

**Cercl
Air**

Schweizerische Gesellschaft der Lufthygiene-Fachleute
Société suisse des responsables de l'hygiène de l'air
Società svizzera dei responsabili della protezione dell'aria
Swiss society of air protection officers

Cercl'Air-Empfehlung Nr. 31f

Vollzugsblätter Emissionsüberwachung

Stationäre Verbrennungsmotoren (BHKW/WKK)

*Hilfsmittel zum Vollzug der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) bei stationären Anlagen
(Stand: November 2022)*

Inhaltsverzeichnis

1	Orientierung.....	3
1.1	Gemeinsames Verständnis der Fachstellen	3
1.2	Rechtliche Grundlagen	4
1.3	Emissionsgrenzwerte	5
1.3.1	Emissionsgrenzwerte nach LRV für stationäre Motoren	5
1.3.2	Verschärfte Emissionsgrenzwerte für Motoren gemäss kantonaler Massnahmenplanung	5
1.4	Messarten.....	6
1.4.1	VDI-Messung	6
1.4.2	Service-Messung	6
2	Vollzug.....	7
2.1	Konzept.....	7
2.1.1	Abnahmemessung.....	7
2.1.2	Periodische Messung.....	7
2.2	Messungen	7
2.3	Brennstoffkontrolle.....	8
2.4	Berichterstattung.....	8
2.5	Mängelbehebung, Sanierungsfristen.....	9
3	Weitere Hinweise	9
	Anhang: Allgemeines Technisches Grundlagenverständnis	10

STATIONÄRE VERBRENNUNGSMOTOREN (BHKWW/WKK)

1 ORIENTIERUNG

1.1 GEMEINSAMES VERSTÄNDNIS DER FACHSTELLEN

Stationäre Verbrennungsmotoren oder Blockheizkraftwerke (BHKW) können ein unstabiles Emissionsverhalten aufweisen und dabei erhebliche Emissionen verursachen. So kann beispielsweise eine verstellte Lambda-sonden-Spannung oder der Ausfall des Drei-Wege-Katalysators eine bis dreissigfache Überschreitung des Stickoxid-Grenzwertes (NO_x) verursachen. Wird eine Grenzwertüberschreitung spät festgestellt oder länger nicht behoben, sind bedeutende Schadstofffrachten die Folge. Mit der dauerhaften Einhaltung der Grenzwerte können deutliche Mehremissionen vermieden werden. Voraussetzung dafür ist eine regelmässige Kontrolle der Emissionen bzw. der Motoreneinstellung und der Abgasnachbehandlung.

Die vorliegende Vollzugshilfe enthält die Haltung des Cercl'Air bezüglich Art, Umfang und Periodizität von Kontrollen bei stationären Verbrennungsmotoren und strebt dadurch eine Vereinheitlichung des Vollzugs an.

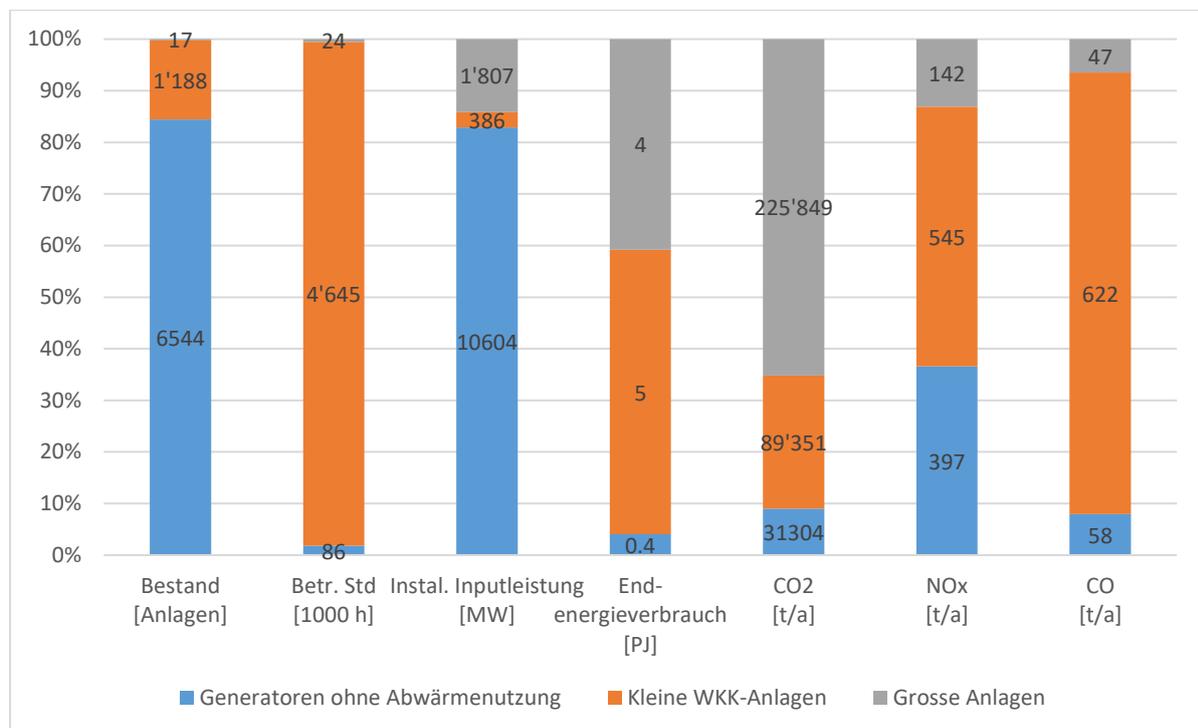


Abbildung 1: Übersicht über Bestand, Betriebsstunden, installierte Leistung, Endenergieverbrauch sowie CO₂-, NO_x- und CO-Emissionen nach Anlagentyp. (Quelle: Emissionsinventar stationäre Motoren und Gasturbinen - Basisjahr 2019 und Zeitreihe 1990-2060¹).

Generatoren ohne WKK (Wärme-Kraft-Kopplung) stellen zum grossen Teil Notstromaggregate dar, die nach der Cercl'Air Empfehlung Nr. 32 beurteilt werden.

¹ [Infras 2022: Emissionsinventar stationäre Motoren und Gasturbinen Basisjahr 2019 und Zeitreihe 1990-2060. Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt, Bern.](#)

Geltungsbereich

Die vorliegende Vollzugshilfe gilt für alle stationären Verbrennungsmotoren unabhängig von ihrer Leistung. Grundsätzlich können aus dieser Vollzugshilfe keine Rechtsansprüche abgeleitet werden. Die Vollzugsbehörden können abweichende Massnahmen festlegen, wie beispielsweise Grenzwert-Verschärfungen. Motoren von Notstromgruppen, die während höchstens 50 Stunden pro Jahr betrieben werden, sind in der Cercl'Air Empfehlung Nr. 32 abgehandelt.

Beim Betrieb des stationären Verbrennungsmotors mit Gasen aus der Vergasung von Holzbrennstoffen gelten die Anforderungen nach Anhang 2 Ziffer 82 LRV (stationäre Verbrennungsmotoren) sofern die Brennstoffe den Anforderungen nach Anhang 5 Ziffer 41 Absatz 1 Buchstabe d LRV entsprechen.

Die Grenzwerte nach Anhang 2 Ziffer 82 LRV können, falls erforderlich, mit Grenzwerten nach Anhang 1 LRV (z.B. für Benzol) sowie nach Art. 4 LRV (z.B. für Dioxin) ergänzt werden².

Hinweis:

Wenn

- Restholz gemäss Anhang 5 Ziffer 31 Absatz 1 Buchstabe c LRV oder
- unbehandeltes Altholz in Form von Einwegpaletten aus Massivholz gemäss Anhang 5 Ziffer 31 Absatz 1 Buchstabe d Ziffer 2 LRV oder
- Holz, das gemäss Anhang 5 Ziffer 31 Abs. 2 LRV nicht als Holzbrennstoff gilt, vergast wird, gilt das erzeugte Gas als Abfallgas und ist gemäss Anhang 5 Ziffer 41 Absatz 2 LRV in einer Anlage für Siedlungs- und Sonderabfälle gemäss Anhang 2 Ziffer 71 LRV zu verbrennen.

1.2 RECHTLICHE GRUNDLAGEN

- Allgemeine Anforderungen: Anhang 2 Ziffer 82, LRV
- Bezüglich Dieselmotoren gelten Anhang 1 Ziffer 82 und 83, LRV
- Bezüglich weiterer Schadstoffe wie z.B. Formaldehyd, Benzol oder Dioxin gilt ebenfalls Anhang 1 LRV resp. Art. 4 LRV
- Kantonale Bestimmungen (Massnahmenplan)
Für stationären Verbrennungsmotoren sind in verschiedenen Kantonen verschärfte Anforderungen festgelegt worden.

² Bis anhin wurden noch kaum Untersuchungen zu Inhaltsstoffen von Gasen aus der Vergasung von Holzbrennstoffen durchgeführt. Aufgrund der chemischen Eigenschaften von Holz sowie dem Prozess der Vergasung sind jedoch bei der Verbrennung dieser Gase Emissionen von lufthygienisch problematischen Schadstoffen nicht ausgeschlossen.

1.3 EMISSIONSGRENZWERTE

1.3.1 EMISSIONSGRENZWERTE NACH LRV FÜR STATIONÄRE MOTOREN

Die Emissionsgrenzwerte beziehen sich auf einen Sauerstoffgehalt im Abgas von 5 Volumen-Prozent (% vol).

Brennstoff		NH ₃ ^(a) [mg/m ³]	Dieseleruss ^(b) [mg/m ³]	CO [mg/m ³]	NO _x als NO ₂ [mg/m ³]	Gesamtstaub [mg/m ³]
Erd-/Flüssiggas	bis 100 kW	30		650	250	10
	über 100 kW	30	-	300	150	10
	über 1MW	30		300	100	10
Bio-/Klärgas Holzgas	bis 100 kW	30		1300	400	10
	über 100 kW	30	-	650	250	10
	über 1MW	30		300	100	10
(Bio-)Diesel, Pflanzenöl ^(c)	bis 100 kW	30	5	650	400	10
	über 100 kW	30	5	300	250	10
	über 1MW	30	5	300	250	10

- (a) Nur bei Entstickungs-Einrichtungen.
- (b) Der Dieselerussgrenzwert von 5 mg/m³ gilt ab einem Massenstrom von 25 g/h (Anh. 1, Ziff. 32 und Ziff. 82 LRV). Aus messtechnischen Gründen wird Dieseleruss als Gesamtstaub gemessen, da dieser Staub zu über 90 % aus Dieseleruss besteht.
- (c) Gemäss Anhang 5, Ziffer 13 LRV können auch andere flüssige Brennstoffe eingesetzt werden, sofern sie keine höheren oder anderen Schadstoff-Emissionen hervorrufen als dies beim Heizöl "Extra leicht" der Fall ist sowie die entsprechenden Anforderungen an die Schadstoff-Gehalte im Brennstoff erfüllen. Zündstrahlmotoren werden in der Regel der Brennstoffkategorie (Bio-)Diesel und Pflanzenöl zugeteilt, da diese wahlweise mit 15% bis 100% Diesel betrieben werden können.

Hinweis: Messungen von Formaldehyd an einzelnen Anlagen weisen darauf hin, dass der Grenzwert überschritten werden kann (Anh. 1, Ziff. 71 und Ziff. 72 LRV).

1.3.2 VERSCHÄRFTE EMISSIONSGRENZWERTE FÜR MOTOREN GEMÄSS KANTONALER MASSNAHMENPLANUNG

Die Kantone sind gemäss Art. 31 LRV verpflichtet bei zu erwartenden oder vorhandenen übermässigen Immissionen Massnahmenpläne zu erarbeiten. Zusätzliche oder verschärfte Anforderungen an stationäre Verbrennungsmotoren sind möglich und in einigen Kantonen und Städten bereits erlassen worden.

1.4 MESSARTEN

1.4.1 VDI-MESSUNG

Als 'VDI-Messung' wird das Vorgehen gemäss BAFU-Emissions-Messempfehlungen von 2020 verstanden. Das Messprogramm (Parameter, zu überprüfende Grenzwerte, Messdauer) ist nach der BAFU-Emissions-Messempfehlung³ sowie nach der Cercl'Air-Empfehlung Nr. 29⁴ durchzuführen.

Unter gewissen Umständen sind für periodische Messungen Service-Messung zulässig (vgl. dazu 2.1.2).

1.4.2 SERVICE-MESSUNG

Unter Service-Messungen versteht man Messungen mit Messgas-Computer für Oel-/Gasfeuerungen. Sie müssen mit folgenden elektrochemischen Sensoren ausgerüstet sein:

Kohlenmonoxid (CO), Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO₂) und Sauerstoff (O₂).

a) Messdauer

10 Minuten pro massgeblichen Betriebszustand (kontinuierliche Messung: Abtastrate resp. Aufzeichnungsintervall ≤30 s) oder als Mittelwert von 5 Einzelmessungen im Abstand von 2.5 Minuten.

b) Messbedingungen

1. Der Messgas-Computer muss mit einem geeigneten Kalibriergas vor und nach der Messung vor Ort überprüft werden. Das eingesetzte Prüfgas muss Konzentrationen von CO und NO aufweisen, welche eine Kalibration des Messgas-Computers im Bereich des Grenzwertes ermöglicht. Das Überprüfen des Messgas-Computers vor und nach der Messung ist zu dokumentieren und dem Messprotokoll beizulegen.
NO₂-Sensoren müssen mindestens jährlich überprüft und gegebenenfalls ersetzt werden.
2. Bei der Überprüfung von Magermotoren muss der Messgas-Computer in der Lage sein, sowohl Stickstoffmonoxid (NO) wie auch Stickstoffdioxid (NO₂) zu bestimmen.
3. Es dürfen nur von METAS für die amtlichen Messungen an Öl- und Gasfeuerungen zugelassene Messgeräte (gemäss Verordnung des EJPD über Abgasmessmittel für Feuerungsanlagen VAMF⁵) verwendet werden, welche keine störenden Querempfindlichkeiten aufweisen.
4. Wenn während der Messung der stationäre Verbrennungsmotor einreguliert wird, ist vor und nach der Einregulierung je eine zusätzliche Messung durchzuführen (je ein zehnminütiger Mittelwert) und im Rapport einzutragen.

³ BAFU 2013: Emissionsmessung bei stationären Anlagen. Emissions-Messempfehlungen. 2. Fassung in geändertem Layout vom Dezember 2020. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1320: 160 S.

⁴ Checklisten Emissionsmessungen, Hilfsmittel zu den Emissionsmessungen der gebräuchlichsten stationären messpflichtigen Anlagen der Luftreinhalte-Verordnung, Cercl'Air-Empfehlung Nr. 29.

⁵ Verordnung des EJPD über Abgasmessmittel für Feuerungsanlagen (VAMF). SR 941.210.3.

2 VOLLZUG

2.1 KONZEPT

2.1.1 ABNAHEMEMESSUNG

Jede Anlage muss unabhängig von der Feuerungswärmeleistung (FWL) abgenommen werden. Zur Abnahme gehört eine 'VDI-Messung' nach 1.4.1. Allfällige Nachmessungen bei einem Nichteinhalten der Grenzwerte sind mittels 'VDI-Messungen' nach 1.4.1. zu erfolgen.

2.1.2 PERIODISCHE MESSUNG

Die periodischen Messungen sind alle zwei Jahre zu wiederholen (Anh.2 Ziff. 826 LRV) und sind als 'VDI-Messungen' nach 1.4.1 vorzusehen.

Die kantonalen Vollzugsstellen können Service-Messungen gemäss 1.4.2 an Stelle von 'VDI-Messungen' je nach Leistung und jährlicher Einsatzdauer der Anlage akzeptieren. Dabei können verschiedene Modelle angewandt werden:

- Verlängerung der Frist zwischen den periodischen 'VDI-Messungen' bei Anlagen, die die Grenzwerte über längere Zeit einhalten, auf 3 – 4 Jahre. Service-Messungen werden für eine Überwachung in der Zwischenzeit angeordnet.
- Vereinfachte Messungen (Service-Messungen) nur für Anlagen mit einer Leistung von weniger als 100 kW_{FWL}.
- Es sind auch weitere, kantonsspezifische Modelle möglich.

Da Anlagen, die mit Biogas, Klärgas, Deponiegas oder Holzvergasung betrieben werden, oft deutliche Grenzwertüberschreitungen aufweisen, soll bei ihnen nicht von der periodischen 'VDI-Messung' alle zwei Jahre abgewichen werden. Service-Messungen können bei diesen Anlagen zu Überwachung in der Zwischenzeit angeordnet werden.

In Anlehnung an den Vollzug bei den Notstromaggregaten ist bei selten eingesetzten stationären Verbrennungsmotoren aber in jedem Fall mindestens alle 6 Jahre eine VDI-Messung vorzunehmen.

Für den verschärften Vollzug (Massnahmenplan) wird empfohlen, Service-Messungen gemäss 1.4.2 alle z.B. 2000 Betriebsstunden, mindestens aber jährlich, zu wiederholen.

2.2 MESSUNGEN

- a) Grundsätzlich sind alle massgeblichen Betriebszustände zu messen. Sofern stationäre Verbrennungsmotoren nur bei Volllast betrieben werden, ist nur dieser Betriebszustand zu messen. Bei allfälligen Teillaststufen kann auf eine Messung verzichtet werden, sofern der Anlagebetreiber belegen kann, dass diese unter 100 Stunden pro Jahr gefahren werden.
- b) Messgas-Computer für die Abgaskontrolle von Feuerungen (vgl. auch 1.4.2), die in der Regel von Servicefirmen verwendet werden, verfügen standardmässig nur über einen elektrochemischen NO-Sensor. Der NO₂-Anteil wird nicht gemessen, sondern als fixe Grösse zum NO addiert. Dabei werden erfahrungsgemäss bei Magermotoren systematisch rund 20 % zu tiefe Werte ausgewiesen, da der NO₂-Anteil bei stationären Verbrennungsmotoren, die mit nicht zertifizierten Brennstoffen wie Bio- oder Klärgas betrieben werden, deutlich grösser sein kann als beispielsweise bei Öl- oder Gasfeuerungen. Deshalb haben Service-Messungen nur orientierenden Charakter (Funktionskontrolle Abgasnachbehandlung) und müssen regelmässig mittels 'VDI-Messungen' überprüft werden.
- c) Für Motoren, die mit ungereinigtem Bio- und Klärgas betrieben werden, können Service-Messungen je nach Brennstoffqualität stark abweichende Ergebnisse liefern. Es wird deshalb eine 'VDI-Messung' empfohlen.

Vollzugsblätter Emissionsüberwachung Stationäre Verbrennungsmotoren (BHKW/WKK)	Cercl'Air Schweizerische Gesellschaft der Lufthygiene-Fachleute
-------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------

2.3 BRENNSTOFFKONTROLLE

Die Art des Brennstoffes oder Brennstoffgemisches müssen im Messbericht deklariert werden. In Verdachtsfällen (beispielsweise Altseiseöl) ist eine Brennstoffanalyse vorzunehmen.

2.4 BERICHTERSTATTUNG

Folgende Inhalte sollte ein Messbericht mindestens enthalten:

Inhalt	'VDI-Messungen'	'Service-Messungen'
Name und Adresse des Betreibers	x	x
Standortadresse der Anlage	x	x
Ansprechpartner / Kontaktperson	x	x
Auftrag, Art der Messung (Abnahmemessung / Nachmessung / Periodische Messung)	x	x
Messinstitut (Name und Adresse / Name des Messtechnikers)	x	x
Messdatum, Messzeiten und Messdauer	x	x
Luftdruck	x	
Angaben zu Motor und Generator: - Fabrikat, Typ, FWL - Wärmenutzung / Steuerung	x	x
Angaben zur Abgasreinigung (Katalysator, Partikelfilter, SCR)	x	x
Anlagedaten, Messstellenbeschreibung	x	x
Besonderheiten, beispielsweise Einregulierungsarbeiten durch einen Servicetechniker	x	x
Messmethoden und Messgeräte, Messunsicherheiten und Bestimmungsgrenzen	x	x
Art und Zusammensetzung (Konzentrationen) der verwendeten Prüfgase	x	x
Brennstoffart; bei Bio- oder Klärgas Methangehalt (sofern bekannt, mit Quellenangabe ⁶)	x	x
Stand des Betriebsstundenzählers (falls vorhanden)	x	x
Brennstoffverbrauch während der Messung (jeweils pro Last einzeln; falls nicht vorhanden soll der Verbrauch geschätzt werden)	x	x
Berechnete Gesamtleistung auf Basis des Brennstoffverbrauchs	x	
Messwerte inklusive Messunsicherheiten und Abgastemperatur, pro gemessene Last	x	x
Frachten (berechnet oder gemessen)	x	
Berechnungsgrundlagen wie Brennstoffheizwerte, spezifische Abgasmenge, Annahmen	x	
Deklaration der NO ₂ -Bestimmung		x

⁶ Sind keine verlässlichen Angaben zur Gaszusammensetzung bekannt, kann bei Bio- oder Klärgas der Methangehalt und der Heizwert aus der Kohlendioxid- und der Sauerstoffkonzentration unter der Annahme, dass der Brennstoff ein binäres Gemisch aus Kohlendioxid und Methan ist, abgeschätzt werden.

2.5 MÄNGELBEHEBUNG, SANIERUNGSFRISTEN

- Bei einer Grenzwertüberschreitung soll zuerst geprüft werden, ob der Mangel durch Einregulierung behoben werden kann. Einregulierungsfrist: 30 Tage (Art. 10 Abs. 2 Bst. a LRV)
- Wenn die Anlage nicht einreguliert werden kann, soll vom Betreiber in der Regel innerhalb von 30 Tagen eine schriftliche Stellungnahme für Sanierungsvorschlag und Sanierungsfrist eingefordert werden. Danach legt die Vollzugsbehörde die Sanierungsfrist gem. Art. 10 LRV fest.
- Der Anlagebetreiber eines stationären Verbrennungsmotors mit Katalysator ist zu verpflichten, den Ersatz des Katalysators innerhalb der Mangelbehebungsfrist von 60 Tagen sicher zu stellen oder den Motor stillzulegen.

3 WEITERE HINWEISE

- a. Je nach kantonaler Energiegesetzgebung ist der Betrieb eines stationären Verbrennungsmotors mit fossilen Brennstoffen nur zulässig, wenn die Abwärme fachgerecht und vollständig genutzt wird. Ausgenommen sind in der Regel Notstromgeneratoren, die während höchstens 50 Stunden pro Jahr betrieben werden.
- b. Das Ableiten der Abgase hat gemäss BAFU Kamin-Empfehlungen⁷ über Dach zu erfolgen.

⁷ BAFU 2018: Mindesthöhe von Kaminen über Dach. Kamin-Empfehlungen. 1. Aktualisierte Auflage vom Dezember 2018. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1318: 21 S.

ANHANG: ALLGEMEINES TECHNISCHES GRUNDLAGENVERSTÄNDNIS

Der **Drei-Wege-Katalysator** – nur in Kombination mit Lambdaregelung – eignet sich für die Abgasnachbehandlung, bei der CO, NO_x und unverbrannte Kohlenwasserstoffe zu CO₂, N₂ und H₂O umgewandelt werden. Aus der gleichzeitigen Umwandlung der drei Luftschadstoffe resultiert auch die Namensgebung.

Um einen hohen Umwandlungsgrad der Schadstoffe zu gewährleisten, muss mit Hilfe einer Lambdasonde das Verbrennungsluftverhältnis in einem möglichst engen Bereich um $\lambda = 1$ gehalten werden. Ein lambda-geregelter Drei-Wege-Katalysator wandelt über 90 % der Schadstoffe in ungefährliche Bestandteile um und reduziert so die Schadstoffemissionen erheblich.

Der Ausfall einer Lambdasonde oder ein Kabelbruch führt zu einer Störung des Verbrennungsvorganges mit Leistungseinbusse und schlussendlich bis zur Motorabschaltung.

Ein Drei-Wege-Katalysator fällt nicht schlagartig aus. Die Katalysator-Wirkung geht sukzessive zurück. Bei frühzeitigem Erkennen kann in einer ersten Phase durch eine Katalysator-Reinigung die Wirkung für eine kurze Zeit nochmals verbessert werden. D.h. zu diesem Zeitpunkt soll auch der Ersatz mit einem neuen Katalysator aufgegleist werden. Drei-Wege-Katalysatoren haben Lieferfristen von 2–3 Monaten, da neue Drei-Wege-Katalysatoren in der Regel nicht auf Vorrat produziert bzw. nicht an Lager gehalten werden.

Der **Oxi-Kat** (Oxidationskatalysator) entfernt bei Dieselmotoren das CO sowie Kohlenwasserstoffe aus dem Abgas durch Oxidation, deshalb auch die Namensgebung. Kohlenwasserstoffe und CO-Emission können durch den Einsatz eines Oxi-Kat erheblich gemindert werden. Die Reduktion von NO_x wie bei einem Drei-Wege-Katalysator ist mit einem Oxi-Kat jedoch nicht möglich.