung in Prozent, bezogen auf die Nennleistung

Definition Wartezeit (Beispiel)

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 (Abb. 73188).

Beispiel Lastverlauf mit Wartezeit:



73188-001 Diagramm Wartezeit

LS	Laststufe
t[s]	Zeit in Sekunden
t _{min}	Mindestwartezeit

178-003-DE:: BA : VAR, COV, IMP, B, BA, BS, DEM, EIN, IBN, IST, WP, SK, MH, SB, STB, TA, TL

18 Verkabelung

Inhaltsverzeichnis

18.1	Übersicht Verkabelung.....	226
18.2	Sicherheitsanforderungen für Kabel und Leitungen.....	227
18.2.1	Sicherheitsanforderungen zur sicherheitsgerechten Verwendung von Kabeln und Leitungen.....	227
18.2.2	Grenzbedingungen zur sicherheitsgerechten Verwendung von Kabeln und Leitungen	228
18.3	Maßnahmen zur Sicherstellung der EMV.....	232
18.3.1	EMV-Anweisungen bei dem Einsatz von Frequenzumrichtern.....	232
18.3.2	Kabelkanäle.....	232
18.3.3	Kabelverschraubungen.....	233
18.4	Komponenten der Verkabelung.....	234
18.4.1	Generatorleistungskabel.....	234
18.4.2	Starterkabel und Starterbatterien.....	242
18.5	Beispiele für Kabelverlegung.....	246
18.6	Spannungsversorgung TEM, TPEM und SPS.....	264

18.1 Übersicht Verkabelung

Die Verkabelung einer BHKW-Anlage besteht aus Leistungskabeln, Versorgungsleitungen für die Hilfsantriebe, Steuerkabeln und Signalleitungen. Leistungskabel, Versorgungsleitungen für die Hilfsantriebe.

Steuerkabel und Signalleitungen müssen getrennt verlegt werden. Es sind flexible, ölbeständige und feindrahtige Steuerleitungen zu verwenden (z.B. H05VV5-F).

Signalübertragungsleitungen 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 ROBUST 215C).

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 mm²) 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/halter, dass eine Zugbeanspruchung der Klemmen ausgeschlossen ist (Zugentlastung). Bei der Kabelverlegung sind die Maßnahmen zur Sicherstellung der elektromagnetischen Verträglichkeit zu beachten ⇒ Kapitel 18.3 Maßnahmen zur Sicherstellung der EMV 232. Kabelverschraubungen mit integrierter Zugentlastung sind einzusetzen. Die Größenauswahl muss entsprechend den Kabelaußendurchmessern erfolgen.

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 chemisch/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.

Eine Zusammenstellung der entsprechenden Normen und VDE-Vorschriften zeigen die unten stehenden Tabellen.

18.2 Sicherheitsanforderungen für Kabel und Leitungen

18.2.1 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. Sofern nichts anderweitig festgelegt ist, dürfen isolierte Kabel und Leitungen nur zur Fortleitung und Verteilung elektrischer Energie verwendet werden.

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.

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

Durch die Betriebsart wird der zeitliche Verlauf des Stromes beschrieben. 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 Kabeln 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 minimalen Biegeradien beachten.

18.2.2 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
- Anwesenheit korrosiver, verunreinigender oder anderer chemischer Substanzen
- Mechanische Beanspruchungen (z.B. scharfe Kanten von Metallkonstruktionen)
- Tierwelt (z.B. Nagetiere)
- Pflanzenwelt (z.B. Schimmelpilze)
- Strahlung (z.B. Sonnenlicht)

Hinweis

In diesem Zusammenhang beachten, dass die Farbe von großer Bedeutung ist. Die Farbe "schwarz" einen höheren Schutz gegen Sonneneinstrahlung (große Beständigkeit bei UV-Strahlung) bietet als andere Farben.

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 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 des Stroms (von 50 Hz abweichend)
- Auswirkungen von Oberwellen.

Der Leiterquerschnitt darf nicht nur nach der erforderlichen Strombelastbarkeit gesucht 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 angegebenen 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 °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 N/mm² bei der Montage von Leitungen für feste Verlegung und 15 N/mm² bei flexiblen Leitungen. In Fällen, bei denen die oben genannten 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 innere Biegeradius einer Leitung muss so gewählt werden, dass Beschädigungen der Leitung vermieden werden. Die inneren Biegeradien für die unterschiedlichen Leitungsbauarten für Steuerleitungen liegen bei ca. 10 x Leitungsdurchmesser (je nach Kabeltyp und Hersteller) und für Leistungskabel bei ca. 15 x Kabeldurchmesser bzw. 5 bis 10 x Kabeldurchmesser für flexible Leitungen. Der min. Biegeradius ist für die eingesetzten Leitungen/Kabel jeweils zu prüfen.

Beim Abisolieren darauf achten, dass der Leiter nicht beschädigt wird, da sonst das Biegeverhalten ernsthaft verschlechtert wird.

Die angegebenen Biegeradien gelten für Umgebungstemperaturen von 20 °C (± 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.

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.

Raumarten

Elektrische Betriebsstätten sind Räume oder Orte, die im Wesentlichen zum Betrieb elektrischer Anlagen dienen. Elektrische Betriebsstätten werden in der Regel nur von unterwiesenen Personen betreten, z. B. Schalträume.

Abgeschlossene elektrische Betriebsstätten sind Räume oder Orte, die ausschließlich zum Betrieb elektrischer Anlagen dienen und unter Verschluss gehalten werden. Der Zutritt ist nur unterwiesenen Personen gestattet. Dazu zählen abgeschlossenen Schaltanlagen und Verteilungsanlagen.

Trockene Räume sind Räume oder Orte, in denen in der Regel kein Kondenswasser auftritt oder in denen die Luft nicht mit Feuchtigkeit gesättigt ist.

Feuchte und nasse Räume sind Räume oder Orte, in denen die Sicherheit der Betriebsmittel durch Feuchtigkeit, Kondenswasser, chemische oder ähnliche Einflüsse beeinträchtigt werden.

Allgemeine Anmerkungen:

Räume können in eine der zuvor aufgeführten Raumarten häufig nur nach genauer Kenntnis der örtlichen und betrieblichen Verhältnisse eingeordnet werden. Wenn z. B. in einem Raum nur an einer bestimmten Stelle hohe Feuchtigkeit auftritt, der Raum aber infolge regelmäßiger Lüftung trocken ist, so braucht nicht der gesamte Raum als feuchter Raum zu gelten.

Da in BHKW-Anlagen Öl-Undichtigkeiten und Wasser-Undichtigkeiten nicht ausgeschlossen werden können, sind ölbeständige und chemisch beständige Kabel einzusetzen.

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

Einteilung der Beanspruchung

Der Begriff "Beanspruchung" beschreibt die Verwendbarkeit einer Leitung in bestimmten Bereichen, an oder in einem Betriebsmittel, und für bestimmte Kombinationen äußerer Einflüsse, die in diesen Bereichen vorkommen. Die Einteilung der Leitungen bezüglich der Beanspruchung erfolgt in vier Kategorien:

- Sehr leichte Beanspruchung z.B. Rechenanlagen
- Leichte Beanspruchung z.B. Klimatechnik, Datenverarbeitung
- Normale Beanspruchung z.B. Maschinenbau, BHKW, Anlagenbau
- Schwere Beanspruchung z.B. Bergbau

Anwendung in Innenräumen

Die Leitung ist installiert oder an einem Gerät angeschlossen, das sich auf Dauer in einem Gebäude befindet, nämlich innerhalb „der vorgesehenen Umgebung“. Das Gebäude kann für Geschäfts-, Wohnzwecke oder industriell genutzt werden.

Dauereinsatz im Freien

Die Leitung ist für die unterschiedlichsten Beanspruchungen, die im Freien, der "vorgesehenen Umgebung", (einschließlich Witterung) auftreten können, konstruiert.

18.3 Maßnahmen zur Sicherstellung der EMV

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 VDC-Schaltsignale)
Gruppe III:	Störquelle (Steuerkabel für ind. Lasten, ungeschaltete Leistungskabel)
Gruppe IV:	Starke Störquelle (Ausgangskabel von Frequenzumrichtern, geschaltete Leistungskabel)

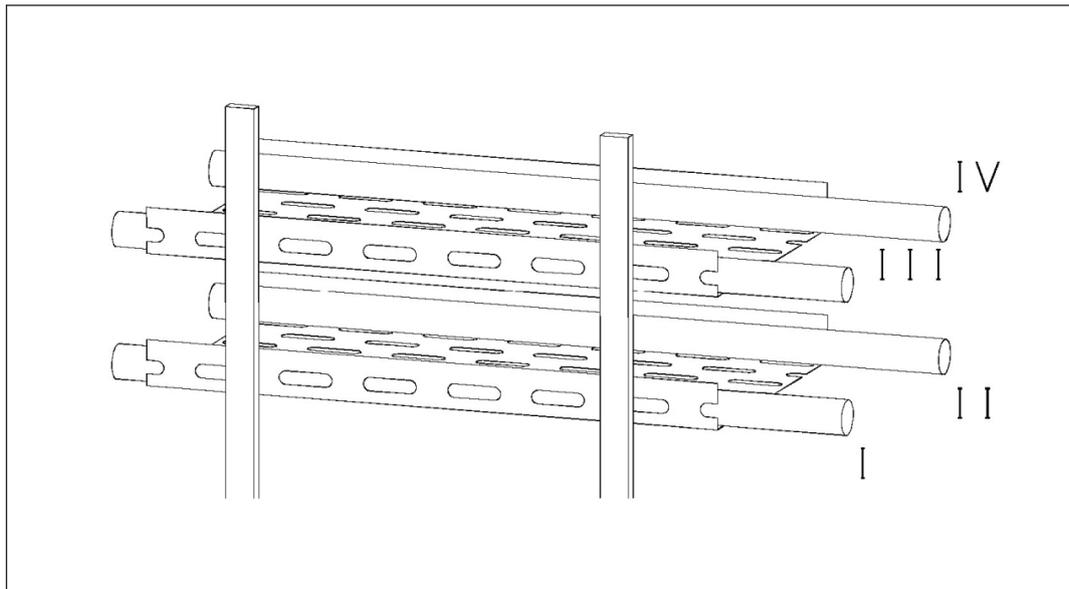
Bei der Kabelverlegung sind Kreuzungen nach Möglichkeit zu vermeiden. Bei nicht vermeidbaren Kreuzungen sind die Leitungen der verschiedenen Gruppen rechtwinklig zu kreuzen.

18.3.1 EMV-Anweisungen bei dem Einsatz von Frequenzumrichtern

Je nach EMV-Anforderung (Umweltklasse 1 oder 2) und Typ des Frequenzumrichters sind EMV-Filter erforderlich. Die Verkabelungshinweise und EMV-Hinweise in der Betriebsanleitung sind auf jeden Fall zu beachten.

18.3.2 Kabelkanäle

- Metallische Kabelkanäle ins Erdnetz einbeziehen und durchgehend verbinden
- Verminderung des Magnetfelds durch Abstand der Kabelwannen (Abb. 67225).
- Leitungen in verschiedenen Kabelkanälen verlegen
- Leitungen durch metallischen Trennsteg trennen



67225-001 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 Metern zwischen den Kabelleitern und zur Decke vor. Siehe Abb. 67228.

18.3.3 Kabelverschraubungen

Bei besonderen EMV-Anforderungen sind EMV-gerechte Kabelverschraubungen für abgeschirmte Kabel zu verwenden. Generell sollten verchromte Messingverschraubungen eingesetzt werden. Bei Verschraubungen für Generatorleistungskabel ist Absatz 18.4 zu beachten.

18.4 Komponenten der Verkabelung

18.4.1 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.

Kabelauslegung

Zur Berechnung der Anzahl und Querschnitte der Kabel wird die Norm DIN VDE 0298-4: 2013-06 (IEC 60364 5 52) zu Grunde gelegt.

Bei der Berechnung gilt es, folgende Punkte zu beachten:

- Umgebungstemperatur
- Belastbarkeit (dreiphasig oder einphasig)
- Verlegeart

Auf diese Kriterien wird im Folgenden noch genauer eingegangen. Für jeden dieser Punkte werden verschiedene Korrekturfaktoren definiert, welche die Stromtragfähigkeit des Kabels beeinflussen.

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. Für Niederspannungsanwendungen wird das Kabel NSGAFÖU und für Mittelspannung das Kabel NTMCWÖEU empfohlen. Diese Kabel werden in den Schaltanlagen von Caterpillar Energy Solutions verwendet und die nachfolgenden Berechnungen beziehen sich auf deren Eigenschaften. 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 Aufstellungsort verwendet werden können (Bsp. USA und Kanada benötigen spezielle Kabel).

Für die oben genannten Kabel gelten die Korrekturfaktoren für abweichende Umgebungstemperaturen aus der u.a. Tabelle zur Norm VDE 0298-4.

Auszug VDE 0298-4 Tabelle 17	
Umgebungstemperatur	Korrekturfaktor
30 °C	1,00
35 °C	0,96
40 °C	0,91
45 °C	0,87
50 °C	0,82

Häufung/Verlegung

Die Belastbarkeit der Kabel hängt zudem davon ab, ob es sich um Gleichstromkreise, Wechselstromkreise oder Drehstromkreise handelt. Die Korrekturfaktoren für die verschiedenen Belastungen sind wiederum abhängig von der Verlegung. Da die Erzeugungsanlagen von Caterpillar Energy Solutions immer in ein Drehstromnetz einspeisen, werden an dieser Stelle lediglich die entsprechenden Korrekturfaktoren betrachtet. Bei einer Verlegung von gebündelten oder sich berührenden Leitungen sind folgende Werte in der Norm VDE 0298-4 festgelegt:

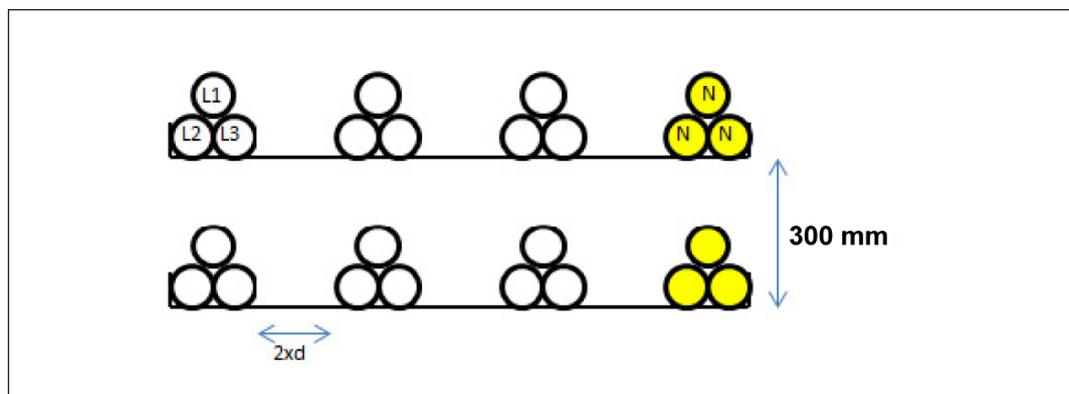
- Verlegung auf Flächen (Bsp.: Boden, Wand): 0,67
- Verlegung frei in Luft (Bsp.: Kabelleiter): 0,7
- Verlegung in Rohren / Kanälen: 0,54

Zusätzlich zu diesem Faktor ist ein Korrekturfaktor für die spezielle Verlegeart zu berücksichtigen.

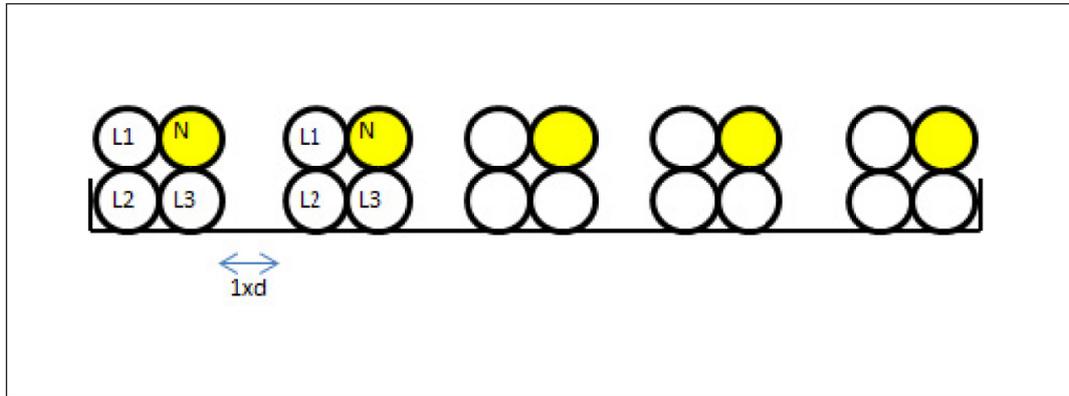
Bei der Verlegung ist darauf zu achten, dass die Wärme, die durch die Belastung der Kabel entsteht, abtransportiert werden kann. Hierbei spielen verschiedene Faktoren eine Rolle, wie beispielsweise der Untergrund, der Abstand der Kabel untereinander sowie der Abstand zu umgebenden Teilen.

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 von Caterpillar Energy Solutions standardmäßig mit Kabelleitern ausgeführt.

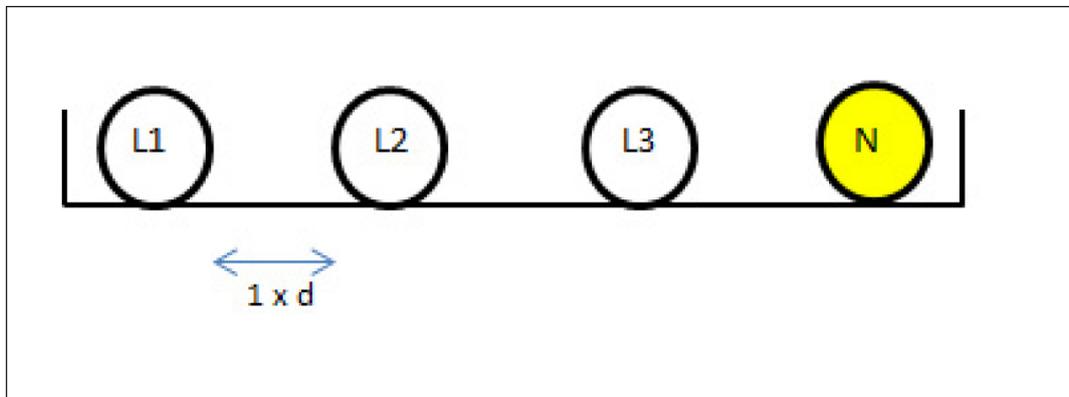
Die Korrekturfaktoren für die Verlegung auf Kabelleitern und Kabelwannen sind in Tabelle 23 der Norm (VDE 0298-4) zu finden. In dieser Tabelle sind die Kabel im Dreierbündel verlegt (Abb. 67226). Für die Standard Container von Caterpillar Energy Solutions kann die Verlegung, wegen der dauerhaften Belüftung und dadurch vermiedener Stauwärme, nach Abb. 67227 erfolgen. Diese Verlegung kann ebenfalls für durchzugsbelüftete Aggregaterräume unter Beachtung der Umgebungsbedingungen verwendet werden. Natürlich können die Kabel auch einzeln mit Abstand verlegt werden, wobei hierbei ein entsprechend großer Platzbedarf besteht (Abb. 67228). Für andere Verlegearten sind die Korrekturfaktoren in der Norm zu beachten.



67226-001 Verlegung im Dreierbündel



67227-001 Verlegung im Viererbündel



67228-001 Verlegung der Kabel einzeln mit Abstand

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/Kabelwannen übereinander verlegt werden, so gelten die Korrekturfaktoren in Tabelle 23 der Norm. Die Kabelleitern müssen einen minimalen Abstand von 300 mm zur Decke und untereinander haben.

Im Folgenden sind die Korrekturfaktoren für eine Verlegung nach Abb. 67226 auf Kabelwannen und Kabelleitern dargestellt. Beim Vergleich dieser Werte zeigt sich, dass eine Verlegung auf Kabelleitern die günstigeren Korrekturfaktoren aufweist, da die Wärme besser abgeführt wird. Zudem wird deutlich, dass die Verlegung auf einer Leiter keine Reduktion der Stromtragfähigkeit des Kabels zur Folge hat, da hier der Korrekturfaktor 1,0 verwendet wird. Das gilt auch, wenn die Anzahl der dreipoligen Stromkreise größer als 3 ist. Demnach kann bei acht Kabeln pro Phase auf einer Kabelleiter der Korrekturfaktor mit 1,0 angenommen werden, solange die vorgegebenen Abstände eingehalten werden. Gleiches gilt für die Verlegung nach Abb. 67227 in durchzugsbelüfteten Räumen.

Auszug aus VDE 0298-4 Tabelle 23, Korrekturfaktoren

Gelochte Kabelwannen			
Anzahl der Wannen	Anzahl der dreipoligen Stromkreise		
	1	2	3
1	1,00	0,98	0,96
2	0,97	0,93	0,89
3	0,96	0,92	0,86

Auszug aus VDE 0298-4 Tabelle 23, Korrekturfaktoren

Kabelleiter / Kabelpritsche			
Anzahl der Pritschen	Anzahl der dreipoligen Stromkreise		
	1	2	3
1	1,00	1,00	1,00
2	0,97	0,95	0,93
3	0,96	0,94	0,90

Neutralleiter

Nach der aktuellen Richtlinie kann der N-Leiter mit halbem Querschnitt ausgeführt werden, vorausgesetzt der Oberwellengehalt im Strom ist kleiner als 10 %. Da die Oberwellenströme von der Last, sprich den Verbrauchern abhängig sind, variieren diese anlagen-spezifisch. Aus diesem Grund ist in der Übersichtstabelle der Kabelauslegung der N-Leiter mit vollem Querschnitt ausgeführt ⇒ Kapitel 18.4.1.7 Übersicht der Kabelauslegung 240.

Kurzschlussfeste Verlegung

Im Falle eines Kurzschlusses entstehen enorme Kräfte, die die Leistungskabel in große Bewegung 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 bis 1 m mit fünf Bandagen Kabelbündelband umwickelt. Damit die Kabelbündel sich nicht bewegen, werden diese ca. alle 2 m mit einer Kabelschelle an dem Kabelleiter befestigt. Bei der Verlegung sind immer die minimalen Biegeradien der verwendeten Kabel zu beachten. Bei Nichtbeachtung kann es zu Schäden an der Isolation kommen.

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 (Abb. 67229).



67229-001 Trompetenverschraubung

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 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.



67230-001 Niederspannungsanschluss



67231-001 Mittelspannungsanschluss

Beispielrechnung zur Kabelauslegung

In diesem Abschnitt wird am Beispiel des TCG 2020 V12 mit $400\text{ V} \pm 10\%$, 50 Hz die Kabelberechnung beschrieben.

Kabeltyp

Die Berechnung erfolgt mit dem Kabel NSGAFÖU mit einem Querschnitt von 300 mm^2 . Die Stromtragfähigkeit beträgt bei einer einzeln verlegten Leitung 898 A. Die Angaben aus dem Datenblatt bzw. der gültigen Norm des entsprechenden Kabeltyps entnehmen.

Temperatur

Da die Kabelauslegung auch für die Standard Caterpillar Energy Solutions Container Gültigkeit hat, und diese im Sommer, bis zu 45 °C erreichen, wird diese Temperatur als Grundlage für die Berechnung angenommen. Damit ergibt sich ein Korrekturfaktor von 0,87 (Tabelle "Auszug VDE 0298-4 Tabelle 17").

Verlegung

In den Containern werden die Niederspannungs-Leistungskabel standardmäßig im Viererbündel auf Kabelleitern verlegt, weshalb in diesem Beispiel mit dem Faktor 0,7 für die Verlegung gebündelter Leitungen in Luft fortgeföhren wird. Da alle Kabel auf einer Kabelleiter verlegt werden und die Container durchzugsbelüftet sind, kann aus Tabelle "Auszug aus VDE 0298-4 Tabelle 23, Korrekturfaktoren" der Faktor 1,0 verwendet werden.

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:

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{P}{\cos(\phi) \times \sqrt{3} \times 0,9 \times U_N} \\
 &= \frac{1200 \text{ kW}}{0,8 \times \sqrt{3} \times 0,9 \times 400 \text{ V}} \\
 &= 2406 \text{ A}
 \end{aligned}$$

67232-002 Formel Betriebsstrom

Aus dem maximalen Strom und der Stromtragfähigkeit des Kabels wird anschließend die Anzahl der zu verwendenden Kabel pro Phase berechnet.

2406 A / 547 A = 4,4 -> 5 Kabel pro Phase

Diese Berechnungsgrundlage lässt sich auf alle Aggregatkombinationen adaptieren. An dieser Stelle muss jedoch noch einmal darauf hingewiesen werden, dass immer die am Aufstellungsort gültigen Regeln und Vorschriften zu beachten sind. Außerdem können für andere Kabeltypen andere Korrekturfaktoren gültig sein.

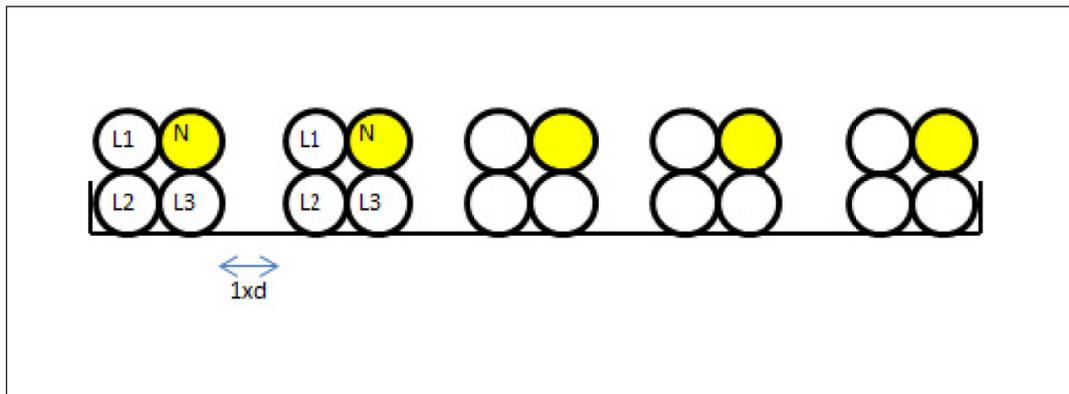
Übersicht der Kabelauslegung

In der nachfolgenden Tabelle ist die Übersicht für die empfohlenen Kabelquerschnitte für die 400 V-Aggregate zu sehen. Es ist zu beachten, dass diese Querschnitte nur für die angegebenen Umgebungsbedingungen Gültigkeit haben. Tabellen für andere Spannungen sind auf Anfrage verfügbar.

Kabelauslegung für Spannung 400 V, Kabeltyp NSGAFÖU, Umgebung 45 °C							
A	B	C	D	E	F	G	H
	[kW]	[A]	[-]	[-]	[-]	[mm ²]	[-]
TCG 3016 V08	400	802	2	2	8	240	M 50
TCG 3016 V12	600	1203	3	3	12	240	M 50
TCG 3016 V16	800	1604	4	4	16	240	M 50
TCG 3016 V16 S	1000	2005	4	4	16	300	M 63
TCG 2020 V12 K1	1000	2005	4	4	16	300	M 63
TCG 2020 V12 K	1125	2255	5	5	20	300	M 63
TCG 2020 V12 (1.0)	1000	2005	4	4	16	300	M 63
TCG 2020 V12	1200	2406	5	5	20	300	M 63
TCG 2020 V16 K	1500	3007	7	7	28	300	M 63
TCG 2020 V16	1560	3127	7	7	28	300	M 63
TCG 2020 V20	2000	4009	Kupferschienensystem				
TCG 3020 V12	1380	2766	6	6	24	300	M63

Kabelauslegung für Spannung 400 V, Kabeltyp NSGAFÖU, Umgebung 45 °C							
A	B	C	D	E	F	G	H
TCG 3020 V16	1840	3689	8	8	32	300	M63
TCG 3020 V20	2300	4611	Kupferschienensystem				

- A Aggregat
 B Leistung
 C Maximaler Betriebsstrom
 D Anzahl der Kabel (pro Phase)
 E Anzahl der Kabel (N-Leiter)
 F Gesamtkabelanzahl
 G Querschnitt
 H Verschraubung



67227-001 Verlegeart

- L1 Phase 1
 L2 Phase 2
 L3 Phase 3
 N Null-Leiter (Masse)
 d Kabeldurchmesser
 $1 \cdot d$ Abstand Kabel/Kabelbündel zueinander

Gültigkeit

- Die in Tabelle „Kabelauslegung für Spannung 400 V, Kabeltyp NSGAFÖU, Umgebung 45 °C gezeigte Auslegung gilt für zwangsbelüftete Aggregateräume unter Einhaltung der angegebenen Umgebungstemperatur und Verlegeart.
- Die Auslegung gilt für Spannungen $400 \text{ V} \pm 10 \%$ und $415 \text{ V} \pm 10 \%$, 50 Hz

Verlegebedingungen

- Verlegung der Kabel auf Kabelleiter nach o.a. Skizze.
- Abstand der Kabelleiter bis zur Decke ≥ 300 mm.
- Die Kabelbündel sind alle 0,5 m mit fünf Bandagen Bündelband zu umwickeln und alle 2 m mit Kabelschellen an dem Kabelleiter zu fixieren.
- Die Kabelbündel sind alle 0,5 m mit fünf Bandagen Bündelband zu umwickeln und alle 2 m mit Kabelschellen an dem Kabelleiter zu fixieren.
- Die Kabelbündel sind alle 0,5 m mit fünf Bandagen Bündelband zu umwickeln und alle 2 m mit Kabelschellen an dem Kabelleiter zu fixieren.

Anmerkung *: Die Anzahl der Kabel des N-Leiters kann bei einem Anteil der Oberwellenströme kleiner 10 % auf die Hälfte reduziert werden.

18.4.2 Starterkabel und Starterbatterien

Wie bereits in 18.1 erwähnt sind die Starterkabel flexible Einzeladergummileitungen aus Kupfer, z.B. NSGAFÖU nach VDE 0250 Teil 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.

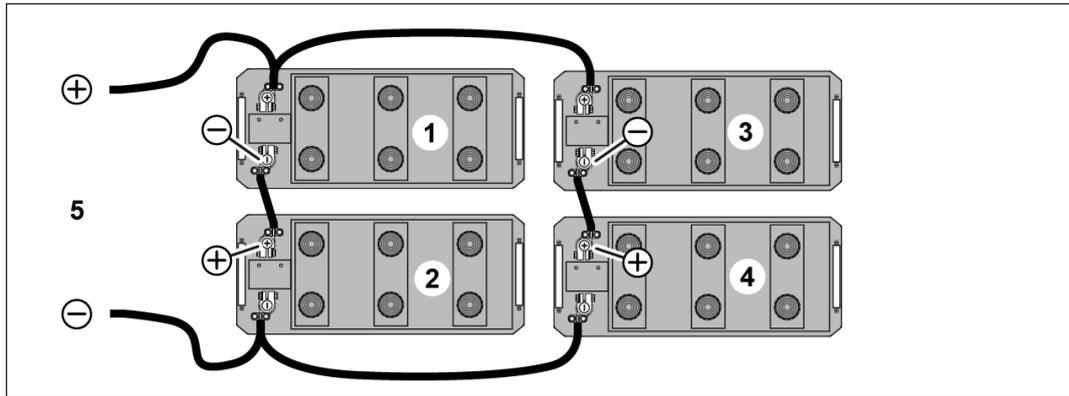
Als Starterbatterien liefert Caterpillar Energy Solutions Bleiakumulatoren mit Kapazitäten von 143 Ah/12 V und 225 Ah/12 V. Die für das jeweilige Aggregat erforderliche Batteriekapazität ist in dem jeweiligen Datenblatt als auch in dem Klemmenbelegungsplan angegeben. Für die Aufstellung der Starterbatterie 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 DC. Die Spannung und die erforderliche Kapazität wird durch entsprechende Schaltung der handelsüblichen 12V-Blei-Batterien dargestellt.

Aggregat	Starter-Ausführung	Anzahl Batterien	Spannung / Kapazität
		[-]	[V / Ah]
TCG 3016 V08	Einzelstarter	2	12 / 143
TCG 3016 V12			24 / 143 (Abb. 73216)
TCG 3016 V16	Einzelstarter	4	12 / 143
			24 / 286 (Abb. 73217)
		2	12 / 225
			24 / 225 (Abb. 73216)
TCG 2020/3020	Doppelstarter	4	12 / 225
			24 / 450 (Abb. 73217)

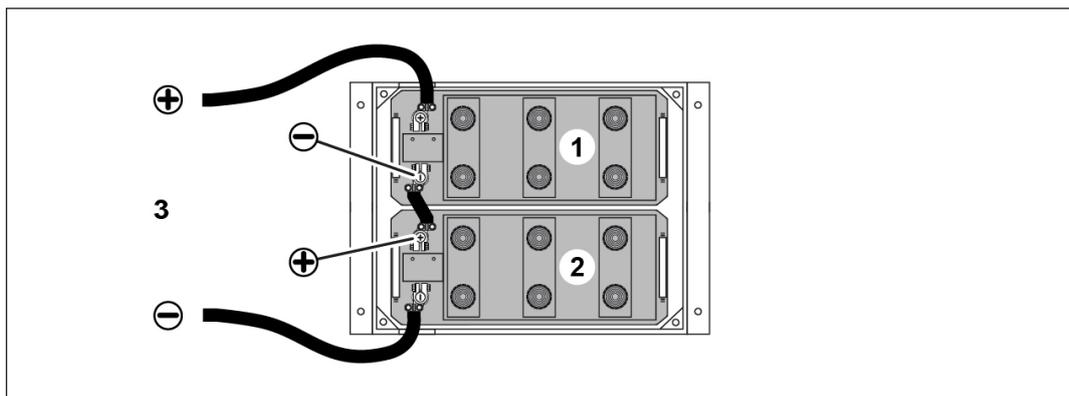
Tab. 18-1 Empfohlene Batterieversorgung

178-003-DE :: BA : VAR, COV, IMP, B, BA, BS, DEM, EIN, IBN, IST, WP, SK, MH, SB, STB, TA, TL



73217-001 Verschaltung von 4 Batterien je 12 V

1 - 4	12 V DC
5	24 V DC



73216-001

1 - 2	12 V DC
3	24 V DC

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 143Ah und 225Ah sind die Kälteprüfströme nach den oben genannten Normen in der folgenden Tabelle angegeben.

	Kälteprüfstrom in A nach			
	DIN 43539-2	DIN EN 50342	SAE J537	IEC 60095-1
Batterie 12 V/ 143 Ah	560	950	1000	645
Batterie 12 V/ 225 Ah	675	1150	1200	775

Tab. 18-2 Kälteprüfstrom für Starterbatterien

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 der folgenden Tabelle sind Kabelabmessungen der Starterhauptleitungen für die Aggregate angegeben.

		Kabellänge*) Starterhauptleitung [m]		
		4 – 6	6 - 18	18 - 24
Aggregat	Batteriepaket	Kabelquerschnitt [mm ²]		
TCG 3016 V08/TCG 3016 V12	24 V / 143 Ah(2 x 12 V / 143 Ah)	70	95	120
TCG 3016 V16 /	24 V / 286 Ah(4 x 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. 18-3 Starterhauptleitungen für Batterien 143 Ah

		Kabellänge*) Starterhauptleitung [m]		
		1 - 8	8 - 14	-
Aggregat	Batteriepaket	Kabelquerschnitt [mm ²]		
TCG 3016 V16	24V / 225 Ah(2 x 12V / 225 Ah)	95	120	-
TCG 2020 /TCG 3020	24V / 450 Ah(4 x 12V / 225Ah)	185	240	-
*) Summe der Längen der Zuleitung von der Batterie zum Starter und der Rückleitung vom Starter zur Batterie				

Tab. 18-4 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 KühlluftEintritte 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.

Als Alternative zu Starterbatterien kann der Start der Aggregate mit einem Netzstartgerät erfolgen. Dann ist der Start des Aggregates nur bei vorhandener Netzspannung möglich.

18.5 Beispiele für Kabelverlegung

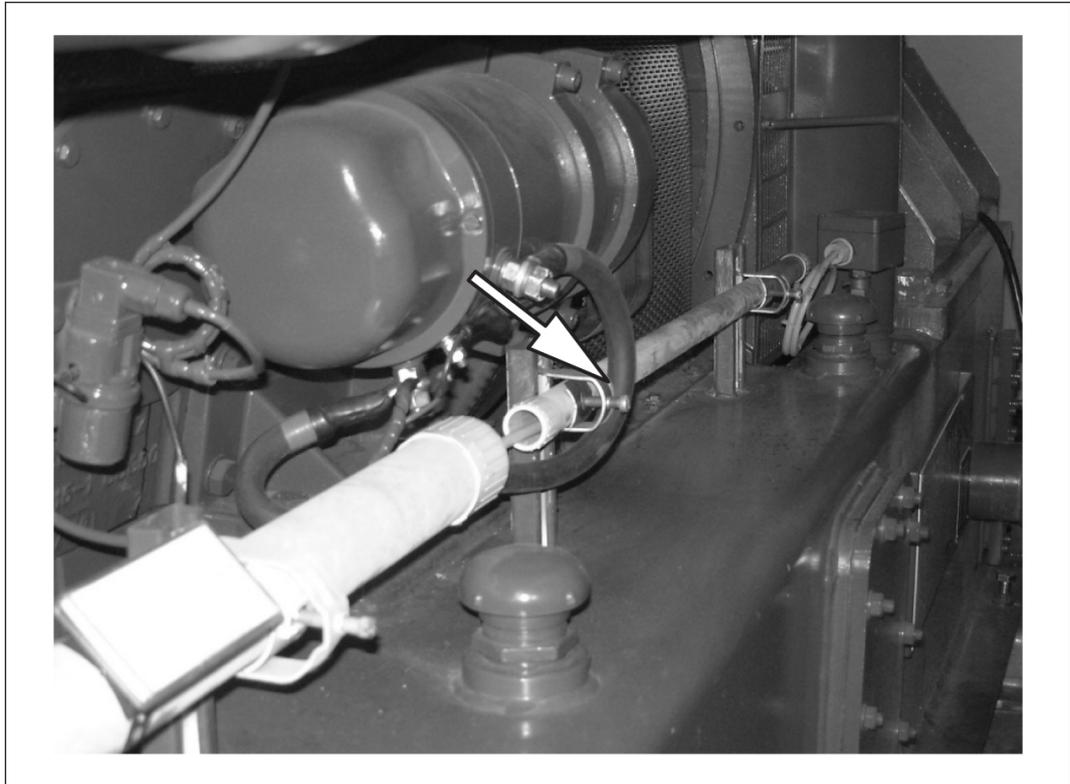
Richtig



67242-001 Beispiel korrekte Kabelverlegung

Abb. 67242 zeigt eine Verlegung der Anlasserkabel. Die Kabel sind symmetrisch verlegt und mit Kabelschellen fixiert. Dadurch ist eine Beschädigung durch Scheuern ausgeschlossen.

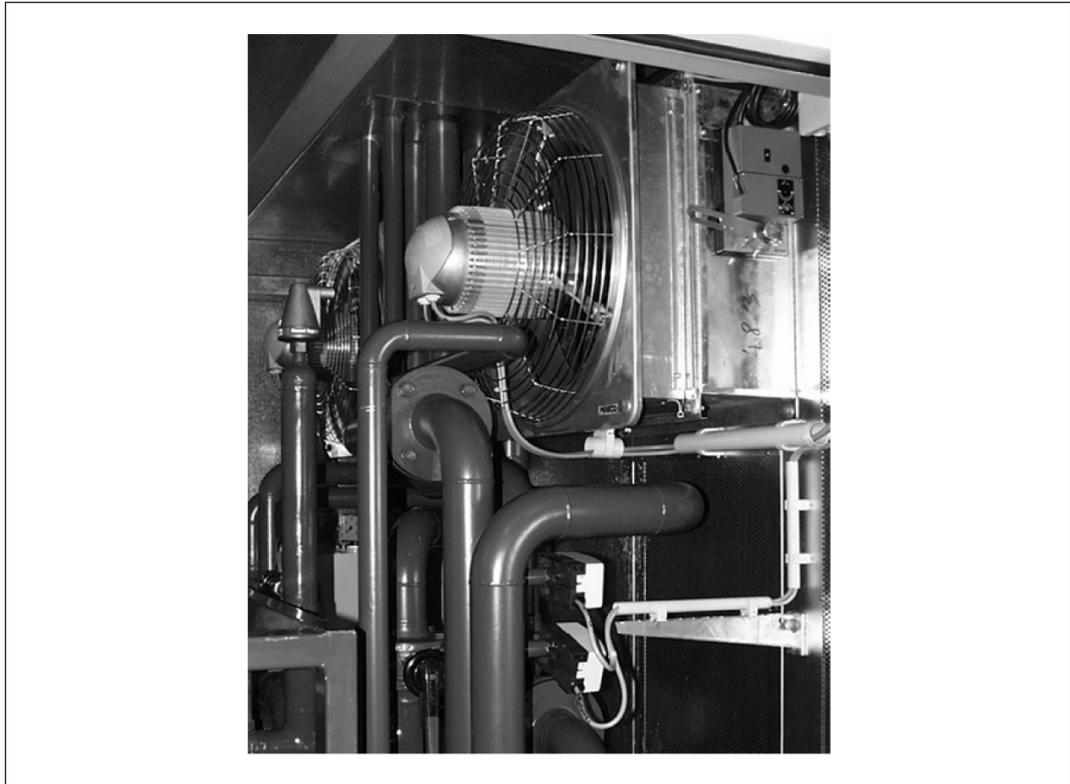
Falsch



67243-001 Beispiel inkorrekte Kabelverlegung, Scheuergefahr! Kurzschlussgefahr!

Abb. 67243 zeigt ein Anlasserkabel, das mangelhaft installiert ist. Scheuergefahr! Kurzschlussgefahr möglich!

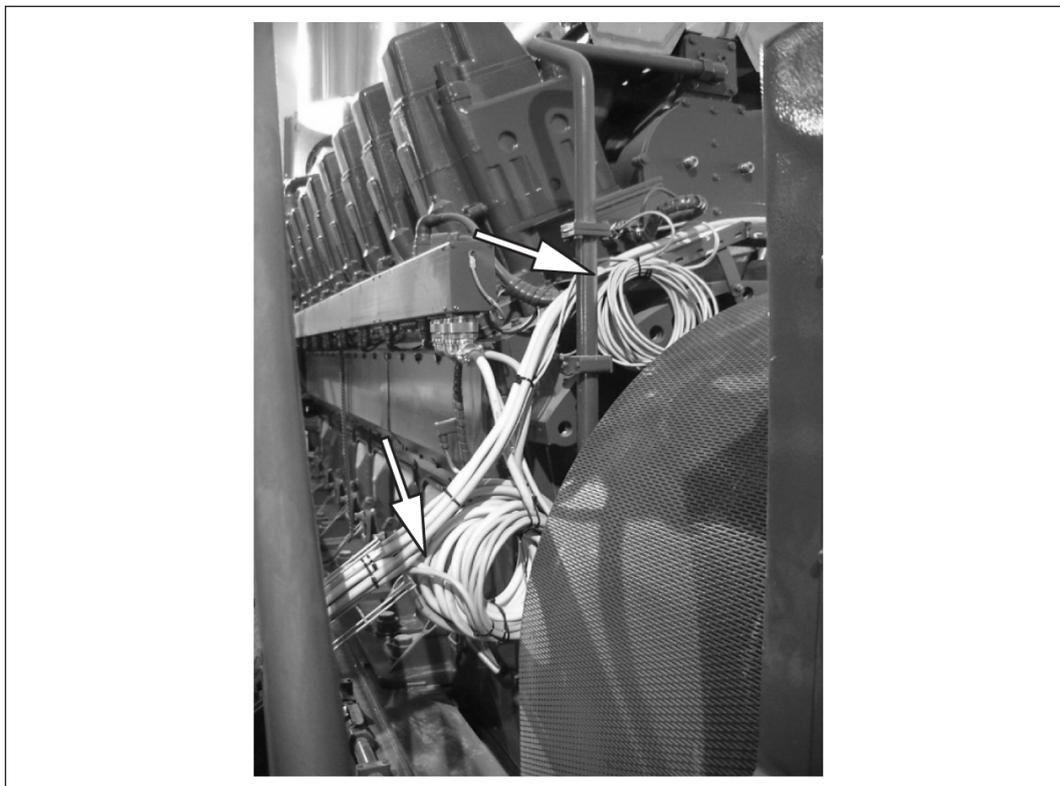
Richtig



67246-001 Beispiel korrekte Kabelverlegung

Abb. 67246 zeigt die Verkabelung von Temperatur-Gebern und Lüftermotor. Die Versorgungsleitungen sind bis zu den Geräten in einem Installationssystem geführt. Die Kabel sollten möglichst von unten eingeführt werden. Eine richtige Abdichtung der Kabeleinführung ist sicherzustellen.

Falsch



67247-001 Beispiel inkorrekte Kabelverlegung, Scheuergefahr! EMV-Probleme!

Abb. 67247 zeigt eine fehlerhafte Verkabelung. Die Kabel am Motor dürfen wegen zusätzlicher Belastung der Stecker und EMV-Problemen nicht als Spule aufgewickelt werden. Scheuergefahr! EMV-Probleme!

178-003-DE::BA:VAR,COV,IMP,B,BA,BS,DEM,EIN,IBN,IST,WP,SK,MH,SB,STB,TA,TL

links richtig, rechts falsch

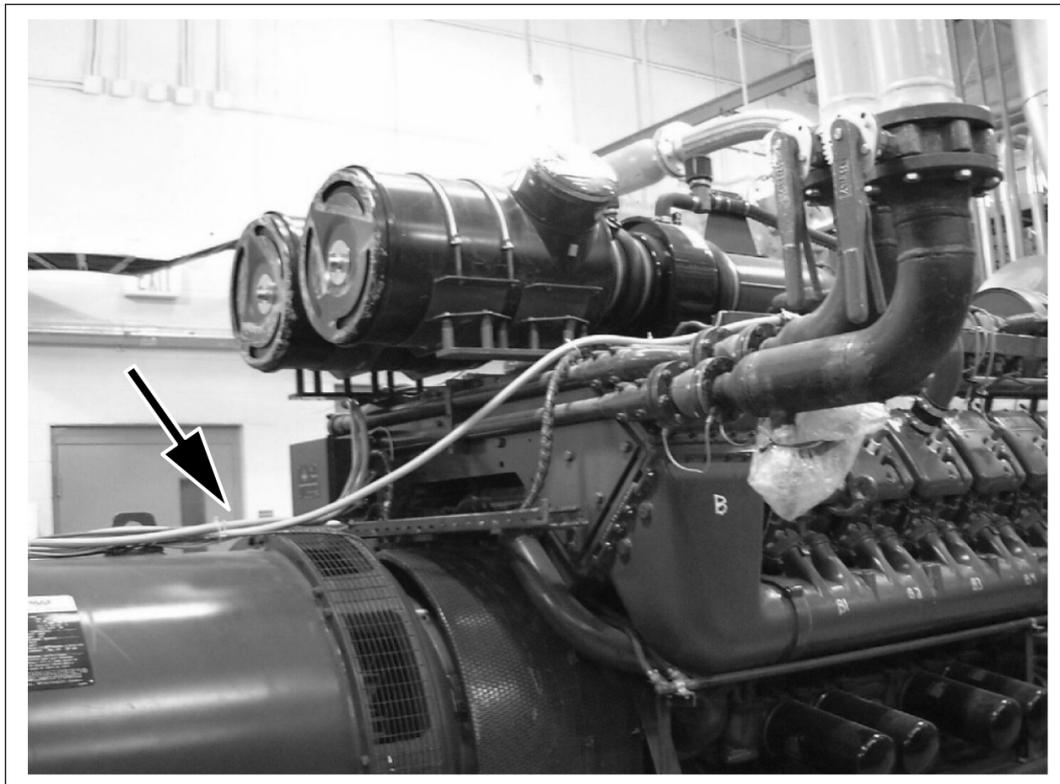


67248-001 Senkrechter Kabelabgang der Motorverkabelung

Abb. 67248 zeigt den senkrechten Kabelabgang der Motorverkabelung auf eine Kabelwanne in Deckenhöhe. Bei der Kabelwannendurchführung ist der erforderliche Kanten-schutz angebracht und die Kabel sind mit Kabelschellen fixiert (keine Kabelbinder verwenden).

Schlecht verlegt und damit ein Negativbeispiel ist die Zuleitung zum Gasmischer-Regelventil. Das Kabel darf nicht an einer Rohrleitung direkt befestigt (Gefahr des Abscheuerns) sein, und nicht als Spule aufgewickelt sein (Störungen, mechanischer Verschleiß).

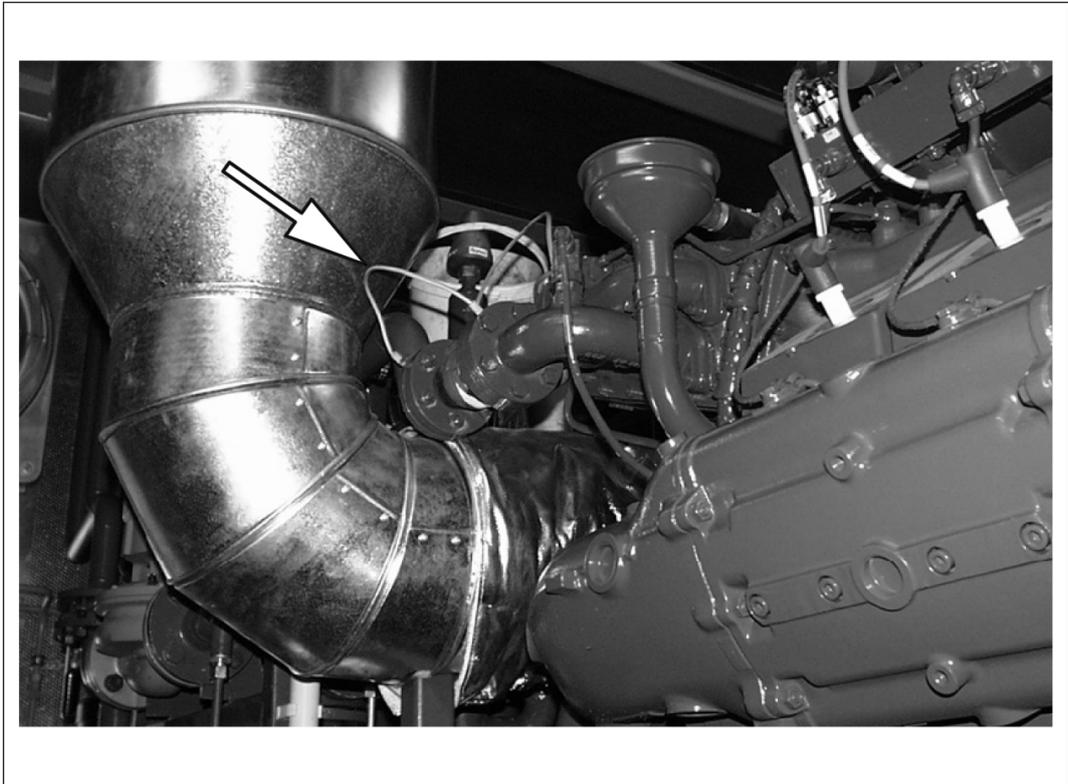
Falsch



67249-001 Beispiel mit inkorrekt er Kabelverlegung, Scheuergefahr! Kurzschlussgefahr! EMV-Probleme!

Die Abb. 67249 zeigt ein Kabel, das lose und unmittelbar auf dem Motor und Generator verlegt ist. Daraus resultieren Kabelbeschädigung und EMV-Probleme. Scheuergefahr! Kurzschlussgefahr! EMV-Probleme!

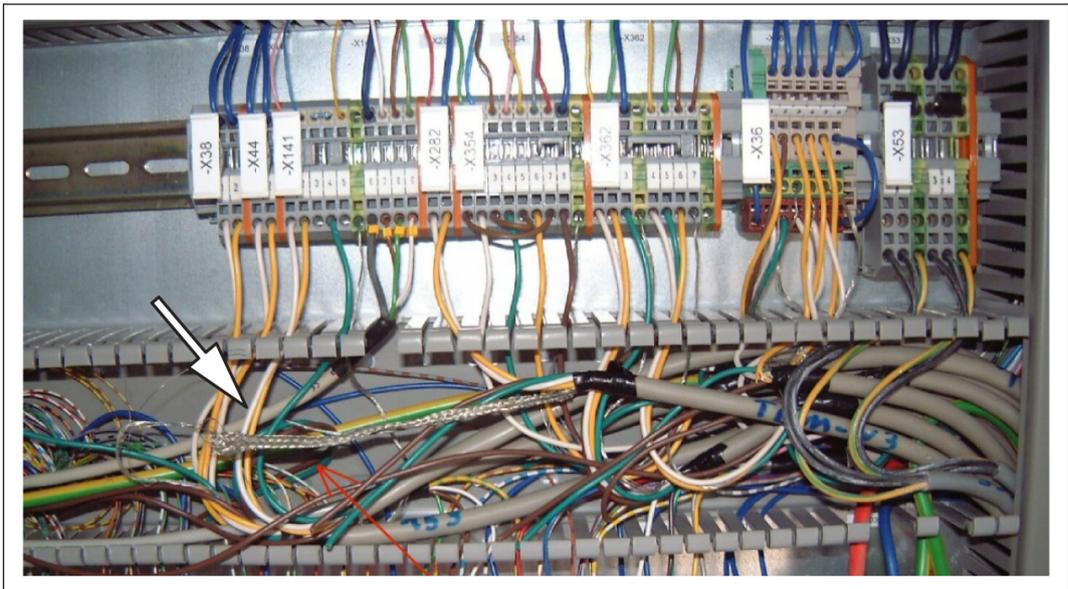
Falsch



67250-001 Beispiel mit inkorrekt Kabelverlegung, Scheuergefahr! Kurzschlussgefahr!

Abb. 67250 zeigt den Potenzialausgleich der Kühlwasserleitung über dem Gummikompen-sator. Das Kabel ist zu lang und liegt an der Isolierung der Abgasleitung an. Scheu-er-gefahr! Unzulässige Erwärmung!

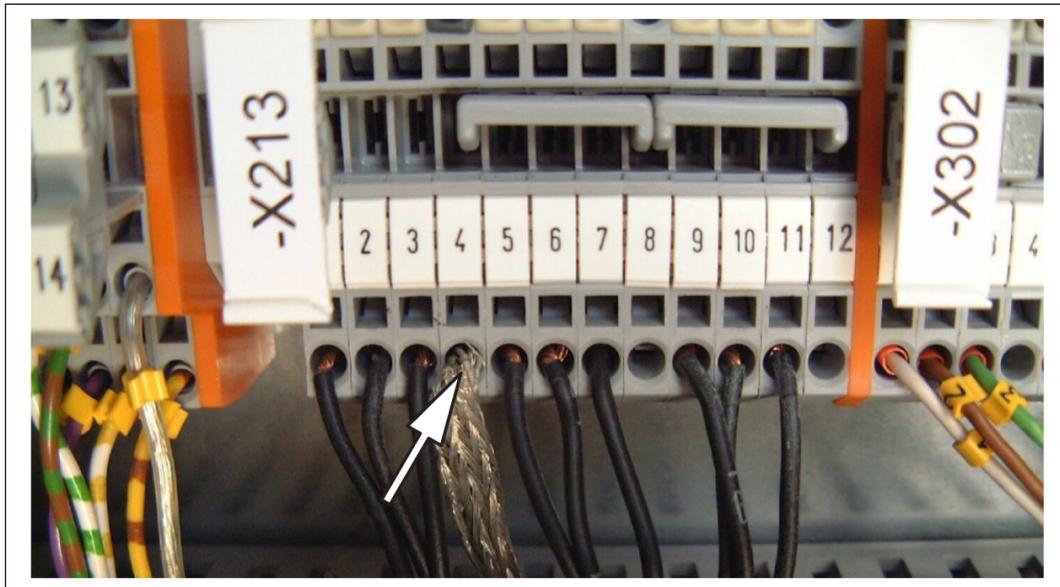
Falsch



67251-001 Beispiel mit inkorrekt Kabelverlegung, EMV-Probleme

Abb. 67251. Der Schirm ist zu lang abisoliert und nicht separat auf die Klemme gelegt. Die Adern sind in langen Schleifen auf Klemmen gelegt. Dadurch besteht die Gefahr von EMV-Problemen und Kurzschlüssen. EMV-Probleme! Kurzschlussgefahr!

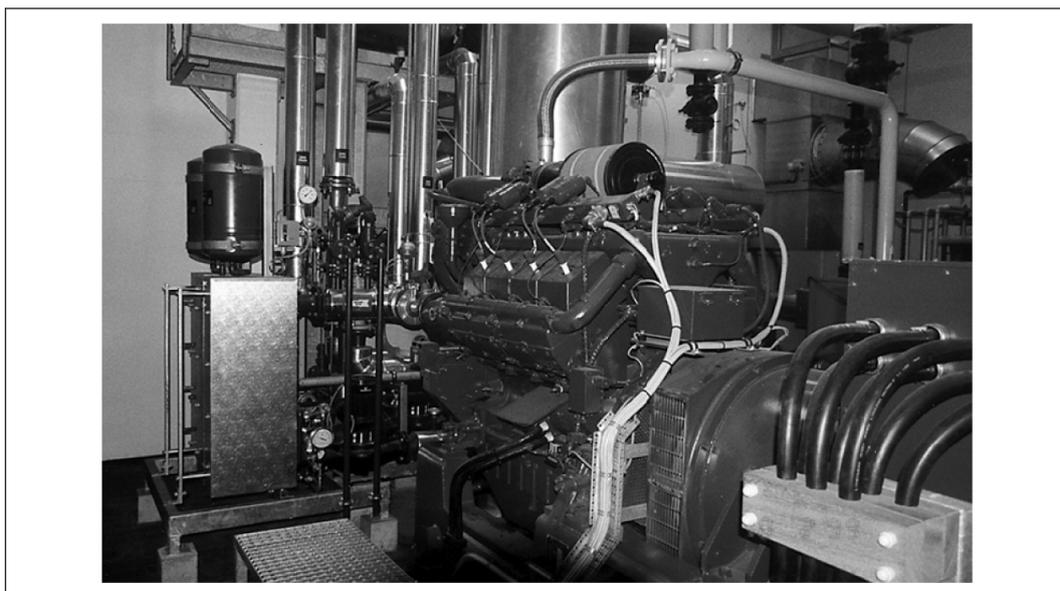
Falsch



67252-001 Beispiel mit inkorrekt Kabelverlegung, Kruzschlussgefahr!

Auf folgender Abb. 67252 ist die Abschirmung zu lang und nicht isoliert. An den extern zugeführten schwarzen Leitungen fehlen die Adernendhülsen. Kurzschlussgefahr!

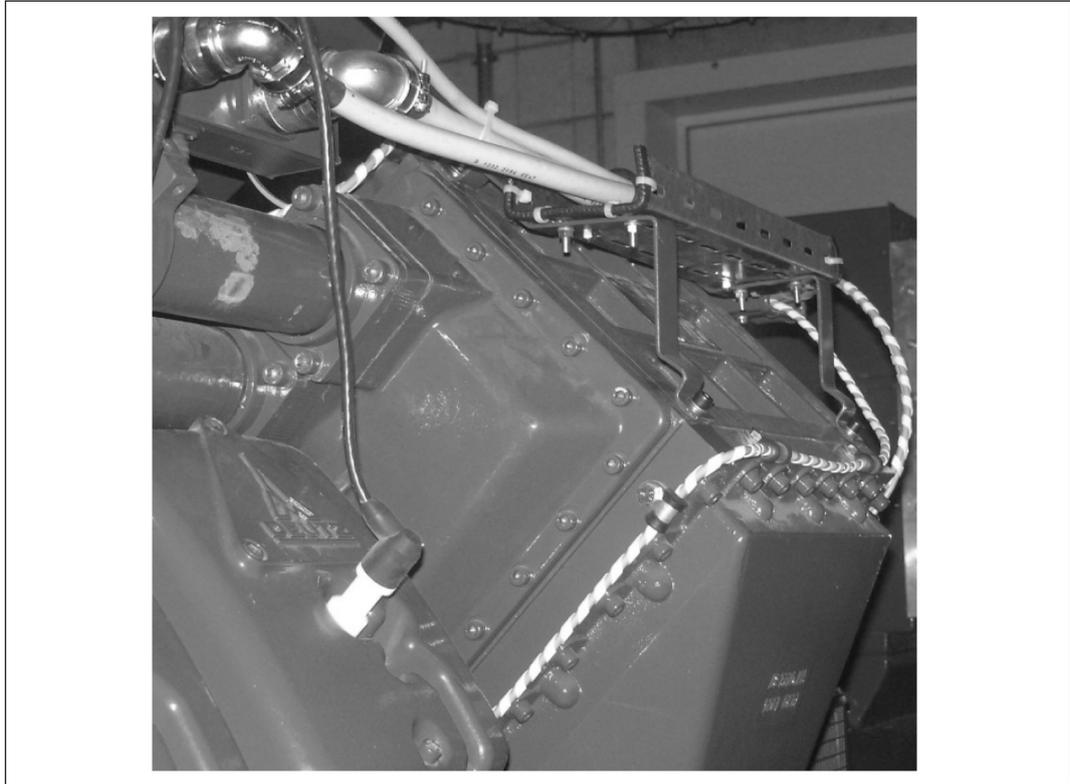
Richtig



67253-001 Beispiel mit korrekter Kabelverlegung mit Zugentlastung

Abb. 67253 zeigt die Verlegung der TEM-Kabel zum Aggregat. Diese sind bis zum Motor auf Kabelwanne geführt. Die Leistungskabel sind nach dem 90°-Bogen befestigt, um ein Scheuern zu verhindern und für eine entsprechende Zugentlastung zu sorgen. Durch den 90°-Bogen der Leistungskabel werden Schwingungen abgefangen und belasten somit nicht die Kabelverschraubungen der Kabelanschlüsse.

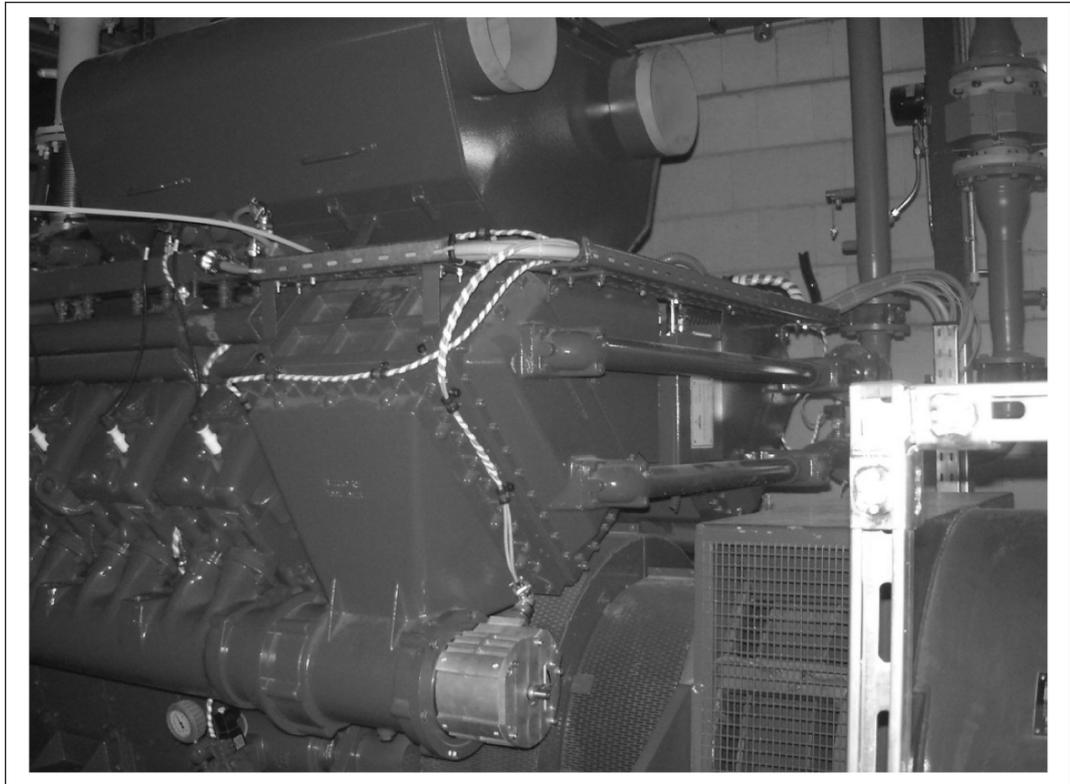
Richtig



67254-001 Beispiel mit korrekter Kabelverlegung, Schellen

Abb. 67254 zeigt eine korrekte Kabelverlegung mit Schellen und Kabelkanälen.

Richtig

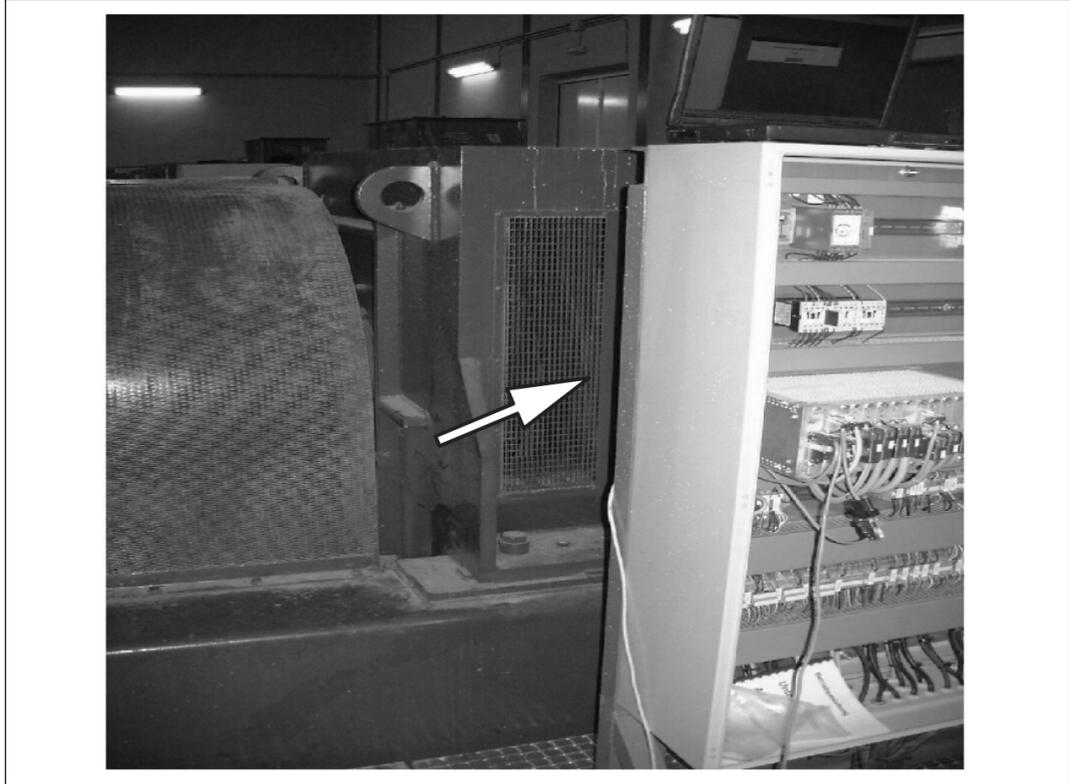


67255-001 Beispiel mit korrekter Kabelverlegung, Kabelkanäle und Schellen

Abb. 67255 zeigt eine korrekte Kabelverlegung mit Schellen und Kabelkanälen.

178-003-DE:: BA : VAR, COV, IMP, B, BA, BS, DEM, EIN, IBN, IST, WP, SK, MH, SB, STB, TA, TL

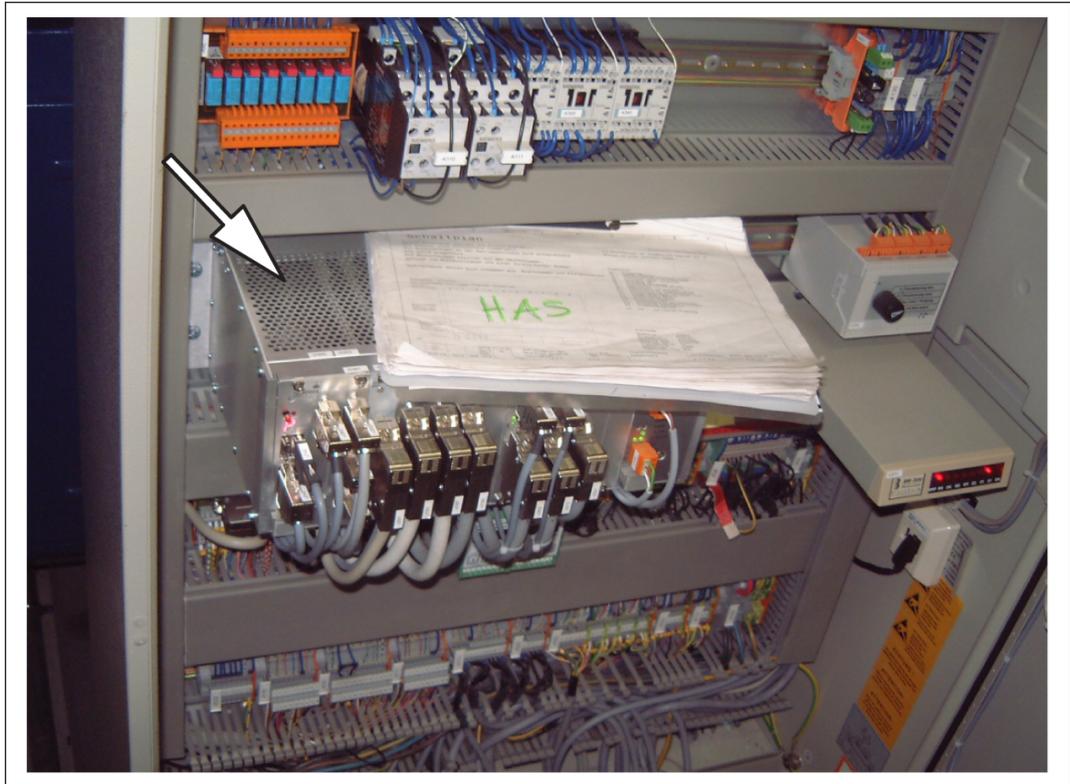
Falsch



67256-001 Beispiel Aufstellungsort TEM-Schrank falsch, Temperaturprobleme

Abb. 67256 zeigt einen TEM-Schrank, der direkt vor der Generator Abluft steht. Dadurch wird der TEM-Schrank zu stark erwärmt. Die Folge ist eine zu hohe Schrankinnentemperatur und daraus resultierende Probleme. Temperaturprobleme!

Falsch

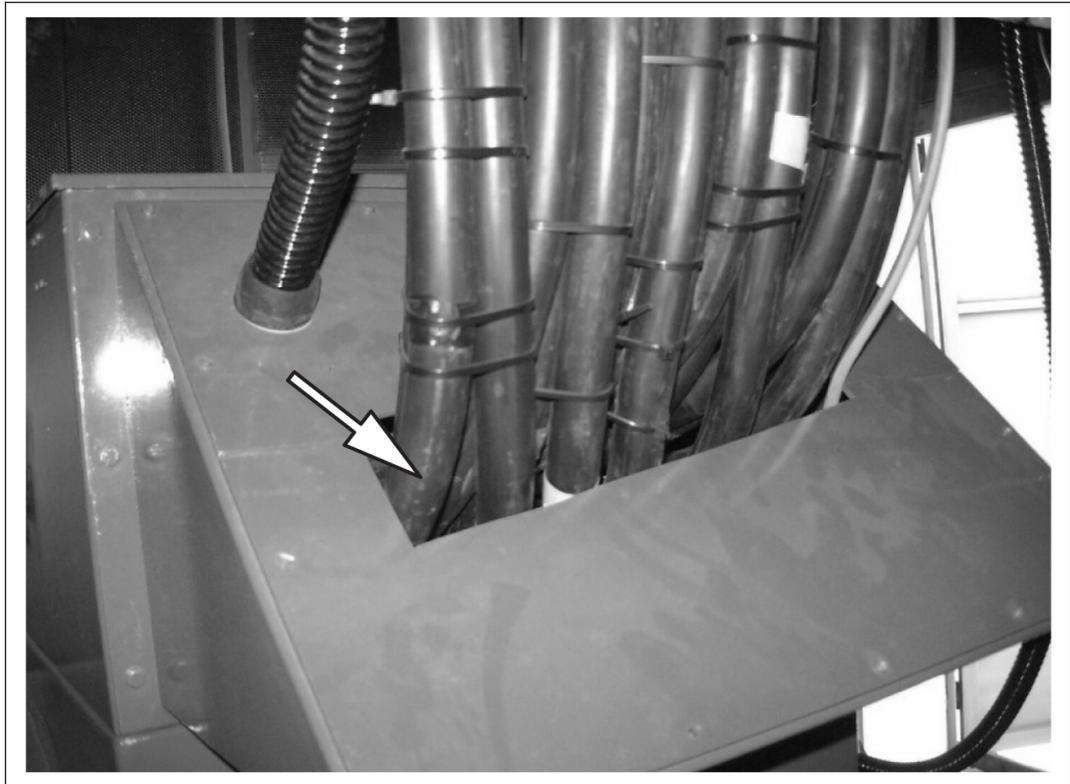


67257-001 Beispiel mit inkorrektur Kabelverlegung, Hitzestau!

Abb. 67257. Die Luftschlitze dürfen nicht verschlossen bzw. abgedeckt sein. Hitzestau!

178-003-DE:: BA : VAR, COV, IMP, B, BA, BS, DEM, EIN, IBN, IST, WP, SK, MH, SB, STB, TA, TL

Falsch



67258-001 Beispiel mit inkorrekt er Kabelverlegung, Brandgefahr und Kurzschlussgefahr!

Abb. 67258. Die Leistungskabel müssen fachgerecht in den Generator geführt werden. Lebensgefahr, Kurzschluss und Brandgefahr!

Richtig



67259-001 Beispiel mit korrekter Kabelverlegung mit Abdeckung

Abb. 67259. Der Kabeleingang hat eine Abdeckung, damit keine Gegenstände in die Öffnung fallen können und evtl. einen Kurzschluss auslösen.

178-003-DE:: BA : VAR, COV, IMP, B, BA, BS, DEM, EIN, IBN, IST, WP, SK, MH, SB, STB, TA, TL

Richtig



67260-001 Beispiel mit korrekter Kabelverlegung mit Halterungen

Abb. 67260. Die erforderlichen Biegeradien für die Generatorleistungskabel sind eingehalten und das Gewicht der Kabel ist durch die festen Halterungen abgefangen.

Falsch

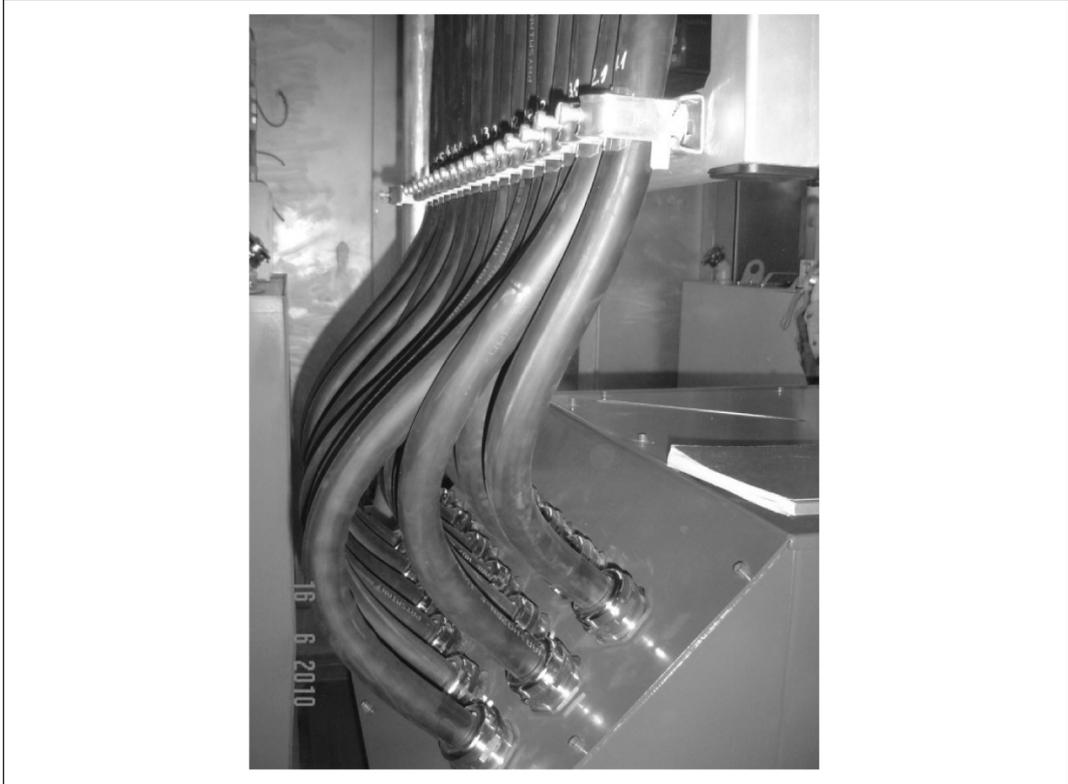


67261-001 Beispiel mit inkorrekt er Kabelverlegung, nicht kurzschlussfest

Abb. 67261. Die erforderlichen Biegeradien für die Generatorleistungskabel sind zwar eingehalten, aber das Gewicht der Kabel wirkt auf die Verschraubungen und Klemmen. Die Verlegung ist nicht kurzschlussfest.

178-003-DE:: BA : VAR, COV, IMP, B, BA, BS, DEM, EIN, IBN, IST, WP, SK, MH, SB, STB, TA, TL

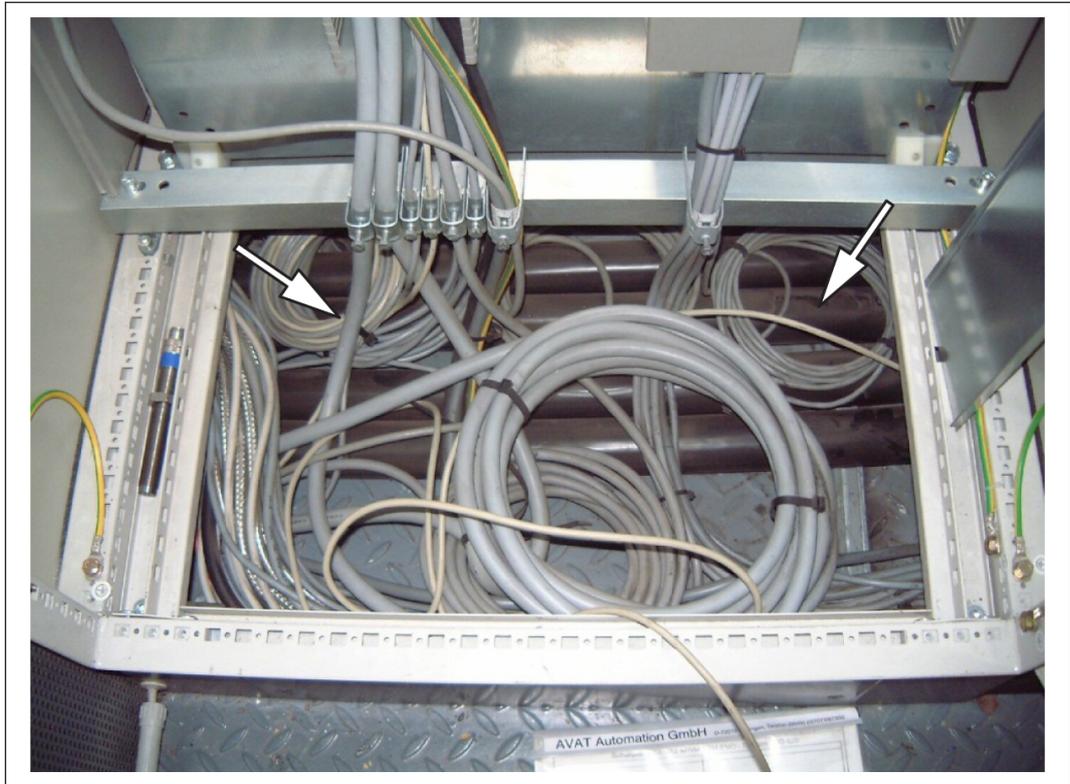
Falsch



67262-001 Beispiel mit inkorrektur Kabelverlegung, zu enge Biegeradien

Abb. 67262. Die Biegeradien der Generatorleistungskabel sind zu eng. Die Kabel scheuern teilweise an den Überwurfmuttern der Kabelverschraubungen.

Falsch



67263-001 Beispiel mit inkorrektur Kabelverlegung, EMV-Probleme

Abb. 67263. Die Leistungskabel nicht durch Steuerschränke und TEM-Schrank führen. Das führt zu EMV-Problemen!

178-003-DE:: BA : VAR, COV, IMP, B, BA, BS, DEM, EIN, IBN, IST, WP, SK, MH, SB, STB, TA, TL

18.6 Spannungsversorgung TEM, TPEM und SPS

Die Steuerungen TEM, TPEM, eventuell im Hilfsantriebsschrank eingebaute SPS, Messeinrichtungen oder einige Aktuatoren werden mit einer Spannung 24 V DC versorgt. Das geschieht durch Anschluss an eine entsprechende Batterieversorgung. Für die Steuerungen TEM und TPEM gelten folgende Anforderungen an die Spannungsversorgung:

- Einspeisung TEM-Schrank: → 24 V DC \pm 15% - Restwelligkeit $<0,5 V_{SS}$
- Einspeisung TPEM-CC: → 24 V DC \pm 10% - Restwelligkeit $<0,2 V_{SS}$

Starterbatterien dürfen nicht zur Versorgung von elektronischen Steuerungen, Messeinrichtungen oder 24 V-Aktuatoren genutzt werden. Die bei dem Startvorgang auftretenden Spannungseinbrüche an der Starterbatterie führen zu Fehlfunktionen bzw. zum Ausfall der elektronischen Steuerung.

19 Aggregatetransport und Aggregateinbringung

Inhaltsverzeichnis

19.1	Übersicht Aggregatetransport und Aggregateaufstellung.....	266
19.2	Aggregate.....	267
19.2.1	Verladen mit Kran.....	267
19.2.2	Transport auf Fahrzeugen oder Schiffen.....	268
19.2.3	Umladen und Abladen.....	268
19.3	Transport und Aufstellung von Containern.....	269
19.3.1	Anheben des Containers.....	271
19.3.2	Transport von Containern.....	274
19.3.3	Montageanleitung für Container.....	275
19.4	Aggregateinbringung.....	276
19.5	Lagerung von Aggregaten und Anlagenkomponenten.....	277

19.1 Übersicht Aggregatetransport und Aggregateaufstellung

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

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

19.2 Aggregate

19.2.1 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 (Pollern) versehen. In Ausnahmefällen auch mit zwei unter dem Grundrahmen angebrachten Doppel-T-Trägern, die mit Schäkeln zur Aufnahme des Hebezeugs (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 einer Traverse einzuhaken. Die anderen Enden werden an den Lastaufnahmepunkten befestigt. Die Befestigung muss auch bei unerwarteten Kraftereinwirkungen 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 Abb. 67264. Beim Fehlen von passenden Traversen müssen an den Seilen bzw. Ketten Spreizvorrichtungen angebracht werden.



67264-001 Anheben eines Aggregats

Lastaufnahmeeinrichtungen/Hebezeuge

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.

Wartung von Lastaufnahmeeinrichtungen/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/Hebezeugen

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

19.2.2 Transport auf Fahrzeugen oder Schiffen

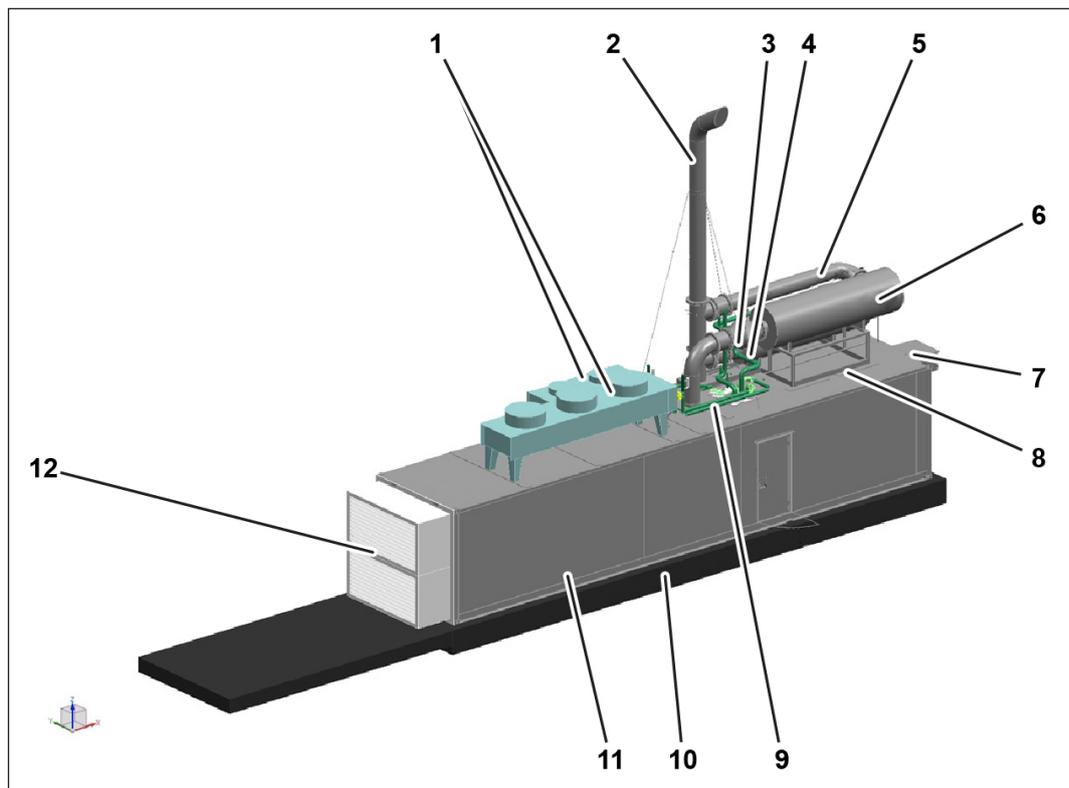
Beim Transport auf Fahrzeugen oder in Schiffen muss zwischen der Unterseite des Grundrahmens und der Ladefläche eine geeignete Zwischenlage vorgesehen werden. Hier können vorzugsweise handelsübliche Antirutschmatten, Klötze aus Hartgummi oder Holz verwendet werden. Durch das Anbringen von Spanngurten,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

19.2.3 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 ⇒ Kapitel 19.2.1 Verladen mit Kran 267.

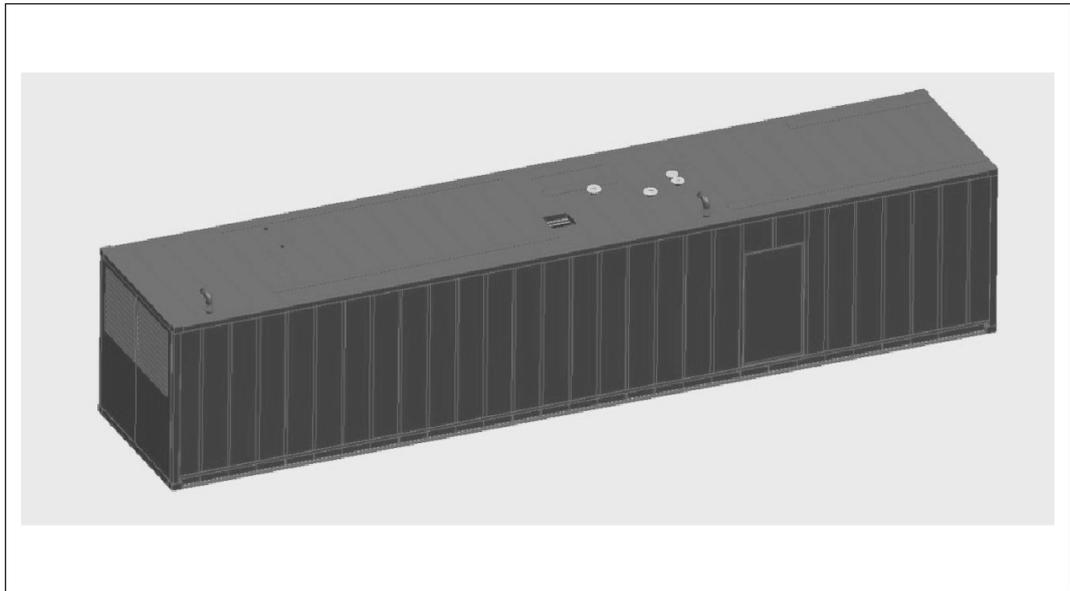
19.3 Transport und Aufstellung von Containern

Bei Containeranlagen ist das Aggregat fertig montiert und im Container eingebaut. Anlagenkomponenten wie Abgasschalldämpfer und Abgaswärmetauscher sind auf einem gemeinsamen Rahmen aus Vierkantrohren auf dem Containerdach angeordnet. Diese Rahmen liegen lose auf dem Containerdach auf. Für den Transport einer Containeranlage werden die auf dem Dach angeordneten Komponenten abgenommen und neben dem Container als separate Frachten transportiert. Abb. 67273 zeigt die Containeranlage fertig montiert, die Abb. 67274 bis 67276 zeigen die Aufteilung der Komponenten in einzelne Lose für den Transport. Bei der dargestellten Anlage handelt es sich um einen BHKW-Container.

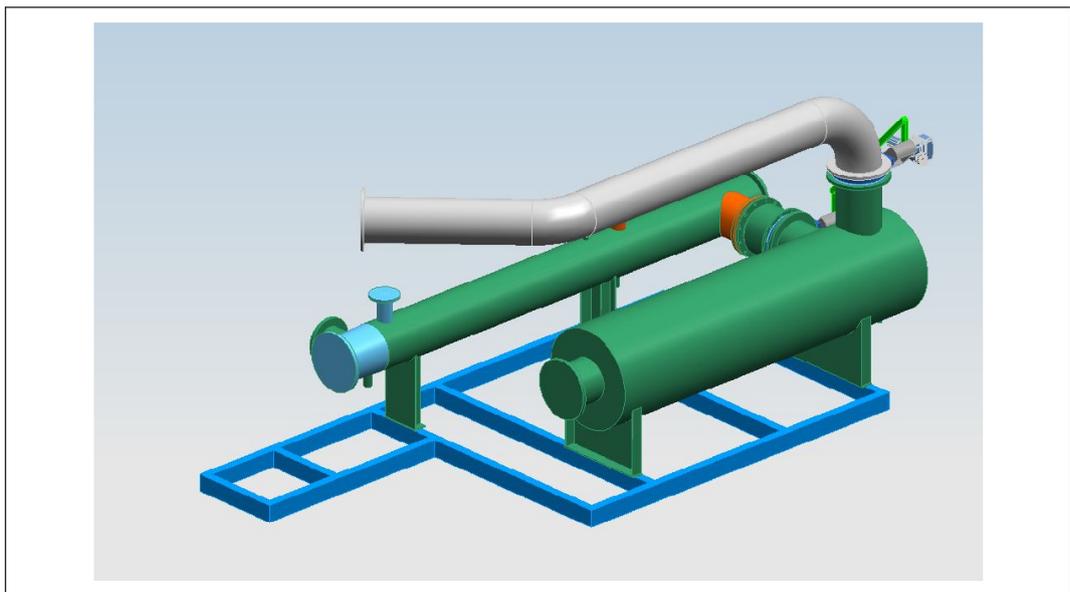


67273-001 Containeranlage komplett

- 1 Tischkühler
- 2 Abgaskamin
- 3 Katalysator
- 4 Abgaswärmetauscher
- 5 Abgasbypass
- 6 Abgasschalldämpfer
- 7 Klimagerät
- 8 Rahmen
- 9 Wasserrohre
- 10 Streifenfundament (bauseits)
- 11 Container
- 12 Zuluftkomponenten



67274-001 Container ohne Dachaufbauten und Klimagerät



67275-001 Komponenten mit Rahmen



67276-001 Lose zusammen gepackte Komponenten

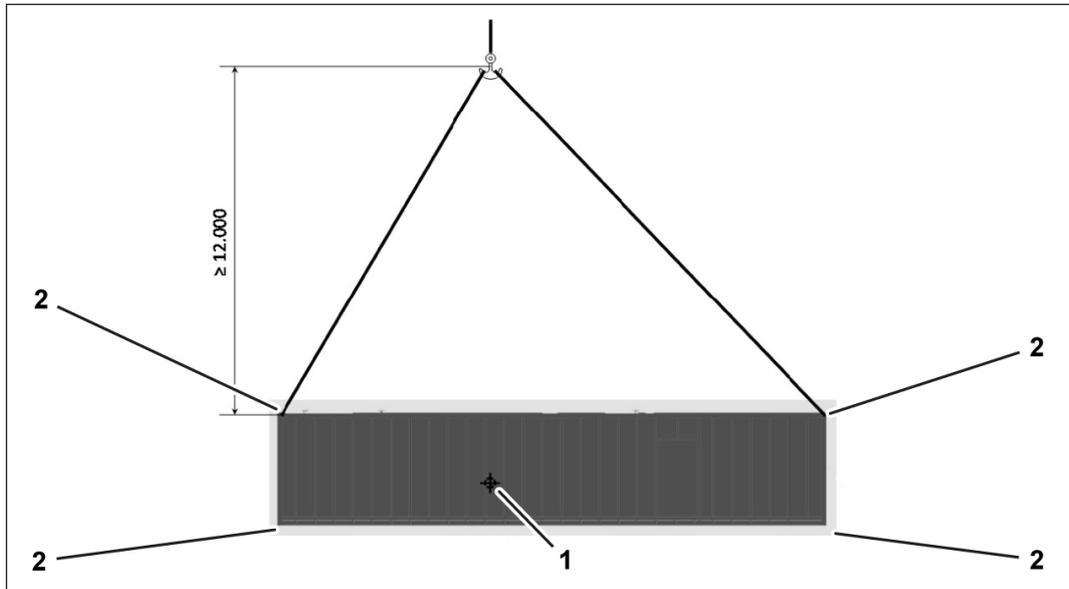
19.3.1 Anheben des Containers

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 Aggregategrundrahmen und Fundamentschiene fest verblockt. Zusätzlich ist das Aggregat an den vier Ecken des Grundrahmens mit Spanngurten fest mit an der Containerstruktur angebrachten Halteösen verzurrt. 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 Lastaufnahmeplätze verwendet. Die Seillängen sind so zu wählen, dass sich der Kranhaken in der Ebene des Container-Schwerpunktes befindet. Die Lage des Container-Schwerpunktes ist außen auf der Seitenwand des Containers markiert. Siehe auch Abb. 67278 und 67277.

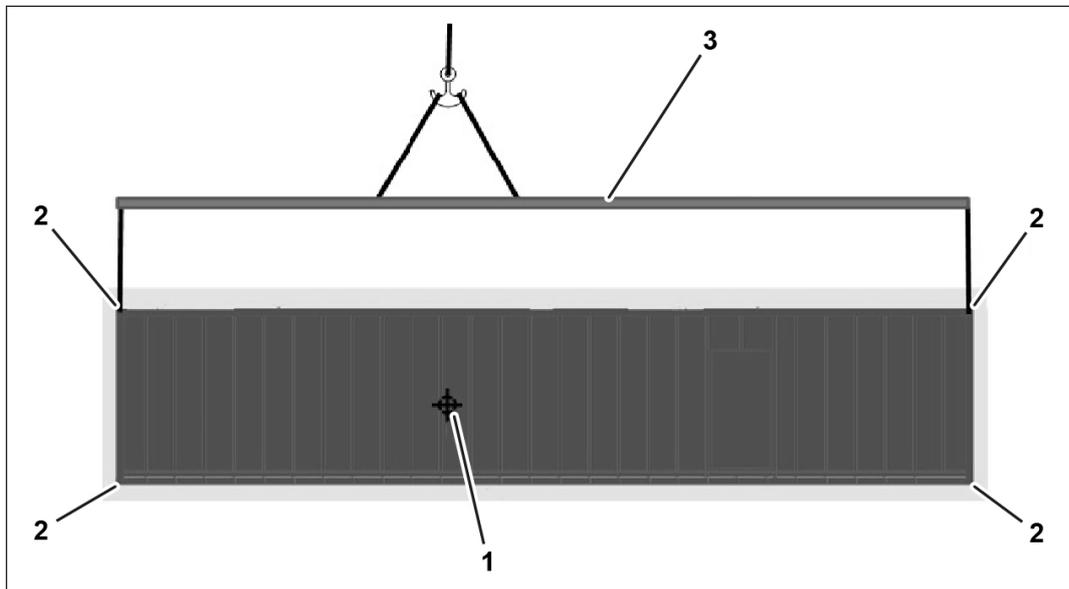
Anheben des Containers an den oberen Eckbeschlägen mit Seilen



67278-001 Anheben des Containers an den oberen Eckbeschlägen mit Seilen

- 1 Schwerpunktmarkierung
- 2 Containerreackbeschlag

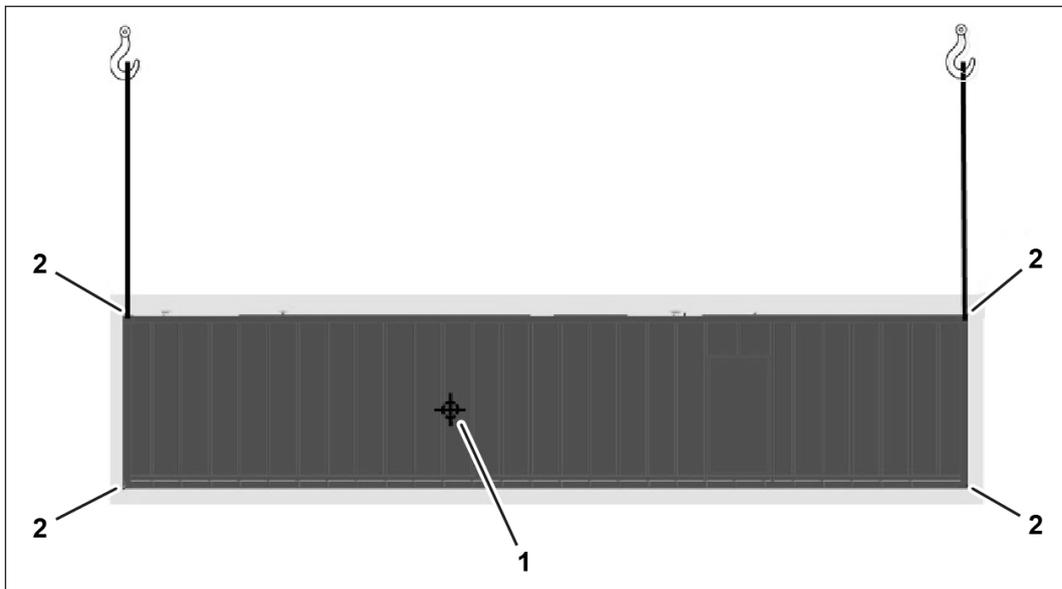
Anheben des Containers an den oberen Eckbeschlägen mit Traverse



67277-001 Anheben des Containers an den oberen Eckbeschlägen mit Traverse

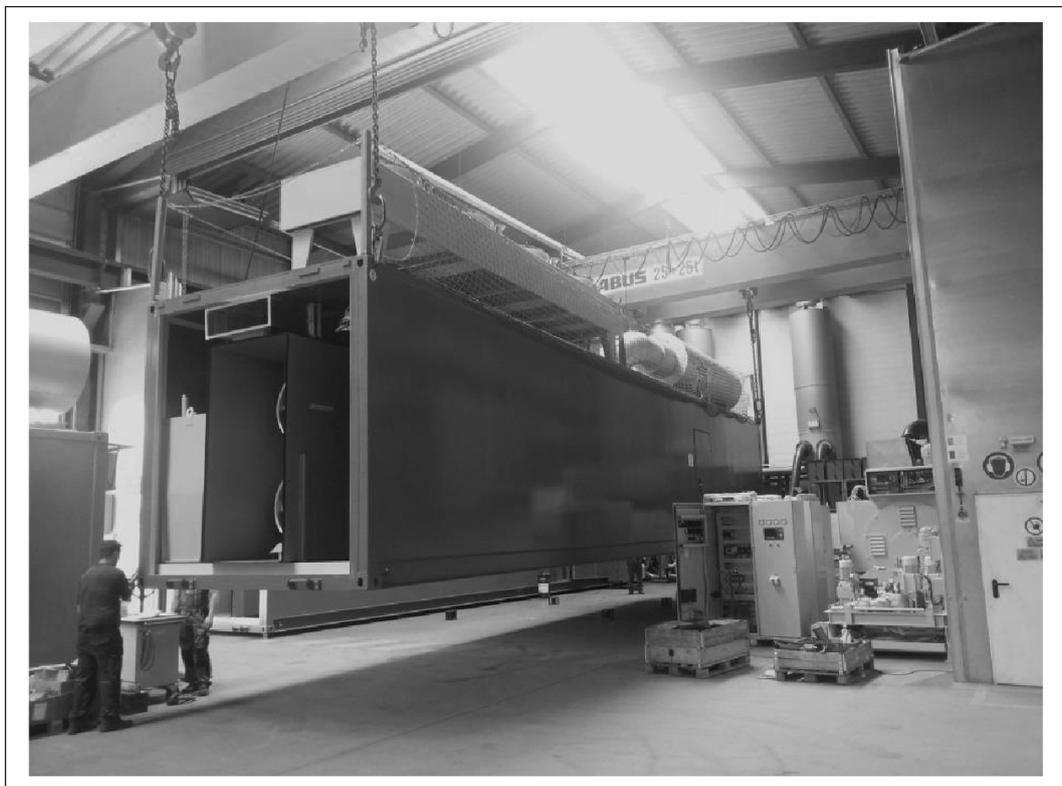
- 1 Schwerpunktmarkierung
- 2 Container-Eckbeschlag
- 3 Traverse

Anheben des Containers an den oberen Eckbeschlägen mit zwei Kränen



67279-001 Anheben des Containers an den oberen Eckbeschlägen mit zwei Kränen

- 1 Schwerpunktmarkierung
- 2 Container-Eckbeschlag



67281-001 Anheben eines Containers mit zwei Kränen

19.3.2 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 ⇒ Kapitel 19.2.2 Transport auf Fahrzeugen oder Schiffen 268.



67282-001 Transport eines Containers mit Tieflader

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.



67283-001 Befestigung eines Containers zum Transport auf einem Tieflader

19.3.3 Montageanleitung für Container

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.



Erforderliche Informationen zur Montage siehe

- Betriebsanleitung ⇒ Montagehinweis ⇒ Container
 - Montageanleitung
 - Montageübersicht Container

19.4 Aggregateinbringung

Das Aggregat muss durch die Einbringöffnung zum Aufstellungsort im Aggregaterraum verbracht und dort ausgerichtet werden. Zum Transportieren des Aggregats sind seitlich am Grundrahmen Lastaufnahmepunkte angebracht.

Die Aggregateinbringung erfolgt in mehreren Schritten:

- Fundament prüfen
- Stellfläche vor der Einbringöffnung vorbereiten
- Aggregat auf der Stellfläche absetzen
- Aggregat zum Aufstellort bringen
- Aggregat am Aufstellort positionieren
- Aggregat absetzen und Transportmittel entfernen
- Aggregat anheben und Lagerelemente montieren
- Aggregat absetzen
- Aggregat kontrollieren und anschließen



Erforderliche Informationen zur Aggregateinbringung siehe

- Betriebsanleitung ⇒ Montagehinweis ⇒ Aggregateinbringung
 - Aggregat einbringen

19.5 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. Dichtungen aus Elastomeren werden bei Frosteinwirkung spröde und werden leicht zerstört. Für Schaltschränke mit Halbleiterelektronik werden Lagertemperaturen im Bereich von -10 °C bis $+50\text{ °C}$ angegeben.

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

20 Einbauhinweise und Ausrichtungshinweise für das Aggregat

Inhaltsverzeichnis

20.1	Allgemeine Hinweise.....	280
20.1.1	Aggregatetransport und Einbringung.....	280
20.1.2	Schutz des Aggregat.....	280
20.2	Elastische Lagerung.....	281
20.3	Drehelastische Kupplung.....	282
20.4	Kompensatoren und Schlauchleitungen.....	283
20.4.1	Kompensatoren mit Flanschen nach EN 1092-1.....	284
20.4.2	Kompensatoren mit Flanschen nach VG 85356.....	286
20.4.3	Gummikompensatoren.....	287
20.4.4	Schlauchleitungen.....	291
20.4.5	Abgaskompensatoren.....	297

20.1 Allgemeine Hinweise

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

20.1.1 Aggregatetransport und Einbringung

In dem Kapitel 19 Aggregatetransport und Aggregateinbringung ist beschrieben, welche Maßnahmen zu treffen sind, um das Aggregat auf seinen Bestimmungsort zu platzieren.

20.1.2 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!

Auch ist darauf zu achten, dass am Aggregat angebrachte Teile, wie Geber, Temperaturfühler oder Anbauten wie Pumpen, Filter etc. bei Montagetätigkeiten nicht als "Leiter" benutzt werden.

Um den Wert der Anlage und deren Zuverlässigkeit zu erhalten, weisen wir auf folgende Punkte hin:

- Den Aggregaterraum 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 Aggregaterräume 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 unserer Werknorm unterzogen. Die Standardkonservierung ist 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.

20.2 Elastische Lagerung

Standardmäßig werden zur elastischen Lagerung der Aggregate Stahlfederkörper verwendet. Diese sind serienmäßig mit einer Nivellierung versehen. Unter der Fußplatte des Lagerelements befindet sich eine Gummiplatte, 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 soll eine Ebenheit von ± 2 mm vorweisen und eine Rauigkeit üblicher Betonfundamente. Das Fundament darf nicht gefliert 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 Stahlstoppfen 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.

20.3 Drehelastische Kupplung

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



Erforderliche Informationen zum Messen siehe

- Betriebsanleitung ⇒ Montagehinweis ⇒ Aggregateinbringung
 - Aggregat einbringen
-

20.4 Kompensatoren und Schlauchleitungen

Kompensatoren und Schlauchleitungen dienen zur elastischen Abkoppelung der Medien führenden Rohrleitungen in der Anlage vom elastisch gelagerten Aggregat. Weiterhin übernehmen Kompensatoren und Schlauchleitungen die Isolierung des Körperschalls, der ansonsten durch Rohrleitungen in das Gebäude übertragen wird. Zusätzlich müssen in den Rohrleitungen in der Anlage Kompensatoren und Schlauchleitungen zur Kompensation von Wärmeausdehnungen vorgesehen werden. Die Anzahl der einzubauenden Kompensatoren hängt von der Rohrleitungsführung selbst und der durch die Temperatur des Betriebsstoffs im Rohr hervorgerufenen Wärmeausdehnung ab.

Hinweis

Vor der Montage von Kompensatoren und Schlauchleitungen muss das Aggregat gemäß Kapitel 20.2 (Elastische Lagerung) auf dem Fundament ausgerichtet werden. 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 bis 2 mm ein. Bei Bedarf kann eine Nachjustierung der höhenverstellbaren elastischen Lagerelemente durchgeführt werden.

Hinweis

.In den Tabellen „Kompensatoren mit Flanschen nach EN 1092-1“ und “Kompensatoren mit Flanschen nach VG 85356 Teil 1“ sind die Flanschanschlussmaße und Kennwerte der Kompensatoren aufgeführt.

Hinweis

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 Balgmaterial NBR (Nitrilkautschuk) eingesetzt. Der Balg ist bei diesen Typen mit einer rot/blauen Kennzeichnung versehen.

20.4.1 Kompensatoren mit Flanschen nach EN 1092-1

5 DN	6	1					2				3				4
		PN	ØD	ØK	nxØd2	b	BL	Ødi	8 ØC	9 W	10	11	12	13	14
	[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

68477-001 Kompensatoren mit Flanschen nach EN 1092-1

- 1 Flanschmaße nach DIN 1092-1¹⁾
- 2 Balg
- 3 Bewegungsaufnahme (ohne Überlagerung)
- 4 Kompensator
- 5 Nenndurchmesser
- 6 Rohr nach DIN 2448
- 8 Dichtfläche
- 9 Wellendurchmesser (drucklos)
- 10 Drückung
- 11 Streckung
- 12 Lateral
- 13 Angular
- 14 Gewicht

¹⁾ 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 ¹⁾	bar	16	10	6
Prüfdruck bei +20 °C	bar	23	23	23
Platzdruck	bar	≥ 48	≥ 48	≥ 4 8

Druckstufen

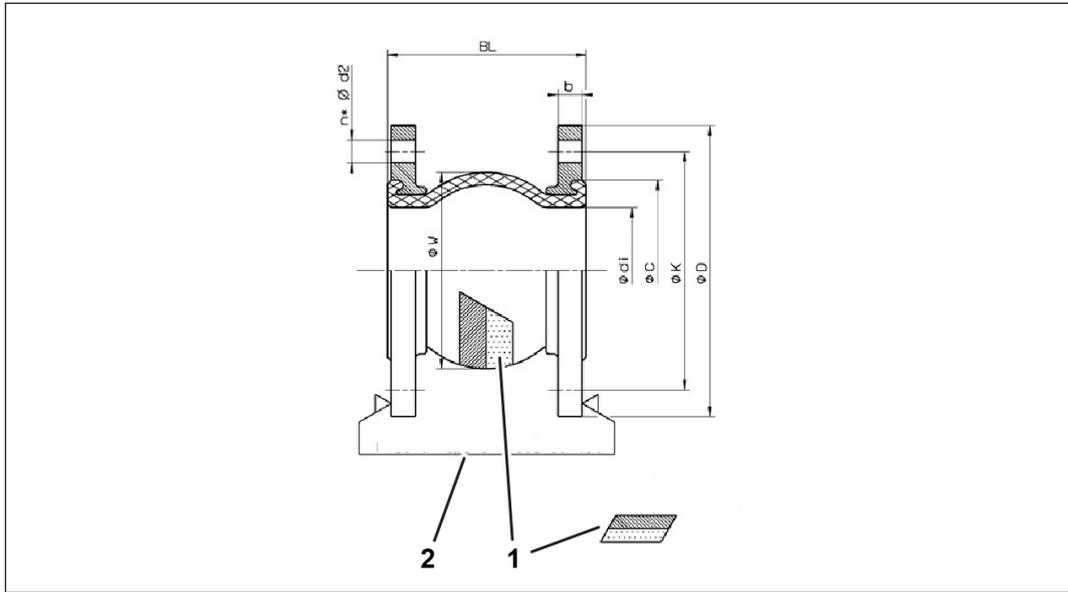
Vakuum bei Einbaulänge $\leq BL$

Hier werden besondere Maßnahmen erforderlich, diese müssen angefragt werden.

¹⁾ bei stoßweiser Belastung ist der max. Betriebsdruck 30 % niedriger anzusetzen

Balgwerkstoff Betriebsstoff

EPDM	Kühlwasser mit ölfreien Zusätzen für Frostschutz und Korrosionsschutz
NBR	Schmieröl



67286-001 Kompensator

- 1 Typenschild orange/blau (EPDM), rot/blau (NBR)
- 2 Flächen spanend bearbeitet

Bei überlagerten Bewegungen die Werte beim Hersteller anfragen \Rightarrow Montageanleitung für Gummikompensatoren bei Gasmotorenaggregaten 290

20.4.2 Kompensatoren 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

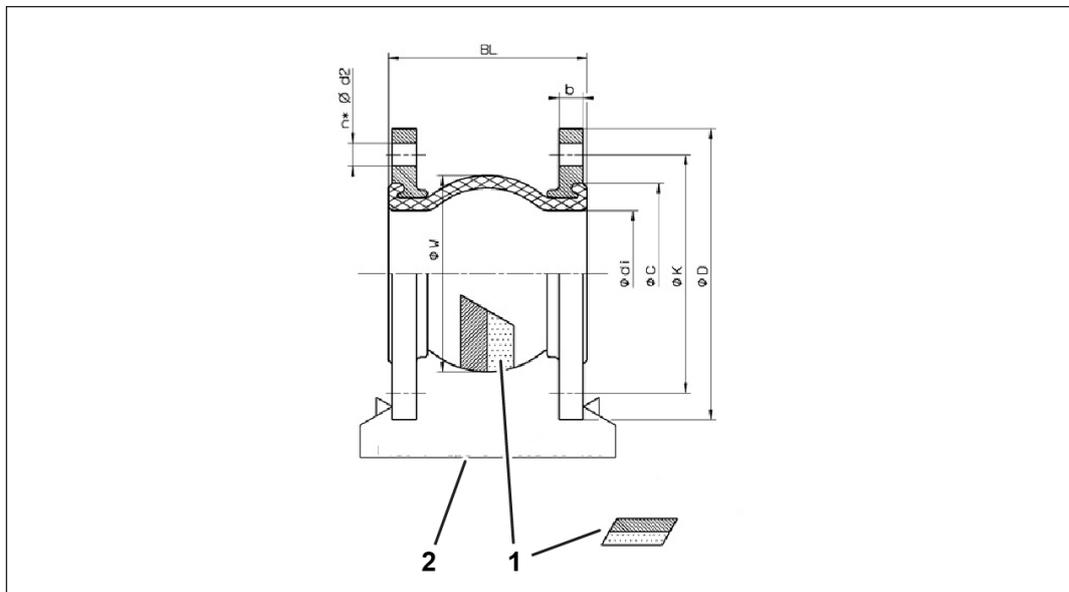
68479-001 Kompensatoren mit Flanschen nach VG 85356

- 1 Flanschmaße nach VG 85356 Teil 1
- 2 Balg
- 3 Bewegungsaufnahme (ohne Überlagerung)
- 4 Kompensator
- 5 Nenndurchmesser
- 6 Rohrdurchmesser außen
- 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 ¹⁾	bar	16	10	6
Prüfdruck bei +20 °C	bar	23	23	23
Platzdruck	bar	≥ 48	≥ 48	≥ 4 8

Druckstufen	
Vakuum bei Einbaulänge $\leq BL$	Hier werden besondere Maßnahmen erforderlich, diese müssen angefragt werden.
1) bei stoßweiser Belastung ist der max. Betriebsdruck 30 % niedriger anzusetzen	

Balgwerkstoff	Betriebsstoff
EPDM	Kühlwasser mit ölfreien Zusätzen für Frostschutz und Korrosionsschutz
NBR	Schmieröl



67286-001 Kompensator

- 1 Typenschild orange/blau (EPDM), rot/blau (NBR)
- 2 Flächen spanend bearbeitet

Bei überlagerten Bewegungen die Werte beim Hersteller anfragen \Rightarrow Kapitel Montageanleitung für Gummikompensatoren bei Gasmotorenaggregaten 290.

20.4.3 Gummikompensatoren

Montage-Hinweise für Stenflex-Gummikompensatoren Typ AS-1

Lagerung

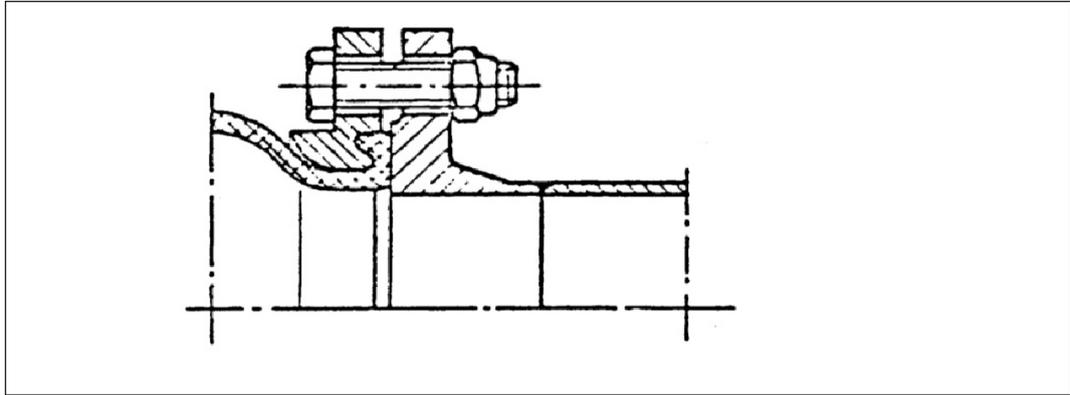
Gummikompensator sauber und trocken lagern, vor allen Beschädigungen schützen, nicht auf dem Balg rollen. Bei Lagerung und Einbau im Freien vor intensiver Sonnenbestrahlung schützen, z.B. durch Abdeckblech.

Anordnung und Einbau

Der Kompensator soll so angeordnet werden, dass die Einbaustelle zugänglich und eine Überwachung möglich ist.

Vor Montagebeginn ist die Einbaulücke zu prüfen und der Kompensator durch Zusammendrücken mit der richtigen Einbaulänge BL einzubauen.

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.



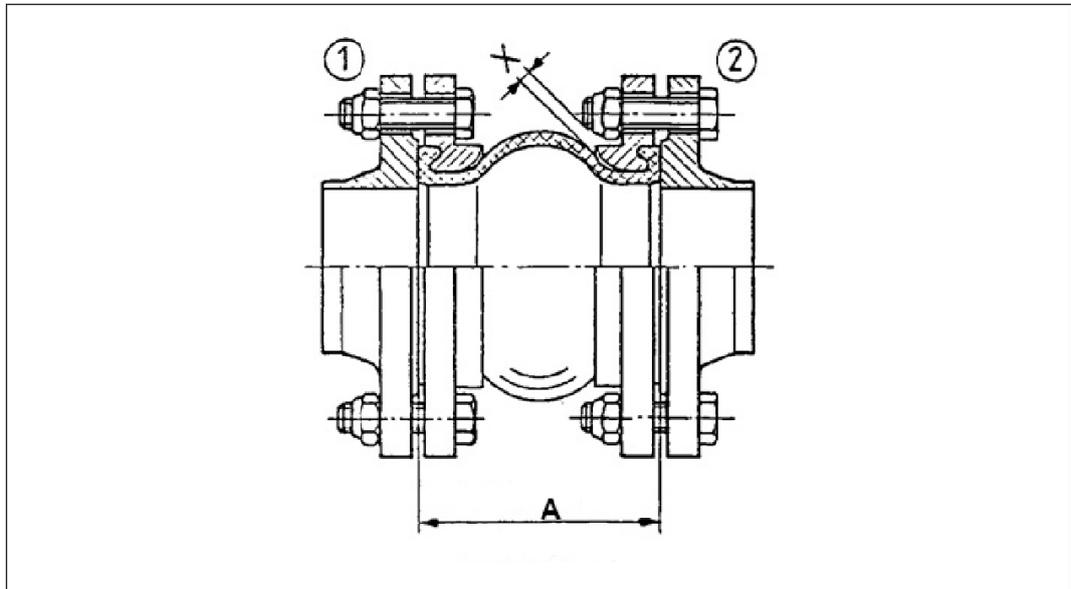
67287-001 Flansch mit glatter Dichtfläche bis zum inneren Durchmesser

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.

Unter Beachtung der maximal zulässigen Bewegungsaufnahmen (die auch im Betriebszustand nicht überschritten werden dürfen) ist der Kompensator torsionsfrei zu montieren. Der Kompensator soll vorzugsweise auf Zusammendrückung beansprucht werden. Auch das Einwirken von äußerer Strahlungshitze ist zu beachten. Die Bohrungen der Flansche müssen fluchten. Bei der Verwendung von DIN-Vorschweißflanschen und VG-Bördelflanschen sind keine zusätzlichen Dichtungen erforderlich, da der Gummiwulst dichtet. Andere Flanschausführungen sind wegen der Beschädigungsgefahr des Gummiwulsts nicht zulässig.

Montage



67288-001 Montage

A = Baulänge = Einbaulänge

Die Kompensatoren werden mit normalen Sechskantschrauben und selbstsichernden Sechskantmuttern nach DIN 985 montiert.

Als Gegenflansche werden ausschließlich DIN-Vorschweißflansche oder VG-Bördelflansche verwendet.

Hierbei sind die Muttern auf Seite der Gegenflansche vorzusehen, Montageart (1). Ist dies nicht möglich, so ist die Schraubenlänge so zu wählen, dass das Maß X nicht weniger als 15 mm beträgt, Montageart (2).

Die Montageart (1) ist zu bevorzugen.

Die Schrauben sind mehrmals gleichmäßig über Kreuz anzuziehen; gegebenenfalls nach der ersten Inbetriebnahme etwas nachziehen. Zu strammes Anziehen kann den Gummilwulst zerquetschen.

Um Beschädigungen des Gummibalges durch Werkzeuge zu vermeiden, ist auf der Balgseite der Schraubenschlüssel zu halten und auf der Seite des Gegenflansches der Schraubenschlüssel zu drehen.

Damit die Gummidichtleiste nicht durch zu starkes Anziehen der Flansche zerstört wird, ist u.a. Tabelle mit den Anzugsmomenten zu beachten.

Anziehvorschriften

Nenn Durchmesser DN 40	90 Nm
Nenn Durchmesser DN 50	90 Nm
Nenn Durchmesser DN 65	90 Nm
Nenn Durchmesser DN 80	90 Nm
Nenn Durchmesser DN 100	90 Nm

Anziehvorschriften	
Nenn Durchmesser DN 125	90 Nm
Nenn Durchmesser DN 150	145 Nm

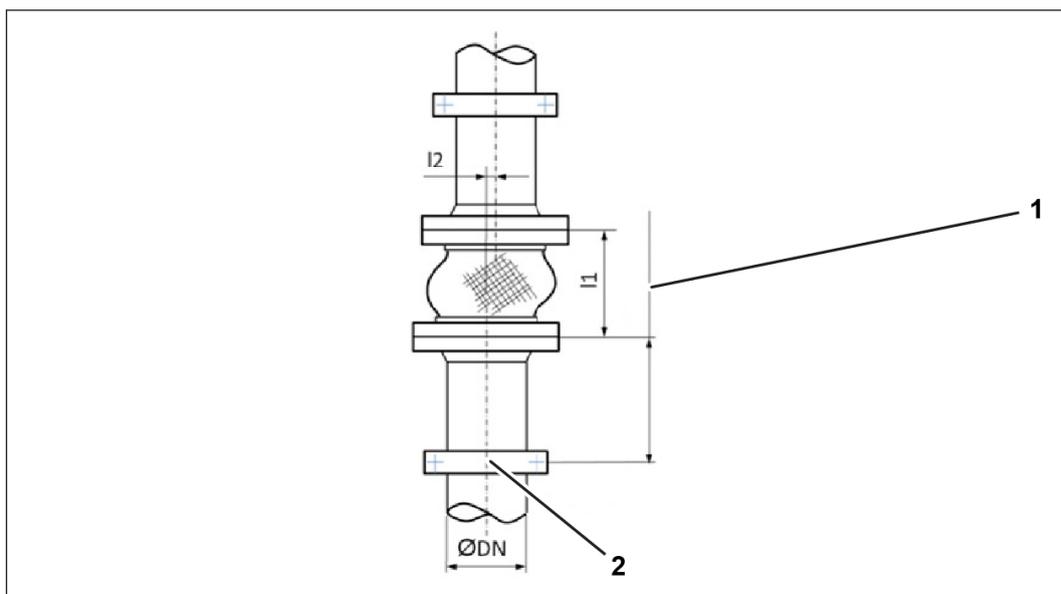
Die aufgeführten Anzugsmomente beziehen sich auf Neukompensatoren. Die Werte können bei Bedarf um 30 % überschritten werden.

Nach ca. 24 Stunden Betriebsdauer ist das Setzen durch Nachziehen der Schrauben auszugleichen.

Es sind die Montagehinweise des Kompensator-Lieferanten zu beachten.

Montageanleitung für Gummikompensatoren bei Gasmotorenaggregaten

Die in Tabellen „Kompensatoren mit Flanschen nach EN 1092-1“ und „Kompensatoren mit Flanschen nach VG 85356 Teil 1“ 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 Abb. 67289 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.



67289-001 Einbau von Kompensatoren

- 1 Maximal 3 x DN
- 2 Festpunkt

Maximal zulässige Einbaumaße	I1	I2
Nenn Durchmesser DN 32 bis DN 65	125 ± 5 mm	3 mm
Nenn Durchmesser DN 80 bis DN 175	150 ± 5 mm	3 mm
Nenn Durchmesser DN 200	175 ± 5 mm	3 mm

Bei dem Einbau des Kompensators sind folgende Punkte zu beachten:

- Vor dem Anschweißen der Gegenflansche den Gummikompensator demontieren.
- Befestigungsschrauben nur vom Gummibalge her einschrauben (Schraubenkopf auf der Seite des Gummibalgs).
- Flansche bis zur metallischen Anlage über Kreuz vorspannen.
- Festpunkt im Abstand von max. 3 x DN vorsehen.
- Torsion (Verdrehung) des Gummikompensators ist nicht zulässig.
- Gummibalge nicht mit Farbanstrich versehen.

Anordnung von Rohrhalterungen

Bei der Anordnung von Kompensatoren immer Rohrhalterungen/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 x DN gewählt werden ⇒ Kapitel 21.5.1 Halterung und Abstützung von Rohrleitungen 315.

Schutzmaßnahmen nach der Montage

Nach der Montage sind die Kompensatoren zum Schutz gegen Schweißhitze (z.B. Schweißspritzer, Schweißperlen) und Außenbeschädigungen abzudecken. Der Kompensator-Balge muss sauber bleiben und darf nicht mit Farbanstrich versehen werden.

Unterdruckbelastung

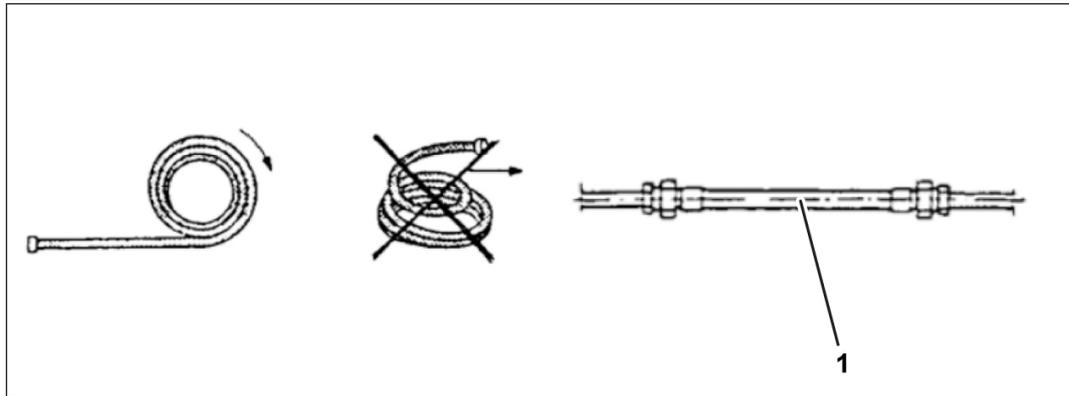
Falls ein Kompensator durch Unterdruck (Vakuum) belastet wird, darf dieser beim Einbau keinesfalls gestreckt werden. Den Kompensator etwas zusammendrücken ist besser, weil er hierdurch vakuumstabiler wird. Es werden hier aber besondere Maßnahmen erforderlich, die angefragt werden müssen. Hier sind die Montage-Hinweise des Kompensator-Lieferanten zu beachten.

20.4.4 Schlauchleitungen

Montage-Hinweise zu den Gummi-Schlauchleitungen DN 8 bis DN 40 (flammfest)

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.

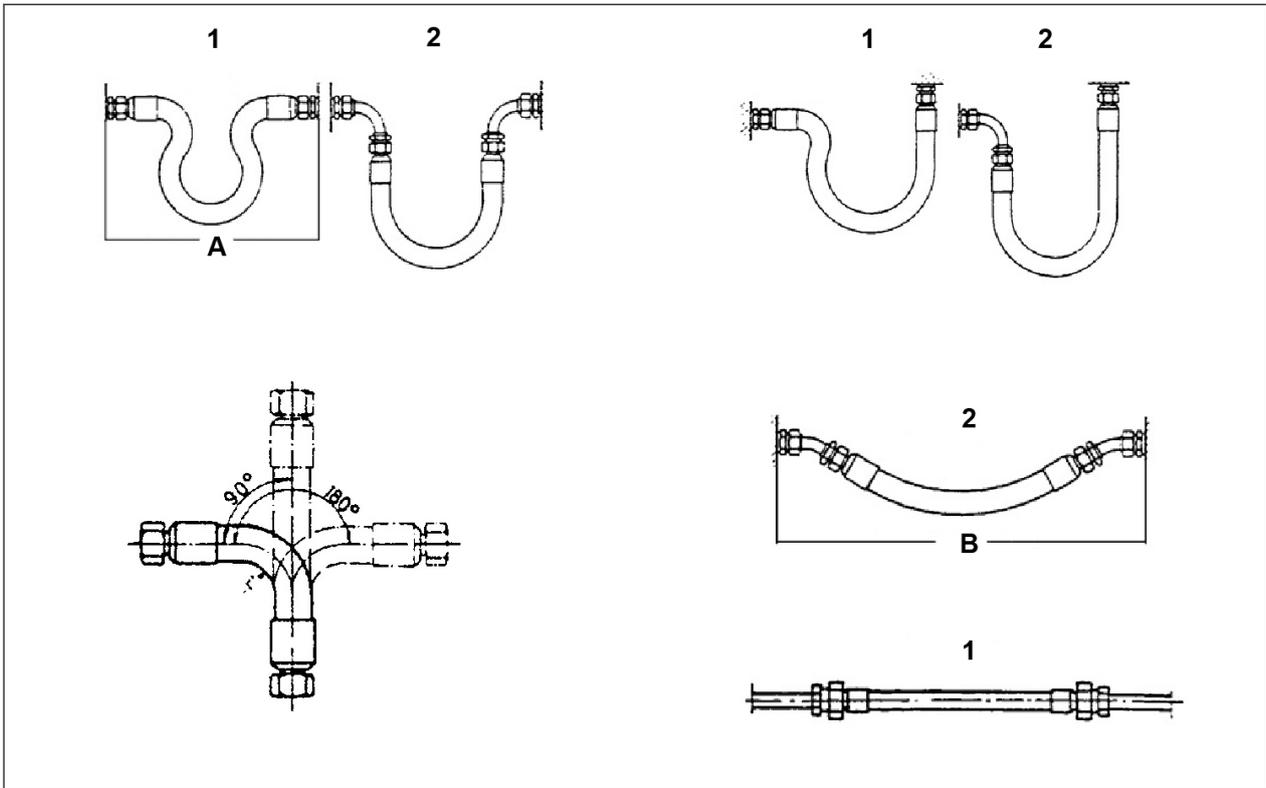


67291-001

- 1 Beste Lagerung = gerade

Anordnung und Einbau

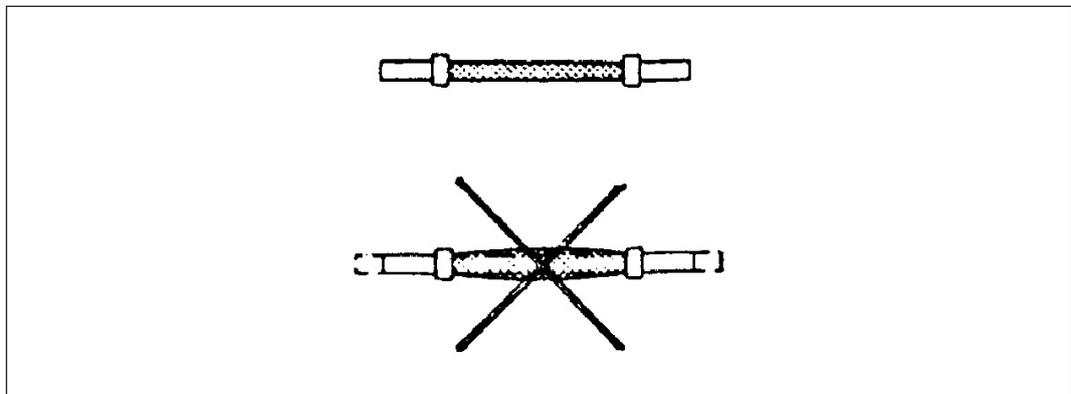
Die Schlauchleitung ist so anzuordnen, dass die Einbaustelle zugänglich und eine Überwachung möglich ist. Schlauchleitungen sollen während des Betriebs nicht in Berührung miteinander oder mit anderen Gegenständen kommen. Der zulässige Biegeradius (Tabelle „Biegeradius“) darf nicht unterschritten werden. Ein Überbiegen oder Strecken des Schlauchbogens ist nicht zulässig.



67290-001 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.

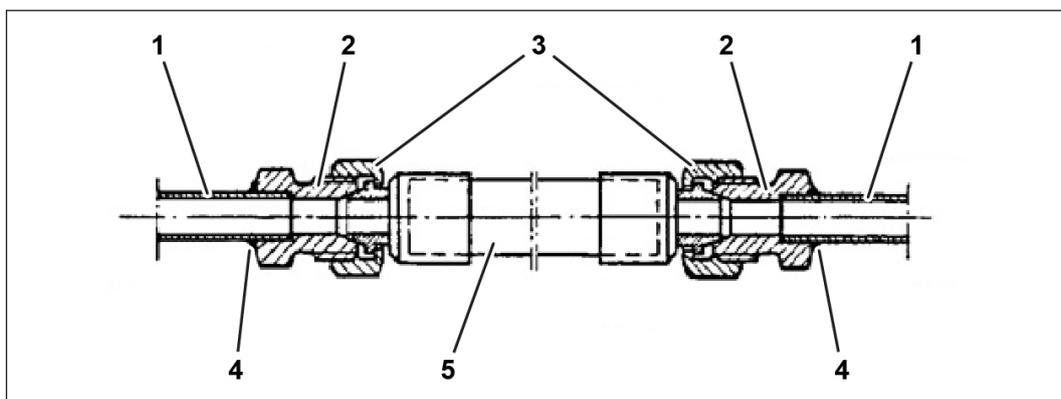


67292-001 Axiale Stauchung

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, Krümmer 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.

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 zulässigen Biegeradien der nachstehend angeführten Tabelle „Kompensator, Abmessung und Auslegung“ beachten. Die Rohrenden der Anschlussrohre müssen genau rechtwinkelig zur Rohrachse abgeschnitten sein.



67293-001 Lötstutzen

- 1 Anschlussrohr
- 2 Lötstutzen
- 3 Überwurfmutter
- 4 Hartlötstelle
- 5 Schlauchleitung

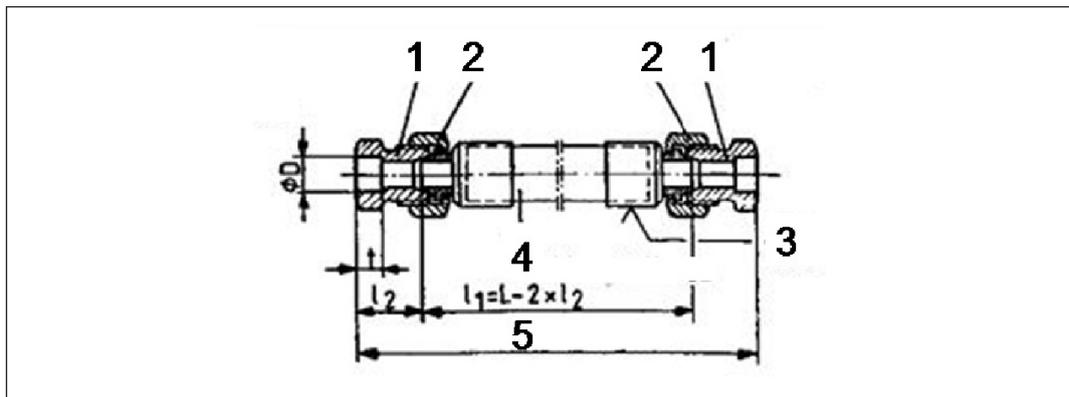
Die in Tabelle „Biegeradius“ angegebenen Mindestbiegeradien beziehen sich auf eine starre Verlegung der Schlauchleitung.

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]	rmin. *1 [mm]	L2 [mm]	2 ØD [mm]	t [mm]	3		4	5	6
							7 [bar]	8 [bar]			
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)	OLNWV 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	OLNWV 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		

68481-001

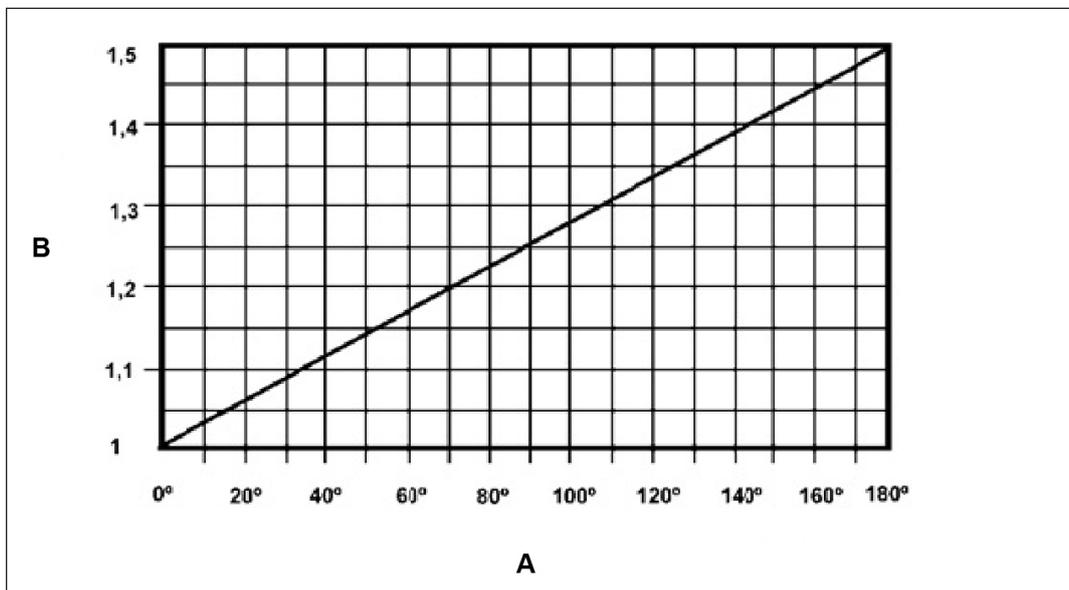
- 1 Betriebsstoff
- 2 Rohrdurchmesser
- 3 Nenndruck
- 4 Prüfdruck
- 5 Temperatur max.
- 6 Schlauchbezeichnung
- 7 Normal
- 8 Bei Abnahme
- 9 Kurzzeitig
- 10 Dieselfkraftstoff
- 11 Dieselfkraftstoff, Wasser und Schmieröl
- 12 Seewasser
- 13 Schmieröl, Druckluft und Wasser
- 14 Diesel
- 15 Wasser
- 16 Schmieröl
- 17 Druckluft



67294-001 Lötstutzen

- 1 Lötstutzen
- 2 Überwurfmutter
- 3 Pressausführung bis DN 60, Schraubausführung ab DN 70
- 4 Schlauchleitung
- 5 Bestell-Länge L

Das nachstehende Diagramm (Abb. 67295) zeigt in Abhängigkeit vom Biegewinkel der Schlauchleitung den Biegefaktor, mit dem der Mindestbiegeradius multipliziert werden muss, um den zulässigen Biegeradius für Dauerbetrieb zu bestimmen.

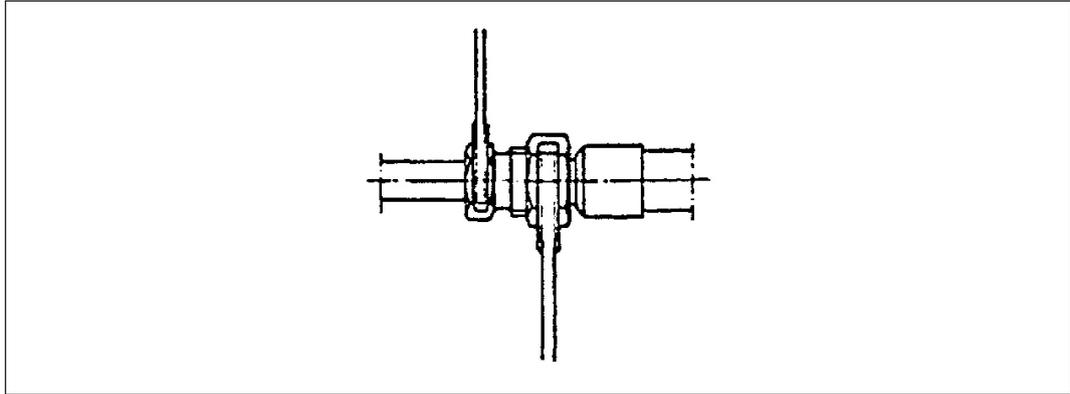


67295-001 Diagramm

- A Biegewinkel
- B Biegefaktor

Montage

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 bis 3 Mal leer bewegen, damit sich dieser verwindungsfrei ausrichten kann und dann auch auf dieser Seite festziehen. Bei Schlauchleitungen mit Verschraubungen zum Gegenhalten unbedingt einen zweiten Schraubenschlüssel verwenden (Abb. 67311).



67311-001 Verschraubungen

Schlauch verdrehungsfrei anschließen.

Bei drehbaren Gewindeanschlüssen zweiten Schlüssel zum Gegenhalten verwenden.

Rohrhalterungen

Bei der Anordnung von Schlauchleitungen sind immer Festpunkte, bzw. Lospunkte vor und hinter der Schlauchleitung vorzusehen. Der Abstand vom Festpunkt, bzw. Lospunkt, zur Schlauchleitung soll nicht größer als 3 x DN gewählt werden.

Schutzmaßnahme nach der Montage

Nach der Montage sind die Schlauchleitungen zum Schutz gegen Schweißhitze (z.B. Hartlotspritzer, Hartlotperlen) und Außenbeschädigungen abzudecken. Die Schlauchleitung muss sauber bleiben und darf nicht mit Farbanstrich versehen werden.

Zulassungsprüfung

Die Schlauchleitungen sind flammenbeständig (flammfest) und erfüllen die Forderungen aller Klassifikationsgesellschaften.

20.4.5 Abgaskompensatoren

Hinweis

Montagehinweise für Axial-Kompensatoren und Axial-Doppel-Kompensatoren für Abgasanlagen von stationären Anlagen

Lagerung

Axial-Kompensatoren sauber und trocken lagern, vor allen Beschädigungen schützen, nicht auf den Balgwellen rollen. Kompensatoren beim Transport immer anheben.

Anordnung und Einbau

Der Kompensator soll so angeordnet werden, dass die Einbaustelle zugänglich und eine Überwachung möglich ist.

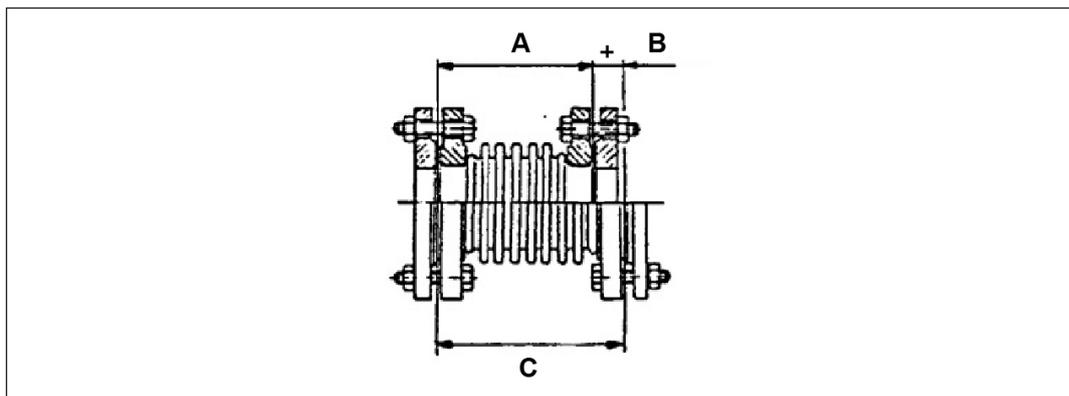
Vor Montagebeginn ist die Einbaulücke für den Kompensator festzulegen, damit die richtige Einbaulänge gewährleistet ist.

Unter Beachtung der maximal zulässigen Bewegungsaufnahmen (die auch im Betriebszustand nicht überschritten werden dürfen) ist der Kompensator so zu montieren, dass dieser während des Einbaus oder auch bei Betrieb durch ungünstige Rohrspannungen nicht auf Torsion beansprucht wird. Der Kompensator soll vorzugsweise auf Zusammendrückung beansprucht werden.

Es ist darauf zu achten, dass auch die zu verbindenden Rohre genau fluchten.

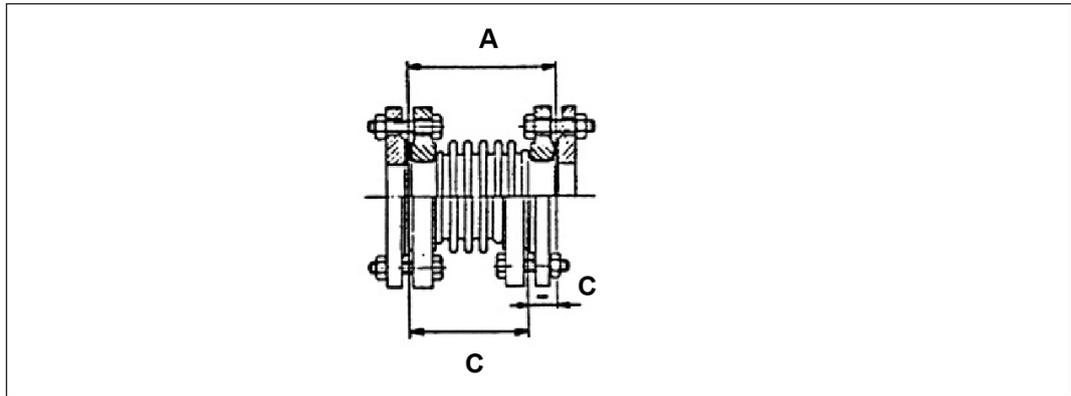
Bei den Längen-Angaben der Kompensatoren sind unterschiedliche Bezeichnungen zu beachten.

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 -) nach Abb. 67312 und Abb. 67313.



67312-001 Kompensator, Einbaulänge > Baulänge

- A Baulänge
- B Streckung
- C Einbaulänge



67313-001 Kompensator, Einbaulänge < Baulänge

- A Baulänge
- C Einbaulänge
- D Zusammendrückung

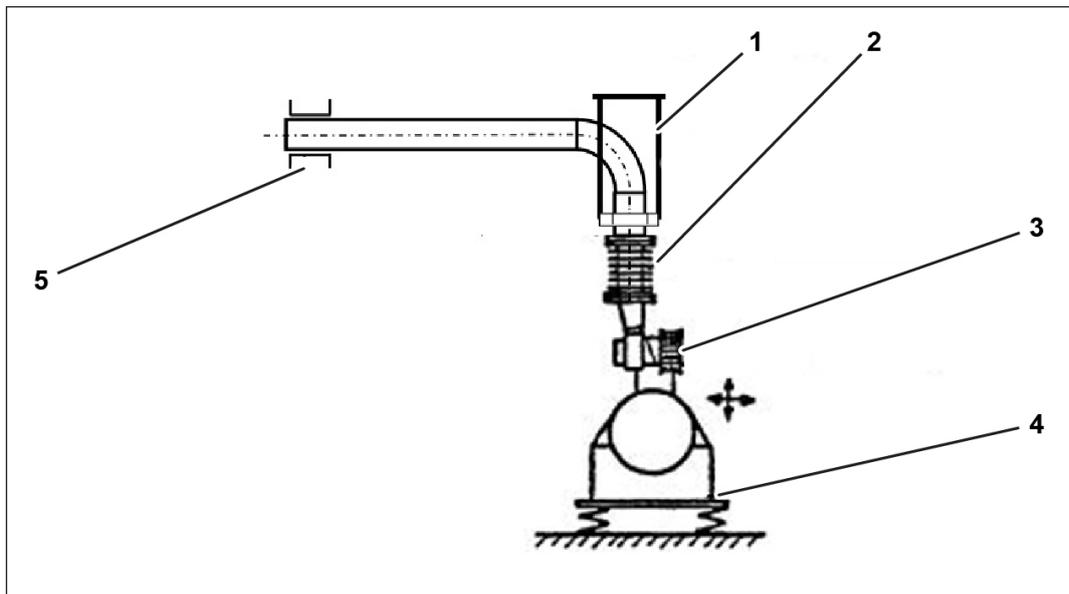
In kaltem Zustand soll der Kompensator jeweils zur Hälfte vorgespannt (gestreckt + oder zusammengedrückt -) montiert werden, je nachdem, wie der Kompensator eingesetzt wird. Dies ist auch dann zu empfehlen, wenn die Axial-Bewegung des Kompensators nicht voll genutzt wird.

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 ± 15 mm Dehnung bzw. Zusammendrückung zu beanspruchen als nur mit 30 mm Dehnung.

Einbau am Motor (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 Kräfteinwirkungen auf das Gehäuse der Abgasturbolader. Zu jeder Auftragsdokumentation wird unter dem Kapitel Montagehinweis eine Montageanleitung für die betreffenden Abgaskompensatoren mitgeliefert.

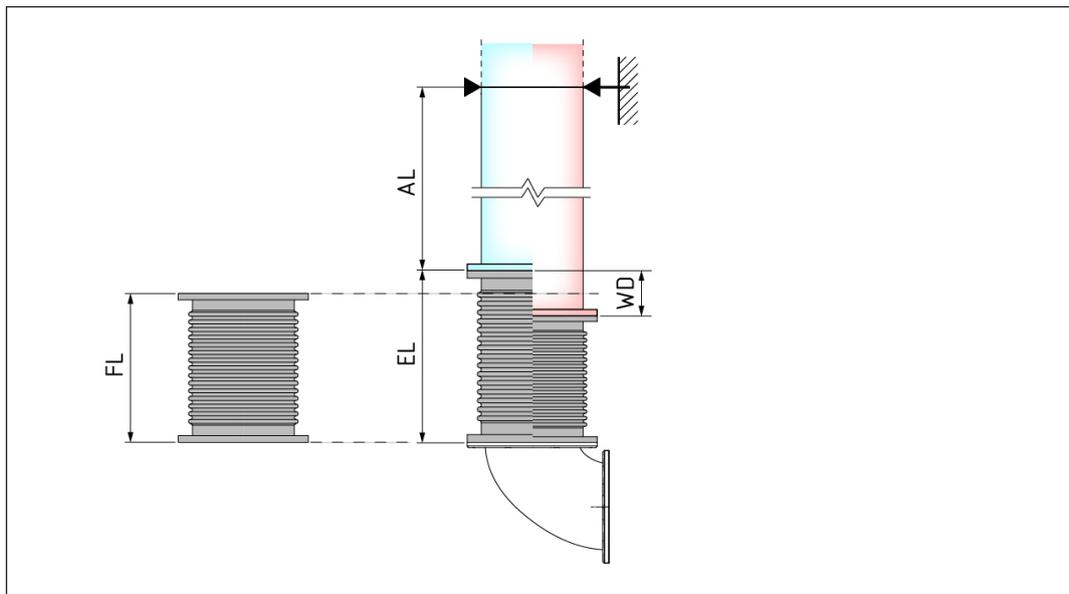
Kompensatoren sind möglichst ohne Lateralversatz einzubauen. Torsion des Kompensators muss auf Fälle vermieden werden. Der erste Lagerungspunkt der Abgasleitung nach dem Kompensator am Motor muss als Festpunkt ausgeführt werden und sollte möglichst nahe am Abgaskompensator liegen, siehe Abb. 67314.



67314-001 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 Abgasohres. In diesen Fällen muss der Kompensator mit Vorspannung eingebaut werden, siehe Abb. 73111.



73111-001 Längenänderung der Abgasleitung (Prinzipdarstellung)

Für die Einbaulänge des Kompensators gilt folgende Beziehung:

$$EL = FL + \frac{WD}{2}$$

73113-001 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.

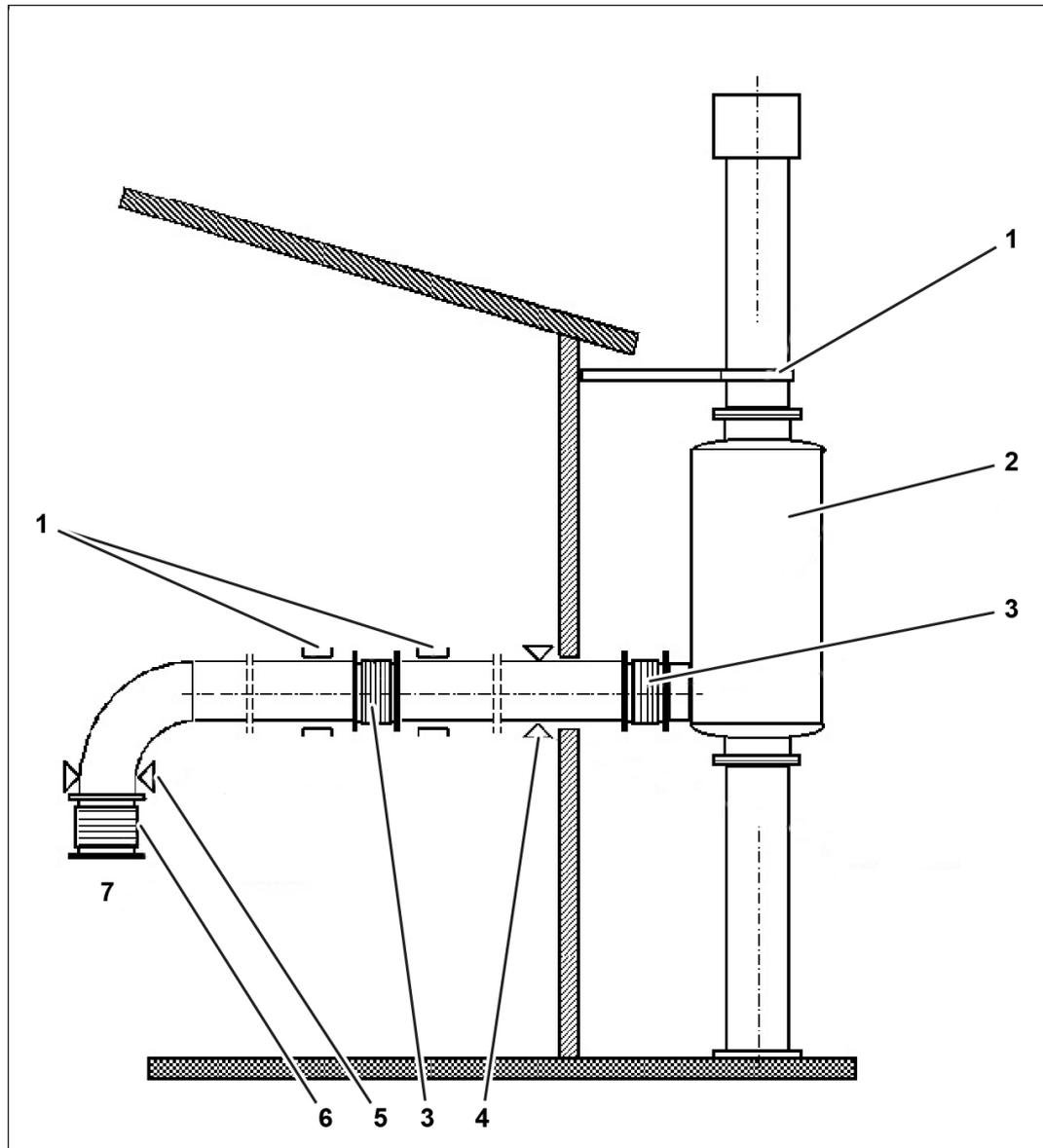
Einbau in die Rohrleitungsstrecke

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 nach Abb. 67315 auskommen.

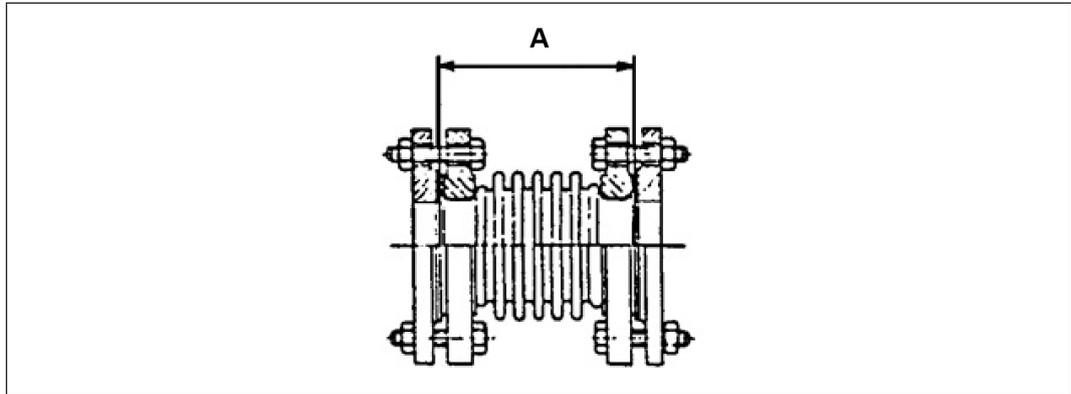


67315-001 Festlager, Loslager und Kompensatoren in einer Abgasleitung

- 1 Lospunkt/Rohrführung
- 2 Schalldämpfer
- 3 Kompensator
- 4 Festpunkt
- 5 Festpunkt nach Motor
- 6 Kompensator nach Motor
- 7 Motor

Montage

Vor der Montage innen und nach der Montage außen kontrollieren, dass die Balgwellen frei von Fremdkörpern (Schmutz, Zement, Isoliermaterial) sind. 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 Abb. 67316.



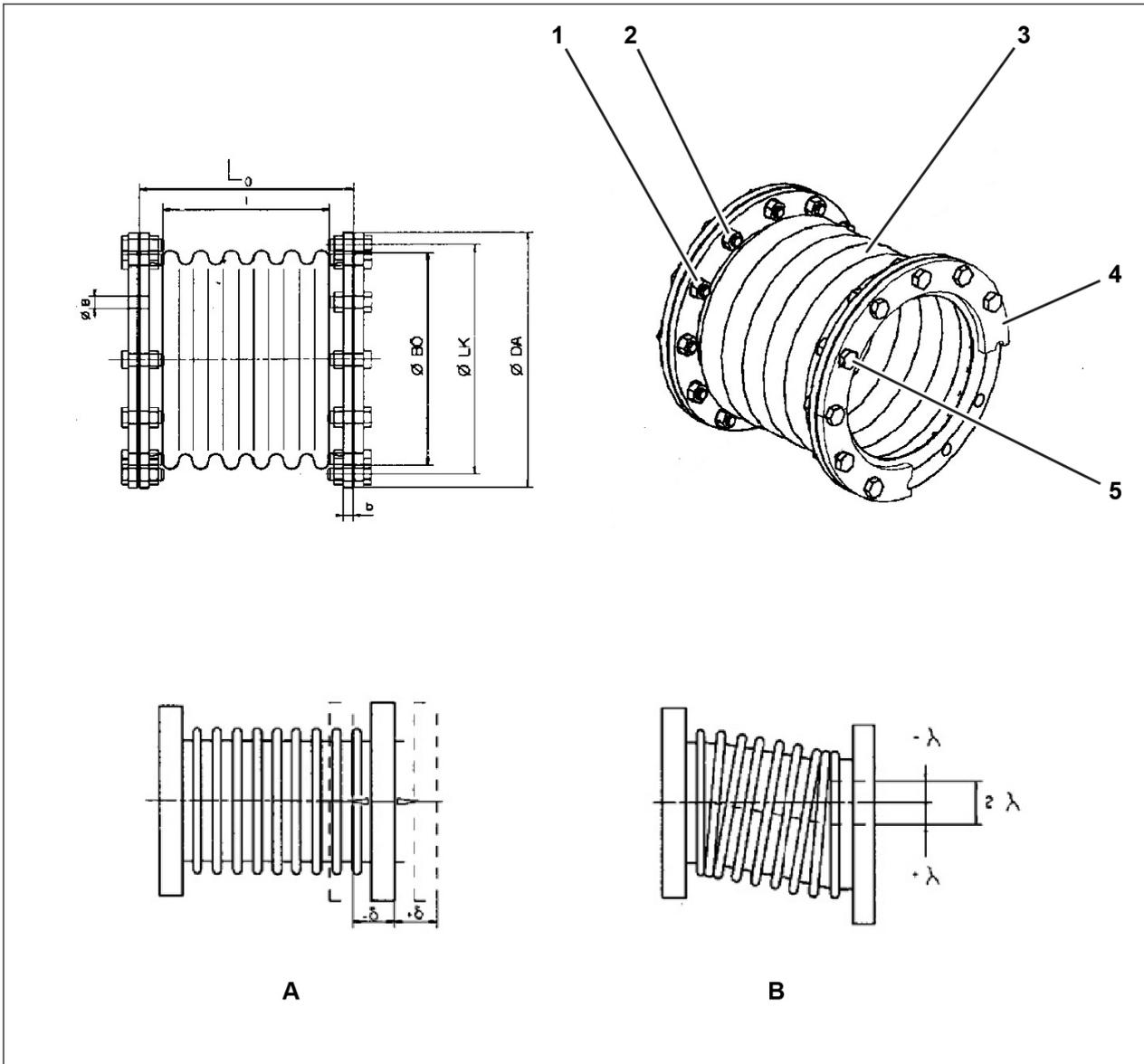
67316-001 Kompensatoren, Baulänge

A Baulänge

Die Schrauben sind mehrmals gleichmäßig über Kreuz anzuziehen; gegebenenfalls nach der ersten Inbetriebnahme etwas nachziehen.

Um Beschädigungen des Kompensators durch Werkzeuge zu vermeiden, ist auf der Balgseite der Schraubenschlüssel zu halten und auf Seite des Gegenflansches der Schraubenschlüssel zu drehen.

Abmessungen und Anschlussmaße in Abb. 67316 und der Tabelle "Kompensator, Abmessung und Auslegung" entnommen werden.



67317-001 Bewegung des Balgs

- A Axiale Bewegung des Balgs
- B Laterale Bewegung des Balgs

3	1					2							*1) 9
	4			5	6	7					8		
	10	11	12			13	14	15	16	17	18	19	
DN	2δN mm	2λN mm	ã 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	265	225	18	202	10	8	M16	6
150	200	101,1	2,0	350	286								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

68482-001 Kompensator, Abmessung und Auslegung

- 1 Technische Daten Axialkompensator
- 2 Flansche DIN 2501 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 [2δN]
- 11 Lateral [2λN]

- 12 Axial/Radial [\hat{a}]
- 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 Tabelle "Temperatureinfluss auf die Bewegungsgröße".

Die Summe aller relativen Beanspruchungen darf 100 % des Temperaturfaktors $K_{\Delta\vartheta}$ nicht überschreiten.

Bei Überlagerung von Wärmedehnung und Schwingung den Weg-Anteil und Amplituden-Anteil jeweils getrennt berücksichtigen. Gemäß folgender Formel:

$$\left(\frac{2 \times \delta_{\text{axial,Design}}}{2 \times \delta_{\text{axial,Nominal}}} \right) + \left(\frac{2 \times \lambda_{\text{lateral,Design}}}{2 \times \lambda_{\text{lateral,Nominal}}} \right) + \left(\frac{\hat{a}_{\text{Design}}}{\hat{a}_{\text{Nominal}}} \right) \leq K_{\Delta\vartheta} \times 100 \%$$

67549-002 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}_{Design}	allseitige Bewegung, Auslegung
\hat{a}_{Nominal}	allseitige Bewegung, Nennwert
$K_{\Delta\vartheta}$	Korrekturwert

Nenn: Nennwert (nominal) aus Tabelle „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 ¹⁾		
Werkstoff	$K\Delta\vartheta$	ϑ
1.4541	1	100 °C
	0,9	200 °C
	0,85	300 °C
	0,8	400 °C
	0,75	500 °C
	0,7	600 °C

¹⁾ Fa. Witzemann, "Kompensatoren" S. 99, 1990

Anordnung von Rohrhalterungen in der Abgasleitung

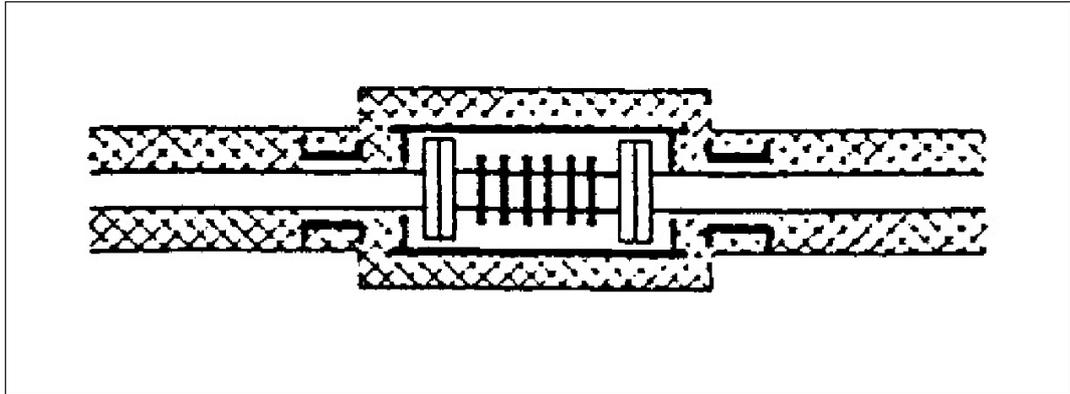
Bei der Anordnung von Kompensatoren sind immer vor und hinter dem Kompensator Rohrhalterungen vorzusehen, da sonst die Leitung seitlich ausbiegen kann. Diese Rohrhalterungen können je nach Einbausituation als Festpunkte und/oder Lospunkte ausgeführt sein. Der Abstand vom Festpunkt bzw. Lospunkt zum Kompensator soll nicht größer $3 \times DN$ der Rohrleitung gewählt werden. Beachten, dass die Festpunkte auch tatsächlich fest sind. Die Elastizität eines Festpunktes darf nicht so groß sein, dass sich die Abgasleitung noch um einige Millimeter bewegt, bevor diese tatsächlich fest wird. Lospunkte (Rohrführungen) sind das Rohr allseitig umfassende Rohrschellen, welche die Leitung spannungsfrei gleiten lassen. Um einen großen Reibungswiderstand zu vermeiden, müssen mögliche Verschmutzungen oder Verstopfungen zwischen Rohrführung und Rohr verhindert werden. Zusätzliche Rohrhalterungen sind je nach Gewicht und Größe der Leitung vorzusehen.

Schutzmaßnahmen nach der Montage

Nach der Montage sind die Kompensatoren zum Schutz gegen Schweißhitze (z.B. Schweißspritzer, Schweißperlen) und Außenbeschädigungen abzudecken. Der Kompensator-Balg muss sauber bleiben und darf nicht mit Farbanstrich versehen werden.

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 Abb. 67318. 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.



67318-001 Isolierung, Kompensator

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.

21 Verlegung von Rohrleitungen

Inhaltsverzeichnis

21.1	Allgemeine Montagehinweise.....	310
21.2	Werkstoffe für Rohrleitungen.....	311
21.3	Hinweise zum Schweißen und Löten von Rohrleitungen.....	313
21.3.1	Schweißen von Stahlrohren.....	313
21.3.2	Hartlöten von Rohren.....	313
21.4	Lösbare Rohrleitungsverbindungen.....	314
21.4.1	Flanschverbindungen.....	314
21.4.2	Schraubverbindungen mit Abdichtung im Gewinde.....	314
21.4.3	Rohrverschraubungen.....	314
21.5	Montage, Isolierung und Oberflächenbehandlung von Rohrleitungen.....	315
21.5.1	Halterung und Abstützung von Rohrleitungen.....	315
21.5.2	Isolierung von Rohrleitungen.....	315
21.5.3	Oberflächenbehandlung, Farbgebung.....	315

21.1 Allgemeine Montagehinweise

- Alle Rohre innen nach dem Biegen, Schweißen und vor dem Verlegen säubern. Rohre gründlich mit einer Säurelösung beizen. Rohre anschließend mit einer alkalischen Lösung (Soda oder dergleichen) reinigen. Rohre mit heißem Wasser ph-neutral spülen und von innen konservieren.
- Vor Inbetriebnahme 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. Eine Druckprüfung durchführen.
- 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 allen Hochpunkten müssen Entlüftungsmöglichkeiten vorhanden sein. An den Tiefpunkten Entleerungshähne und Befüllhähne mit Endkappe und Schlauchanschlussmöglichkeit einbauen. 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.
- Kupfer oder Stahl Frischölleitungen mit ölbeständigen Fittings verpressen. Handelsübliche Fittings für den Sanitärbereich sind nicht zulässig, da der Dichtungswerkstoff nicht ölbeständig ist.

21.2 Werkstoffe für Rohrleitungen

Unten stehende Tabelle zeigt eine Übersicht der Werkstoffe für die Rohrleitungen für die unterschiedlichen Medien:

Betriebsstoff	Unterteilung	Rohrleitungswerkstoff
Destillatkraftstoff		Stahl, Kupfer
Mischkraftstoff		Stahl
Erdgas, Grubengas		Stahl, verzinkter Stahl, zwischen Gasregelstrecke und Motor. Stahlleitungen oder Edelstahlleitungen, diese Leitungen müssen absolut "sauber" sein.
Biogas, Klärgas, Deponiegas, Erdölbeleitgas		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.
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, Erdölbeleitgas	Edelstahl (z.B. 1.4571)
	Vor Katalysator	Immer Edelstahl (z.B. 1.4571)
Kondensat	Bei Gehalt von Säurebestandteilen	Edelstahl
	Rest	Stahl, Kupfer, verzinkter Stahl

Bei Verwendung von anderen als in obenstehender Tabelle angegebenen Werkstoffen ist Rücksprache im Stammhaus erforderlich.

21.3 Hinweise zum Schweißen und Löten 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 Verwendung. Die Voraussetzung für die Güte einer Schweißverbindung ist das Zusammenpassen, die einwandfreie Zentrierung der Rohrenden gegeneinander, die Schweißkantenvorbereitung und das gewählte Schweißverfahren.

Achtung: 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 ⇒ Kapitel 20.1.2.

21.3.1 Schweißen von Stahlrohren

Hier sind folgende Punkte zu beachten:

Die Rauigkeit der Trennschnitte darf max. Rz 100 nicht überschreiten.

Zugelassene Schweißverfahren nach

DIN ISO 857-1, E-Hand, MIG oder WIG

DIN EN 439, Argon-Schutzgas, zum Wurzelschutz Durchfluss 5 bis 7 Liter/min. Argon

Schweißnahtvorbereitung nach

DIN EN ISO 9692-1

Richtlinie für die Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten

DIN EN ISO 5817

Schweißzusatzwerkstoffe

- E-Hand: Stabelektrode DIN EN ISO 2560
- WIG: Massivstab DIN EN 440, DIN EN 439, DIN EN 1668
- MIG: Drahtelektrode DIN EN 440, DIN EN 439, DIN EN 1668

21.3.2 Hartlöten von Rohren

Nach Werknorm Hartlötverbindungen H0340 herstellen.

21.4 Lösbare Rohrleitungsverbindungen

21.4.1 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 2501, 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.

21.4.2 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. Dichtungsmittel in Form von Hanf mit Dichtungskitt oder Kunststoff-Dichtbänder verwenden.

Bei Schmieröleleitungen, Kraftstoffleitungen und Gasleitungen Kunststoffdichtband verwenden.

21.4.3 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 bis 38 mm verwenden. Je nach Rohrwanddicke und Außendurchmesser Verstärkungshülsen einsetzen. Das Aufziehen des Progressivrings mit Sorgfalt durchführen.

21.5 Montage, Isolierung und Oberflächenbehandlung von Rohrleitungen

21.5.1 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.

21.5.2 Isolierung von Rohrleitungen

Je nach der Temperatur des durchfließenden Betriebsstoffs die Rohrleitungen mit einer Wärmeisolierung als Berührungsschutz versehen. Die Isolierticken 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.

21.5.3 Oberflächenbehandlung, Farbgebung

Alle Rohrleitungen außer Edeldahlleitungen grundsätzlich mit einem Anstrich versehen. Rohre gründlich reinigen. Rohre mit einem Grundanstrich, Trockenfilmdicke ca. 30 µm, versehen. Danach Decklack, mit Schichtdicke ca. 40 µm auftragen.

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.

Rohre die eine Wärmeisolierung erhalten nur mit einem Grundanstrich versehen.

Stahlabgasrohre erhalten einen warmfesten Anstrich. Ein hochhitzebeständiger Farb-anstrich aus Zinksilikat, vorzugsweise zwei Schichten mit je 40 µm Trockenfilmdicke, versehen.

22 Arbeitssicherheit, Unfallverhütung, Umweltschutz

Inhaltsverzeichnis

22.1	Übersicht Arbeitssicherheit, Unfallverhütung, Umweltschutz.....	318
22.2	Unfallverhütungsvorschriften bei elektrischen Anlagen.....	319
22.3	Schutzmaßnahmen und Schutzeinrichtungen.....	320
22.3.1	Not-Halt-Einrichtungen.....	320
22.3.2	Berührungsschutz.....	320
22.3.3	Elektrische Schutzmaßnahmen.....	320
22.3.4	Lärmschutz.....	321
22.3.5	Brandschutz, Fluchtplan.....	321
22.4	Gerüste, Bühnen, Leitern.....	322
22.5	Lagerung und Entsorgung von Gefahrgut.....	323
22.6	Risikobeurteilung.....	324

22.1 Übersicht Arbeitssicherheit, Unfallverhütung, Umweltschutz

Bei der Planung, Montage, Betrieb und Wartung einer Anlage mit Motoraggregaten sind die allgemeinen Regeln für Arbeitssicherheit und Unfallverhütung zu beachten.

Für die Sicherheit von Arbeitsmitteln und überwachungsbedürftigen Anlagen gilt seit dem 03. Okt. 2002 in der EU die Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV).

Grundlegende Sicherheitsanforderungen und Gesundheitsschutzanforderungen für die Konstruktion und den Bau von Maschinen sind in der EU-Richtlinie 2006/42/EG festgelegt. Hier soll im Besonderen auf einige Maßnahmen hingewiesen werden.

Die Sicherheitsvorschriften sind Bestandteil der Aggregatedokumentation und/oder Anlagendokumentation. Sicherheitsvorschriften müssen bei Aufbau, Wartung und Betrieb der Anlagen zwingend eingehalten werden.

22.2 Unfallverhütungsvorschriften bei elektrischen Anlagen

Unfallverhütungsvorschriften beachten!

Insbesondere die DGUV-Vorschrift 1, Unfallverhütungsvorschrift-Grundsätze der Prävention und die DGUV-Vorschrift 3, elektrische Anlagen und Betriebsmittel, sind zu beachten. Für das Errichten von Starkstromanlagen gilt die VDE 0100 (DIN VDE 0100 xxx/IEC 60364 x xxx) bzw. die VDE 0101 (DIN EN 61936-1/IEC 61936-1). Für den Betrieb von Starkstromanlagen gilt die DIN EN 50191, DIN EN 50110-1 bzw. die VDE 0105.

Hinweis

Elektrische Anlagen und Starkstromanlagen dürfen nur von geschultem Personal errichtet und betrieben werden. Für die Inbetriebsetzung von Mittelspannungsgeneratoren muss das Personal speziell dafür geschult/ausgebildet sein.

22.3 Schutzmaßnahmen und Schutzeinrichtungen

22.3.1 Not-Halt-Einrichtungen

Neben den Not-Halt-Schaltern an jedem Aggregat sollte im Maschinenraum an einem gut zugänglichen Platz ein gesicherter Not-Halt-Schalter vorhanden sein. Den Not-Halt-Schalter installiert man vorzugsweise in der Nähe der Fluchttür. Der Not-Halt-Schalter ermöglicht das Stillsetzen der Anlage bei Gefahr.

22.3.2 Berührungsschutz

Alle Komponenten mit beweglichen Teilen sind mit entsprechenden Schutzeinrichtungen zu versehen. Eine direkte Berührung mit rotierenden Teilen darf nicht möglich sein und Schutzeinrichtungen verhindern die Möglichkeit einer unbeabsichtigten Berührung beim Betrieb. In Maschinenräumen sind bewegliche Teile in erster Linie die Motoraggregate mit den angetriebenen Generatoren, Kompressoren und Elektropumpen. Die Schutzeinrichtungen dürfen nur bei Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten abgenommen werden. Bei Ausführung dieser Arbeiten sind die Maschinen so von den Starteinrichtungen zu trennen, dass ein unbeabsichtigtes Starten der Maschine ausgeschlossen ist.

Im Betrieb der Aggregate erreichen Medien führende Leitungen mitunter hohe Temperaturen. Direkte Berührung der Leitung ohne Schutzeinrichtung führt zu Verbrennungen an der Haut. Insbesondere Kühlwasserleitungen und Abgasleitungen sind daher mit einer Wärmeisolierung bzw. mit einem ausreichenden Berührungsschutz versehen.

22.3.3 Elektrische Schutzmaßnahmen

Die VDE-Bestimmung VDE 0100 schreibt Schutzmaßnahmen zum Schutz gegen gefährliche Berührungsspannungen vor. Sie unterscheidet:

- Schutz gegen direktes Berühren.
- Aktive Teile von elektrischen Betriebsmitteln sind Teile, die im Betrieb Spannung führen. Diese müssen entweder in ihrem ganzen Verlauf isoliert oder durch ihre Bauart, Lage, Anordnung oder durch besondere Vorschriften gegen direktes Berühren geschützt sein.
- Schutz bei indirektem Berühren.
- Trotz einwandfrei hergestellter Betriebsmittel kann es durch Alterung oder Verschleiß zu Isolationsfehlern kommen. Berührbare, leitfähige Teile nehmen zu hohe Berührungsspannungen (ab 50 V) an.

An aktiven Teilen elektrischer Anlagen nur im spannungsfreien Zustand arbeiten.

Zur Herstellung und Sicherung des spannungsfreien Zustandes sind die 5 Sicherheitsregeln zu beachten:

- Freischalten
- Gegen Wiedereinschalten sichern
- Spannungsfreiheit feststellen
- Erden und Kurzschließen
- Benachbarte, unter Spannung stehende Teile abdecken oder abschränken

Die Arbeitsstelle darf erst nach Durchführen aller 5 Sicherheitsregeln von der verantwortlichen Aufsichtsperson zur Arbeit frei gegeben werden. Nach Abschluss der Arbeiten müssen die Sicherheitsmaßnahmen wieder aufgehoben werden. Die Anweisung zum Einschalten darf erst gegeben werden, wenn von allen Arbeitsstellen die Freigabe der Anlage und von sämtlichen Schaltstellen die Einschaltbereitschaft gemeldet ist.

22.3.4 Lärmschutz

Bei Betrieb der Aggregate erreicht der Schalldruckpegel im Maschinenraum einen Wert von über 100 dB(A). Auf Dauer führt das bei Personen, die sich ohne Schutzmaßnahmen im Maschinenraum aufhalten, zu einem Gehörschaden. Daher ist im Maschinenraum bei Betrieb der Aggregate ein Gehörschutz zu tragen. An den Eingängen zum Maschinenraum sind Hinweisschilder zum Tragen eines Gehörschutzes anzubringen.

22.3.5 Brandschutz, Fluchtplan

Die Brennstoffe für die Motoraggregate, gasförmig oder flüssig, sowie das in den Motoren verwendete Schmieröl können sich in der Atmosphäre leicht entzünden. Unkontrolliertes Austreten von Brennstoffen vermeiden bzw. überwachen. Getränkte Putzlappen, mit Öl oder Kraftstoff, sofort entsorgen. Da diese bei Entzündung leicht Ursache für einen größeren Brand sind. Stationäre Feuerlöscheinrichtungen je nach sicherheitstechnischen Auflagen an die Ausführung der jeweiligen Anlage ausführen. Stationäre Feuerlöscheinrichtungen mit entsprechenden Warneinrichtungen und Auslöse-Einrichtungen vorsehen. Der Standort von Feuerlöscheinrichtungen wie z.B. Handfeuerlöscher, Hydranten usw. muss durch Hinweisschilder gekennzeichnet sein.

Die Breite (mind. 600 mm) und Höhe (mind. 2000 mm) ist für die Fluchtwege zu beachten. Für den Fall eines Feuers im Maschinenraum müssen die Fluchtwege gekennzeichnet sein. Ein Fluchtplan muss vorhanden sein, befindet sich der Maschinenraum innerhalb eines größeren Gebäudes.

Die gesetzlichen Vorschriften sind zu beachten.

22.4 Gerüste, Bühnen, Leitern

- Bei der Montage von Anlagen sind in der Regel Komponenten in solchen Höhen zu montieren, dass Gerüste bzw. Bühnen erforderlich sind. Gerüste und Bühnen müssen mit Schutzgeländern versehen sein. Bei der Ablage von Komponenten auf dem Gerüst muss die Belastbarkeit ausreichend sein.
- Sind öfters zu bedienende Armaturen oder abzulesende Instrumente in normal nicht erreichbarer Höhe montiert, müssen stationäre Begehungsbühnen vorgesehen werden.
- Es dürfen nur vom TÜV zugelassene Leitern verwendet werden.
- Bei der Aufstellung von Motoren der Baureihe TCG 2032 sind grundsätzlich bauseits Wartungsbühnen für den Motor vorzusehen.

22.5 Lagerung und Entsorgung von Gefahrgut

Kraftstoffe, Schmieröle, Kühlwasseraufbereitungsmittel, Batteriesäure, Reinigungsmittel sind Gefahrgüter, die in größeren Behältern, Fässern oder anderen Gebinden im Maschinenraum oder angrenzenden Räumen gelagert werden. Die Lagerungsorte hierfür sind so zu gestalten, dass diese Substanzen auch bei Schädigung des Behälters nicht in das Abwassersystem gelangen können.

22.6 Risikobeurteilung

Für alle Aggregate sind Risikobeurteilungen durchgeführt und dokumentiert. Risikobeurteilungen stellen die Möglichkeiten einer Gefährdung dar und bewerten diese. Dabei betrachtet man alle Lebensphasen eines Aggregates oder einer Anlage. Die Lebensphasen sind Montage, Inbetriebnahme, Betrieb, Wartung und Demontage und gegebenenfalls weitere. In den Risikobeurteilungen sind die zu ergreifenden Maßnahmen zur Verringerung der Gefährdung dargestellt.

Maßnahmen aus der Risikobeurteilung sind konstruktiv, funktional, steuerungstechnisch umgesetzt oder sie sind organisatorisch umzusetzen. Organisatorische Maßnahmen sind im Rahmen der Betriebsanleitung dokumentiert. Die Risikobeurteilung stellt ein internes Herstellerdokument dar und ist nicht Bestandteil der Betriebsanleitung.