

Wir messen es.



Praxis-Fibel

Heizungs-Messtechnik

Praktische Hinweise, Tipps und Tricks.

Urheberrechte, Gewährleistung und Haftung

Die in dieser Praxis-Fibel zusammengestellten Informationen sind urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte stehen ausschließlich der Testo AG zu. Die Inhalte und Bilder dürfen nicht ohne vorherige schriftliche Genehmigung der Testo AG gewerblich vervielfältigt, verändert oder für andere als den beschriebenen Anwendungszweck verwertet oder genutzt werden.

Die Informationen in dieser Praxis-Fibel werden mit größter Sorgfalt erstellt. Dennoch sind die bereitgestellten Informationen unverbindlich und die Testo AG behält sich das Recht vor, Änderungen oder Ergänzungen vorzunehmen. Die Testo AG übernimmt daher keine Gewährleistung oder Garantie für die Richtigkeit und Vollständigkeit der bereitgestellten Informationen. Jegliche Haftung für Schäden, die direkt oder indirekt aus der Benutzung dieses Leitfadens entstehen, wird ausgeschlossen, soweit diese nicht auf Vorsatz oder grober Fahrlässigkeit beruhen.

Testo AG, im August 2015

Vorwort

Sehr geehrte Leserin,
sehr geehrter Leser,

dieser Leitfaden stellt eine Übersicht über Messgrößen, Messaufgaben und Messtechniken in der Heizungsbranche dar. Er enthält kompetente Antworten auf häufig gestellte Fragen aus der Praxis. Sie basieren auf den weltweiten Erfahrungen der Anwender von Testo-Geräten.

Der engagierte Einsteiger erhält damit einen Überblick über die entsprechende Gesetzgebung in Deutschland und über Grenzwerte, die bei der Emissionsmessung eingehalten werden müssen. Für den erfahrenen Rauchgas-Messprofi ist er ein wertvolles Nachschlagewerk über aktuelle Bestimmungen.

Tipps und Tricks aus der Praxis für die Praxis bieten wertvolle Ratschläge für die Anwendung portabler Abgasmessgeräte. Der Leitfaden erspart Ihnen somit das mühsame und zeitaufwändige Suchen in unterschiedlichen Quellen.

Zusätzliche Anregungen und Verbesserungsvorschläge von Ihrer Seite sind uns stets willkommen.

A handwritten signature in blue ink, reading "W. Schwörer".

Wolfgang Schwörer, Leitung Produktmanagement

Inhaltsverzeichnis

1. Was ist Rauchgas?	6
1.1 Die Messeinheiten	7
1.2 Die Rauchgas-Bestandteile	9
2. Brennstoffe	16
2.1 Feste Brennstoffe	16
2.2 Flüssige Brennstoffe	19
2.3 Gasförmige Brennstoffe	20
3. Feuerstätten	22
3.1 Prinzip einer Feuerstätte	22
3.2 Der gegenwärtige Stand im Heizkesselbau	23
3.3 Einteilung von Feuerstätten nach Brennstoffen	25
3.3.1 Heizkessel für feste Brennstoffe	25
3.3.2 Gasfeuerstätten	26
3.3.3 Ölbrenner	28
3.3.4 Weitere Brennerarten	32
4. Gesetzliche Hintergründe für Messungen an Heizungsanlagen	34
4.1 Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen (1. BImSchV)	35
4.2 Kehr- und Überprüfungsordnung (KÜO)	36
5. Messaufgaben an der Heizungsanlage	38
5.1 Funktionsprüfung und Einstellungen an Gasfeuerungsanlagen	38
5.2 Funktionsprüfung und Einstellungen an Ölfeuerungsanlagen	58
5.3 Wiederkehrende Überwachung von Festbrennstoffanlagen gemäß der 1. BImSchV	61

6. Dichtheitsprüfungen an Gas- und Wasserleitungen	68
6.1 Gasleitungsprüfung	68
6.1.1 Belastungsprüfung	68
6.1.2 Dichtheitsprüfung	69
6.1.3 Gebrauchsfähigkeitsprüfung	71
6.1.4 Kombinierte Belastungs- und Dichtheitsprüfung an Gasleitungen	74
6.1.5 Suchen von Gaslecks	74
6.2 Prüfung von Trinkwasser-Installationen	75
6.2.1 Druckprüfung mit Wasser	75
6.2.2 Druckprüfung mit Luft oder inertem Gas	76
6.2.2.1 Dichtheitsprüfungen	77
6.2.2.2 Belastungsprüfungen	78
7. Messgeräte für die Rauchgasanalyse	80
7.1 Die Sensoren	80
7.2 Funktionsweise eines chemischen Zwei-/Drei-Elektroden-Sensors	80
7.2.1 Funktionsweise eines chemischen Zwei-Elektroden-Sensors	81
7.2.2 Funktionsweise eines chemischen Drei-Elektroden-Sensors für toxische Gase	82
7.3 Funktionsweise eines Halbleitersensors für brennbare Gase	83
7.4 Feinstaubsensor	84
7.5 Die Elektronik	84
7.6 Die Konstruktion	85
8. Anhang	86
8.1 Berechnungsformeln	86
8.2 Vorstellung der Testo-Geräte	92

1. Was ist Rauchgas?

Aufgrund der steigenden Zahl von Verbrennungen jeglicher Art wird die Umwelt mit immer höheren Schadstoffkonzentrationen belastet. Die Bildung von Smog, die Entstehung von saurem Regen und die ansteigende Zahl von Allergien sind direkte Folgen dieser Entwicklung. Der Weg zur umweltgerechten Energiegewinnung muss

daher über die Schadstoffbegrenzung gehen. Die Abgasschadstoffe lassen sich nur wirksam begrenzen, wenn bestehende Anlagen optimal arbeiten oder schadhafte Feuerungen stillgelegt werden. Mit Hilfe der Rauchgasanalyse werden die Schadstoffkonzentrationen ermittelt und die Heizanlagen optimal eingestellt.

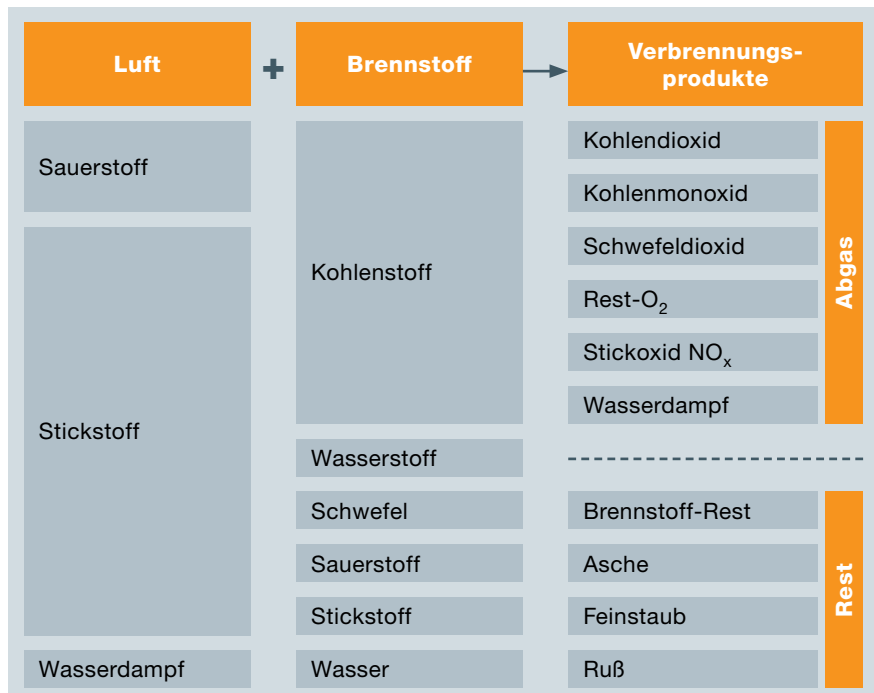


Abb. 1: Brennstoff-Abgaszusammensetzung

Brennstoffe enthalten im wesentlichen Kohlenstoff (C) und Wasserstoff (H_2). Die Verbrennungsluft setzt sich aus Sauerstoff (O_2), Stickstoff (N_2) und einem geringen Anteil von Restgasen und Wasserdampf zusammen.

Bei der Verbrennung der Brennstoffe an der Luft wird Sauerstoff (O_2) verbraucht.

Diesen Vorgang bezeichnet man als Oxidation. Die Elemente aus Verbrennungsluft und Brennstoff gehen neue Bindungen ein.

zentrationsen verwendet. Sind größere Konzentrationen vorhanden, werden diese in Prozent (%) angegeben.

Die Umrechnung lautet wie folgt:

10.000 ppm	= 1 %
1.000 ppm	= 0.1 %
100 ppm	= 0.01 %
10 ppm	= 0.001 %
1 ppm	= 0.0001 %

Eine Sauerstoffkonzentration von 21 Vol. % würde einer Konzentration von 210.000 ppm O_2 entsprechen.

1.1 Die Messeinheiten

ppm (parts per million)

Schadstoffe im Rauchgas werden über die Konzentration der Gasbestandteile bestimmt. Folgende Einheiten sind allgemein gebräuchlich:

Die Einheit ppm stellt wie die Angabe „Prozent (%)“ ein Verhältnis dar. Prozent heißt „einige Teile von Hundert Teilen“. ppm heißt „einige Teile von einer Million Teilen“. Sind beispielsweise in einer Gasflasche 250 ppm Kohlenmonoxid (CO) vorhanden und man entnimmt aus dieser Flasche eine Million Teilchen, dann sind darin 250 Kohlenmonoxidteilchen und 999.750 Stickstoffdioxid- (N_2) und Sauerstoffteilchen (O_2) enthalten. Die Einheit ppm ist unabhängig von Druck und Temperatur und wird bei geringen Kon-

mg/Nm³

(Milligramm pro Kubikmeter)

Bei der Einheit mg/Nm³ wird das Normvolumen (Normkubikmeter, Nm³) als Bezugsgröße herangezogen und die Masse des Schadgases in Milligramm (mg) angegeben. Da diese Einheit druck- und temperaturabhängig ist, bezieht man sich auf das Volumen bei Normalbedingungen:

Temperatur: 0 °C

Druck: 1.013 mbar (hPa)

Diese Angabe allein ist jedoch noch nicht maßgebend, da sich je nach Sauerstoffanteil (Verdünnung des Abgases mit Umgebungsluft) die Volumenverhältnisse im Abgas ändern. Deshalb müssen die Messwerte auf ein bestimmtes Sauerstoffvolumen, den Bezugs-Sauerstoffanteil (O₂-Bezug), umgerechnet werden. Nur Angaben mit gleichem Bezugs-Sauerstoffanteil sind direkt vergleichbar. Der gemessene Sauerstoffanteil (O₂) im Abgas

wird ebenfalls bei der Umrechnung von ppm in mg/Nm³ benötigt. Im Folgenden sind die Umrechnungen für Kohlenmonoxid (CO) und Stickoxid (NO_x) beschrieben.

Die in den Formeln enthaltenen Faktoren entsprechen der Normdichte der Gase in mg/m³.

mg/kWh

(Milligramm je eingesetzte

Kilowattstunde Energie)

Zur Ermittlung der Schadgaskonzentrationen in der energiebezogenen Einheit mg/kWh werden Berechnungen mit brennstoffspezifischen Daten durchgeführt. Je Brennstoff ergeben sich deshalb unterschiedliche Umrechnungsfaktoren. Im Folgenden sind die Umrechnungsfaktoren von ppm und mg/m³ in die energiebezogene Einheit mg/kWh dargestellt. Vor der Umrechnung in mg/kWh müssen die Konzentrationen der gemessenen Emissionswerte jedoch auf unverdünntes

$$\text{CO (mg/m}^3\text{)} = \left[\frac{21 - \text{O}_2\text{-Bezug}}{(21 - \text{O}_2)} \right] \times \text{CO (ppm)} \times 1.25$$

$$\text{NO}_x \text{ (mg/m}^3\text{)} = \left[\frac{21 - \text{O}_2\text{-Bezug}}{(21 - \text{O}_2)} \right] \times 2.05 \times (\text{NO (ppm)} + \text{NO}_2 \text{ (ppm)})$$

Umrechnung in mg/Nm³

Abgas (0 % Bezugs-Sauerstoffgehalt) umgerechnet werden (s. Anhang 13.1). Bei Festbrennstoffen sind die Umrechnungsfaktoren zusätzlich abhängig von der Art, wie der Brennstoff vorliegt (am Stück, Späne, Pulver, Schnitzel usw.). Deshalb sollte bei diesen Brennstoffen gesondert nachgeschlagen werden.

1.2 Die Rauchgas-Bestandteile

Die im Rauchgas enthaltenen Elemente sind im Folgenden in der Reihenfolge ihrer im Abgas vorkommenden Konzentrationen aufgeführt.

Stickstoff (N₂)

Stickstoff (N₂) ist das Hauptelement der Atemluft (79 Vol. %). Das farb-, geruch- und geschmacklose Gas nimmt an der Verbrennung nicht teil. Es wird als Ballast in die Feuerung mitgeschleppt und erwärmt in den Schornstein geleitet.

Typische Werte im Abgas:

Öl-/Gasfeuerungen: 78 % – 80 %

Heizöl EL			
CO	1 ppm	= 1.110 mg/kWh	1 mg/kWh = 0.900 ppm
	1 mg/m ³	= 0.889 mg/kWh	1 mg/kWh = 1.125 mg/m ³
NO _x	1 ppm	= 1.822 mg/kWh	1 mg/kWh = 0.549 ppm
	1 mg/m ³	= 0.889 mg/kWh	1 mg/kWh = 1.125 mg/m ³

Erdgas H (G20)			
CO	1 ppm	= 1.074 mg/kWh	1 mg/kWh = 0.931 ppm
	1 mg/m ³	= 0.859 mg/kWh	1 mg/kWh = 1.164 mg/m ³
NO _x	1 ppm	= 1.759 mg/kWh	1 mg/kWh = 0.569 ppm
	1 mg/m ³	= 0.859 mg/kWh	1 mg/kWh = 1.164 mg/m ³

Abb. 2: Umrechnungsfaktoren für energiebezogene Einheiten

Kohlendioxid (CO₂)

Kohlendioxid ist ein farb- und geruchloses Gas mit einem leicht sauren Geschmack. Unter Einfluss des Sonnenlichtes und des grünen Blattfarbstoffes Chlorophyll wandelt die Pflanzenwelt Kohlendioxid (CO₂) zu Sauerstoff (O₂) um. Durch die Atmung von Mensch und Tier wird der Sauerstoff (O₂) wiederum zu Kohlendioxid (CO₂) umgewandelt. So würde ein Gleichgewicht entstehen, das jedoch durch Verbrennungsabgase gestört wird. Diese Störung unterstützt den Treibhauseffekt. Die zulässige maximale Arbeitsplatzkonzentration von CO₂ beträgt 5.000 ppm.

Typische Werte im Abgas:

Ölfeuerungen: 12,5 – 14 %

Gasfeuerungen: 8 – 11 %

Wasserdampf (Feuchte)

Der im Brennstoff enthaltene Wasserstoff verbindet sich mit Sauerstoff zu Wasser (H₂O). Dieses tritt zusammen mit dem Wasser aus dem Brennstoff und der Brennluft je nach Abgastemperatur (AT) als Rauchgasfeuchte (bei hoher AT) oder als Kondensat (bei niedriger AT) in Erscheinung. Bei der Verbrennung von Wasserstoff entsteht Wasserdampf. 1 kg H₂ benötigt 8 kg O₂ zur vollständigen Verbrennung, daraus entstehen als Verbrennungsprodukt 9 kg Wasser. Das „Verbren-

nungswasser“ liegt bei herkömmlicher Verbrennung dampfförmig vor und die Menge ist brennstoffabhängig. Erdgas (CH₄) hat den höchsten (ca. 22 %) und Koks (ca. 3 %) den niedrigsten H₂-Gehalt. Im Wasserdampf der Verbrennungsgase (Anteil bis ca. 15 Vol. %) ist Energie (Verdunstungsenergie) enthalten, die in der Brennwertechnik genutzt wird.

Sauerstoff (O₂)

Der restliche, bei der Verbrennung im Falle von Luftüberschuss nicht verbrauchte Sauerstoff tritt als gasförmiger Abgasanteil in Erscheinung und ist ein Maß für den Wirkungsgrad der Verbrennung. Er wird zur Berechnung des Abgasverlusts und des Kohlendioxidgehalts herangezogen.

Typische Werte im Abgas:

Ölfeuerungen: 2 – 5 %

Gasfeuerungen: 2 – 6 %

(Durchlauferhitzer beachten)

Kohlenmonoxid (CO)

Kohlenmonoxid ist ein farb- und geruchloses Atemgift und das Produkt einer unvollständigen Verbrennung. CO hat die gleiche Dichte wie Luft, im Gegensatz zum CO₂, das schwerer ist und sich daher im bodennahen Bereich ansammelt. Es verhindert bei zu hoher Konzentration die Sauerstoffaufnahme des Blutes. CO wirkt

als Blutgift durch Bildung des CO-Hämoglobin. CO ist 300 mal fester am Blutfarbstoff Hämoglobin gebunden als Sauerstoff. Befindet sich in einem Raum beispielsweise Atemluft mit 700 ppm CO, würde dies bei einem Menschen, der diese Luft einatmet, nach drei Stunden zum Tod führen. Die zulässige maximale Arbeitsplatzkonzentration beträgt 30 ppm. Verbrennt Kohlenstoff infolge von Sauerstoffmangel nur zu Kohlenmonoxid wird nur $\frac{1}{3}$ der Energie in Wärme umgewandelt, $\frac{2}{3}$ sind Verluste!

Typische Werte im Abgas:

Ölfeuerungen: 80 – 150 ppm

Gasfeuerungen: 80 – 100 ppm

Stickoxide (NO_x)

Bei hohen Temperaturen (Verbrennung) verbindet sich der im Brennstoff und in der Umgebungsluft vorkommende Stickstoff (N₂) mit dem Luftsauerstoff (O₂) zu Stickoxid (NO). Dieses farblose Gas oxidiert in Verbindung mit Sauerstoff (O₂) nach einer gewissen Zeit zu Stickstoffdioxid (NO₂). NO₂ ist ein wasserlösliches Lungengift, welches beim Einatmen zu schweren Lungenschäden führt und in Verbindung mit ultravioletten Strahlen (Sonnenlicht) zur Ozonbildung beiträgt. Die Summe der NO und NO₂-Anteile wird als Stickoxide (NO_x) bezeichnet. Der MAK-Wert beträgt 5 ppm.

Die Entstehung der Stickoxide ist von im Brennstoff gebundenen Stickstoff, von der Verweilzeit des Stickstoffes im Flammenbereich (Flammenlänge) und von der Flammentemperatur abhängig. Bei Flammentemperaturen über 1.300 °C steigt die NO_x-Bildung stark an. NO_x-Bildungsprozesse können durch moderne Brennertechnologien, eine „kühle Flamme“, Rauchgasrezirkulation und geringen Luftüberschuss vermindert werden.

Typische Werte im Abgas:

Öl-/Gasfeuerungen:

50 – 100 ppm

Promptes NO_x entsteht während der Verbrennung durch den freien Sauerstoff (Luftüberschuss) in der Reaktionszone der Flamme.

Brennstoff-NO_x entsteht bei hohen Verbrennungstemperaturen durch die Verbindung des im Brennstoff gebundenen Stickstoffanteiles (Heizöl, Kohle) mit dem Sauerstoff. Diese Reaktion bindet die Wärme. Bei der Verfeuerung von Erdgas entsteht kein brennstoffbezogenes NO_x, da im Erdgas kein Stickstoff gebunden ist.

Für das thermische NO_x sind die Sauerstoffkonzentration während der Verbrennung, die Verweilzeit der Verbrennungsluft im Bereich der Flamme (Flammenlänge) und die Flammentemperatur (bis ca. 1.200 °C geringe, ab 1.400 °C starke und ab 1.800 °C maximale thermische NO_x -Bildung) maßgebend.

Schwefeldioxid (SO_2)

Schwefeldioxid (SO_2) ist ein farbloses und giftiges Gas mit stechendem Geruch. Es entsteht durch den im Brennstoff vorhandenen Schwefel und ist ein Reizgas für Atemwege und Augen. Die zulässige maximale Arbeitsplatzkonzentration beträgt 5 ppm. In Verbindung mit Wasser (H_2O) oder Kondensat entsteht schwefelige Säure (H_2SO_3).

Typischer Wert im Abgas von Ölf Feuerungen: 180 ppm – 220 ppm

Schwefel (Sulfur) - S

Schwefel ist ein fester, gelbgrüner, chemisch stark aktiver Stoff. In Verbindung mit Wärme kann sich Schwefel mit fast allen Elementen verbinden. 1 kg S benötigt 1 kg O_2 zur Verbrennung. Zündtemperatur: 260 °C.

Schwefeltrioxid (SO_3)

Ein Teil des SO_2 (ca. 3-7 %) oxidiert bei der Verbrennung weiter zu SO_3 . Dieser feste weiße Stoff nimmt stark Wasser auf, wobei sich Schwefelsäure ($\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_4$), ein Bestandteil des sauren Regens, bildet.

Unverbrannte

Kohlenwasserstoffe (C_xH_y)

Unverbrannte Kohlenwasserstoffe (C_xH_y) entstehen bei unvollständiger Verbrennung und tragen zum Treibhauseffekt bei. Zu dieser Stoffgruppe gehören unter anderem Methan (CH_4), Butan (C_4H_{10}) und Benzol (C_6H_6). Die Ursachen für die Entstehung sind ähnliche wie bei Kohlenmonoxid: Unvollständige Zerstäubung und Mischung bei Heizöl und Luftmangel bei Erdgas oder Festbrennstoffen. Der Nachweis ist messtechnisch kompliziert, daher wird in der Messpraxis ein Ölderivatstest bei Heizöl und die CO-Messung bei Erdgas durchgeführt. Bei Ölf Feuerungen machen sich Kohlenwasserstoffe durch typisches „Stinken“ der Verbrennungsgase unangenehm bemerkbar.

Typischer Wert im Abgas von Ölf Feuerungen: kleiner 50 ppm

Ruß

Ruß besteht fast nur aus reinem Kohlenstoff (C) und entsteht bei unvollständiger Verbrennung bei Ölanlagen. Bei normalen Temperaturen reagiert Kohlenstoff sehr träge. 1 kg C benötigt 2.67 kg O₂ zur vollständigen Verbrennung. Zündtemperatur: 725 °C. Wird diese Temperatur unterschritten, ist Rußbildung die Folge.

Typischer Wert im Abgas von Ölf Feuerungen: Rußzahl 0 oder 1

Feinstaub

Als Feinstaub werden Schwebeteilchen bezeichnet, die so klein sind, dass sie eingeatmet werden können, d.h. nicht in Nase oder Rachen aus der Atemluft abgeschieden werden.

Da Feinstaub abhängig von seiner Herkunft unterschiedlich groß sein kann (wenige nm bis mehrere µm), wird Feinstaub in verschiedene Größenklassen eingeordnet. Dazu wird in der Regel der aerodynamische Durchmesser¹ herangezogen. Daraus ist die heute verbreitete Messgröße PM10 („Particulate Matter < 10 µm“) abgeleitet.

In Europa bestehen Grenzwerte für PM10 von 50 µg/m³ pro Tag oder ein Jahresmittelwert von 40 µg/m³. In den

USA und Japan sind zusätzlich Grenzwerte für die noch feinere Fraktion PM2.5 festgelegt.

Partikel können verschiedenster Größen, Herkunft und Zusammensetzung sein.

Mögliche Quellen des Feinstaubs:

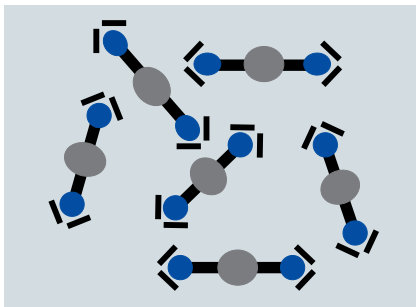
- Technische Aktivitäten (Verkehr, Industrie, Landwirtschaft), aber auch natürliche Vorgänge (z. B. Saharastaub).
- Allgemein gilt, dass mechanische Prozesse in der Regel Partikel > 1 µm erzeugen, während die gesundheitlich besonders bedenklichen Partikel < 1 µm fast ausschließlich aus Verbrennungsprozessen stammen.
- Eine weitere Quelle von Feinstaub sind atmosphärische Prozesse, bei denen gasförmige Komponenten durch Kondensation oder durch chemische Reaktionen – meist unter Einwirkung des Sonnenlichts – in Tröpfchen oder Salzpartikel umgewandelt werden.

¹ Der aerodynamische Durchmesser eines Partikels ist nun definiert als der geometrische Durchmesser eines kugelförmigen, starren Vergleichspartikels

Unterschied Gas und Partikel

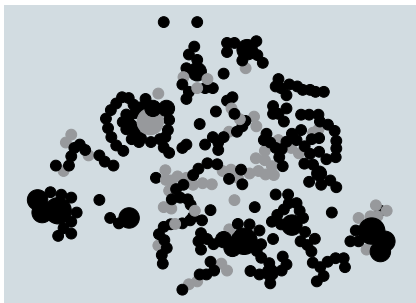
Gasmoleküle

- Chemisch und physikalisch eindeutig definiert
 - Untereinander identisch
 - Spezifische Eigenschaft
- bestimmte Teilchen



Partikel

- Unterschiedlichste geometrische Eigenschaften
 - Unterschiedliche stoffliche Zusammensetzung
 - Unterschiedliche physikalische Eigenschaften
- unbestimmte Teilchen



Partikelmessverfahren haben daher immer statistischen Charakter und eine gewisse Unschärfe. Die Vielzahl von verschiedenen Partikeleigenschaften führt hierdurch zu einer ebensolchen Menge von unterschiedlichen Messmethoden (die jeweils eine andere Eigenschaft der Partikel bestimmen). Eine verbreitete Messmethode ist die Bestimmung der Partikelmasse, bei der die Partikel gewogen werden. Hierbei werden aber speziell kleine Partikel nur bedingt berücksichtigt.

Gesundheitliche Auswirkungen von Partikeln

Der Zusammenhang zwischen Feinstaubbelastung und vorzeitigen Todesfällen wurde bereits nachgewiesen (EU-Raum ca. 250.000 – 300.000 Menschen).

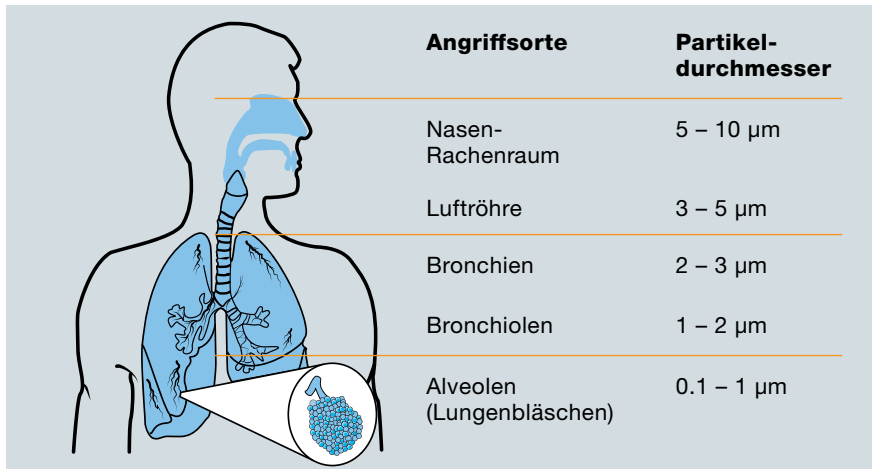
Staubpartikel gelangen fast ausschließlich über die Lunge in den menschlichen Körper.

Die oberen und mittleren Atemwege sind vor allem für größere Partikel ein effizienter Filter (Durchmesser: ~ 5 µm).

Aber je kleiner die Partikel sind, umso tiefer dringen sie in die Lunge ein.

Besonders problematisch aufgrund:

- fehlender Schutzmechanismen der Lungenbläschen



- einer Gewebeschranke zu den angrenzenden Blutgefäßen, die nur wenige 100 nm dick ist – die Partikel können somit direkt ins Blut vordringen und in jedes Organ transportiert werden.

Typischer Wert (für Partikelmasse) im Abgas: 5 – 150 mg/m³

Erkrankungen durch Partikel:

verschiedene Atemwegserkrankungen, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, die bis zum Tod führen können. Besonders gesundheitsschädigend sind Partikel aus Verbrennungsprozessen. Insbesondere Dieselruß wird von der WHO als krebserregend eingestuft (Pressemitteilung WHO, 12. Juni 2012).

Aerosole

Aerosole sind die Dispersionen (heterogenes Gemisch aus mindestens zwei Stoffen) von flüssigen und/oder festen Partikeln (im Größenbereich von 2 nm-100 μm) in einem gasförmigen Medium, zumeist Luft. Durch diese Vielfalt können die Partikel auch aus unterschiedlichsten Stoffen zusammengesetzt sein und somit auch unterschiedliche Eigenschaften haben. *Einen typischen Wert im Abgas von Festbrennstofffeuerungen gibt es nicht. Ein Aerosol ist ein dynamisches System und unterliegt ständigen Änderungen durch Kondensation von Dämpfen an vorhandenen Partikeln, Verdampfen flüssiger Bestandteile der Partikel, Koagulation kleiner Teilchen zu großen oder Abscheidung von Teilchen an umgebenden Gegenständen.*

2. Brennstoffe

2.1 Feste Brennstoffe

Feste Brennstoffe sind Steinkohle, Braunkohle, Torf, Holz und Stroh. Hauptbestandteil dieser Brennstoffe sind Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H_2), Sauerstoff (O_2) und geringe Mengen an Schwefel (S) und Wasser (H_2O). Die festen Brennstoffe unterscheiden sich im Wesentlichen in ihrem Heizwert. Hierbei hat Steinkohle den höchsten Heizwert, gefolgt von Braunkohle, Torf und Holz. Ein großes Problem in der Handhabung dieser Brennstoffe ist die Entstehung von Asche, Feinstaub und Ruß in großem Maße. Hierfür müssen am Verbrennungsort geeignete mechanische Vorrichtungen geschaffen werden, die diese „Abfallstoffe“ abtransportieren (z. B. Schüttelrost).

Holz

Holz ist ein natürlicher, fester, langflammiger Brennstoff. Weichholz (Fichte, Tanne und Föhre) ist harzhaltig und neigt bei falscher Feuerstättenbedienung zur Bildung von rußbrandgefährlichem Glanzruß. Hartholz wie Buche und Eiche ist für Feuerstätten mit hohem Verbrennungsraum und für rostlose Feuerstätten geeignet (Kachelofen). Holz brennt mit langer,

leuchtender Flamme ab, für die Glutverbrennung ist keine weitere Sauerstoffzufuhr erforderlich.

Zündtemperatur: ca. 290 °C, Abgasmenge ca. 8 m³/kg, Heizwert H12-15 MJ/kg je nach Feuchtegehalt, Taupunkt der Verbrennungsgase ca. 40 – 45 °C,

C 40 %, H_2 6 %, O_2 35 – 40 %, Asche 1 – 2 %, H_2O 15 – 20 %, CO_{2max} 20.3 %, Luftüberschuss

10 – 200 % (je nach Abbrandphase).

Pellets und Holzbriketts

(Presslinge aus naturbelassenem Holz)

Mechanisch geformter, fester langflammiger Brennstoff aus unbehandeltem und bindungsmittelfreiem Holzabfällen. Holz wird zerkleinert, gemahlen und unter hohem Druck in zylindrischen Formen gepresst. Der H_2O Gehalt ist sehr gering (5 – 6 %), daher ist der Heizwert höher als bei gewachsenem Holz. Der Heizwert hängt im Wesentlichen vom tatsächlichen Wassergehalt der Presslinge ab. Die Anforderungen und Prüfungsbestimmungen an diese Brennstoffe sind in der Gesetzgebung (bspw. ÖNORM M7135) festgelegt.

Holzbriketts

Verwendung wie Scheitholz für Feuerstätten mit oder ohne Rostfeuerung.

Pellets

Verwendung für Hausbrandfeuerstätten und Kesselanlagen mit automatischer Brennstoffbeschickung und geregelter Luftzufuhr. Dadurch ist ein gleichmäßiger, regelbarer Heizbetrieb mit geringen Emissionen möglich.

Hackschnitzel

Hackschnitzel werden in der Regel mit mobilen oder stationären Scheiben-, Trommel- oder Schneckenhäckslern hergestellt. Sie bestehen zu 100 % aus Holz. Meist wird jedoch Waldrestholz, Schwachholz oder anderes minderwertiges Holz (z. B. aus der Durchforstung), welches von der Industrie nicht mehr für höherwertige Produkte verarbeitet werden kann, genutzt.

Den wohl wichtigsten Einfluss auf den Heizwert hat der Wassergehalt. Dieser kann je nach Baumart und Lagerung stark variieren. Waldfrische Hackschnitzel enthalten einen Wassergehalt von 50-60 %, wobei sich der Heizwert durch die Trocknung des Materials (z. B. Wassergehalt von 20 %) etwa verdoppelt.

Braunkohle

Natürlicher, fester, langflammiger Brennstoff, der durch untergegangene Laub-, Nadel- und Palmenwälder entstanden ist. Inkohlung erfolgt unter Luftabschluss durch Erdwärme und Erddruck. Abbau zu 90 % im Tagebau. Unterschieden wird in Lignite (holzartiges Gefüge) und Glanzkohle (schwarz, glänzend). Geeignet für Feuerstätten mit hohem Verbrennungsraum, großem Rost, Sekundärluftführung für Nachverbrennung. Stark rußender Brennstoff mit hohem Ascheanfall.

Zündtemperatur: ca. 250 – 450 °C,
Abgasmenge ca. 7 m³/kg, Heizwert H
ca. 12 – 20 MJ/kg, C 40 – 60 %,
H₂ 3 – 5 %, N 0.5 %, O₂ 15 – 20 %,
S 1.5 %, Asche 5 – 20 %, H₂O 5 – 20 %, CO_{2max} 19 – 20 %, Luftüberschuss 60 – 100 %.

Steinkohle

Natürlicher, fester, langflammiger Brennstoff. Entstehung wie Braunkohle. Wesentlich älter als Braunkohle daher mit höherem Kohlenstoffgehalt. Abbau ausschließlich Untertagebau.

Arten, gereiht nach den flüchtigen Brennstoffbestandteilen: Flammkohle, Gaskohle, Fettkohle, Esskohle, Magerkohle, Anthrazit. Geeignet für Kachelöfen mit Rost, Füllöfen, Öfen und Kessel mit unterem Abbrand.

In der Anheizphase stark rußend, in der Glutverbrennungsphase geringe Rauchentwicklung. Benötigt in der Anheizphase ausreichende Zufuhr von Verbrennungsluft.

Zündtemperatur: 320 – 600 °C, Abgasmenge ca. 13 m³/kg, Taupunkt der Verbrennungsgase ca. 30 – 35 °C, C 75 – 90 %, H₂ 4 – 6 %, O₂ 3 – 15 %, N 1 – 1.5 %, Asche 3 – 12 %, H₂O 2 – 4 %, S 1 % Heizwert H ca. 27 – 32 MJ/kg, CO_{2max} 17 – 20 %, Luftüberschuss 60 – 100 %.

Brikett

Künstlicher, fester, langer bzw. kurzflammiger Brennstoff (Presskohle). Kohlenstaub und Kohlenruß wird unter hohem Druck bzw. unter Zusatz von Bindemitteln in Formen gepresst.

Koks

Künstlicher, fester, kurzflammiger Brennstoff. Steinkohle wird unter Luftabschluss auf ca. 800 – 1000 °C erhitzt. Die flüchtigen Brennstoffanteile entweichen (= Stadtgas), Koks, ein harter poröser Brennstoff der je nach Verwendungszweck und Feuerung in verschiedene Korngrößen gebrochen wird, bleibt über. Geeignet für einen Dauerbrandbetrieb. Brennt mit kurzer bläulicher Flamme rauch- und rußschwach ab. Sehr niedrige Abgastemperatur, niedriger Taupunkt und lange Glutphase. Zündtemperatur ca. 450 – 600 °C, Abgasmenge ca. 12 m³/kg, Taupunkt der Verbrennungsgase ca. 13 – 15 °C, C 85 %, H₂ 1 %, O₂ 2 – 4 %, N 1 %, S 1 %, Asche 7 – 9 %, H₂O 5 %, Heizwert H ca. 29 MJ/kg, CO_{2max} 20.6 %, Luftüberschuss wie Braunkohle.

Anthrazit

Natürlicher, fester, kurzflammiger Brennstoff. Älteste und daher hochwertigste Steinkohle. Kommt meist nur in Brikettform (Eibrikett) in den Handel. Höchster C- und niedrigster H₂-Gehalt.

Holzkohle

Künstlicher, fester, kurzflammiger Brennstoff. Holz wird unter Luftabschluss (Kohlenmeiler) erhitzt. Dabei entweichen die flüchtigen Brennstoffbestandteile wie Holzgas, Holzteerdampf und Wasser. Verwendung im Gewerbe und als Grillkohle. Brennt rauchfrei mit kurzer Flamme ab.

2.2 Flüssige Brennstoffe

Flüssige Brennstoffe haben ihren Ursprung im Erdöl. Durch Weiterverarbeitung in Raffinerien entstehen extra-leichte (EL), leichte (L), mittel- (M) und schwerflüssige (S) Heizöle. Für Kesselfeuerungen kommen hauptsächlich die Heizöle EL und S zur Anwendung. Heizöl EL ist besonders im Kleinf Feuerungsbereich verbreitet und identisch mit Dieselmotorkraftstoff (Dieselmotorkraftstoff gefärbt). Bei der Verwendung von Heizöl S ist zusätzlich eine Vorwärmung notwendig, um die Fließfähigkeit zu erhalten. Diese Maßnahme ist bei Heizöl EL nicht erforderlich.

Heizöle

Künstliche, flüssige, langflammige Brennstoffe. Heizöl wird bei der Destillation (Erhitzung unter Luftabschluss) von Rohöl (Erdöl) in Raffinerien gewonnen. Rohöl entsteht ähnlich wie Steinkohle, nur sind die Ausgangsstoffe tierische Substanzen

(Plankton und Kleinstlebewesen). Vorkommen in porösen, abgeschlossenen Gesteinsschichten. Förderung durch Eigendruck oder durch Hochpumpen. Öllarten: Heizöl Extra Leicht (HEL) für Verdampfungsbrenner und Zerstäuberbrenner, Heizöl Leicht (HL), Heizöl Mittel (HM) und Heizöl Schwer (HS) ausschließlich für Zerstäuberbrenner mit Ölvorwärmung. Die Anforderungen an die Heizöle sind in der Gesetzgebung (bspw. ÖNORM C 1108 und C 1109) festgelegt. Abgasmenge ca. $12 \text{ m}^3/\text{kg}$, Taupunkt der Verbrennungsgase. ca. $45 - 50^\circ\text{C}$, Zündtemperatur ca. $300 - 400^\circ\text{C}$, Flammpunkt ca. $55 - 100^\circ\text{C}$, Luftüberschuss mit Verdampfungsbrenner $30 - 40\%$, - mit Gebläsegebläsbrenner $15 - 30\%$, - mit Gebläseblaubrenner $10 - 20\%$, HEL Heizöl H = 42.8 MJ/kg , S = 0.1% , C = 86% , $\text{H}_2 = 13.7\%$, $\text{CO}_{2\text{max}} = 15.4\%$, HL Heizöl H = 41.8 MJ/kg S = 0.2% , C = 87.3% , $\text{H}_2 = 12.1\%$, $\text{CO}_{2\text{max}} = 15.8\%$, HS Heizöl H = 40 MJ/kg , S = 1% C = 86.5% , $\text{H}_2 = 10.7\%$, $\text{CO}_{2\text{max}} = 16.4\%$.

Eigenschaften der Heizöle

Die Dichte der Heizöle bei 15°C schwankt, bei HEL zwischen $0.83 - 0.86 \text{ kg/l}$, bei HS zwischen $0.90 - 0.98 \text{ kg/l}$. Bei Preisvergleichen und Heizwertvergleichen ist darauf zu achten, ob Liter- oder Kilopreis angegeben wird, da Unterschiede bis zu 20%

möglich sind! Die Viskosität, der Grad der Zähflüssigkeit des Öles, sinkt bei Erwärmung und steigt bei Abkühlung und wird immer auf eine bestimmte Temperatur bezogen. Die Rückstandsöle (HL, HM und HS) müssen vor der Zerstäubung vorgewärmt werden, damit die Viskosität möglichst niedrig ist. Der Verkokungsgrad wird durch den Conradson-Wert ausgedrückt und gibt an, wie viel Rückstände in Form von Koks beim Verbrennen des Öles übrigbleiben (Verkoken der Brennerdüsen und Stauscheiben, sowie der Einlaufdüse im Schalenbrenner beim Ölofen). Der Flammpunkt ist jene Temperatur, bei der sich ein entflammbares Gas-Luft-Gemisch bildet, welches durch Fremdzündung brennt.

Der Flammpunkt wird in drei Gefahrenklassen unterteilt:

Klasse I Flammpunkt unter 21 °C

z. B. Benzin

Klasse II Flammpunkt 21 °C-55 °C

z. B. Petroleum

Klasse III Flammpunkt 55 °C-100 °C

HEL, HL, HM (HS Flammpunkt über 100 °C).

Der Zündpunkt ist jene Temperatur, bei der ein Gas-Luft-Gemisch selbständig weiterbrennt. Wird der Zündpunkt während der Verbrennung unterschritten, kommt es zu einem unvollständigen Ausbrand (Rußbildung).

Pourpoint ist jene Temperatur des Öles, bei der es gerade noch fließfähig ist. Stockpunkt ist jene Temperatur des Öles, bei der es zu Paraffinausscheidungen kommt und das Öl nicht mehr fließfähig ist.

2.3 Gasförmige Brennstoffe

Gasförmige Brennstoffe sind ein Gemisch aus brennbaren und unbrennbaren Gasen. Die brennbaren Bestandteile des Gases sind Kohlenwasserstoffe (z. B. Methan, Butan), Kohlenmonoxid (CO) und Wasserstoff (H₂). Für Heizzwecke wird heute hauptsächlich Erdgas verwendet, dessen Hauptbestandteil Methan (CH₄) ist. Ein geringer Teil der Haushalte (10 %) wird noch mit Stadtgas versorgt, dessen Bestandteile hauptsächlich Wasserstoff (H₂), Kohlenmonoxid (CO) und Methan (CH₄) sind. Der Heizwert von Stadtgas ist nur halb so groß wie der von Erdgas.

Erdgas (Methan)

Gasförmiger, je nach Flammenlänge kurz- oder langflammiger Brennstoff. Methan ist von Natur aus geruchlos. Die Zusammensetzung ist je nach Fördergebiet sehr unterschiedlich. Hauptbestandteile sind CH_4 (Methan) zu 80 – 95 % sowie N_2 , Schwefelverbindungen und Wasser. Vor Verwendung ist eine Aufbereitung erforderlich. Dem Erdgas wird ein Odorierungsstoff (für Geruchserkennung) zugeführt wird. Methan ist im Gegensatz zu Stadtgas ungiftig, weil es kein CO enthält. Erdgas ist hochexplosiv! Erdgasfelder entstanden meist gemeinsam mit Erdöl und Kohlevorkommen aus einfachen Organismen, die sich ablagerten und unter hohen Temperaturen und Drücken umwandelten haben. Erdgas wird von den Lagerstätten durch Pipelines zu den Verbrauchsorten gepumpt, kann aber auch bei -162 °C (111 K) verflüssigt und drucklos durch Tanker transportiert werden. Lagermöglichkeiten bestehen in leeren Gaslagerstätten. Erdgas wird in Flächenbrennern (mehrere Brenndüsen), in Gebläsebrennern (eine Brennflamme) und in Matrixbrennern (Vormischbrenner) verfeuert. Zündtemperatur ca. 630 °C , max. Flammentemperatur ca. 1900 °C , Abgasmenge ca. 10 m^3 , Wasserdampfmenge ca. 2 m^3 .

Zusammensetzung : Methan 93.1 %, Aethan 3.7 %, N 2.2 %, CO_2 0.9 %, $\text{CO}_{2\text{max}}$ 11.7 %, Luftbedarf ca. 9.5 m^3 , Dichte: 0.777 kg/m^3 , Heizwert H 36.4 MJ/m^3 (10.1 kWh , Brennwert 40.3 MJ/m^3 (11.2 kWh), Betriebsheizwert HB 34.3 MJ/m^3 (9.5 kWh), Luftüberschuss: Brenner ohne Gebläse 200 – 300 % (nach Strömungssicherung), Gebläsebrenner 10 – 30 %, Vormischbrenner 10 – 40 %.

Flüssiggase

Sind Nebenprodukte in der Öl- und Treibstoffindustrie. Die wichtigsten sind Propan und Butan. Sie werden in flüssigem Zustand unter Druck in Behältern gelagert. Bei Normaldruck sind sie gasförmig und schwerer als Luft. $1\text{ kg Propan (C}_3\text{H}_8) = 1.87\text{ l}$ ergibt ca. $0.5\text{ m}^3/\text{N Gas}$, 1 m^3 Propan hat einen Heizwert H von 93.8 MJ , Luftbedarf ca. 23 m^3 , Taupunkt der Verbrennungsgase ca. $45\text{--}50\text{ °C}$, Abgasmenge ca. 26 m^3 , Wasserdampfmenge ca. 4 m^3 , $\text{CO}_{2\text{max}}$ 13.9 %, Luftüberschuss 20-40 %, $1\text{ kg Butan (C}_4\text{H}_{10}) = 1.67\text{ l}$ ergibt ca. $0.37\text{ m}^3/\text{N Gas}$, 1 m^3 Butan hat einen Heizwert von 123.6 MJ , Luftbedarf ca. 31 m^3 , Abgasmenge ca. 33 m^3 , H_2O ca. 5 m^3 .

3. Feuerstätten

3.1 Prinzip einer Feuerstätte

Die Feuerstätte in Verbindung mit einem Wärmetauscher dient der Erzeugung von Wärme. D. h. die durch die Flamme eines Brenners erzeugten heißen Abgase erhitzen in einer Heizschlange das Wasser, das als „Wärmetransporter“ (Wärmeträger) in Rohrleitungen zu den verschiedenen Verbrauchern (z. B. Heizkörper) geleitet wird.

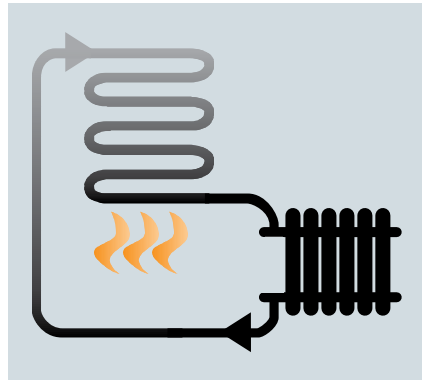


Abb. 3: Skizze Brenner und Kessel

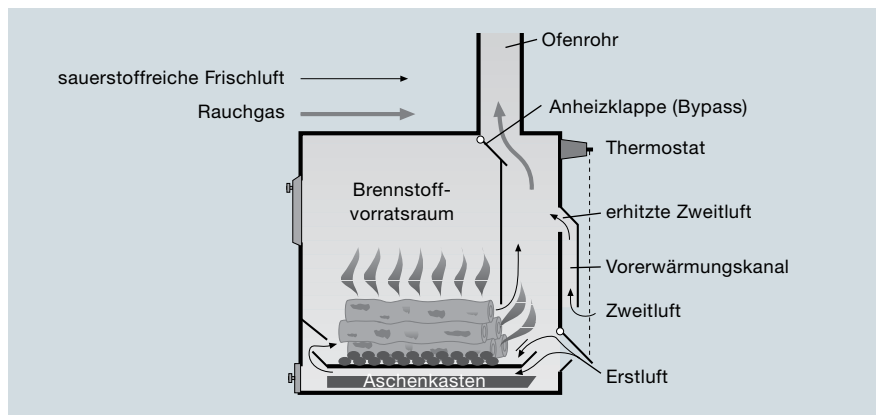


Abb. 4: Einfache Rostfeuerung

3.2 Der gegenwärtige Stand im Heizkesselbau

Heizkessel werden als Spezialkessel gebaut und genau auf die Verfeuerung eines bestimmten Brennstoffes abgestimmt. Es werden Kessel mit sehr niedrigen Verbrennungsgastemperaturen und teilweiser Kondensation der Verbrennungsgase im Wärmeerzeuger oder in einem nachgeschalteten Wärmetauscher (Brennwertkessel) hergestellt. Der Einsatz von modulierend geregelten Geräten wird genau dem Wärmebedarf angepasst, variiert den Brennstoffeinsatz und somit die stufenlose Leistungsabgabe des Heizgerätes. Durch Absenkung der Kesselwassertemperatur können sowohl der Abwärmeverlust (heiße Abgase) als auch der Strahlungsverlust des Heizkessels gesenkt werden.

Durch Einsatz von Heizkesseln mit gleitender Kesselwassertemperatur kann der Jahresnutzungsgrad angehoben werden. Die Verminderung der Kesselwassertemperatur erfordert jedoch größer dimensionierte Heizkörper (z. B. Fußbodenheizung).

Bei konventionellen Heizkesseln beträgt die Kesselwassertemperatur (Vorlauftemperatur) ca. 70 – 90 °C und die Abgastemperatur bei:

- Festbrennstoffkesseln
ca. über 160 – 300 °C

- Ölheizkesseln
ca. über 160 – 260 °C
- Gasheizkesseln
ca. über 100 – 260 °C

Bei diesen Heizkesseln kommt es im Betriebszustand zu keiner Kondensation der Verbrennungsgase im Heizkessel.

Niedertemperaturkessel sind von der Konstruktion und der Materialart her geeignet mit Wärmeträgertemperaturen von etwa 40 – 50 °C betrieben zu werden, ohne dass eine Korrosionsgefahr auftritt. Die Abgastemperaturen sind entsprechend der geringeren Oberflächentemperatur der Wärmetauscher niedriger, daraus resultiert ein höherer Wirkungsgrad.

Tieftemperaturkessel können ohne Korrosionsgefahr bis zu einer Kesselwassertemperatur von etwa 20 – 40 °C betrieben werden. Ein „Tieftemperaturkessel“ kann „kalt“ gestartet und hochgeheizt werden, der Bereitschaftswärmeverlust sinkt auf ein Minimum ab. Die Abgastemperatur gleitet entsprechend der Kesselwasser- und Vorlauftemperatur mit. Abgastemperaturen bis unter 80 °C sind möglich und ergeben einen hohen Wirkungsgrad mit geringen Strahlungsverlusten, ein feuchteunempfindlicher Fang ist allerdings erforderlich.

Brennwertkessel

Bei dieser Kesselbauart wird zusätzlich die Kondensationswärme des im Verbrennungsgas enthaltenen Wasserdampfes durch einen zweiten Wärmetauscher genutzt. Das Verbrennungsgas muss innerhalb der Feuerstätte möglichst tief - unter den Taupunkt des Brennstoffes - abgekühlt werden. Je niedriger die Verbrennungsgastemperatur (abhängig von der Kesselwassertemperatur im Rücklauf) ist, desto höher ist der Wärmegegewinn durch Kondensation. Die Abgastemperatur kann bis 40 °C abgesenkt werden. Ein Abgasventilator, wegen des fehlenden Fangunterdrucks und ein feuchteunempfindlicher Fang, wegen der Taupunktunterschreitung, sind erforderlich. Der Brennwert bezeichnet im Gegensatz zum Heizwert die auf die

Brennstoffmenge bezogene Energie, die bei vollkommener Verbrennung freigesetzt wird. Beim Heizwert wird dagegen die Verdampfungswärme des bei der Verbrennung entstehenden Wasserdampfes abgezogen, weshalb der Heizwert immer geringer ist als der Brennwert. Diese Verdampfungswärme wird bei Brennwertkesseln zusätzlich zur Verbrennungswärme durch entsprechende Rückkühlung an einem zweiten Wärmetauscher nutzbar gemacht. Bei Brennwertgeräten werden dadurch die üblichen Abgastemperaturen der konventionellen Kessel unterschritten. Der in den Abgasen enthaltene Wasserdampf kondensiert und zusätzliche Wärme (latente Wärme) wird frei. Die Temperatur, bei deren Unterschreitung die im Abgas enthaltene Feuchtigkeit als

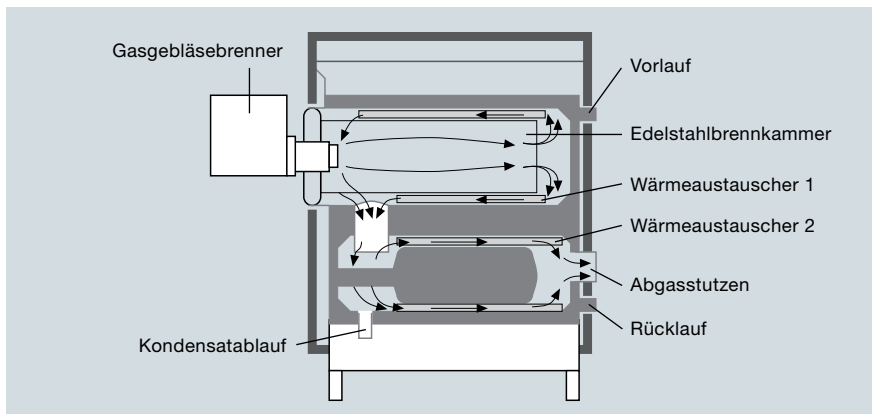


Abb. 5: Aufbau eines Brennwertkessels für Gas

Kondensat ausfällt, wird als Kondensationstemperatur oder Taupunkt bezeichnet. Die Kondensationstemperatur ist brennstoffspezifisch unterschiedlich und beträgt bei Erdgas ca. +58 °C und bei Heizöl ca. +48 °C. Bei einer Abkühlung der Abgase wird die Kondensationstemperatur bei Erdgas früher erreicht. Das bedeutet, dass die Kondensationswärme früher frei wird. Der Energiezugewinn ist somit bei Gas höher als bei Öl. Da bei der Ölverbrennung Schwefeldioxid (SO_2) entsteht, das im Kondensat zum Teil in schwefelige Säure übergeht, wird in der Brennwerttechnik überwiegend Gas eingesetzt. Aufgrund des Kondensatanteil, müssen die Abgaswege feuchtigkeitsempfindlich und säurefest ausgeführt sein.

- Brennwertanlagen müssen keinen Mindestwirkungsgrad einhalten. Grenzwerte sind nicht in der 1. BImSchV vorgegeben.
- Wirkungsgrade über 100 % sind möglich, da die eingebrachte Energie auf den unteren Heizwert (Hu) bezogen wird.
- Vorsicht bei NO_x -Messungen: Verhältnis von NO zu NO_2 kann bis zu 50:50 betragen. D. h. für die NO_x -Messung müssen die NO- und NO_2 -Konzentrationen getrennt gemessen werden.

3.3 Einteilung von Feuerstätten nach Brennstoffen

3.3.1 Heizkessel für feste Brennstoffe

Bei Heizanlagen für feste Brennstoffe unterscheidet man zwischen Holzfeuerungen und den Kesseln, in denen Kohle, Koks oder Briketts verbrannt werden. Bei Feststoffanlagen wird 80 % der Verbrennungsluft für den eigentlichen Verbrennungsvorgang benötigt. 20 % der Verbrennungsluft (Zweitluft) wird den bei der Verbrennung entstandenen Abgasen zugeführt. So ist eine vollständige Ausbrennung gewährleistet. Damit diese Zweitluft das Abgas nicht abkühlt (unvollständige Verbrennung) sollte eine Vorwärmung durchgeführt werden.

3.3.2 Gasfeuerstätten

Sind Feuerstätten für die Verbrennung von gasförmigen Brennstoffen wie Erdgas, Flüssiggas und Biogas. Man unterscheidet zwischen Gasfeuerstätten mit **atmosphärischen Brennern** mit Rückstromsicherung und Gasfeuerstätten mit **Gebläsebrennern** ohne Rückstromsicherung.

Vormischbrennerfeuerstätten sind gebläseunterstützte, atmosphärische Brenner ohne Rückstromsicherung bei der die Verbrennungsluft genau dosiert zugeführt wird und daher der CO_2 -Gehalt sehr hoch ist.

Der Hauptvorteil bei Gasanlagen liegt in der rückstandsfreien Verbrennung und der Raumersparnis für den Brennstoffvorrat. Speziell bei atmosphärischen Gasbrennern wird die Verbrennungsluft durch den Auftrieb der Abgase angesaugt und gelangt unter Beimischung von Gas in den Brennraum. Das dort verbrannte Brennstoff-/Luftgemisch gibt seine Wärme geräuscharm an die Heizflächen ab und das abziehende Rauchgas gelangt über eine Strömungssicherung in den Schornstein. Dabei soll die Strömungssicherung verhindern, dass sich zu großer Kaminzug oder ein Rückstau im Abgasweg auf die Verbrennung in der Feuerstätte auswirkt.

Gebläsebrenner

Die Verbrennungsluft wird dem Gas vor der Verbrennung durch ein Gebläse zugeführt. Dadurch ist eine genaue Dosierung der Verbrennungsluft und eine gute Durchmischung mit dem Gas möglich. Hoher Wirkungsgrad durch geringen Luftüberschuss (10 – 20 %). Gebläsebrenner zeichnen sich durch hohe Betriebssicherheit und weitgehende Unempfindlichkeit gegenüber atmosphärischen Einflüssen aus. Der im Kessel herrschende Überdruck wird durch Widerstände abgebaut. Am Kesselende übernimmt der natürliche Unterdruck des Rauchfanges den Transport der Abgase in das Freie. Die Bauart der Gasgebläsebrenner ist sehr ähnlich der eines Ölbrenners, von dem viele Bauteile übernommen wurden. Stillstandsverluste werden ebenso wie bei Ölgebläsebrennern durch automatische Luftklappen, die bei Brennerstillstand ein Nachströmen von Luft durch den Kessel vermeiden, verhindert. Zugschwankungen oder zu starker Unterdruck können durch Einbau und Justierung von Zugbegrenzer vermindert werden. Gleichzeitig wird dadurch einer möglichen Durchfeuchtung des Rauchfanges vorgebeugt.

Atmosphärische Brenner

Diese Brenner haben sich aus den Injektionsbrennern entwickelt und werden vorwiegend als Brennroste oder Flächenbrenner eingebaut. Diese Brenner arbeiten mit Luftselbstansaugung. Die Brennroste bestehen aus einzelnen Brennrohren oder Brennstäben mit je einem Injektor und Mischrohr. Die Primärluft (ca. 60 %-Anteil) wird im Injektionsrohr durch den Unterdruck des strömenden Gases angesaugt. Das Gas-Luft-Gemisch strömt durch die Brennerdüsen und wird beim Austritt nochmals mit Sekundärluft (ca. 40 %-Anteil) vermischt und gezündet. Es bildet sich dabei eine straffe, bläuliche Flamme. Das Verbrennungsgas wird durch thermischen Auftrieb durch den Wärmetauscher gedrückt. Hinter dem Wärmetauscher übernimmt

der natürliche Unterdruck des Rauchfanges den Abtransport der Abgase. Die Verbrennungsluftzufuhr und damit ein bestimmter Luftüberschuss kann nicht wie beim Gebläsebrenner genau eingestellt und geregelt werden. Da Störungen des Abgastransportes die Verbrennung nicht beeinflussen dürfen, müssen atmosphärische Feuerstätten mit einer Rückstromsicherung ausgestattet sein. Durch die offene Rückstromsicherung gelangt je nach Unterdruckstärke mehr oder weniger regulierende „Falschluff“ in den Abgasstrom, sodass im Verbrennungsraum möglichst gleichbleibende Verbrennungsbedingungen (Luftzuführung) herrschen. Der Falschluff- oder Nebenluftanteil kann ein Messergebnis wesentlich beeinflussen. (CO_2 oder O_2 -Messung vor oder nach

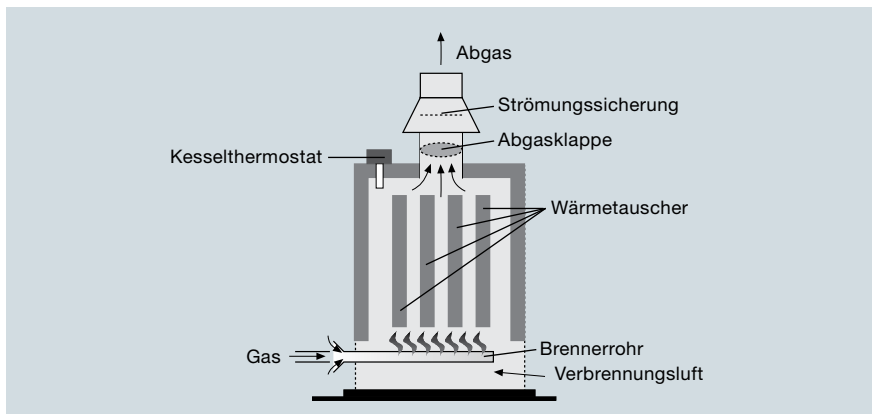


Abb. 6: Heizkessel mit atmosphärischem Brenner

der Rückstromsicherung). Bei Stau- oder Rückstrom werden die Abgase durch die Rückstromöffnungen in den Aufstellungsraum gedrückt. Ein Abgaswächter (Sicherheitseinrichtung) schaltet nach einer Sicherheitszeit von ca. 1-2 Minuten über ein Magnetventil die Gaszufuhr ab. Zur Reduzierung des NO_x -Anteiles im Abgas (Reduzierung bis 30 % ist möglich) werden die atmosphärischen Brenner mit Kühlstäben oder wassergekühlten Brennerrosten versehen.

Vormischbrenner

Auf Grund der erhöhten gesetzlichen Anforderungen (Wirkungsgrad, NO_x und CO-Werte) wurden neue Verbrennungstechniken entwickelt. Vormischbrenner zeichnen sich durch hohe Wirkungsgrade (bis 92 %) und geringe Schadstoffbelastungen aus. Vormischbrenner gehören zu den atmosphärischen Brennern. Die Verbrennungsluft kann durch ein Ansaugrohr aus dem Aufstellungsraum raumluftabhängig, oder aus dem Freien raumluftunabhängig zugeführt werden. Ein Ventilator saugt Verbrennungsluft über den Zuluftstutzen in den gasdicht abgeschlossenen Innenmantel bzw. Heizkörper. Oberhalb des Ventilators wird die für die Gasmenge (Kesselleistung) erforderliche Luftmenge durch einen Differenzdruckregler einge-

stellt. Es können daher sehr geringe Luftüberschussmengen eingestellt werden. Vorteil: geringerer Abgasverlust, daher höherer Wirkungsgrad. Das Gas-Luft-Gemisch wird durch einen keramischen Flächenbrenner oder einen Matrixbrenner gedrückt, gezündet und brennt mit kurzer Flamme oder einem Flammenfilm ab. Die Abgase gelangen mit Überdruck (200 Pa) nach Abkühlung in das dichte Abgassystem und anschließend über das Fangsystem ins Freie.

3.3.3 Ölbrenner

Ölbrenner in Heizungskesseln haben die Aufgabe, das Heizöl möglichst fein zu zerstäuben oder zu verdampfen. Man unterscheidet folgende Brennerbauarten:

Verdampfungsbrenner für HEL

Zerstäubungsbrenner für HEL, HL, HM und HS

Verdampfungsbrenner

Hauptbestandteil aller Verdampfungsbrenner ist eine Schale oder ein Topf (daher auch Schalen- oder Topfbrenner). In diesem Gefäß wird das Öl durch Wärmezufuhr verdampft. Verbrennungsluft strömt durch Öffnungen an den Seiten des Brennerkopfs und bewirkt dabei die erforderliche Durchmischung für die Flammenstabilisierung im Brennerraum. Die Ölzufuhr und damit die Heizleistung wird durch ein Stellventil im Ölregler verändert. Im Ölregler befindet sich ein Schwimmer, der das Ölniveau auf konstanter Höhe hält, so dass unabhängig vom Vor- und Rückdruck ein gleichbleibender Durchfluss erfolgt. Sollte die Flamme erlöschen, verhindert der Schwimmer ein Auslaufen des Öles über die Sicherheitsmarke. Der Ölnachlauf erfolgt aus dem Tank im Ölofen (ca. 20 Liter) oder aus einem externen Tank (bis 300 Liter). Die Zündung des Öles erfolgt händisch durch Paraffin-Dochte oder durch Spiritusanzünder bzw. bei automatischem Betrieb durch einen elektrischen Heizdraht. Ein vollautomatischer Betrieb mittels Thermostatregelung ist möglich. Alle Verdampfungsbrenner sind sehr zugempfindlich. Erforderliche Zugstärke mind. 10-15 Pa. Zugschwankungen oder zu starker Zug können mit einem Zugbegrenzer geregelt und eingestellt werden. Von at-

mosphärischen Einflüssen weitgehend unabhängig sind gebläseunterstützte Verdampfungsbrenner. Die Ventilator-drehzahl ist regelbar, daher können die Luftmenge und der Öldurchfluss gemeinsam gesteuert werden. Verdampfungsbrenner zeichnen sich durch einen hohen Wirkungsgrad aus! Heizleistung ohne Ventilator etwa 3 bis 15 kW, mit Ventilator bis 50 kW, Rußzahl max. 2, Wirkungsgrad 70 – 80 %, CO₂-Gehalt der Abgase 8 – 10 %.

Regelmäßige Reinigung der Heizflächen ist erforderlich. Ölöfen verrußen leicht bei zu schwachem oder zu starkem Unterdruck, bzw. wenn die Luftbohrungen verlegt sind. Bei schwachem Unterdruck kann es zu Verpuffungen kommen.

Zerstäuberbrenner

Bei diesen Brennern wird das Öl durch eine elektrisch angetriebene Ölpumpe auf hohen Druck (7 – 20 bar) gebracht und dann einer Öldüse zugeführt, in der es in feinste Teilchen zerstäubt wird. Ein Ventilator saugt Luft aus dem Heizraum und fördert diese durch das Brennerrohr zur Öldüse, wo sie sich mittels geeigneter Mischvorrichtungen (Stauscheibe, Stausieb, Ringscheiben, Drallscheiben u.a.) mit dem zerstäubten Öl vermischt. Die Einstellung der Luftmenge erfolgt durch Schieber oder

Klappen auf der Saug- oder Druckseite. Luftabschlussklappen verhindern bei Brennerstillstand Auskühlverluste. Durch einen Hochspannungsfunken (Zündelektroden) wird das Gemisch entzündet und brennt selbständig weiter, solange Öl und Luft gefördert werden. Durch die Flammenwärme wird der Ölnebel noch zusätzlich verdampft. Einstufenbrenner arbeiten im Ein/Aus-Betrieb, d.h. sie arbeiten immer mit der vollen Nennleistung des Brenners. Zur besseren Regulierung und Wirkungsgradverbesserung werden bei Brennern über ca. 100 kW Zweistufenbrenner oder zwei Düsen verwendet. Die Luftklappe wird durch einen hydraulischen Antrieb in zwei verschiedenen Stellungen gesteuert. Der Anfahrsstoß ist beim Zweistufenbrenner wesentlich geringer. Aus Gründen der Energieeinsparung werden heute auch schon bei kleineren Leistungen Zweistufenbrenner verwendet. Dadurch wird erreicht, dass der Brenner in der überwiegenden Zeit des Jahres mit verringerter Leistung betrieben werden kann. Bei großen Leistungen werden regelbare (modulierende) Brenner mit Rücklaufdüsen verwendet. Die Luftmenge wird in Abhängigkeit von der zugeführten Ölmenge geregelt. Bei Ölbrennern mit Lambda-Sonden-Steuerung wird in Abhängigkeit von einer ständigen Abgasanalyse mittels

einer Zirkonoxid-Messsonde der O_2 -Gehalt der Abgase gemessen und in einem Bereich von 1 – 1.5 % gehalten. Erreicht werden dadurch ein hoher Wirkungsgrad und geringe Schadstoffemissionen. Je nach Viskosität des Öles ist eine Vorwärmung auf etwa 70 – 120 °C erforderlich, damit die entsprechende „Dünflüssigkeit“ für die Zerstäubung erreicht wird. Durch die Erwärmung wird die Viskosität des Öles herabgesetzt. Zur besseren und emissionsärmeren Verbrennung werden Brenner mit Ölvorwärmung auch für HEL eingesetzt.

Rotationsbrenner

Bei diesen Brennern fließt das Heizöl durch eine schnell rotierende Hohlwelle, einem nach der Kesselseite offenen Becher. Durch Fliehkraftwirkung wird das Öl auf der Becherinnenseite gleichmäßig verteilt, von der Becherkante mit hoher Geschwindigkeit abgeschleudert und dabei feinst zerstäubt. Weitere Brennerarten sind der Emulsionsbrenner, der Luftdruckzerstäuber und der Dampfzerstäuber.

Regel- und Sicherheitseinrichtungen bei Ölzerstäubungsbrennern

Da der Hauptvorteil der Ölheizung der automatische Betrieb ist, muss die Automatik besonders sorgfältig, sicher und störungsfrei gebaut sein. Kleine Anlagen arbeiten im Aus/Ein-Schaltprinzip. Mittlere Anlagen lassen sich in Stufen regeln: Aus-Teillast-Volllast. Große Anlagen sind stufenlos reguliert.

Bestandteile einer Ölfeuerungsanlage

Zu einer vollautomatischen Ölfeuerungsanlage gehören folgende Teile: Der *Zündtransformator* erzeugt beim Einschalten des Brenners zwischen zwei Elektroden Hochspannungsfunken (etwa 10.000 Volt), die das Öl-/Luftgemisch entzünden.

Der *Flammenwächter* hat die Aufgabe, das Vorhandensein oder Ausbleiben der Flamme zu überwachen und zu melden.

Der *Kesselthermostat (Temperaturregler)* ist im Heizkessel angebracht, reagiert auf die Wassertemperatur und schaltet den Brenner bei Abweichung vom Sollwert ein bzw. aus.

Der *Temperaturwächter* schaltet den Ölbrenner bei Überschreiten der höchstzulässigen Temperatur aus.

Der *Ölfeuerungsautomat (Steuergerät)* koordiniert alle Schaltvorgänge in der richtigen Reihenfolge.

Arbeitsweise eines Ölfeuerungsautomaten

Anlauf:

- Einschalten des Motors mit Ventilator und Ölpumpe
- der Zündtransformator erhält Spannung
- nach einigen Sekunden Vorzündzeit wird das Magnetventil geöffnet
- der Ölnebel wird gezündet
- die Flamme brennt
- der Flammenwächter spricht an und schaltet den Zündtransformator aus

Betrieb:

Der Ölbrenner bleibt in Betrieb, solange Wärme angefordert wird

Störschaltung:

Kommt eine Zündung nach Ablauf der Sicherheitszeit nicht zustande oder erlischt die Flamme während des Betriebes, wird der Brenner ausgeschaltet und verriegelt (Entriegelungsknopf).

3.3.4 Weitere Brennerarten

Heizkessel mit Öl- oder Gasgebläsebrennern

Hier wird die Verbrennungsluft mit einem Gebläse der Brennerflamme zugeführt. Da sich die heutigen Öl- und Gaskessel in ihrer Bauart kaum mehr unterscheiden, kann beispielsweise ein Gasheizkessel mit einem Ölgebläsebrenner kombiniert werden. Die Vorteile dieser Gebläsebrenner liegen in der Unabhängigkeit vom Schornsteinzug, dem geringeren Schornsteinquerschnitt, einer stabilen Verbrennung und dem höheren Wirkungsgrad. Als Nachteil muss jedoch der höhere Energieaufwand des Brenners in Kauf genommen werden.

Überdruckkessel

Bei dieser Kesselbauart für Öl- und Gasgebläsebrenner wird zur Überwindung der inneren Kesselwiderstände vom Gebläsebrenner ein Überdruck erzeugt, der am Kesselende durch den Einbau von Turbolatoren, Schikanen und Gegenzügen wieder abgebaut wird. Reinigungsöffnungen und Brenneranschlüsse müssen daher überdruckdicht verschließbar sein.

Zweistoffbrenner

Diese Gas-Öl-Brenner sind für die wechselweise Verbrennung von Öl und Gas gebaut. Anwendung finden diese Brenner dort, wo eine sichere Wärmeversorgung erforderlich ist (z. B. Krankenhäuser und Kraftwerke). Der Aufbau dieser Brenner entspricht im Wesentlichen dem der Ölbrenner. In der Mitte des Brennerkopfes befindet sich die Öldüse, ringsherum die Gasverteilung mittels einzelner Brennerlanzen.



4. Gesetzliche Hintergründe für Messungen an Heizungsanlagen (am Beispiel Deutschland)

In der Bundesrepublik Deutschland wird der Betrieb von Kleinf Feuerungsanlagen durch zwei Rechtsgrundlagen geregelt. Zum einen durch die

1. Bundes-Immissionsschutzverordnung (1. BImSchV), welche schwerpunktmäßig für den Umweltschutz erstellt wurde, und zum anderen durch die Kehr- und Überprüfungsordnung (KÜO), welche der Betriebssicherheit der Anlage dient. Bis 2013 war der Bezirksschornsteinfegermeister der offiziell Beauftragte zur Überwachung dieser Vorschriften. Aufgrund von Unstimmigkeiten mit Vorgaben der Europäischen Union wurde 2008 durch den Bundestag das

neue Schornsteinfeger-Handwerksgesetz (SchfHwG) verabschiedet. Dieses sieht vor, dass nur noch gewisse hoheitliche Aufgaben durch einen bevollmächtigten Bezirksschornsteinfeger durchgeführt werden müssen, wie bspw. die Feuerstättenschau.

In dieser legt der bevollmächtigte Bezirksschornsteinfeger fest, welche Arbeiten nach KÜO und 1. BImSchV in welchem Zeitraum durchzuführen sind. Der Eigentümer der Anlage hat dann die Pflicht, diese Aufgaben durch einen zugelassenen Schornsteinfegerbetrieb seiner Wahl durchführen zu lassen.

Folgende Messungen müssen laut 1. BImSchV durchgeführt werden:

Brennstoffe	Durchzuführende Messungen
Öl	<ul style="list-style-type: none">- Abgasverlust- CO-Konzentration- Auftrieb / Kaminzug- Rußzahl (Öl)
Gas	<ul style="list-style-type: none">- Abgasverluste- CO-Konzentration- Auftrieb / Kaminzug
Holz	<ul style="list-style-type: none">- Staubgehalt- CO-Konzentration

4.1 Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen (1. BImSchV)

Das Bundes-Immissionsschutzgesetz wurde 1974 zum Schutz der Umwelt verabschiedet. Aufgrund der verschiedenartigen Umweltbelastungen wurden in 18 Bundes-Immissionschutzverordnungen (BImSchVs) der gesetzliche Rahmen für den Umweltschutz verankert. Für den Bereich der Wärmegewinnung durch Heizanlagen gibt es vier Bundes-Immissionsschutzverordnungen, die je nach Anlagenleistung und verwendetem Brennstoff den umweltgerechten Betrieb vorschreiben.

Die 1. BImSchV gilt für die Beschaffenheit und den Betrieb von Kleinfeuerungsanlagen.

Für mittlere Leistungen im unteren Megawatt-Bereich gilt die 4. BImSchV, die den Betrieb von genehmigungsbedürftigen Anlagen vorschreibt.

Für Großanlagen über 50 MW gilt die 13. BImSchV. Der Betrieb von Anlagen, die Abfälle oder ähnliche brennbare Stoffe verbrennen, wird von der 17. BImSchV vorgeschrieben.

Da die Kleinfeuerungsanlagen in Ballungsgebieten ganz erheblich zur Schadstoffbelastung beitragen, werden im Zuge der Luftreinhaltung strengere Anforderungen an die technische Ausstattung von Heizanlagen gestellt. Gerade im Bereich der nicht genehmigungspflichtigen Anlagen soll eine Minimierung der Schadstoffemission und die Schonung der Brennstoffvorräte angestrebt werden. Zur optimalen Einstellung der Kleinfeuerungsanlagen müssen anlagespezifische Daten

Leistung MW Brennstoffe	0 ... 1	1 ... 5	5 ... 10	10 ... 50	50 ... 100	>100
Feste Brennstoffe						
Heizöl EL	1. BImSchV	4. BImSchV	4. BImSchV	13. BImSchV		
Andere Heizöle			TA Luft			
Gasförmige Brennstoffe						

Abb. 7: Zuordnung der BImSchV nach Anlageleistung und Brennstoff

erfasst und die Konzentrationen der Schadstoffe ermittelt werden. Die zur Messung verwendeten Geräte müssen eine Eignungsprüfung (TÜV-Prüfung) bestanden haben. Für offizielle Messungen in Deutschland müssen die Messgeräte halbjährlich an einem Prüfstand überprüft werden.

4.2 Kehr- und

Überprüfungsordnung (KÜO)

Im Januar 2010 wurde in Deutschland die KÜO als bundeseinheitliche Verordnung veröffentlicht und am 08. April 2013 geändert. Die Kehr- und Überprüfungsordnung enthält die Aufgaben des Schornsteinfegerhandwerks zur Erhaltung der Betriebs- und Brandsicherheit, des Umweltschutzes, der Energieeinsparung und des Klimaschutzes. Dafür enthält sie Definitionen über die Art der zu prüfenden Anlagen, Zeiträume und Grenzwerte sowie der Verfahren, die bei der Reinigung oder Überprüfung einzuhalten sind.

Folgende Messungen müssen nach KÜO durchgeführt werden:

Brennstoffe	Durchzuführende Messungen
Öl/Gas	<ul style="list-style-type: none">- CO-Konzentration- Messungen im Ringspalt

Einzelheiten zur Durchführung der Messungen finden Sie in Kapitel 5.



5. Messaufgaben an der Heizungsanlage

Um eine optimal arbeitende Anlage zu gewährleisten, müssen bei der Inbetriebnahme sowie regelmäßig wiederkehrend verschiedene Funktionsüberprüfungen, Einstell- und Messtätigkeiten an Gasfeuerungsanlagen, Öl- und Festbrennstoffanlagen durchgeführt werden.

Im Nachfolgenden werden Ihnen diese Tätigkeiten näher erläutert und die gesetzlichen Grenzwerte am Beispiel Deutschlands aufgezeigt.

Bitte beachten Sie daher zusätzlich länderspezifische Richtlinien, Normen und Grenzwerte!

5.1 Funktionsprüfung und Einstellungen an Gasfeuerungsanlagen

Die hier beschriebenen Arbeitsschritte und Hinweise zeigen exemplarisch, wie die Funktionsüberprüfung und Einstellung bei der Inbetriebnahme von atmosphärischen Gaskesseln und Brennwertgeräten auszusehen haben. Nicht aufgeführt sind die Tätigkeiten an Gas-Gebläsebrennern.



Abb. 8: Für die Einstellarbeiten unerlässlich ist ein Abgas-Analysegerät z. B. testo 330i

1 Überprüfen des Gasanschlussdrucks

Vor der Inbetriebnahme des Gerätes muss der Gasanschlussdruck als Fließdruck geprüft werden. Dieser muss innerhalb des zulässigen Druckbereichs laut Herstellerunterlagen liegen (bei Erdgas meistens zwischen 18 – 25 mbar). Andernfalls darf der Gaskessel nicht in Betrieb genommen werden und es ist das zuständige Gasversorgungsunternehmen zu benachrichtigen, um die Ursache zu beheben. Für die Messung des Gasanschlussdrucks wird bei geschlossenem Gasabsperrhahn ein Druckmessgerät an den entsprechenden Mess-Stutzen der Armatur des Gaskessels angeschlossen. Bei geöffnetem Gashahn wird dann der Brenner über das jeweilige Bedienmenü auf Maximalleistung gefahren und der Gasanschlussdruck als Fließdruck gemessen.



Abb. 9: Ablesen von Gasanschluss- und Düsendruck am testo 510

Bei korrektem Anschlussdruck wird der Mess-Stutzen wieder verschlossen und mit der Inbetriebnahme fortgefahren.

Folgen eines falschen Gasdrucks können sein:

Zu hoher Gasdruck

- Flamme geht aus
- unvollständige Verbrennung
- hohe CO-Konzentration
- Gefahr der Vergiftung
- hoher Gasverbrauch

Zu geringer Gasdruck

- Flamme geht aus
- hohe Abgasverluste
- hoher O₂-Gehalt
- niedriger CO₂-Gehalt

2 Einstellen des Gas-Luftverhältnisses

Das Ziel eines umweltgerechten Anlagenbetriebs ist die vollständige Verbrennung des Brennstoffes und die bestmögliche Ausnutzung der Anlage. Eine maßgebende Größe für den optimalen Betrieb ist die Einstellung der Verbrennungsluftmenge.

In der Praxis hat sich für den Anlagenbetrieb ein leichter Luftüberschuss als optimal erwiesen. Der Verbrennung wird etwas mehr Luft zugeführt als theoretisch notwendig wäre. Das Verhältnis der überschüssigen Verbrennungsluft zum theoretischen Luftbedarf nennt man Luftzahl oder Luftverhältniszahl λ (Lambda).

Folgendes Verbrennungsmodell stellt diesen Sachverhalt dar.

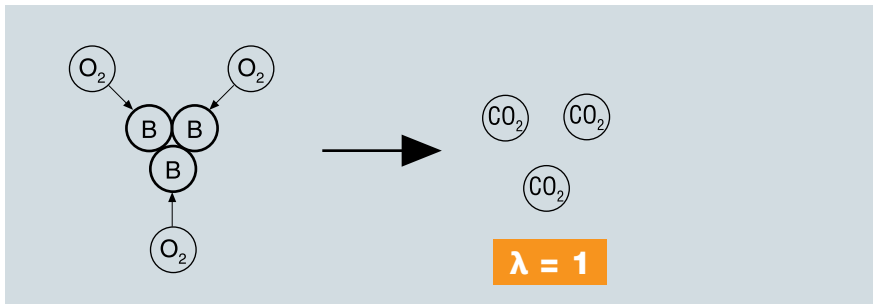


Abb. 10: Ideale Verbrennung

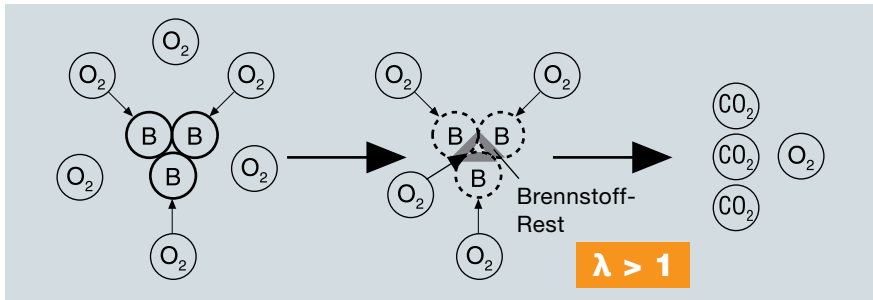
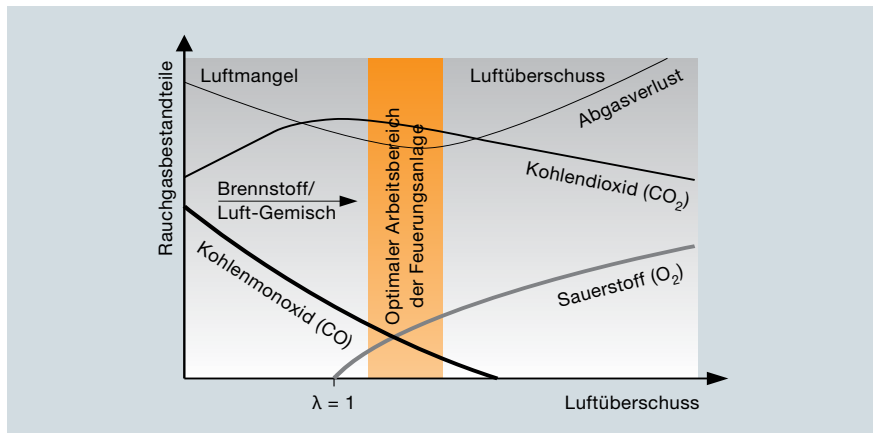


Abb. 11: Tatsächliche Verbrennung

Die Luftzahl wird in Abhängigkeit der Konzentration der Abgaskomponenten CO , CO_2 und O_2 bestimmt. Die Zusammenhänge zeigt das sog. Verbrennungsdiagramm, (vgl. Abb. unten). Bei der Verbrennung gehört zu jedem CO_2 -Gehalt ein bestimmter CO - (bei Luftmangel/ $\lambda < 1$) bzw. O_2 -Gehalt (bei Luftüberschuss/ $\lambda > 1$).

Da der CO_2 -Wert über ein Maximum verläuft, ist er allein nicht eindeutig, sodass zusätzlich eine CO - oder O_2 -Messung erforderlich ist. Bei Betrieb mit Luftüberschuss (Normalfall) wird heute in der Regel die O_2 -Bestimmung vorgezogen. Für jeden Brennstoff ergeben sich ein spezifisches Diagramm und ein eigener Wert für $\text{CO}_{2\text{max}}$ (vgl. Anhang).



Das Diagramm zeigt, dass der Abgasverlust sowohl bei einem bestimmten Maß an Luftmangel steigt, als auch bei einem bestimmten Maß an Luftüberschuss. Der jeweilige steigende Abgasverlust ist wie folgt zu erklären:

1. Im Bereich des Luftmangels wird der verfügbare Brennstoff nicht komplett verbrannt und in Wärme umgewandelt.
2. Im Bereich des Luftüberschusses wird zu viel Sauerstoff erwärmt und direkt durch den Schornstein ins Freie geleitet, ohne für die Wärmeerzeugung genutzt zu werden.

Der maximale Verbrennungswirkungsgrad wird nur dann erzielt, wenn bei leichtem Luftüberschuss der Abgaswärmeverlust auf den kleinsten Wert gebracht wird.

Die einzelnen Arbeitsschritte zur Einstellung des zur gewünschten Wärmeleistung passenden Gas-Luftverhältnis sind detailliert in den Herstellerunterlagen aufgeführt und im Folgenden allgemein beschrieben: Bei Heizwertgeräten geschieht die Einstellung des Gas-Luftverhältnisses mit der manometrischen Methode, d. h. es wird der Düsendruck für Minimal- und Maximalleistung eingestellt. Dazu wird am Mess-Stutzen für den Düsendruck die Dichtschaube gelöst und ein Druckmessgerät angeschlossen.

Der Gaskessel wird dann per Bedienmenü in der Regel zuerst auf maximale (Volllast) und dann auf minimale Geräteleistung (Kleinlast) gebracht. Für beide Leistungsstufen wird an den jeweiligen Einstellschrauben an der Gasarmatur der Düsendruck verändert und über das Druckmessgerät kontrolliert.

Die Angaben zum benötigten Düsendruck stehen in den Herstellerunterlagen (in Abhängigkeit vom Wobbe-Index des verwendeten Gases, welchen man beim Gaslieferanten erfragen kann):

Bei Brennwertgeräten wird das Gas-Luftverhältnis meistens über die Messung des Kohlenstoffdioxid-Gehalts (CO_2) im Abgas eingestellt. Dafür wird das Abgas-Messgerät wie ab Schritt 3 beschrieben vorbereitet und die Rauchgassonde im Abgaskanal

Düsendruck (mbar)		Wärmeleistung (kW)			
		11	13	15	17
Wobbe-Index (kWh/m^3)	12.0 – 16.1	6.0	8.4	11.2	14.5
	10.0 – 13.1	4.8	6.9	8.7	11.3

Tabelle 1: Beispiele für Düsendruckwerte

Gasart	CO_2 bei maximaler Wärmeleistung	CO_2 bei minimaler Wärmeleistung
Erdgas E (H)	9.5 %	8.7 %
Erdgas LL (L)	9.2 %	8.6 %

Tabelle 2: Beispiele für CO_2 -Einstellwerte

platziert. Über das Bedienmenü wird anschließend der Kessel auf Maximalleistung gebracht und der CO_2 -Gehalt im Abgas gemessen. Für die Einstellung des Gas-Luftverhältnisses wird nun die Gasmenge über die Einstellschraube (Gasdrossel) verändert, bis die CO_2 -Werte im Abgas den Vorgaben des Herstellers entsprechen. Teilweise geben Hersteller noch Einstellwerte für die minimale Geräteleistung vor. Die Einstellung erfolgt entsprechend dem Vorgehen für die Maximalleistung. Nach diesen grundsätzlichen Einstellungen muss eine Kontrolle des eingestellten Gaskessels erfolgen. Diese umfasst die Messung des Abgasverlusts (qA) und des Kohlenstoffmonoxid-Gehalts (CO) im Abgas. Für diese beiden Kenngrößen gibt es in Deutschland Grenzwerte, welche in der 1. Bundes-Immissionsschutzverordnung (1. BImSchV) und derkehr- und Überprüfungsordnung (KÜO) definiert sind. In Österreich werden die Grenzwerte von dem Luftreinhaltegesetz sowie der Feuerungsanlagenverordnung festgelegt (s. Anhang).

3 Vorbereiten des Abgas-Messgerätes

Zur Vorbereitung des Messgerätes werden folgende Schritte empfohlen:

- Definition des Sensorschutzes: Zum Schutz der Sensoren vor Überlastung bei hohen CO-Konzentrationen können Schwellenwerte definiert werden, ab denen eine Abschaltung der Abgaspumpe erfolgt und kein Abgas mehr ins Messgerät gezogen wird. Bei einigen Messgeräten, wie dem testo 330-2 LL, erfolgt bei Überschreiten des Schwellenwerts eine Verdünnung des Abgases mit Frischluft und die Messung muss nicht unterbrochen werden.
- Dichtheitsprüfung: Um zu verhindern, dass Frischluft unbemerkt ins Messgerät gezogen wird und die Messergebnisse verfälscht, sollte vor der Abgas-Messung eine Dichtheitsprüfung durchgeführt werden. Die Rauchgassonde wird dabei mit einer Kappe verschlossen, so dass der Durchfluss an der Messgaspumpe nach einer gewissen Zeit gegen Null läuft. Ist dies nicht der Fall liegt eine Undichtheit des Gerätes vor und es sollte bspw. geprüft werden, ob der Verschluss an der Kondensatfalle richtig verschlossen ist.

- Nullung der Gassensoren und des Zugsensors: Für die Nullung der Sensoren muss sich die Rauchgassonde außerhalb des Abgaskanals, im optimalen Fall an der Frischluft, befinden. Das Messgerät saugt die Umgebungsluft über die Rauchgassonde an und leitet sie über die Gassensoren. Diese werden dadurch „gespült“ und die gemessene Gaskonzentration als „Nullpunkt“ gesetzt. Gleichzeitig wird der Drucksensor des Abgasmessgerätes auf den Luftdruck in der Umgebung der Feuerstätte genullt.

Bei einigen Messgeräten, wie dem testo 330-2 LL, kann sich die Sonde auch während der Nullung im Abgaskanal befinden. Hier werden sowohl der Messgasweg als auch der Drucksensor während der Nullung von der Rauchgassonde entkoppelt und die Gaskonzentration bzw. der Luftdruck in der Umgebung des Abgas-Messgerätes für die Nullung verwendet.

4 Bestimmung des Abgasverlusts

Der Abgasverlust ist die Differenz zwischen dem Wärmeinhalt des Abgases und dem Wärmeinhalt der Verbrennungsluft, bezogen auf den Heizwert des Brennstoffes. Er ist damit ein Maß für den Wärmeinhalt der über den Schornstein abgeleiteten Abgase. Je höher der Abgasverlust ist, desto schlechter ist der Wirkungsgrad und damit die Energieausnutzung und umso höher sind die Emissionen einer Heizungsanlage. Aus diesem Grund ist der zulässige Abgasverlust von Feuerungsanlagen in einigen Ländern begrenzt. In Tabelle 3 sind beispielhaft die Grenzwerte in Deutschland aufgeführt.

Nach Ermittlung des Sauerstoffgehaltes und der Differenz zwischen Abgas- und Verbrennungslufttemperatur kann mit den brennstoffspezifischen Faktoren der Abgasverlust berechnet werden. Die brennstoffspezifischen Faktoren (A2, B) sind in den Abgasmessgeräten hinterlegt. Damit die rich-

Nennwärmeleistung in Kilowatt	Grenzwerte für Abgasverluste in Prozent
$\geq 4 \leq 25$	11
$> 25 \leq 50$	10
> 50	9

Tabelle 3: Grenzwerte in Deutschland für Abgasverluste laut 1. BImSchV

tigen Werte für A2 und B verwendet werden, ist die entsprechende Brennstoffwahl am Messgerät notwendig. Statt des Sauerstoffgehaltes kann auch die Kohlendioxidkonzentration (CO₂) zur Berechnung herangezogen werden. Die Abgastemperatur (AT) und der Sauerstoff- beziehungsweise der Kohlendioxidgehalt (CO₂) muss bei der Messung gleichzeitig in einem Punkt gemessen werden. Die VT sollte ebenfalls gleichzeitig gemessen werden.

Die optimale Einstellung der Heizungsanlage über die Berechnung des Abgasverlusts zählt sich aus:

1 % Abgasverlust = 1 % Mehrverbrauch an Brennstoff oder
Energieverlust/Jahr = Abgasverlust x Verbrauch an Brennstoff/Jahr

Dies wird anhand des folgenden Fallbeispiels verdeutlicht:

Berechneter Abgasverlust = 10 %
Verbrauch an Brennstoff/Jahr = 3000 l Heizöl

Demnach entspricht der Energieverlust ca. 300 l Heizöl/Jahr.

Die Berechnungsformeln für den Abgasverlust finden Sie im Anhang unter Punkt 13.1.

Im Folgenden werden die Parameter, welche zur Berechnung benötigt werden, näher erläutert:

Messen der Verbrennungslufttemperatur (VT)

Die meisten Abgas-Messgeräte sind standardmäßig mit einem Temperaturfühler am Gerät ausgestattet. So kann durch das Anbringen des Messgerätes am Brennergehäuse die Verbrennungslufttemperatur in unmittelbarer Nähe der Ansaugstelle des Brenners gemessen werden.

Bei raumluftunabhängigen Anlagen wird dieser Fühler durch einen separaten Temperaturfühler ersetzt, welcher in die Zuführung der Frischluft/Verbrennungsluft eingebracht wird (siehe Abbildung 12).



Für alle Anlagen muss laut BImSchV ein separater Temperaturfühler zur Ermittlung der Verbrennungslufttemperatur verwendet werden, da sich die Verbrennungslufttemperatur während der Messung ändern kann.



Brennwertgeräte sind aufgrund ihrer hohen Effizienz von dieser Messung ausgenommen.

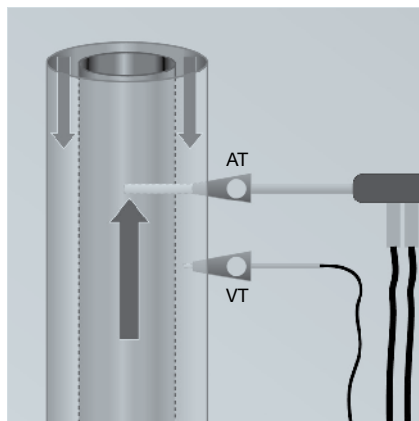


Abb. 12: Messung an raumluftunabhängigen Anlagen

Messen der Abgastemperatur (AT)

Über das Thermoelement in der Rauchgassonde wird die Abgastemperatur gemessen. Dafür wird die Rauchgassonde durch die Messöffnung in den Abgaskanal geführt (der Abstand der Messöffnung zum Kessel sollte mindestens den zweifachen Durchmesser des Abgaskanals haben). Durch ständige Temperaturmessung wird der Punkt mit der höchsten Abgastemperatur gesucht (der sogenannte Kernstrom) und die Sonde dort platziert. Im Kernstrom sind die Temperatur und die Kohlendioxid-Konzentration (CO_2) am höchsten und der Sauerstoffgehalt (O_2) am geringsten.

Hinweis: Durch Ablagerung von Kondensat auf dem Temperatursensor kann es zu einem schlagartigen Absinken der Abgastemperatur kommen.

Messen der O_2 -Konzentration

Der bei der Verbrennung im Falle von Luftüberschuss nicht verbrauchte Sauerstoff tritt als gasförmiger Abgasanteil in Erscheinung und ist ein Maß für den Wirkungsgrad der Verbrennung.

Das Abgas wird mit einer Pumpe über die Rauchgassonde angesaugt und in den Messgasweg des Abgasanalysegeräts geleitet. Dort wird es über den Gas-Sensor (Messzelle) für O_2 geleitet und die Gaskonzentration bestimmt. Der O_2 -Gehalt wird auch verwendet, um daraus die CO_2 -Konzentration im Abgas zu berechnen, welche wie oben beschrieben für die Einstellung von Gasbrennwertgeräten verwendet wird.



Überraschend hohe O_2 -Werte können durch Undichtheit des Messgerätes hervorgerufen werden, weil Frischluft angezogen wird und das Abgas verdünnt. Zur Prüfung sollte eine Dichtheitsprüfung des Messgerätes durchgeführt werden.

Messen der

Kohlendioxid-Konzentration (CO_2)

Statt des Sauerstoffgehaltes kann wie zuvor bereits erwähnt auch die Kohlendioxidkonzentration (CO_2) zur Berechnung des Abgasverlustes herangezogen werden.

Ist bei geringem Luftüberschuss (vollkommene Verbrennung) ein möglichst hoher CO_2 -Anteil vorhanden, dann sind die Abgasverluste am geringsten. Für jeden Brennstoff gibt es einen maximal erreichbaren CO_2 -Gehalt ($\text{CO}_{2\text{max}}$) im Abgas, der durch die chemische Zusammensetzung des Brennstoffes gegeben ist. Dieser Wert lässt sich in der Praxis jedoch nicht erreichen, da für den sicheren Betrieb des Brenners immer ein gewisser Luftüberschuss benötigt wird, welcher den prozentualen Anteil des CO_2 im Abgas reduziert. Aus diesem Grund wird bei der Einstellung des Brenners nicht der maximale sondern ein möglichst hoher CO_2 -Gehalt angestrebt.

$\text{CO}_{2\text{max}}$ -Werte für verschiedene Brennstoffe:

- Heizöl 15.4 Vol. % CO_2
- Erdgas 11.8 Vol. % CO_2
- Kohle 18.5 Vol. % CO_2

In den Herstellerunterlagen finden sich häufig Angaben darüber, welche CO_2 -Konzentrationen erreicht werden können und welche Änderungen in den Einstellungen der Luftmenge zum Erreichen dieser Werte vorgenommen werden sollen.

Bei den meisten Abgas-Messgeräten ist kein CO_2 -Sensor enthalten, sondern die CO_2 -Konzentration im Abgas wird anhand des gemessenen O_2 -Gehalts berechnet. Dies ist möglich, da beide Werte in einem festen Verhältnis zueinander stehen. Da in diese Berechnung der maximale CO_2 -Gehalt des jeweiligen Brennstoffs eingeht, muss vor jeder Messung der passende Brennstoff der Anlage am Abgas-Messgerät eingegeben werden.

Ermittlung des Abgasverlustes (q_A)

Aus diesen gemessenen Werten berechnet das Messgerät den Abgasverlust. Dieser muss in Deutschland nach den Einstellarbeiten am Gaskessel unter den Grenzwerten aus Tabelle 3 liegen.



Ein untypisch hoher Abgasverlust kann folgende Ursachen haben:

- Falsche Nullung des Messgerätes
- Falscher Brennstoff eingestellt

Ein schlagartiges Absinken der Abgastemperatur kann folgende Ursachen haben:

- Ein Tropfen Kondensat befindet sich auf dem Thermoelement (Temperatursensor)
- Abhilfe: Rauchgassonde waagrecht oder nach unten montieren, damit das Kondensat abtropfen kann.

5 Ermittlung des Wirkungsgrades (η)

Bei konventionellen Heizungsanlagen

Der feuerungstechnische Wirkungsgrad (η) einer konventionellen Heizungsanlage wird ermittelt, indem man von der gesamten zugeführten Energie (Heizwert HU = 100 % der zugeführten Energie) den Abgasverlust (q_A) abzieht. Zur Berechnung des Wirkungsgrades muss demnach zuerst der Abgasverlust ermittelt werden (siehe Details oben).

Bei Brennwertanlagen

Da an modernen Brennwertanlagen Kondensationswärme zurückgewonnen wird, wurde zur korrekten Berechnung bei Testo der zusätzliche Wert XK eingeführt, der die Nutzung der Kondensationswärme bezogen auf den Heizwert beinhaltet. Bei Abkühlung der Abgase unter deren Taupunkttemperatur, deren theoretischer Wert brennstoffspezifisch im Testo-Messgerät hinterlegt ist (vgl. Abb. 14), gibt der Beiwert XK die zurückgewonnene Verdampfungswärme des kondensierten Wassers als negativen Wert an, wodurch der Abgasverlust sich verringert

Brennstoff	Taupunkttemperatur (in °C)
Erdgas H	57.53
Heizöl EL	50.37
Flüssiggas (70/30)	53.95
Stadtgas	61.09

Abb. 13: Brennstoffspezifische Taupunkttemperaturen des Abgases. Berechnet für Normdruck (1013 mbar) und stöchiometrische Verbrennung auf Basis von ZIV-Unterlagen.

bzw. negativ werden kann. Der auf den Heizwert bezogene Wirkungsgrad kann dadurch Werte von über 100 % annehmen (vgl. folgendes Beispiel).

$A_2 = 0.68$
 $B = 0.007$
 $AT = 45 \text{ °C}$
 $VT = 30 \text{ °C}$
 $O_2 = 3 \text{ %}$
 $XK = 5.47 \text{ %}$

q_A (ohne Beiwert XK) = 1 %

q_A (mit Beiwert XK) = -5 %

$\eta = 100 \text{ %} - (-5 \text{ %})$

Mit untenstehender Grafik wird anhand eines weiteren Beispiels nochmals verdeutlicht, weshalb bei Brennwertanlagen der Wirkungsgrad größer als 100 % ist.

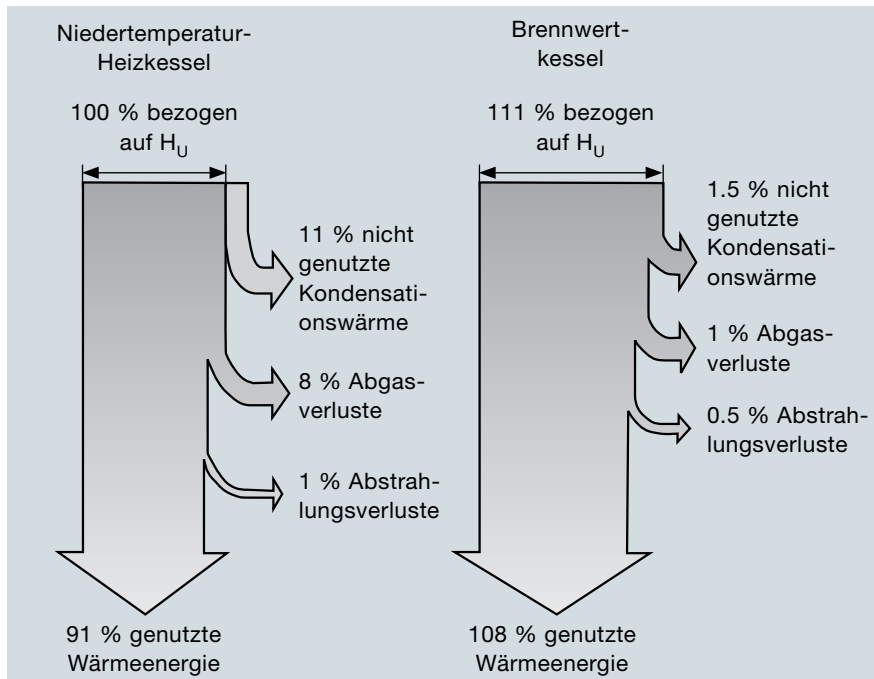


Abb. 14: Energieverluste bei Niedertemperatur- und bei Brennwertkesseln

Wenn der Brennstoff vollständig umgesetzt wird, entstehen Wärme und Wasserdampf.

- Wird die Wärme vollständig erfasst, erhält man 100 % vom Heizwert HU.
- Rechnet man die im Wasserdampf enthaltene Energie (Kondensationswärme) dazu, erhält man den Brennwert HS.
- Der gesamte Brennwert HS ist immer höher als der Heizwert HU.
- Bei der Berechnung des Wirkungsgrades wird immer der Heizwert HU zugrunde gelegt.
- Brennwertkessel nutzen jedoch zusätzlich zum Heizwert die Kondensationsenergie aus. Deshalb kann der Wirkungsgrad rechnerisch größer als 100 % sein.

6 Messung des Kaminzugs

Der Auftrieb oder Kaminzug ist bei Naturzugkesseln die Grundvoraussetzung für die Ableitung der Abgase durch den Schornstein. Aufgrund der geringeren Dichte der heißen Abgase gegenüber der kälteren Außenluft entsteht im Schornstein ein Unterdruck, der auch Kaminzug genannt wird. Durch diesen Unterdruck wird die Verbrennungsluft angesaugt und es werden alle Widerstände des Kessels und des Abgasrohres überwunden. Bei Überdruckkesseln braucht auf die Druckverhältnisse im Schornstein nicht geachtet zu werden, da dort ein Gebläsebrenner den zum Ableiten der Abgase notwendigen Überdruck erzeugt. Bei diesen Anlagen kann ein kleinerer Schornsteindurchmesser verwendet werden.

Bei der Messung des Kaminzugs wird die Differenz zwischen dem Druck innerhalb des Abgaskanals und dem Druck des Aufstellraumes ermittelt. Dies erfolgt wie bei der Bestimmung des Abgasverlusts im Kernstrom des Abgaskanals.

Wie weiter oben beschrieben, muss der Drucksensor des Messgerätes vor der Messung genullt werden.



Zu niedrige Werte bei der Zugmessung können folgende Ursachen haben:

- Der Zugweg im Messgerät ist undicht.
- Drucksensor nicht richtig genullt.

Zu hohe Werte können folgende Ursachen haben:

- Zu starker Schornsteinzug.
- Drucksensor nicht richtig genullt.

Typische Werte des Kaminzuges:
 Überdruckkessel mit Gebläsebrenner +
 Brennwert: 0.12 – 0.20 hPa (mbar)
 Überdruck Ölverdampfungsbrenner
 und atmosphärische Gasfeuerung:
 0.03 – 0.10 hPa (mbar) Unterdruck

7 Messung der CO-Konzentration

Die Überprüfung des CO-Wertes lässt Rückschlüsse auf die Qualität der Verbrennung zu und dient der Sicherheit des Anlagenbetreibers. Bei Verstopfung der Abgaswege würden beispielsweise bei atmosphärischen Gasheizgeräten die Abgase über die Strömungssicherung in den Heizraum gelangen, was zu einer Gefährdung des Betreibers führen würde. Daher müssen nach Einstellarbeiten am Gaskessel die Kohlenmonoxid-Konzentration (CO) gemessen und die Abgaswege überprüft werden. Bei Gasbrennern mit Gebläse ist diese Sicherheitsmaßnahme nicht notwendig, da dort die Abgase in den Schornstein gedrückt werden.

Die Messung darf frühestens 2 Minuten nach Inbetriebnahme der Gasfeuerung durchgeführt werden, da erst dann der erhöhte CO-Gehalt während des Anfahrens der Anlage auf den normalen Betriebswert abgesunken ist. Dies gilt auch bei Gaskesseln mit Verbrennungsregelung, da diese bei Bren-



Abb. 15: Mit dem Abgas-Analysegerät testo 330 können neben den Abgas-Messwerten auch schnell und präzise Absolut- und Differenzdrücke gemessen werden.

nerstart eine Kalibrierung durchführen, während der kurzzeitig sehr hohe CO-Emissionen auftreten können. Die Messung erfolgt wie bei der Bestimmung des Abgasverlusts im Kernstrom des Abgaskanals. Da das Abgas allerdings mit Frischluft verdünnt ist, muss der CO-Gehalt auf unverdünntes Abgas zurückgerechnet werden (ansonsten könnte der CO-Gehalt durch Beimengung von Luft manipuliert werden). Dafür berechnet das Messgerät mit dem gleichzeitig im Abgaskanal gemessenen Sauerstoffgehalt die unverdünnte CO-Konzentration und zeigt diese als $\text{CO}_{\text{unverdünnt}}$ an.

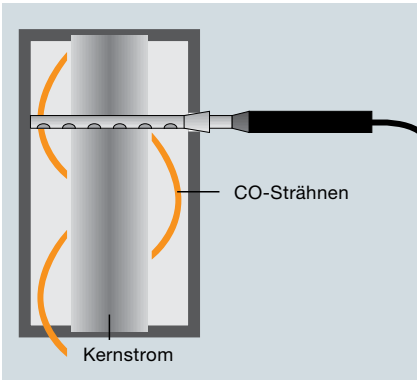


Abb. 16: CO-Messung mit der Mehrlochsonde

Die Berechnungsformel für die unverdünnte Kohlenmonoxid-Konzentration finden Sie im Anhang 13.1.

Bei atmosphärischen Gasanlagen ist die CO-Konzentrationen im Abgasrohr nicht überall gleich hoch (Strähnenbildung). Daher muss die Probenentnahme bei einer Konzentration von $> 500 \text{ ppm}$ mit einer Mehrlochsonde durchgeführt werden. Die Mehrlochsonde weist eine Reihe von Bohrungen auf, die die CO-Konzentration über den ganzen Durchmesser des Abgasrohres aufnimmt.

Die Grenzwerte für den CO-Gehalt bei Gasfeuerstätten sind in Deutschland in der KÜO festgelegt und beziehen sich auf unverdünntes Abgas (siehe Tabelle 4).

Messwert	Vorgehen
$\text{CO}_{\text{unverdünnt}} > 500 \text{ ppm}^*$	Wartung der Anlage notwendig
$\text{CO}_{\text{unverdünnt}} > 1000 \text{ ppm}^*$	Stilllegung der Anlage

Tabelle 4: CO-Messwerte und Bedeutung



Folgende Ursachen kommen für einen Rückstau in Betracht:

- Verengung der Abgasleitung durch Schmutz oder Verformung.
- Nicht ausreichende Verbrennungsluftversorgung.
- Materialermüdung von Dichtungen, auseinandergerutschte Rohrverbindungen, Korrosion

8 Abgaswegeüberprüfung Prüfen der Strömungssicherung

Bei atmosphärischen Gaskesseln mit Strömungssicherung ist der einwandfreie Abzug der Abgase Voraussetzung für die sichere Funktion der Feuerungsanlage. Hierfür kann ein Rückstaumelder verwendet werden, welcher neben die Strömungssicherung gehalten wird und dort den Niederschlag der im Abgas enthaltenen Feuchtigkeit detektiert.

Dichtheitsprüfung der Abgaswege

Bei raumluftunabhängigen Heizungsanlagen wird die Dichtheit der Abgaswege durch die O₂-Zuluft-Messung im Ringspalt geprüft. Die O₂-Konzentration in der Ansaugluft im Ringspalt sollte generell 21 % betragen. Werden Werte unterhalb 20,5 % gemessen, muss dies als Undichtheit des innen liegenden Abgaskanals interpretiert werden und die Anlage muss überprüft werden.



Abb. 17: Anwendung des Rückstaumelders testo 317-1

Die sichelförmige Mehrlochsonde von Testo ermöglicht die sichere und schnelle Messung des O_2 -Gehalts im Ringspalt. Die herkömmliche Methode zur Dichtheitsprüfung an einer Abgasleitung durch die Druckprobe wird heute nur noch im Kamin angewendet. Mit einem Dichtheitsprüfgerät wird in die Abgasleitung Luft eingebracht, bis sich ein Druck von 200 Pa einstellt. Unter Beibehaltung des Drucks wird festgestellt, welche Luftmenge über Undichtheiten entweicht. Bis zu einer Leckrate von 50 l/(hm²) gilt die Abgasleitung als ausreichend dicht.

9 Pflege des Messgerätes
Nach der Messung sollte die Rauchgassonde bei eingeschalteter Messgaspumpe aus dem Abgaskanal entnommen werden. Dadurch wird die saubere Umgebungsluft über die Gas-Sensoren geleitet und spült diese.

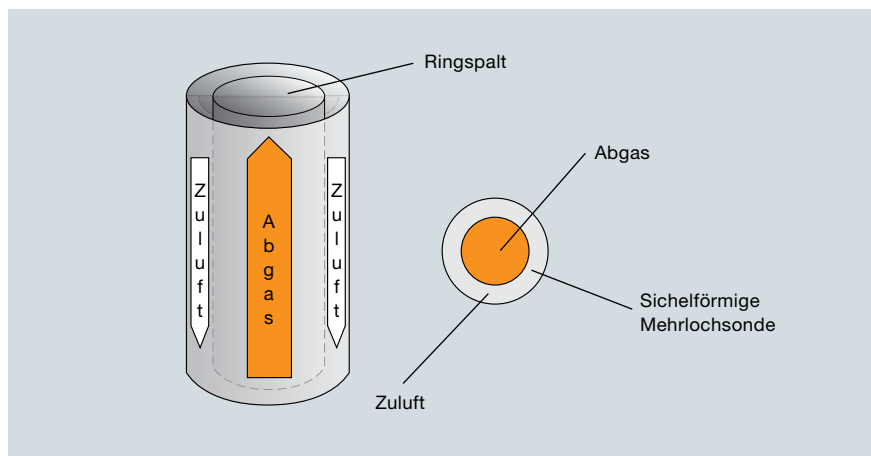


Abb. 18: O_2 -Ringspaltmessung mit sichelförmiger Mehrlochsonde

Zusätzliche Überprüfung an Feuerungsanlagen:

Überprüfung von Stickoxiden (NO_x)

Durch die Messung der Stickoxide können die feuerungstechnischen Maßnahmen zur Verminderung des Stickoxid-Ausstoßes an Feuerungsanlagen überprüft werden. Als Stickoxide (NO_x) wird die Summe aus Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO_2) bezeichnet. Das Verhältnis von NO und NO_2 ist im Kleinf Feuerungsbe- reich (außer Brennwertanlagen) immer gleich (97 % NO, 3 % NO_2). Deshalb werden normalerweise die Stickoxide NO_x nach Messung von Stickstoffmo- noxid NO berechnet.

Sind genaue NO_x -Messungen erfor- derlich, müssen die Stickstoffmono- xid- (NO) und Stickstoffdioxid-Anteile (NO_2) gemessen und addiert werden. Bei Brennwertkesseln oder bei der Verwendung von Mischbrennstoffen ist dies der Fall, da das Verhältnis in die- sen Fällen nicht 97% zu 3% beträgt.

Aufgrund der guten Wasserlöslichkeit von Stickstoffdioxid (NO_2) muss zur genauen Ermittlung der NO_2 -Konzen- tration trockenes Abgas gemessen werden, da sonst das im Kondensat gelöste NO_2 nicht berücksichtigt wird. Deshalb ist bei Stickstoffdioxid-Mes- sungen immer eine Gasaufbereitung zu verwenden, die das Abgas vor der eigentlichen Messung trocknet.

- Wird in der Nähe eines Elektrofilters gemessen, so muss aufgrund der statischen Aufladung die Rauchgas- sonde geerdet werden.
- Werden hohe Staub- und Rußbelas- tungen erwartet, müssen gereinigte und trockene Filter verwendet wer- den. Eventuell Vorfilter verwenden.



- Zigarettenrauch beeinflusst die Messung (min. 50 ppm).
- Atemluft eines Rauchers beeinflusst die Messung um ca. 5 ppm.
- Nullung an frischer Luft durchführen.

Überprüfung von CO-/CO₂

in der Umgebung

CO-Umgebungsmessung

Bei der Wartung von Gasthermen in Wohnräumen sollte aus Sicherheitsgründen parallel zur Abgasmessung eine CO-Umgebungs-Messung durchgeführt werden, da rückströmendes Abgas zu hohen CO-Konzentrationen und somit zur Vergiftungsgefahr des Betreibers führen kann. Ab einer CO-Konzentration von 0.16 Vol. % (1.600 ppm) in der Atemluft führt es für Menschen zum Tod.

Diese Messung sollte auf jeden Fall vor allen anderen Messungen durchgeführt werden.

CO-Konzentration in der Luft		Inhalationszeit und Folgen
30 ppm	0.003 %	MAK-Wert (max. Arbeitsplatzkonzentration in Deutschland bei achtstündiger Arbeitszeit)
200 ppm	0.02 %	Leichte Kopfschmerzen innerhalb von 2 bis 3 Stunden Kopfschmerzen im Stirnbereich innerhalb 1 bis 2 Stunden, breitet sich im ganzen Kopfbereich aus
400 ppm	0.04 %	
800 ppm	0.08 %	Schwindel, Übelkeit und Gliederzucken innerhalb 45 Minuten, Bewusstlosigkeit innerhalb 2 Stunden
1.600 ppm	0.16 %	Kopfschmerzen, Übelkeit und Schwindel innerhalb 20 Minuten, Tod innerhalb 2 Stunden
3.200 ppm	0.32 %	Kopfschmerzen, Übelkeit und Schwindel innerhalb 5 bis 10 Minuten, Tod innerhalb 30 Minuten
6.400 ppm	0.64 %	Kopfschmerzen und Schwindel innerhalb 1 bis 2 Minuten, Tod innerhalb 10 bis 15 Minuten
12.800 ppm	1.28 %	Tod innerhalb 1 bis 3 Minuten

CO₂-Umgebungsmessung

Bei der Umgebungsmessung wird oft nur der CO-Gehalt der Umgebungsluft bestimmt. Doch auch CO₂ ist für Menschen ab einer bestimmten Konzentration, wie sie etwa bei blockierten Rauchgasabzügen entsteht, schädlich. Um mögliche Gefahren sicher auszuschließen, muss man beide Werte berücksichtigen. Der CO₂-Gehalt ist ein verlässlicher Frühindikator für Vergiftungen und damit eine optimale Ergänzung zur CO-Messung. Die parallele Messung beider Werte ermöglicht schon frühzeitig eine ganzheitliche Aussage zu gefährlichen Konzentrationen.

Wirkung der CO ₂ -Konzentration auf den Menschen		
387 ppm	0.0387 %	Normale CO ₂ -Konzentration im Freien
5.000 ppm	0.5 %	Maximal erlaubte Arbeitsplatzkonzentration
15.000 ppm	1.5 %	Atemzeitvolumen nimmt um mindestens 40 Prozent zu
40.000 ppm	4 %	CO ₂ -Konzentration beim Ausatmen
50.000 ppm	5 %	Schwindel, Kopfschmerz
80.000 – 100.000 ppm	8 bis 10 %	Atemnot, Schwächegefühl bis Bewusstlosigkeit Tod nach 30 bis 60 Minuten
200.000 ppm	20 %	Schnelle Bewusstlosigkeit Tod nach 5 bis 10 Minuten

5.2 Funktionsprüfung und
Einstellungen an
Ölfeuerungsanlagen

Die hier beschriebenen Arbeitsschritte und Hinweise zeigen exemplarisch, wie die Einstellungen und Messungen bei der Inbetriebnahme von Heizwertgeräten auszusehen haben. Dies sind Niedertemperaturheizkessel mit Ölgebläsebrenner. Brennwertgeräte werden hier nicht berücksichtigt.

1 Messen der Rußzahl

Bei der Messung der Rußzahl wird die Rußpumpe mit eingelegetem Filterpapier in den Abgaskanal eingeführt und das Abgas mit zehn gleichmäßigen Hügen angesaugt. Anschließend wird das Filterblättchen entnommen und auf das Vorhandensein von Ölderivaten (Öltröpfchen) untersucht.

Wird eine Verfärbung durch Ölderivate festgestellt oder ist der Filter durch Kondensatbildung feucht geworden, muss die Messung wiederholt werden. Für eine offizielle Rußzahlbestimmung in Deutschland müssen drei Einzelmessungen durchgeführt werden. Die Schwärzungen des Filterpapiers werden jeweils mit der Bacharach-Skala



Abb. 19: Mit einem Rauchgasanalysegerät lassen sich einfach und präzise alle wichtigen Mess- und Berechnungswerte ermitteln.

Rußzahl Anlage errichtet oder wesentlich geändert...	
bis 30.9.1988	ab 1.10.1988
2	1

Tabelle 5: Grenzwerte der Rußzahl bei Ölkesseln mit Gebläsebrenner und mehr als 11 kW

verglichen. Durch Bildung des Mittelwerts aus den Einzelmessungen wird der endgültige Wert bestimmt. Die Tabelle 5 gibt Auskunft über die zulässigen Grenzwerte in Deutschland. Die Rußzahl 0 sollte angestrebt werden.



Bei unbekannten Anlagen sollte zuerst eine Rußmessung durchgeführt werden, damit die Messgeräte durch die eventuell vorhandenen Verbrennungsrückstände (Ruß und Ölderivate) nicht unnötig belastet werden.



Als Ursache für die Ölrückstände kommt meist eine Verschmutzung der Öldüse in Betracht. Des Weiteren könnten die Ursache die Zündelektroden sein, die in den Ölnebel ragen. In beiden Fällen werden die Öltröpfchen dann nicht fein genug zerstäubt und damit nicht verbrannt. Eher selten – aber nicht zu übersehen – sind die Fälle bei schlechter Verbrennung (durch zu wenig Sauerstoff) oder „Unterkühlung der Flamme“. Letzteres tritt auf, wenn der Kessel und Brenner nicht aufeinander abgestimmt sind, wenn die Brennerleistung also sehr viel kleiner ist als die Kesselleistung.

Bei hohen Rußzahlen sollte zuerst einmal die Grundeinstellung des Ölbrenners überprüft und geändert werden, bevor die Einstellungen mit Hilfe eines Abgas-Messgerätes weiter optimiert werden.

Schritt 2 erläutert hierzu das Vorgehen:

2 Einstellungen an Ölbrennern

Bei der Inbetriebnahme und Wartung von Ölbrennern ist eine Einstellung und Kontrolle der wichtigsten Parameter vorzunehmen. Die einzelnen Arbeitsschritte hierfür sind detailliert in den Herstellerunterlagen aufgeführt und im Folgenden allgemein für die sogenannten Gelbbrenner beschrieben.

Auswahl der richtigen Düse

In der Düsenauswahltabelle werden anhand der gewünschten Brennerleistung die passende Düse und der einzustellende Öldruck ausgewählt.

Grundeinstellung der Luftmenge

Die Herstellerunterlagen enthalten Informationen zur Grundeinstellung der benötigten Luftmenge des Brenners. In Abhängigkeit von der geforderten Feuerungswärmeleistung werden auf einer Skala die zugehörigen Werte für die Einstellung der Luftklappe und der Stauscheibe vorgegeben.

Grundeinstellung der Ölpumpe (Pumpendruck)

Der Pumpendruck wurde bereits anhand der gewünschten Brennerleistung und Auswahl der Düse in der Düsenauswahltabelle definiert. An der Ölpumpe wird zum Ablesen des Pumpendrucks ein Druckmanometer angeschraubt und der Pumpendruck über die Druckregulierschraube der Pumpe entsprechend eingestellt. Mit einem ebenfalls an der Ölpumpe angebrachten Vakuummeter wird überprüft, dass der Unterdruck in der Saugleitung 0.4 bar nicht überschreitet.



Beim **Gelbbrenner** wird das Heizöl über eine Düse zerstäubt und die Vergasung des Öls findet innerhalb der Flamme statt. Bei der Verbrennung ist eine gelbliche Flamme zu erkennen.

Bei einem **Blaubrenner** wird das heiße Abgas genutzt, um das zerstäubte Öl noch vor der tatsächlichen Verbrennung zu erwärmen und somit findet die Vergasung des Öls vor der Flamme statt. Hierdurch ist eine bläuliche Flamme zu sehen.

Optimierung und Kontrolle der Verbrennung

Mit diesen Grundeinstellungen von Luftmenge und Öldruck sollten bereits geeignete Verbrennungswerte erreicht werden, die mit Hilfe einer Abgasmessung weiter optimiert werden können. Dabei erfolgt die Optimierung der Verbrennung generell über eine Veränderung der Luftmenge an der Luftklappe (Grobeinstellung) bzw. der Stauscheibe (Feineinstellung). Zu wenig Verbrennungsluft verhindert eine vollständige Verbrennung und damit vollständige Nutzung des Brennstoffes und führt zu Rußbildung. Zu viel Verbrennungsluft führt dazu, dass überschüssige Luft im Brennraum erwärmt und über den Kamin ungenutzt abgeführt wird. Abhängig vom Brennerhersteller werden für die Optimierung der Verbrennung Vorgaben für CO_2 - oder CO-Werte, Luftüberschuss oder Abgasverlust/Wirkungsgrad gemacht. Diese Werte werden mit einem Abgas-Messgerät ermittelt.

Die folgenden Arbeitsschritte werden nicht näher erläutert, da sich diese von den Schritten bei der Überprüfung und Einstellung von Gasfeuerungsanlagen nicht unterscheiden und daher unter Kapitel 5.1 (3. Schritt bis 7. Schritt) nachgelesen werden können.

3. Schritt: Vorbereiten des Abgas-Messgerätes
4. Schritt: Bestimmung der Abgasverlusts
5. Schritt: Ermittlung des Wirkungsgrades (η)
6. Schritt: Messung des Kaminzugs
7. Schritt: Messung der CO-Konzentration

5.3 Wiederkehrende Überwachung von Festbrennstoffanlagen gemäß der 1. BImSchV

Die Novelle der 1. BImSchV schreibt die wiederkehrende Überprüfung von kleinen und mittleren Festbrennstoffanlagen vor. In diesem Kapitel möchten wir Ihnen den Ablauf einer wiederkehrenden Überprüfung gemäß der 1. BImSchV vorstellen. Der Ablauf ist auf die Verwendung des Feinstaubmessgeräts testo 380 angepasst, um möglichst zeitsparend arbeiten zu können.

1. Generelle Informationen

Auch wenn man es dem kleinen und leichten Koffer auf den ersten Blick nicht ansieht: Beim Feinstaubmessgerät testo 380 handelt es sich um ein Hochpräzisionsmessgerät, das CO, O₂ und Feinstaub parallel messen kann.

Das testo 380 besteht im Wesentlichen aus drei Hauptkomponenten:

Dem Feinstaubsensor

Der Feinstaubsensor ermöglicht eine Online-Messung, wodurch man wesentlich besser bewerten kann, wann und warum hohe Feinstaubemissionen vorkommen. Darüber hinaus können Messwerte sofort ausgegeben werden.

Der Feinstaubsonde mit dem Rotationsverdünner

Mit nur einer Sonde werden die CO-, O₂-, sowie die Feinstaubwerte gemessen. Natürlich kann die Sonde auch die Zugmessung und die Messung der Abgastemperatur erledigen.

Dem testo 330

Das Abgasanalysegerät, das die parallele Messung von CO und O₂ ermöglicht. Das Beste daran ist, dass man das testo 330 jederzeit aus dem testo 380 herausnehmen und unabhängig davon für die Messungen an Öl- und Gasbrennern nutzen kann. Das hat den Vorteil, dass man nur ein Paar elektrochemische Sensoren benötigt, die sich mit der Zeit verbrauchen. Glücklicherweise hat man auf diese Sensoren aber wie gewohnt auch 4 Jahre Garantie.

Wie alle anderen elektronischen Geräte sollte aber auch das testo 380 nicht Kälte und Feuchtigkeit bzw. Kondensation ausgesetzt werden. Daher sollte das Messgerät nicht über Nacht im Auto gelassen werden.

2. Vorbereitungen

Das Feinstaubmessgerät braucht eine gewisse Stabilisierungszeit (i.d.R. < 10 min). Während der Stabilisierungszeit heizt sich das System auf die Betriebstemperatur auf. Falls das Messgerät über Nacht im Auto durchgekühlt wurde, dauert diese Stabilisierungszeit natürlich entsprechend länger.

Sobald man das Messgerät aufgebaut und angeschlossen hat, sollte man die Dichtheitsprüfung durchführen und den Brennstoff auswählen. Denn erst dann wird das Gerät auf die korrekten Temperaturen aufgeheizt. Ist der Brennstoff eingestellt, kann man bedenkenlos andere Tätigkeiten (wie z.B. Prüfung der Brennstofffeuchte) durchführen, bei denen man nicht direkt neben dem Gerät steht.

3. Dichtheitsprüfung

Führt man eine offizielle Abnahmemessung oder eine Einstufungsmessung durch, wird man automatisch gefragt, ob das Messgerät die Dichtheitsprüfung bestanden hat. Klickt man dabei auf „Nein“, so kommt man zur Dichtheitsprüfung. Bei der Dichtheitsprüfung sind zwei Gaswege zu verschließen.

Rohgasweg

Um den Rohgasweg abzudichten, muss die Abdeckkappe auf der Sonde angebracht werden. Sie schließt den Weg zwischen Sonde und CO, O₂ Sensoren.



Messgasweg

Um den Messgasweg abzudichten, muss die kleine Abdeckkappe auf die Kondensatfalle aufgesteckt werden. Hierbei wird die Dichtheit zwischen Box, dem Rotationsverdünner und dem Feinstaubsensor geprüft. Da die Stelle schwer zu erreichen ist, kann man den Lufteinlass auch mit dem Finger blockieren. Hierbei ist zu beachten, dass man den Finger nicht vor Beendigung der Prüfung beider Gaswege entfernen sollte (wird durch „OK“ bestätigt). Entfernt man den Finger zu früh, setzt man den Drucksensor einem heftigen Stoß aus, was bei wiederholtem Auftreten zu Beschädigungen am Drucksensor führen kann.

4. Brennstoffauswahl

Sobald man die Brennstoffauswahl getroffen hat, beginnt sich das testo 380 auf die benötigten Betriebstemperaturen einzustellen. Nun beginnt die Stabilisierungszeit, die dazu dient, den Feinstaubsensor in einen definierten Zustand zu bringen und zu nullen. Während der Stabilisierungszeit kann man die Koeffizienteneingabe durchführen.



Hierzu sind folgende Punkte zu beachten:

Grenzwert Staub

Abhängig vom eingegebenen Staubgrenzwert wird die dem Grenzwert zugehörige Messunsicherheit vom Messergebnis abgezogen. Die Messunsicherheiten können im Bundesanzeiger nachgelesen oder über Geräteinformationen ausgedruckt werden.

Brennstofffeuchte

Die Brennstofffeuchte hat einen Einfluss auf die Feinstaubentwicklung. Daher sollte der Wert so genau wie möglich eingegeben werden. Um keine falschen Messergebnisse zu erhalten, reicht es jedoch, die Brennstofffeuchte mit einer Messunsicherheit von $\pm 15\%$ (u) anzugeben. Das bedeutet, mit der Eingabe von 20 % (u) deckt man den Bereich von 5 % (u) bis 35 % (u) ab. Um die Brennstofffeuchte zu messen empfehlen wir das testo 606-2.

Umgebungstemperatur

Um einen Richtwert für die Umgebungstemperatur zu haben, haben wir einen Temperaturfühler in das testo 380 eingebaut. Jedoch wird dieser bei längerer Laufzeit durch die Temperatur der Messbox beeinflusst. Daher empfiehlt es sich, parallel die Umgebungstemperatur mit einem externen Messgerät (z. B. testo 606-2) zu prüfen.

Umgebungsfeuchte

Die Umgebungsfeuchte sollte am besten an der gleichen Stelle wie die Umgebungstemperatur gemessen werden. Daher empfehlen wir, auch hier das testo 606-2 zu nutzen. Damit können Umgebungstemperatur und Umgebungsfeuchte mit wenigen Knopfdrücken gemessen werden.

Wärmeträgertemperatur

Dieser Wert dient nur zur Dokumentation. Er wird beim Ausdruck des Protokolls mit ausgegeben und ermöglicht somit die Dokumentation aller relevanten Werte auf einem Blatt.

Nennleistung

Auch dieser Wert dient nur zur Dokumentation. Er wird ebenfalls beim Ausdruck des Protokolls mit ausgegeben.

Lastbereich

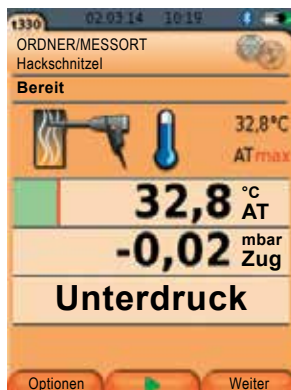
Je nach Anlage muss man den Verbrennungsprozess nach 5 Minuten auf Halblast stellen. Wird im Menüpunkt „Halblast“ ausgewählt, gibt testo 330 nach 5 Minuten ein Signalton.

Messdauer

Da die Messdauer bei der Abnahmemessung auf 15 min festgesetzt ist, kann man in diesem Menüpunkt nichts einstellen. Dies ist nur im Menüpunkt „Einstellhilfe“ möglich. Dieses Menü folgt aber nicht dem Ablauf der 1. BImSchV und ist somit für amtliche Messungen nicht geeignet. Hat man die Koeffizienten eingegeben und drückt auf „Weiter“ oder ist die Stabilisierungszeit abgeschlossen, dann kommt man zur Zugmessung und Kernstromsuche. Man kann aber jederzeit über „ESC“ zurück in die Koeffizienteneingabe gelangen.

5. Messung vorbereiten

Startet man die Zugmessung wird zuerst die Nullung durchgeführt und dann beginnt das Gerät den Zug sowie die Abgastemperatur zu messen. Um den Kernstrom einfacher zu fin-



den, erscheint ein roter Balken in der Anzeige, der immer beim höchsten Wert stehen bleibt. Die grüne Fläche den aktuellen Wert anzeigt. Sobald der Kernstrom gefunden ist, kann die Messung gestoppt werden. Über „Weiter“ gelangt man zur Messbereitschaft.

Das testo 380 kann in diesem Modus so lange verweilen, bis alle anderen Arbeiten oder der richtige Brennerzustand erreicht sind. Gestartet wird die Messung erst mit Drücken des Startknopfes.

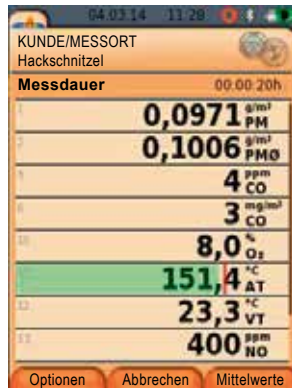
6. Feinstaubmessung

Sobald die Messung gestartet wird, beginnt sich der Rotationsverdünner zu drehen. In dieser Phase wird der Feinstaubsensor das erste Mal mit Feinstaub beladen. Anhand der in dieser Phase auftretenden Beladung entscheidet das Messgerät, ob es einer hohen oder niedrigen Konzentration ausgesetzt ist und passt die Geschwindigkeit des Rotationsverdünners entsprechend an. Nach dieser zweiten Stabilisierungsphase, die ca. 3 Minuten dauert, geht das Messgerät in den Messmodus über. Die nun angezeigten Werte werden für die Bewertung der Anlage herangezogen. Falls, wider Erwarten, die Werte noch nicht zur Messung herangezogen werden sollen, kann man über „Optionen“, „wiederholen“ die bereits erschienenen Messwerte verfallen lassen und die Messzeit beginnt wieder von vorne (z. B. wenn der Brenner den korrekten Betriebszustand noch nicht erreicht hat).

Hier ein kurzer Überblick über die Messwerte:

g/m³ PM = aktueller Staubwert (auf Bezugssauerstoff umgerechnet)

g/m³ PM Ø = Mittelwert Staub seit Beginn der Messung (auf Bezugssauerstoff umgerechnet)



ppm CO = gemessener CO-Wert in parts per million

mg/m³ CO = CO Konzentration (auf Bezugssauerstoff umgerechnet)

% O₂ = Sauerstoff in Prozent (steigt dieser Wert über 20 %, dann werden keine Werte mehr angezeigt, die auf Bezugssauerstoff umgerechnet werden; da diese Werte dann unbrauchbar werden)

°C AT = Abgastemperatur in °C

°C VT = Verbrennungslufttemperatur in °C (nur mit dem externen Temperaturfühler (0600 9787) zugelassen, da bei dem Minitemperaturfühler die Wärme der Feinstaubbox einen Einfluss auf das Ergebnis haben kann). Die Angabe der Verbrennungsluft dient nur zur Information. In Deutschland ist bis heute (2014) der qA-Wert für Festbrennstoffanlagen nicht gesetzlich geregelt.

ppm NO = gemessener NO-Wert in parts per million (erscheint nur, wenn ein NO-Sensor eingesetzt ist)

% AF = Abgasfeuchte in Prozent. Die Abgasfeuchte wird aus den in der Koeffizienteneingabe eingegebenen Parametern berechnet. Je genauer die eingegebenen Werte, desto genauer das Ergebnis.

7. Optionen

In diesem Kapitel verschaffen wir Ihnen einen kurzen Überblick über die zusätzlichen Funktionen, die das testo 380 bietet, die aber nicht für die Messung notwendig sind.

Das Optionsmenü bietet 5 Auswahlmöglichkeiten:

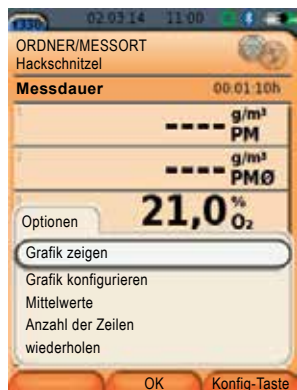
Grafik zeigen: Hierbei werden die verschiedenen Parameter und ihr Verlauf über die bisherige Messdauer grafisch angezeigt.

Grafik konfigurieren: In diesem Menü können Sie die Parameter (bis zu 4) auswählen, die im grafischen Verlauf angezeigt werden sollen.

Mittelwerte: Mit diesem Menüpunkt kommen Sie in die Messwertanzeige zurück, jedoch werden nicht mehr die aktuellen Werte, sondern die Mittelwerte seit Beginn der Messung angezeigt.

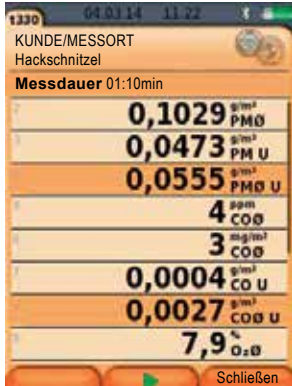
Anzahl der Zeile: Dient zur Auswahl der angezeigten Zeilenanzahl und damit auch der Schriftgröße.

Wiederholen: Sollte die Verbrennung zu Beginn noch nicht richtig stabil sein oder wurde der „Start“-Knopf zu früh gedrückt, können mittels der Option „wiederholen“ die bisherigen Messwerte verworfen werden und die Messung startet ab dieser Sekunde von vorne.



8. Interpretieren der Endergebnisse

Sobald die Messung beendet wurde, folgt die Ergebniszusammenfassung:



g/m³ PM Ø = Durchschnitts-PM-Wert in g/m³ über die gesamte Messdauer

g/m³ PM U = Messunsicherheit absolut, die abgezogen wird

g/m³ PM Ø U = der (für amtliche Messungen) geltende PM-Wert nach Abzug der zugehörigen Messunsicherheit

ppm CO Ø = durchschnittlicher CO-Wert in ppm

mg/m³ CO Ø = durchschnittlicher CO-Wert in g/m³

g/m³ CO U = Messunsicherheit absolut, die abgezogen wird

g/m³ CO Ø U = der geltende CO-Wert nach Abzug der zugehörigen Messunsicherheit

% O₂ Ø = Sauerstoff in Prozent (steigt dieser Wert über 20 %, dann werden keine Werte mehr angezeigt, die auf Bezugssauerstoff umgerechnet werden, da diese Werte dann unbrauchbar werden)

°C AT = Abgastemperatur in °C

°C VT = Verbrennungslufttemperatur in °C (nur mit dem externen Temperaturfühler (0600 9787) zugelassen, da bei dem Minitemperaturfühler die Wärme der Feinstaubbox ein Einfluss auf das Ergebnis haben kann. Die Angabe der Verbrennungsluft dient nur zur Information. In Deutschland ist bis heute (2014) der qA-Wert für Festbrennstoffanlagen nicht geregelt.

ppm NO = gemessener NO-Wert in parts per million (erscheint nur, falls ein NO-Sensor eingesetzt ist)

% AF = Abgasfeuchte in Prozent. Die Abgasfeuchte wird aus den in der Koeffizienteneingabe eingegebenen Parametern berechnet. Je genauer diese Werte, desto genauer das Ergebnis

6. Dichtheitsprüfungen an Gas- und Wasserleitungen

6.1 Gasleitungsprüfung

In Deutschland wird die Gasleitungsprüfung von der technischen Regel für Gasinstallationen (DVGW Arbeitsblatt G 600 TRGI) festgelegt. Diese legt im Allgemeinen die Planung, Erstellung, Änderung und den Betrieb von Gasinstallationen mit einem Betriebsdruck bis 1 bar in Gebäuden und auf Grundstücken fest.

Sie schreibt eine Belastungs- und Dichtheitsprüfung für neue bzw. wesentlich veränderte Leitungen vor. Zudem muss alle 12 Jahre eine Gebrauchsfähigkeitsprüfung für in Betrieb befindliche Leitungsanlagen mit Betriebsdrücken bis 100 mbar durchgeführt werden.

Mit dem testo 324 können Sie diese Prüfungen unkompliziert und zuverlässig mit nur einem Gerät durchführen.

6.1.1 Belastungsprüfung

Die Belastungsprüfung ist vor der Dichtheitsprüfung durchzuführen und wird an neuverlegten Leitungen ohne Armaturen durchgeführt. Für die Dauer der Prüfung müssen alle Leitungsöffnungen mit Stopfen, Kappen, Steckscheiben oder Blindflanschen aus metallenen Werkstoffen dicht verschlossen sein. Verbindungen mit gasführenden Leitungen sind unzulässig. Die Belastungsprüfung kann auch an Leitungen mit Armaturen durchgeführt werden, wenn die Nenndruckstufe der Armaturen mindestens dem Prüfdruck entspricht.

Die Belastungsprüfung ist mit Luft oder inertem (reaktionsarmen) Gas (z. B. Stickstoff, Kohlendioxid), jedoch nicht mit Sauerstoff, mit einem Prüfdruck von 1 bar vorzunehmen. Der Prüfdruck darf während der Prüfdauer von 10 Minuten nicht fallen. Die Messung muss mit einem Messgerät mit einer Mindestauflösung von 0.1 bar durchgeführt werden.

6.1.2 Dichtheitsprüfung

Die Dichtheitsprüfung ist nach der Belastungsprüfung für Leitungen einschließlich der Armaturen, jedoch ohne Gasgeräte und zugehörige Regel- und Sicherheitseinrichtungen, durchzuführen. Der Gaszähler kann in die Hauptprüfung mit einbezogen werden. Die Dichtheitsprüfung ist mit Luft oder inertem (reaktionsarmen) Gas (z. B. Stickstoff, Kohlendioxid), jedoch nicht mit Sauerstoff, mit einem Prüfdruck von 150 mbar vorzunehmen.

Nach dem Temperatúrausgleich darf der Prüfdruck während der anschließenden Prüfdauer von mindestens 10 Minuten nicht fallen.

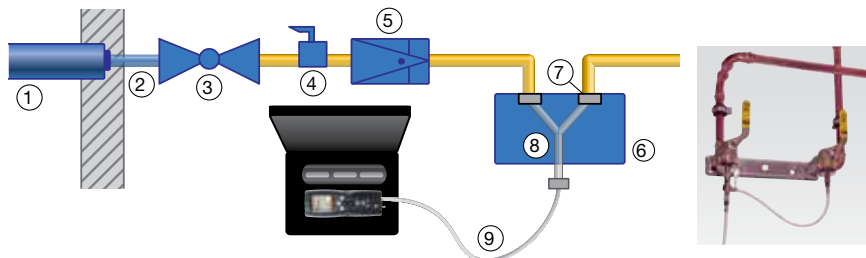
Der Temperatúrausgleich und die Prüfdauer sind von dem Leitungsvolumen abhängig.

Das Messgerät muss so genau anzeigen, dass bereits ein Druckabfall von 0.1 mbar erkennbar ist.

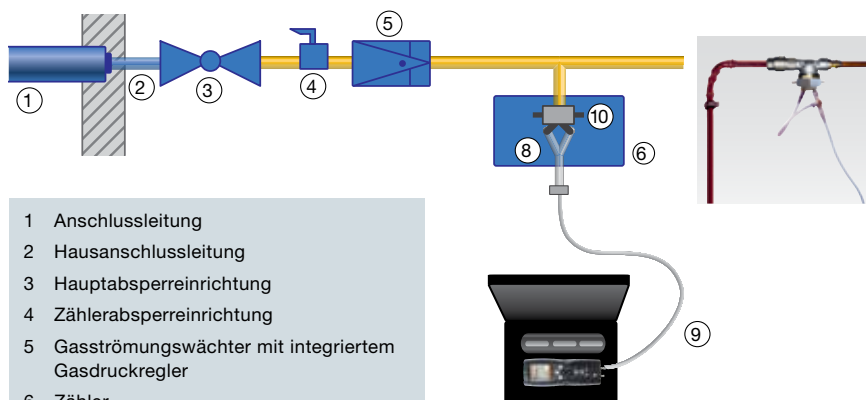
Dichtheitsprüfung		
Leitungsvolumen	Anpassungszeit	mind. Prüfdauer
< 100 l	10 min.	10 min.
> = 100 l < 200 l	30 min.	20 min.
> = 200 l	60 min.	30 min.

Beispielhafte Anschlusszeichnungen für Belastungs- und Dichtheitsprüfung:

mit Zweirohrzähler



mit Einrohrzähler



- 1 Anschlussleitung
- 2 Hausanschlussleitung
- 3 Hauptabsperreinrichtung
- 4 Zählerabsperreinrichtung
- 5 Gasströmungswächter mit integriertem Gasdruckregler
- 6 Zähler
- 7 Konischer Stopfen (150 mbar Prüfung)
 $\frac{1}{2}''$ 0554 3151 / $\frac{3}{4}''$ 0554 3155
 Stufenstopfen (1 bar Prüfung)
 $\frac{3}{4}'' + 1\frac{1}{4}''$ 0554 0533
 $\frac{1}{2}'' + 1''$ 0554 3164
 $\frac{3}{8}'' + \frac{3}{4}''$ 0554 3163
- 8 Y-Verteiler 0554 0532
 Mit dem Y-Verteiler ist die gleichzeitige Messung von Verbrauchs- und Verteilerleitung möglich. Alternativ können diese nacheinander gemessen werden – dafür wird das testo 324 direkt an den entsprechenden Stopfen angeschlossen.
- 9 Anschlussschlauch testo 324
- 10 Einrohrzählerkappe 0554 3156

i Die Gastherme muss bei Belastungsprüfung vom zu prüfenden System getrennt werden. Der Druckaufbau auf 1 bar erfolgt über die Handpumpe des testo 324. Zusätzlich kann ein Kompressor verwendet werden. Bei der Dichtheitsprüfung erfolgt der Druckaufbau auf 150 mbar automatisch über die interne Pumpe des testo 324. Die Belastungsprüfung wird an der Leitung ohne Armaturen durchgeführt. Die Dichtheitsprüfung erfolgt mit Armaturen, aber ohne Gasgeräte und zugehörige Regel- und Sicherheitseinrichtungen.

Bitte beachten Sie zusätzlich länderspezifische Richtlinien und Normen!



Die DVGW G 5952 legt in Deutschland die Mindestanforderungen an elektrischen Geräten zur Messung und Bestimmung der Gasleckmenge fest, z.B. Messbereich, Genauigkeit, Auflösung, Anpassungszeit, Messzeit...

Die G 5952 unterscheidet dabei folgende Geräteklassen:

Druckabfallmessgeräte (Klasse D)

Die Leckmenge wird mithilfe des gemessenen Druckabfalls bezogen auf das Leitungsvolumen bestimmt. Das Leitungsvolumen muss dabei vom Gerät bestimmt werden.

Leckmengenmessgeräte (Klasse L)

Die Gasleckmenge (l/h) wird direkt gemessen, z. B. testo 324.

Volumenmessgeräte (Klasse V)

Die Leckmenge wird mithilfe der gemessenen Druckdifferenz bei gleichzeitigem Zuführen eines definierten Volumens zur Druckkonstanthaltung.

Messgeräte mit sonstiger Messverfahren (Klasse S)

Messverfahren, die nicht durch die Klassen D, L und V abgedeckt sind.

6.1.3 Gebrauchsfähigkeitsprüfung

In Betrieb befindliche oder stillgelegte Niederdruckleitungen (Betriebsdrücke bis 100 mbar) werden bei Verdacht auf Lecks, auf Kundenwunsch oder bei Wiederinbetriebnahme auf ihre Gebrauchsfähigkeit geprüft. In Betrieb befindliche Anlagen müssen mindestens alle 12 Jahre auf Ihre Gebrauchsfähigkeit untersucht werden. Bei der Gebrauchsfähigkeitsprüfung, bzw. Leckmengenmessung wird die

Gasleitung stets unter Betriebsbedingungen/ Betriebsdruck geprüft (kein erhöhter Prüfdruck).

Ein Leckmengenmessgerät z. B. testo 324 zertifiziert nach DVGW G 5952 ermittelt bei dieser Prüfung, ob Gas aus der Leitung entweicht und in welcher Menge.

Die Dauer des Temperatenausgleiches und der Prüfzeit wird durch das Leitungsvolumen bestimmt.

Leckmengen-Messung

Leitungsvolumen	Anpassungszeit	mind. Prüfdauer
< 100 l	10 min	5 min
< 200 l	30 min	10 min
< 300 l	60 min	15 min
< 400 l	120 min	20 min
< 500 l	240 min	25 min

Die Gebrauchsfähigkeit wird in folgende Kriterien unterteilt:

a) Unbeschränkte

Gebrauchsfähigkeit

ist gegeben, wenn die Gasleckmenge bei Betriebsdruck weniger als 1 Liter pro Stunde beträgt.

b) Verminderte Gebrauchsfähigkeit

ist gegeben, wenn die Gasleckmenge bei Betriebsdruck zwischen 1 und 5 Liter pro Stunde beträgt.

c) Keine Gebrauchsfähigkeit

ist gegeben, wenn die Gasleckmenge bei Betriebsdruck mehr als 5 Liter pro Stunde beträgt.

Nach dem Grad der Gebrauchsfähigkeit sind folgende Maßnahmen durchzuführen:

a) Liegt unbeschränkte Gebrauchsfähigkeit vor, so können die Leitungen weiter betrieben werden.

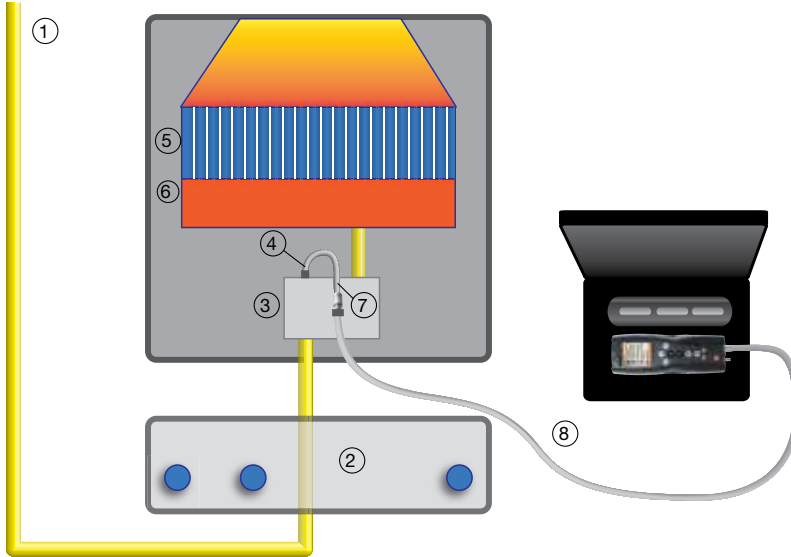
b) Liegt verminderte Gebrauchsfähigkeit vor, so sind die Leitungen abzudichten oder zu erneuern. Die Dichtheit muss innerhalb von 4 Wochen nach Feststellung der verminderten Gebrauchsfähigkeit wiederhergestellt werden.

c) Liegt keine Gebrauchsfähigkeit vor, so sind die Leitungen unverzüglich außer Betrieb zu nehmen. Für die instandgesetzten Leitungsteile und deren Wiederinbetriebnahme gelten die Festlegungen für neuverlegte Leitungen



Nach jeder Reparatur muss wiederum eine Dichtheitsprüfung durchgeführt werden.

Beispielhafte Anschlusszeichnungen für die Gebrauchsfähigkeitsprüfung:



- 1 Zuleitung
- 2 Bedieneinheit
- 3 Regeleinheit mit Anschluss Messsstutzen
- 4 Prüfnippel / Messstutzen
- 5 Wärmetauscher
- 6 Brenner
- 7 Anschluss Gastherme
testo 324
- 8 Anschlussschlauch testo 324



Die Gasblase wird mit systemeigenem Gas gefüllt. Dadurch wird die Entstehung eines gefährlichen Luft-Gas-Gemisches verhindert.

Bitte beachten Sie zusätzlich länderspezifische Richtlinien und Normen!



6.1.4 Kombinierte Belastungs- und Dichtheitsprüfung an Gasleitungen

Diese Prüfung ist in Deutschland laut TRGI für Leitungen mit einem Betriebsdruck > 100 mbar bis einschließlich 1 bar vorgeschrieben.

Es wird die gesamte Leitung mit Armaturen, jedoch ohne Druckregelgeräte, Gaszähler, Gasgeräte und zugehörige Regel- und Sicherheitseinrichtungen, gemessen.

Die Prüfung wird mit einem Prüfdruck von 3 bar über mindestens 2 Stunden Messzeit nach einem Temperaturnachgleich von 3 Stunden durchgeführt.

Bei einem Leitungsvolumen über 2000 Liter verlängert sich die Prüfzeit pro 100 Liter um 15 Minuten.

Laut der TRGI 2008 G 600 ist kein Druckabfall erlaubt.

6.1.5 Suchen von Gaslecks

Wenn Erdgas aus einer Leitung oder Heizungsanlage tritt, besteht Vergiftungs- und Explosionsgefahr. Da Erdgas normalerweise geruchsneutral ist, wird es mit einem Geruchsstoff versetzt. Stellt man nun einen Gasgeruch fest, muss der Raum sofort gut gelüftet werden. Danach kann mit einem Gaslecksuchgerät oder -sonde die Gasleitung auf Dichtheit überprüft werden. Aus Sicherheitsgründen dürfen 20 % der unteren Explosionsgrenze nicht überschritten werden.



Abb. 20: Lecksuche an Gasleitungen mit dem testo 316-2

6.2. Prüfung von

Trinkwasser-Installationen

Die europäische Norm DIN EN 806-4 legt Anforderungen bezüglich der Installation und Inbetriebnahme von Trinkwasseranlagen innerhalb von Gebäuden. Dabei wird eine Druckprüfung vor der Inbetriebnahme vorgeschrieben. Diese darf mit Wasser erfolgen oder, sofern nationale Bestimmungen es zulassen, mit Luft oder inertem Gas.

6.2.1 Druckprüfung mit Wasser

Im Falle einer Druckprüfung mit Wasser gibt es entsprechend dem Rohrwerkstoff unterschiedliche Druckprüfungen (Verfahren A, B und C), welche von der EN 806-4 vorgegeben werden:

Art des Werkstoffes	Verfahren
Linear elastische Werkstoffe (d. h. Metalle)	A
Elastische Werkstoffe (PVC-U, PVC-C usw.) sowie Mehrschichtverbundwerkstoffe	A
Viskoelastische Werkstoffe (d. h. PP, PE, PE-X, PA, PB usw.) mit DN/OD \leq 63	A
Viskoelastische Werkstoffe mit DN/OD $>$ 63 (d. h. PP, PE, PE-X, PA, PB usw.)	B od. C
Kombiniertes System mit DN/OD \leq 63 (Metalle und Kunststoffe)	A
Kombiniertes System mit DN/OD $>$ 63 (Metalle und Kunststoffe)	B od. C

Verfahren	Prüfdruck	Prüfzeit
A	1.1-fachen des höchsten Betriebsdrucks	10 min
B	Teil 1	1.1-fachen des höchsten Betriebsdrucks
	Teil 2	auf 0.5-fachen Prüfdruck abzusenken
C	Teil 1	1.1-fachen des höchsten Betriebsdrucks
	Teil 2	Basierend auf Teil 1 darf max. um 0.6 bar sinken
	Teil 3	Basierend auf Teil 2 darf max. um 0.2 bar sinken



Leitungen, welche Pressverbindungen beinhalten, müssen in Deutschland laut dem ZVSHK Merkblatt zudem noch einer vorherigen Dichtheitsprüfung unterzogen werden.
Prüfdruck = Versorgungsdruck / max. 6 bar bzw. nach Herstellerangaben
Prüfdauer = 15 min

6.2.2 Druckprüfung mit Luft oder inertem Gas

Neben der DIN EN 806-4 müssen bei der Überprüfung von Trinkwasser-Installationen auch nationale Bestimmungen beachtet werden. So gilt beispielsweise in Deutschland neben der EN 806-4 auch das ZVSHK Merkblatt. Das ZVSHK Merkblatt erlaubt in Deutschland eine Überprüfung mit Luft. Diese wird in folgenden Fällen empfohlen:

- bei längerer Stillstandzeit von der Dichtheitsprüfung bis zur Inbetriebnahme, insbesondere sofern durchschnittliche Umgebungstemperaturen > 25 °C zu erwarten sind, um mögliches Bakterienwachstum auszuschließen
- wenn die Rohrleitung von der Dichtheitsprüfung bis zur Inbetriebnahme, z. B. wegen einer Frostperiode, nicht vollständig gefüllt bleiben kann
- die Korrosionsbeständigkeit eines Werkstoffes in einer teilentleerten Leitung gefährdet ist.

Lediglich wenn zwischen der Dichtheitsprüfung und der Inbetriebnahme regelmäßig ein Wasseraustausch gewährleistet wird, sollte die Über-

prüfung mit Wasser erfolgen. Zudem sollen folgende Punkte bei der Überprüfung mit Wasser sichergestellt sein:

- dass der Haus- oder Bauwasseranschluss gespült und dadurch für den Anschluss und Betrieb freigegeben ist
- die Befüllung des Leitungssystems über hygienisch einwandfreie Komponenten erfolgt
- von der Dichtheitsprüfung bis zur Inbetriebnahme die Anlage vollgefüllt bleibt und eine Teilbefüllung vermieden werden kann.

Das Prüfmedium inertes Gas wird lediglich in Gebäuden mit erhöhten hygienischen Anforderungen empfohlen. Bei der Druckprüfung mit Luft oder inertem Gas wird eine Dichtheits- sowie eine Belastungsprüfung gefordert. Aufgrund der Tatsache, dass sich Luft oder Gas unter Druck stärker als Wasser komprimiert, sind die Prüfdrücke bei der Überprüfung mit Luft bzw. inertem Gas aus Sicherheitsgründen auf maximal 3 bar begrenzt.

6.2.2.1 Dichtheitsprüfungen

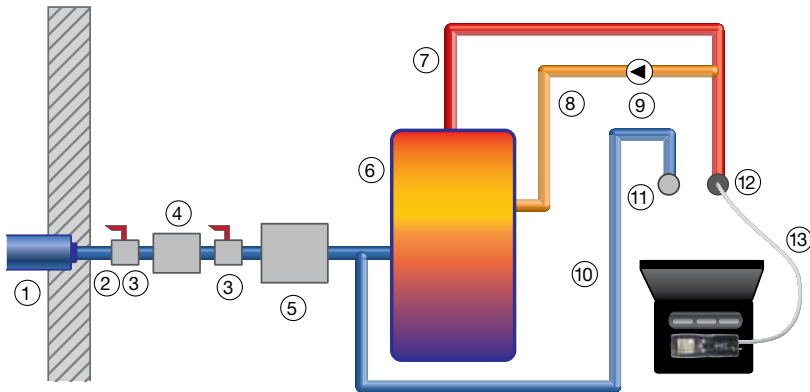
Die Dichtheitsprüfung wird vor der Belastungsprüfung durchgeführt und beinhaltet die Bauteile, sofern diese für den Prüfdruck ausgelegt sind, ansonsten müssen diese ausgebaut werden.

Prüfdruck: 150 mbar

Prüfzeit: 120 min (bis Leitungsvolumen 100 l)

Je weitere 100 l Verlängerung der Prüfzeit um 20 min

Beispielhafte Anschlusszeichnungen für Dichtheitsprüfung mit Luft



- | | |
|--|----------------------|
| 1 Versorgungsleitung | 6 Heizkessel |
| 2 Hausanschlussleitung | 7 Warmwasserleitung |
| 3 Absperrventile | 8 Zirkulation |
| 4 Hauswasserzähler | 9 Pumpe |
| 5 Filter | 10 Kaltwasserleitung |
| 12 Hochdruckstufenstopfen
1/2" + 1" 0554 3164
3/8" + 3/4" 0554 3163
konischer Stopfen
1/2" 0554 3151
3/4" 0554 3155 | 11 Anschluss Armatur |
| 13 Anschlussschlauch testo 324 | |



Der Druckaufbau erfolgt automatisch über die interne Pumpe des testo 324. Bei sehr großer Leitung besteht die Möglichkeit, einen Kompressor an die Leitung anzuschließen oder zusätzlich die Handpumpe des testo 324 zu nutzen.

Hinweis: Maximaler Druck 1 bar – bei Überschreitung reagiert das Überdruckventil.



6.2.2.2 Belastungsprüfungen

Die Belastungsprüfung wird wie bereits erwähnt nach bestandener Dichtheitsprüfung durchgeführt.

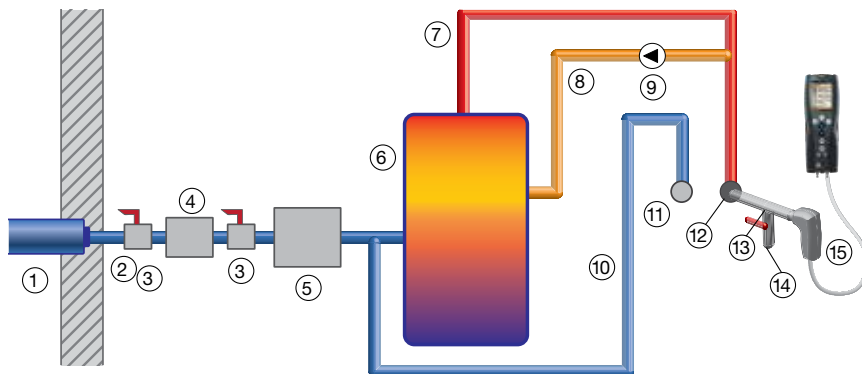
Der Prüfdruck ist dabei abhängig von der Nennweite der Leitung:

Prüfdruck: < DN 50 = 3 bar

DN 50-DN 100 = 1 bar

Prüfzeit: 10 min

Beispielhafte Anschlusszeichnungen für Belastungsprüfung mit Luft



- 1 Versorgungsleitung
- 2 Hausanschlussleitung
- 3 Absperrventile
- 4 Hauswasserzähler
- 5 Filter
- 6 Heizkessel
- 7 Warmwasserleitung
- 8 Zirkulation
- 9 Pumpe
- 10 Kaltwasserleitung
- 11 Anschluss Armatur
- 12 Hochdruckstufenstopfen
 $\frac{1}{2}'' + 1''$ 0554 3164
 $\frac{3}{8}'' + \frac{3}{4}''$ 0554 3163
- 13 Hochdruckanschluss
 0554 3139
- 14 Anschlussmöglichkeit
 für Kompressor
- 15 Hochdrucksonde
 mit Schlauch
 0638 1748





7. Messgeräte für die Rauchgasanalyse

Die Anforderungen für tragbare Messgeräte zur Rauchgasanalyse stellen eine Herausforderung für jeden Messgerätehersteller dar. Die rauhe Messumgebung und die Durchführung von netzunabhängigen Messungen erfordern ein Höchstmaß an technischem Know-how und kundengerechtem Design. Die Geräte müssen leicht, handlich und einfach zu bedienen sein. Die schnelle Verfügbarkeit der Messwerte sowie ein geringer Energieverbrauch und Wartungsbedarf sind weitere Merkmale, damit die vorgeschriebene Eignungsprüfung für Rauchgas-Analysegeräte erfüllt werden kann.

7.1 Die Sensoren

Die an die Messgeräte gestellten Anforderungen haben direkte Auswirkungen auf die Auswahl der Sensoren zur Ermittlung der Gaskonzentrationen. In der Praxis haben sich deshalb die elektrochemischen Gassensoren bewährt. Die schnelle Verfügbarkeit der Messwerte und der geringe Platzbedarf sind herausragende Vorteile dieser Sensoren. Im Bereich Forschung und Entwicklung werden stetig Anstrengungen unternommen, um

beispielsweise die Gaswege und die richtige Verrechnung von Querempfindlichkeiten zu optimieren, sowie den problemlosen Austausch der Gassensoren durch den Anwender ideal zu ermöglichen.

7.2 Funktionsweise eines chemischen Zwei-/Drei-Elektroden-Sensors

Zur Bestimmung von Konzentrationen toxischer Gase werden Zwei- oder Drei-Elektroden-Sensoren verwendet. Die Funktion eines Drei-Elektroden-Sensors wird anhand des Kohlenmonoxid- (CO) Sensors erläutert. Ein typischer Zwei-Elektroden-Sensor ist der Sauerstoff-Sensor (O_2).

7.2.1 Funktionsweise eines chemischen Zwei-Elektroden-Sensors

In Abbildung 21 wird die Funktionsweise des Sauerstoffsensors erklärt.

Die Funktionsweise eines Sauerstoffsensors in Stichworten:

- Die O_2 -Moleküle gelangen durch die gasdurchlässige Membran zur Kathode.
- Chemische Reaktion: OH-Ionen entstehen (Ionen = geladene Teilchen)
- Die Ionen wandern durch elektrolytische Flüssigkeit zur Anode.
- Diese Ionenbewegung bewirkt einen Stromfluss im äußeren Stromkreis proportional zur O_2 -Konzentration.
- D. h. je höher die Konzentration ist, desto höher ist der Stromfluss.

- Der Spannungsabfall im Widerstand wird gemessen und elektronisch weiterverarbeitet.
- Der integrierte Widerstand mit negativem Temperatur-Koeffizient kompensiert Temperatureinflüsse und sichert das temperaturstabile Verhalten.
- Die Lebensdauer eines Sauerstoffsensors beträgt ca. 3 Jahre – bei den Testo LongLifeZellen bis zu 6 Jahren.

Reaktionsgleichungen

Kathode: $O_2 + 2H_2O + 4e^- \Rightarrow 4OH^-$

Anode: $2Pb + 4OH^- \Rightarrow 2PbO + 2H_2O + 4e^-$

Bilanz: $2Pb + O_2 \Rightarrow 2PbO$

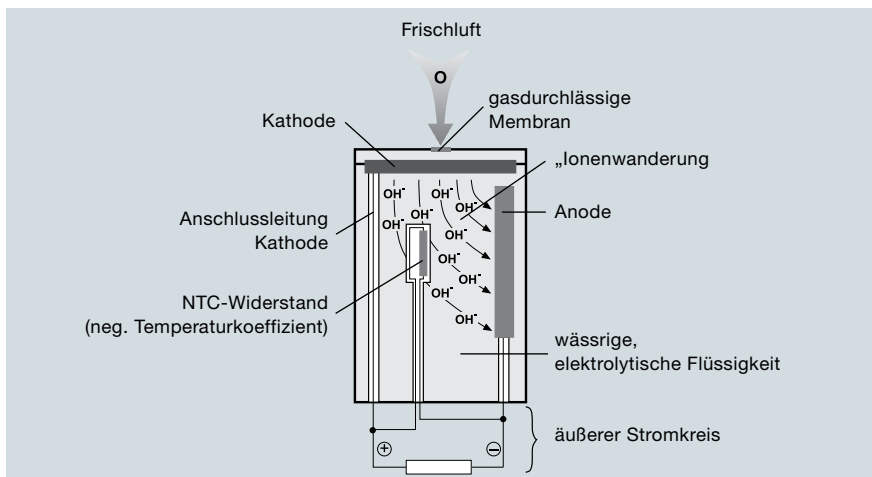


Abb. 21: Schemadarstellung eines Sauerstoffsensors

7.2.2 Funktionsweise eines chemischen Drei-Elektroden-Sensors für toxische Gase

Die Funktionsweise eines Drei-Elektroden-Sensors in Stichworten (am Beispiel eines CO-Sensors):

- Die CO-Moleküle gelangen durch die Membran zur Arbeitselektrode.
- Chemische Reaktion: H^+ -Ionen entstehen.
- Die Ionen wandern zur Gegenelektrode.
- Zweite chemische Reaktion mit Hilfe von O_2 aus Frischluft: Stromfluss im äußeren Stromkreis.

- Die Referenz dient zur Stabilisierung des Sensorsignals.
- Die Lebensdauer eines Kohlenmonoxidsensors beträgt ca. 2 Jahre – bei den Testo LongLifeZellen bis zu 5 Jahre.

Reaktionsgleichungen:

Anode: $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$

Kathode: $\frac{1}{2} \text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \Rightarrow \text{H}_2\text{O}$



Häufige Temperaturwechsel und niedrige Temperaturen können die Lebensdauer der Messzelle verkürzen.

Die Lagerung in trockener Umgebung ist zu empfehlen.

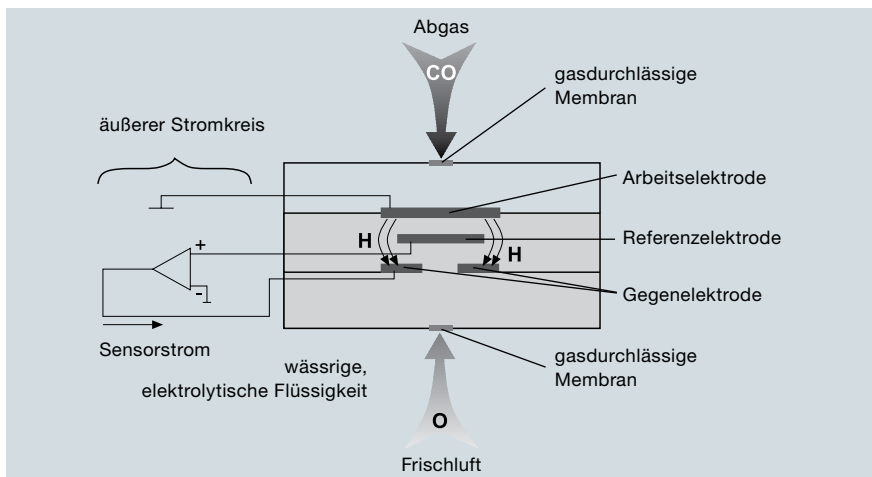


Abb. 22: Schemadarstellung eines Kohlenmonoxid-Sensors

7.3 Funktionsweise eines Halbleitersensors für brennbare Gase

Der Halbleitersensor dient der Messung brennbarer Gase wie C_xH_y , H_2 und CO . Er wird bei der Gaslecksuche verwendet. Der Aufbau eines HL-Sensors ist in Abb. 23 schematisch dargestellt.

Die Funktionsweise eines Halbleiter-Sensors in Stichworten (am Beispiel der Verwendung in einer Gasleck-Such-Sonde):

- Das Sensorelement wird auf die Arbeitstemperatur von $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ erwärmt.
- Über eine Zinndioxidschicht entsteht beim Erwärmen ein hochohmiger Widerstand.

- Befinden sich in der Umgebungsluft des Sensorelements, also innerhalb des Sensors, brennbare Gase (C_xH_y , H_2 , CO), lagern sich diese an der Zinndioxidschicht an.
- Dadurch verkleinert sich deren elektrischer Widerstand.
- Ein optischer oder akustischer Alarm wird ausgelöst.



Der Kontakt mit Silikonen, Lösungsmitteln, Ölen und Fetten kann zu Ablagerungen an der Sensoroberfläche führen und sollte vermieden werden.

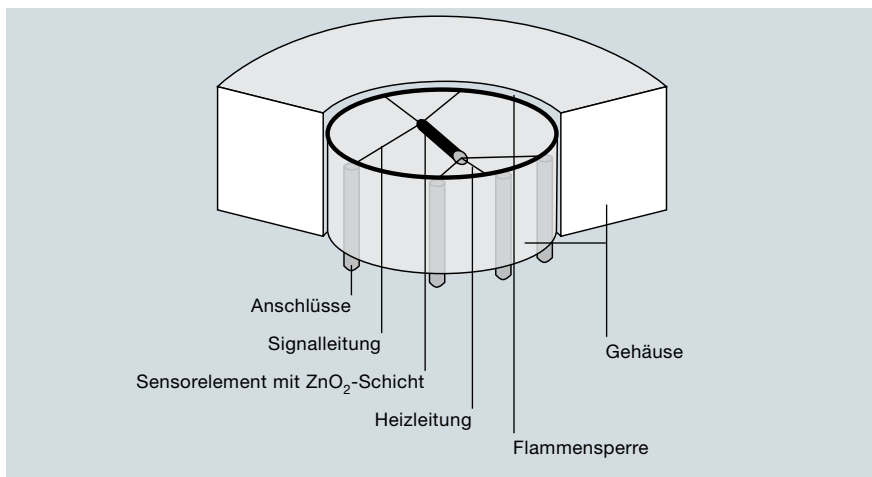


Abb. 23: Aufbau eines Halbleitersensors

7.4 Feinstaubsensor

Beim Feinstaubsensor handelt es sich um eine Kombination aus Impaktor- und Schwingquarz-Prinzip.

Der Schwingquarz ist dabei die „Waa-ge“, während der Impaktor sicherstellt, dass die im Messgasstrom schwebenden Partikel auf die „Waage“ gelangen. Der Impaktor besteht aus einer feinen Düse, durch die das Messgas mit hoher Geschwindigkeit strömt.

Gegenüber dem Auslass der Düse befindet sich eine Prallplatte, der Schwingquarz. Diese Prallplatte zwingt das ausströmende Gas zu einer scharfen Richtungsänderung.

Aufgrund der Massenträgheit der Partikel können diese der Richtungsänderung jedoch nicht vollständig folgen und kollidieren mit der Prallplatte, auf der sie dann haften bleiben. Diesen Vorgang nennt man Impaktion.

Die Wägung erfolgt beim testo 380 bereits während der Sammelphase.

Die Prallplatte wird durch eine spezielle Elektronik in eine Grundschwingung versetzt.

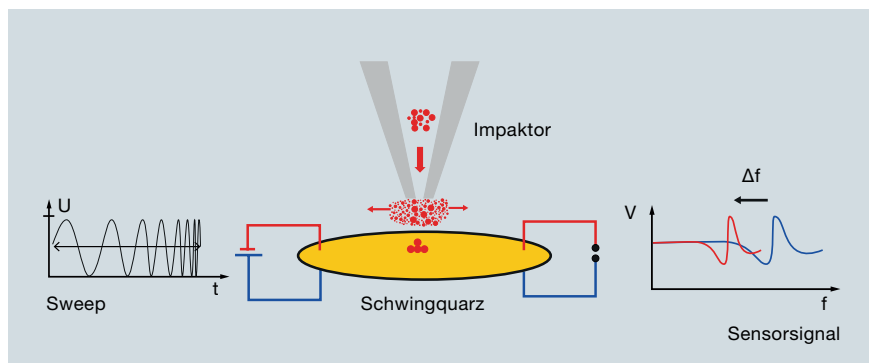
Wird das Plättchen nun mit Partikeln belegt, so nimmt seine Masse zu, und die Frequenz des Sensorsignals verschiebt sich.

Aus dieser Frequenzverschiebung (Δf) kann auf die abgelagerte Partikelmasse zurückgeschlossen werden.

Bei diesem Verfahren handelt es sich um ein gravimetrisches „Online-Messverfahren“. Das heißt man erhält die Messwerte in Echtzeit und kann sie während der Messung beobachten. Außerdem kann man das Messergebnis am Ende direkt aus- und bewerten.

7.5 Die Elektronik

Der Trend in Entwicklung und Fertigung geht zu immer kleineren Messgeräten. Nur mit computerunterstütztem Design (CAE) und automatisierter Fertigung ist die Herstellung von elek-



tronischen Schaltungen auf engstem Raum möglich. Dabei werden die Platinen in Mehrlagentechnik (Multilayer) ausgeführt und durch modernste Bestückungstechnologie (SMD) mit elektronischen Bauteilen versehen. Ein Testcomputer (In-Circuit-Tester) überprüft die bestückten Platinen und stellt eventuelle Fehler schon im Vorfeld fest. Die fehlerhaften Platinen können kostengünstig überarbeitet und in den Fertigungskreislauf zurückgeführt werden. Nach dem Einbau der Platine und der Gasmesszellen in das konstruktiv optimierte Gehäuse, werden die Geräte mit einem computerunterstützten Teststand auf ihre Funktion überprüft und mit Prüfgas abgeglichen. Die Zertifizierung nach DIN ISO 9001 gewährleistet eine gleichbleibende Qualität, die durch einen kompetenten Kundendienst abgerundet wird. Nur so lassen sich Messgeräte herstellen, die den Anforderungen der Rauchgasanalyse entsprechen.

7.6 Die Konstruktion

Bei der Konstruktion von tragbaren Rauchgas-Analysegeräten kommt der Gestaltung der Gaswege eine besondere Bedeutung zu. Da Undichtheiten das Messergebnis verfälschen, müssen die Gasweg-Verbindungen absolut dicht sein. Stellen, an denen sich Kondensat niederschlägt, müssen

vermieden werden, da dies die Messzellen schädigt. Rauchgas-Analysegeräte verfügen daher über eine Kondensatfalle, die das anfallende Kondensat auffangen und somit das Messgerät schützen.

Das Rauchgas wird durch die Rauchgassonde mit der Pumpe angesaugt. Das in der Sondenspitze der Rauchgassonde integrierte Thermoelement dient zur Messung der Abgastemperatur. Die Kondensatfalle und die eingebauten Filter „trocknen“ das Abgas und halten Staub- und Rußteilchen zurück. Die Gasprobe passiert die Pumpe und wird durch eine Kapillare (Gaswegverengung) in eine Vorkammer gedrückt, welche die von der Membranpumpe erzeugten Druckstöße dämpfen. Das zu messende Gas gelangt von der Vorkammer zu den Gassensoren, die je nach Ausführung die Konzentrationen von O_2 , CO , NO , NO_2 , und SO_2 messen. Zur Messung des Kaminzugs wird kein Rauchgas angesaugt. Das Abgas gelangt direkt von der Rauchgassonde über einen eigenen Gasweg zum Drucksensor des Analysegerätes. Dort wird der Kaminzug gemessen. Die Verbrennungsluft-Temperatur wird über einen Temperaturfühler gemessen, der direkt mit dem Messgerät verbunden ist.

8. Anhang

8.1 Berechnungsformeln

$$\text{Abgasverlust: } q_A = \left[(AT - VT) \left[\frac{A_2}{(21 - O_2)} + B \right] \right] - XK$$

AT: Abgas-Temperatur

VT: Verbrennungsluft-Temperatur

A₂/B: brennstoffspezifische Faktoren (siehe Tabelle)

21: Sauerstoffgehalt der Luft

O₂: gemessener O₂-Wert (ganzzahlig aufgerundet)

XK: Beiwert, der bei Taupunktunterschreitung den Abgasverlust q_A als Minuswert ausgibt. Notwendig für die Messung an Brennwertanlagen. Wird die Taupunkttemperatur nicht unterschritten, beträgt der Wert XK = 0.

$$q_A = f \times \frac{(AT - VT)}{CO_2}$$

Siegertsche Formel zur Berechnung des Abgasverlustes. Sie wird verwendet, wenn die brennstoffspezifischen Faktoren A₂ und B (vgl. Tabelle) gleich Null sind.

Tabelle der brennstoffspezifischen Faktoren

Brennstoff	A ₂	B	f	CO _{2max}
Heizöl	0.68	0.007	–	15.4
Erdgas	0.65	0.009	–	11.9
Flüssiggas	0.63	0.008	–	13.9
Koks, Holz	–	–	0.74	20.0
Brikett	–	–	0.75	19.3
Braunkohle	–	–	0.90	19.2
Steinkohle	–	–	0.60	18.5
Kokereigas	0.6	0.011	–	–
Stadtgas	0.63	0.011	–	11.6
Prüfgas	–	–	–	13.0

Luftmenge L:

$$L = \lambda \times L_{\min}$$

L: tatsächliche Luftmenge

λ : Luftverhältniszahl

L_{\min} : theoretisch erforderlicher
Luftbedarf

Kohlendioxid-Konzentration (CO_2):

$$\text{CO}_2 = \frac{\text{CO}_{2\max} \times (21 - \text{O}_2)}{21}$$

$\text{CO}_{2\max}$: brennstoffspezifischer
maximaler CO_2 -Wert

Luftverhältniszahl λ :

$$\lambda = \frac{\text{CO}_{2\max}}{\text{CO}_2} = 1 + \frac{\text{O}_2}{21 - \text{O}_2}$$

$\text{CO}_{2\max}$: brennstoffspezifischer
maximaler CO_2 -Wert

CO_2 : berechneter CO_2 -Wert
im Abgas

O_2 : gemessener O_2 -Wert
(ganzzahlig gerundet)

21: Sauerstoffgehalt der Luft

Unverdünnte Kohlenmonoxid-Konzentration ($\text{CO}_{\text{unverdünnt}}$):

$$\text{CO}_{\text{unverdünnt}} = \text{CO}_{\text{verdünnt}} \times \lambda$$

CO: gemessener CO-Wert

λ : Luftüberschusszahl

Wirkungsgrad einer Anlage η :

$$\eta = 100 - q_A$$

q_A : Abgasverlust

Grenzwerte Feuerungsanlagenverordnung

Brennstoff- wärme- leistung	feste Brennstoffe			flüssige Brennstoffe			gasförmige Brennstoffe	
	CO	NO	Staub/ Holz	CO	NO	SO ₂	CO	NO
50 – 350 kW	800 mg/m ³	250 mg/m ³	150 mg/m ³					
350 kW – 2 MW	250 mg/m ³	250 mg/m ³	150 mg/m ³					
> 2 MW – 5 MW	250 mg/m ³	250 mg/m ³	50 mg/m ³					
> 5 MW – 10 MW	100 mg/m ³	250 mg/m ³	50 mg/m ³					
> 10 MW		200 mg/m ³	50 mg/m ³					
		13 % O ₂ -Bezug						
					Heizöl EL			
≤ 1 MW				100 mg/m ³				
> 1 MW				80 mg/m ³				
50 kW – 50 MW					150 mg/m ³			
> 50 MW					100 mg/m ³			
> 50 MW – 300 MW					100 mg/m ³	350 mg/m ³		
> 300 MW					100 mg/m ³	200 mg/m ³		
50 kW – 2 MW					Rußzahl 1			
					3 % O ₂ - Bezug			
								Erdgas
≤ 3 MW							80 mg/m ³	120 mg/m ³
> 3 MW							80 mg/m ³	100 mg/m ³
								Flüssig- gas
≤ 3 MW							80 mg/m ³	160 mg/m ³
> 3 MW							80 mg/m ³	130 mg/m ³
								3 % O ₂ - Bezug

Abgasverluste

Feuerungsanlagen, die nur der Raumheizung oder der Bereitung von Warmwasser dienen, dürfen entsprechend der eingesetzten Brennstoffart bei Nennlast folgende Abgasverluste nicht überschreiten:

1. bei automatisch beschickten Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe 19 %
2. bei Feuerungsanlagen für flüssige oder für gasförmige Brennstoffe 10 %

Grenzwerte Luftreinhaltegesetze Bundesländer Österreich

	feste Brennstoffe		
	CO	NO	qA
Art. 15a B-VG < 50 kW	3500 mg/m ³ händisch 1500 mg/m ³ automatisch		20 % händisch 19 % automatisch
Art. 15a B-VG > 50 kW	FAV	FAV	FAV
Wien¹⁾	2000 mg/m ³	900 mg/m ³	23 % 15 – 26 kW ²⁾
	2000 mg/m ³	600 mg/m ³	20 % 15 – 26 kW
	2000 mg/m ³	600 mg/m ³	19 % 26 – 50 kW
	2000 mg/m ³	600 mg/m ³	18 % 50 – 120 kW
NÖ³⁾			18 % 11 – 50 kW
			18 % 50 – 120 kW
			18 % > 120 kW
B⁵⁾	4000 ppm < 50 kW		21 % 15 – 50 kW
	2000 ppm 50 – 150 kW		19 % > 50 kW
Stmk⁶⁾			19 % 8 – 26 kW
	2000 mg/m ³		17 % 26 – 50 kW
	800 mg/m ³	300 mg/m ³	15 % 50 – 200 kW
OÖ	1500 mg/m ³ ≤ 50 kW		19 %
	800 mg/m ³ > 50 – 400 kW	300 mg/m ³	19 %
Salzburg	1500 mg/m ³		19 % < 50 kW
	800 mg/m ³	500 mg/m ³	19 % > 50 kW
Kärnten	4000 mg/m ^{3 9)}		21 % 26 – 50 kW
			20 % 51 – 120 kW
			19 % > 120 kW
Tirol	800 mg/m ³ < 400 kW		19 %
	250 mg/m ³ > 400 kW		19 %
Vorarlberg¹⁰⁾	1000 mg/m ³		20 %

1) Neuanlagen ab 1.6.2004, Altanlagen bis 31.12.2011 siehe Luftreinhaltegesetz

2) Einzelöfen

3) Anlagen vor dem 23.7.1998 siehe Luftreinhaltegesetz

5) Anlagen vor dem 1.7.2000 siehe Luftreinhaltegesetz

6) Anlagen bis 1996 und händisch beschickt siehe LRG

9) ab 1.3.1994

10) automatisch beschickt

Grenzwerte Luftreinhaltegesetze Bundesländer Österreich

	flüssige Brennstoffe		
	CO	NO	qA
Art. 15a B-VG < 50 kW	100 mg/m ³ Rußzahl 1		10 %
Art. 15a B-VG > 50 kW	FAV	FAV	FAV
Wien¹⁾	100 mg/m ³	400 mg/m ³ HEL	17 % 15 – 26 kW ²⁾
	100 mg/m ³	150 mg/m ³ HEL	15 % 15 – 26 kW
	100 mg/m ³	150 mg/m ³ HEL	14 % 26 – 50 kW
	100 mg/m ³	150 mg/m ³ HEL	12 % 50 – 120 kW
NÖ³⁾	150 ppm uv ⁴⁾		12 % 11 – 50 kW
	150 ppm uv ⁴⁾		11 % 50 – 120 kW
	150 ppm uv ⁴⁾		10 % > 120 kW
B⁵⁾	500 ppm		100-(84+2logPn)
	500 ppm		10 % > 50 kW
Stmk⁶⁾	100 mg/m ³	150 mg/m ³ HEL	16 % 25 – 50 kW
	100 mg/m ³	150 mg/m ³ HEL	14 % 50 – 120 kW
	100 mg/m ³	150 mg/m ³ HEL	12 % > 120 kW
OÖ	100 mg/m ³ < 50 kW HEL		10 %
	100 mg/m ³ 50 kW – 1 MW	150 mg/m ³ 50 kW – 1 MW	10 %
Salzburg	100 mg/m ³ < 50 kW		10 %
	100 mg/m ³ HEL	150 mg/m ³ HEL	10 %
Kärnten			16 % 26 – 50 kW
			14 % 51 – 120 kW
			12 % > 120 kW
Tirol	300 ppm		ÖNORM 7510-1, -2 alt
Vorarlberg¹⁰⁾	100 mg/m ³		10 %

1) Neuanlagen ab 1.6.2004, Altanlagen bis 31.12.2011 siehe Luftreinhaltegesetz

2) Einzelöfen

3) Anlagen vor dem 23.7.1998 siehe Luftreinhaltegesetz

4) unverdünnt = CO_x Luftüberschuss λ

5) Anlagen vor dem 1.7.2000 siehe Luftreinhaltegesetz

6) Anlagen bis 1996 und händisch beschickt siehe LRG

10) automatisch beschickt

Grenzwerte Luftreinhaltegesetze Bundesländer Österreich

	gasförmige Brennstoffe		
	CO	NO	qA
Art. 15a B-VG < 50 kW	100 mg/m ³		10 %
Art. 15a B-VG > 50 kW	FAV	FAV	FAV
Wien¹⁾	80 mg/m ³	300 mg/m ³	15 % 15 – 26 kW ²⁾
	80 mg/m ³	120 mg/m ³	13 % 15 – 26 kW
	80 mg/m ³	120 mg/m ³	12 % 26 – 50 kW
	80 mg/m ³	120 mg/m ³	11 % 50 – 120 kW
NÖ³⁾	150 ppm uv ⁴⁾		12 % 11 – 50 kW
	150 ppm uv ⁴⁾		11 % 50 – 120 kW
	150 ppm uv ⁴⁾		10 % > 120 kW
B⁵⁾	500 ppm		100-(84+2logPn)
	500 ppm		10 % > 50 kW
Stmk⁶⁾	80 mg/m ³	120 mg/m ^{3 8)}	16/14 % ⁷⁾ 25 – 50 kW
	80 mg/m ³	120 mg/m ^{3 8)}	14/13 % ⁷⁾ 50 – 120 kW
	80 mg/m ³	120 mg/m ^{3 8)}	12 % > 120 kW
OÖ			
Salzburg	100 mg/m ³ < 50 kW		10 %
	80 mg/m ³	120 mg/m ³ 160 mg/m ³ FG	10 %
Kärnten			16/14 % ⁷⁾ 26 – 50 kW
			14/13 % ⁷⁾ 51 – 120 kW
			12 % > 120 kW
Tirol	300 ppm		ÖNORM 7510-1, -2 alt
Vorarlberg¹⁰⁾	100 mg/m ³		10 %

¹⁾ Neuanlagen ab 1.6.2004, Altanlagen bis 31.12.2011 siehe Luftreinhaltegesetz

²⁾ Einzelöfen

³⁾ Anlagen vor dem 23.7.1998 siehe Luftreinhaltegesetz

⁴⁾ unverdünnt = CO_x Luftüberschuss λ

⁵⁾ Anlagen vor dem 1.7.2000 siehe Luftreinhaltegesetz

⁶⁾ Anlagen bis 1996 und händisch beschickt siehe LRG

⁷⁾ atmosphärische Brenner

⁸⁾ Erdgas, Flüssiggas 160 mg/m³

¹⁰⁾ automatisch beschickt

8.2 Vorstellung der Testo-Geräte

Messtechnik für Umwelt, Klima und Industrie

„Wir messen es.“ Diese Devise ist gleichermaßen Slogan und Erfolgsschlüssel der Testo AG mit Hauptsitz in Lenzkirch im Schwarzwald. Bei dem High-Tech Unternehmen aus der Nähe von Freiburg dreht sich alles um innovative Messtechnik. Ob nun die neuen Wärmebildkamera-Modelle, das Messdaten-Monitoringsystem testo Saveris 2 oder das Feinstaubmessgerät testo 380 – der Messtechnik-Spezialist zeichnet sich durch einen hohen Innovationsgrad und eine breite Produktpalette aus. Testo-Messgeräte helfen den Kunden, Zeit und Rohstoffe zu sparen, sie schützen die Umwelt und Gesundheit von Menschen und steigern die Qualität von Produkten und Dienstleistungen. Zur Anwendung kommen die die High-Tech-Geräte beispielsweise bei der Lagerung und dem Transport sensibler Waren in der Pharma- und Lebensmittelbranche, bei der Produktion und Qualitätssicherung in der Industrie oder bei der Überwachung von Klimadaten in der Energieerzeugung und dem Handwerk.

Zum Erfolgsrezept gehört neben den hochqualifizierten und motivierten Mitarbeitern auch der überdurchschnittliche Aufwand in die Zukunft des Unternehmens. Rund 10 % des jährlichen Umsatzes investiert die Testo AG in Forschung & Entwicklung und festigt damit ihre Stellung als Weltmarktführer im Bereich portabler und stationärer Messtechnik.

Testo vor Ort

In der Bundesrepublik Deutschland betreuen sechs Servicecenter die Kunden und Interessenten. In 30 Tochtergesellschaften in u.a. Argentinien, Australien, Belgien, Brasilien, China, Frankreich, Großbritannien, Hongkong, Italien, Japan, Korea, Niederlande, Österreich, Polen, der Schweiz, Spanien, Tschechien, der Türkei, Ungarn und den USA sowie über 80 Handelsvertretungen werden die Präzisions-Messgeräte aus Lenzkirch in allen fünf Erdteilen verkauft und Service geleistet.

Bewährte Qualitäts-Messgeräte

Mehr als 100.000 Rauchgas-Analysegeräte von Testo sind weltweit bei unseren Kunden im Einsatz. Die Anwender in Industrie, im Handwerk und bei Behörden vertrauen zu Recht den Testo Rauchgas-Analysegeräten. Auch Testo setzt sein ganzes Vertrauen in die Qualität der Produkte. Das drückt sich in deutlich verlängerten Garanzzeiten aus.

Qualifizierter Rundum-Service

Auch nach der Garanzzeit lässt Testo die Kunden „nicht im Regen stehen“. Der weltweite Service garantiert dem Anwender schnelle Hilfe. In Deutschland gilt der 24-Stunden-Service (mit Eilzuschlag) und der 24-Stunden-Ersatzteil-Service. Selbstverständlich bekommt der Kunde auf Wunsch während der Reparaturzeit gegen eine geringe Pauschalgebühr ein Leihgerät.

ISO 9001-Zertifikat

Testo hat seit Oktober 1992 das Qualitäts-Zertifikat ISO 9001, das im Oktober 1997 wieder bestätigt wurde. Durch das konsequent angewandte, zukunftsorientierte Qualitätssicherungssystem bekommt der Kunde Produkte von konstanter/gleichbleibender Qualität. Die strenge Beurteilung und Zertifizierung erfolgte durch eine beglaubigte, neutrale Instanz: Dem Germanischen Lloyd. Diese Gesellschaft überwacht regelmäßig die Anwendung der Norm ISO 9001 bei Testo.

Auf der folgenden Doppelseite stellen wir Ihnen die Testo-Geräte im Bereich der Heizungs-Messtechnik vor.

Die zeitgemäße Abgasmessung: **testo 330i**

- Fernbedienung über die testo 330i App und Smartphone/Tablet
- Protokoll-Erstellung und -Versand direkt vor Ort
- Erweiterter CO-Messbereich durch Frischluftverdünnung
- Nullung im Kamin
- Innovative testoFix-Sondenhaltung (optional)
- Misst Abgas, Zug, Differenzdruck, CO-Umgebung und Differenztemperatur an Gas-, Öl- und Holzheizungen
- Prüft auch Gasleitungen
- NO-Sensor (optional)
- 4 Jahre Garantie auf die selbst wechselbaren Sensoren



Das professionelle Abgas-Analysegerät: **testo 330 LL**

- Grafik-Farbdisplay, selbsterklärende Grafiken und Symbole
- Erweiterte Messmenüs für umfassende Analysen
- Loggerfunktion
- °C, hPa, O₂, CO₂-Bestimmung, CO/CO₂-Umgebungsmessung, Gasleck-Messung, ΔT, P, Eta, qA, Gasleitungsprüfung
- Lange Sensorlebensdauer bis 6 Jahre, Garantie 4 Jahre
- USB-Schnittstelle
- BlmSchV-Menü, manuelle CO-Abschaltung, qA Mittelwert



Das universelle Multifunktionsgerät: **testo 320**

- Hochauflösendes Grafik-Farbdisplay
- Schnelle und einfache Menüführung
- 500 Speicherplätze für Messwerte
- Messungen von Abgas, Zug, Differenzdruck, CO-Umgebung, Differenztemperatur und Gaslecksuche
- O₂- und CO-Sensor und Abgassonde mit Temperaturfühler
- TÜV-geprüft nach EN 50379, Teil 1-3



Das Feinstaub-Messsystem: **testo 380**

- In Kombination mit testo 330-2 LL die innovative Komplettlösung für Festbrennstoff-, Öl- und Gasanlagen
- Uneingeschränkt TÜV-geprüft für die Grenzwertstufen 1/2 und nach VDI 4206 Blatt 2
- Parallele Messung von Feinstaub, O₂ und CO
- Grafische Darstellung aller Messwerte in Echtzeit
- Besonders wirtschaftlich in Betrieb und Wartung
- Müheloses Handling und einfacher Transport
- Hightech im Kofferformat: Messung aller relevanten Werte mit nur einer Sonde



Das portable Abgas-Analysesystem: **testo 350**

- Max. 6 Gas-Sensoren (vorkalibriert, Wechsel durch Anwender möglich)
- Grafisches Farbdisplay (anwendungsspezifische Menüführung) und hilfreiche Gerätevoreinstellungen
- Abnehmbares Bedienteil
- Messbereichserweiterungen mit wählbaren Verdünnungsfaktoren
- Integrierte Peltier-Gasaufbereitung



Das Druck- und Leckmengenmessgerät: **testo 324**

- Alle Messungen für Gas- und Wasserleitungen in einem Gerät
- Hochoflösendes Grafik-Farbdisplay
- Einfache Menüführung
- Einfachste Bedienung durch den Einschlauchanschluss
- Koffer mit Gasblase
- Integrierter Druckaufbau bis 300 mbar
- Hochexakte Sensorik
- DVGW konforme Messergebnisse
- 2 Jahre Garantie



Das Druckmessgerät für Gas- und Wasserinstallateure: testo 312-3

- Belastungs- und Dichtheitsprüfungen von Gasleitungen
- Druckprüfung von Wasserleitungen
- Umschaltbare Messbereiche, optimale Auflösung
- Alarmanzeige bei Unterschreiten frei einstellbarer Grenzwerte
- Übersichtliches Display mit Uhrzeit



Der Kohlenmonoxid-Monitor: testo 317-3

- Warnung vor gefährlichen CO-Konzentrationen in der Umgebungsluft
- Keine Nullphase, Gerät ist sofort einsatzfähig
- Einstellbare Alarmschwelle
- CO-Nullung am Messort
- Optischer und akustischer Alarm



Das elektronische Gaslecksuchgerät: testo 316-2

- Biegbarer Messfühler für schwer zugängliche Stellen
- Optischer und akustischer Alarm durch Balkenanzeige bei zunehmenden und gefährlichen Gaskonzentrationen
- Schleppzeiger gibt Maximalleckagen an
- Integrierte Pumpe
- Ohrhöreranschluss zur sicheren Leckageortung in lauter Umgebung
- Hohe Standzeit durch Akkubetrieb



Notizen

Notizen

Notizen

Wir messen es.



Änderungen, auch technischer Art, vorbehalten.

Testo AG
Testo-Straße 1, 79853 Lenzkirch
Telefon +49 7653 681-700
Telefax +49 7653 681-701
E-Mail info@testo.de

www.testo.de

2980 8015/cw/I/08.2015