

Die Steirischen Rauchfangkehrergesellen



Verbrennungslehre



Inhalt

Die Verbrennung

Chemische Hauptbestandteile bei der Verbrennung – „S C H O N“

Schema der Verbrennung - das Verbrennungsdreieck

Formen der Verbrennung

Die Verbrennungsgleichung

Verbrennungsprodukte und Bestandteile des Ab- bzw. Rauchgases

Taupunkttemperatur

Brennbare Stoffe – Brandverhalten

Brennstoff – Zustände und Grenzpunkte

Dieses Informationsschriftstück wurde von den Steirischen Rauchfangkehrergesellen, unter Bedachtnahme der einschlägigen Gesetze, Vorschriften, Normen und technischen Richtlinien erstellt und ist teilweise nur für das Land Steiermark gültig, da sich die Gesetze und Vorschriften anderer Bundesländer oder Staaten von den Steirischen Gesetzen und Vorschriften unterscheiden.

Weiters wurden für die Erstellung dieses Schriftstückes Informationen und Daten diverser Heizungs-, Kessel-, Brenner-, Rauchfangbau und Installationsfirmen verwendet. Es wurde in sorgfältiger Recherche erstellt, aber trotzdem kann es zu Fehlern kommen. Sollte der eine oder andere Fehler gefunden werden, so bitten wir um Bekanntgabe derselben, um eine Änderung oder Berichtigung vornehmen zu können.



Verbrennungslehre

Die Verbrennung

Der Verbrennungsvorgang ist eine schnell verlaufende **chemische Reaktion**, bei der sich ein brennbarer Stoff mit Sauerstoff verbindet. Dieser Vorgang wird als „**Oxidation**“ bezeichnet, der dazu erforderliche Sauerstoff wird im Allgemeinen der Luft entnommen.

Die chemischen Hauptbestandteile bei der Verbrennung

Das berühmte Wort

„SCHON“

Schwefel (sulfur)

Chemisches Symbol: „**S**“ Schmelzpunkt bei etwa: 115,21 °C
Atomgewicht: 32,065 Siedepunkt bei: 444,72 °C

Schwefel ist **brennbar** und tritt in der Erdkruste in fester Form rein und gebunden in verschiedenen Stoffen vor.

Sein Name sulfur (und sein Elementsymbol) kommt aus dem Lateinischen Sulphur oder „**sulfur**“ Im Deutschen wird es eventuell vom Indogermanischen *suel „schwelen“ abgeleitet).

Schwefel ist ein chemisches Element.

Kohlenstoff (carboneum)

Chemisches Symbol „**C**“ Schmelzpunkt bei etwa: 3550 °C
Atomgewicht: 12,011 Siedepunkt bei: 4200 °C

Kohlenstoff ist **brennbar** und tritt in der Erdkruste als Graphit, Diamant und in verschiedenen amorphen Formen auf (z.B. als Ruß oder Kohle).

Sein Name carboneum (und sein Elementsymbol) leitet sich von dem lateinischen Begriff „**carbo**“ zu Deutsch „Kohle“ ab.

Kohlenstoff ist ein chemisches Element und nimmt wegen der Vielzahl der von ihm gebildeten Verbindungen eine Sonderstellung unter all den chemischen Elementen ein.

Wasserstoff (hydrogenium)

Chemisches Symbol: „**H**“ Schmelzpunkt: -259,5 °C
Atomgewicht: 1,0079 Siedepunkt: -252,8 °C

Wasserstoff ist **brennbar** und kommt auf der Erde, im Gegensatz zu Sauerstoff und anderen Gasen, fast nur in chemischen Verbindungen vor.

Sein Name (und sein Elementsymbol) stammt aus dem lateinischen Begriff „**hydrogenium**“ = Wassererzeuger ab.;

Seine häufigste Verbindung ist das Wasser. Vereinigt mit Kohlenstoff und anderen Elementen, findet sich Wasserstoff in allen pflanzlichen und tierischen Organismen ebenso in deren abgestorbenen Stoffen wie Kohle, Erdöl und Erdgas.

Wasserstoff ist ein chemisches Element. Es ist farb-, geruch- und geschmacklos.

Sauerstoff (oxygenium)

Chemisches Symbol: „**O**“ Schmelzpunkt: -218,8 °C
Atomgewicht: 15,9994 Siedepunkt: -183,0 °C

Sauerstoff kommt frei in der atmosphärischen Luft zu ungefähr 21 Vol.-% vor, der Rest besteht aus 78 Vol.-% Stickstoff und etwa 1 Vol.-% Edelgasen.

Sein Name Oxygenium (und sein Elementsymbol) leitet sich von dem griechischen Begriff „**oxys**“ scharf, spitz, sauer.

Nahezu alle Lebewesen sind an das Vorhandensein von Sauerstoff gebunden. Liegt eine zu hohe Sauerstoffkonzentration (mehr als 21 Vol.-%) vor, kann dies zu Zellschädigungen führen (Weltraumkrankheit).

Sauerstoff ist ein chemisches Element. Es ist farb-, geruch- und geschmacklos.

Stickstoff (nitrogenium)

Chemisches Symbol: „**N**“ Schmelztemperatur: -210,5 °C
Atommasse: 14,0087 Siedetemperatur: -195,0 °C

Stickstoff kommt zu 78 Vol.-% elementar in der Luft vor.

Sein Name (und sein Elementsymbol) stammt aus dem lateinischen Begriff „**nitrogenium**“

Er ist äußerst reaktionsträge. Meist geht er Verbindungen mit anderen Elementen, z.B. mit Sauerstoff, erst bei höheren Temperaturen ein.

Stickstoff ist ein chemisches Element. Es ist farb-, geruch- und geschmacklos.

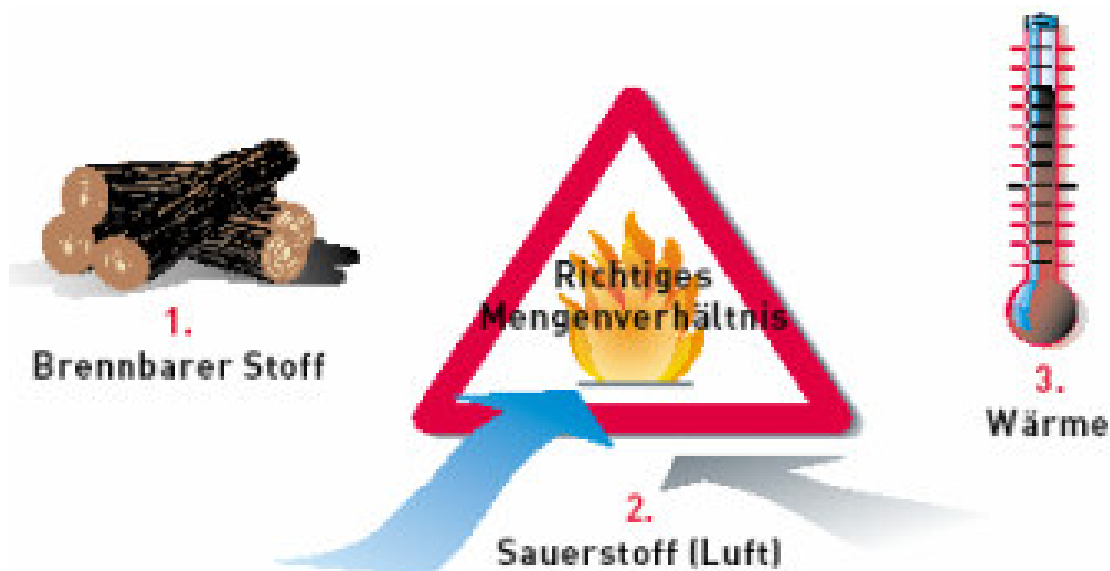
Schema der Verbrennung

Für die Verbrennung müssen vorhanden sein:

- + Ein brennbarer Stoff
- + Sauerstoff
- + Wärme – zum Erreichen der Zündtemperatur bzw. zum Halten der Verbrennungstemperatur
- + Die Reaktionsbereitschaft zwischen dem brennbaren Stoff und Sauerstoff (z.B. richtiges Mengenverhältnis der brennbaren Gase und Dämpfe mit Luft)

Nur wenn diese Voraussetzungen im richtigen Verhältnis zusammentreffen, kommt es zu einer Verbrennung.

Das Verbrennungsdreieck:



Wichtig ist, zu erkennen, dass es sich bei der Verbrennung um eine chemische Reaktion handelt.

Das heißt die Eigenschaften der reagierenden Stoffe werden verändert, und es entstehen neue Stoffe.

Diese durch die Verbrennung neu entstandenen Stoffe nennt man Verbrennungsprodukte bzw. Endverbrennungsprodukte.

Formen der Verbrennung

Feste, nicht schmelzende brennbare Stoffe verbrennen in Form von Glut!

Brennbare Gase und die Dämpfe brennbarer Flüssigkeiten verbrennen in Form von Flammen!

Der Flammbrand, der meist auch bei einem Glutbrand auftritt, ist die Verbrennung von Gasen, welche durch die Einwirkung der Verbrennungswärme aus dem festen brennbaren Stoff ausgetrieben werden (z.B. bei Holz, Papier, Textilien u. ähnlichem).

Flüssige Brennstoffe werden, durch Einwirken von Wärme, in ein brennbares Gas umgewandelt und verbrennen, wie auch gasförmige Brennstoffe, nur im Flammbrand.



Vollkommene Verbrennung

Ist die Verbindung aller brennbaren Elemente mit Sauerstoff zu ihrem Endverbrennungsprodukt: z.B. C mit O_2 zu CO_2

In den Rauch bzw. Abgasen sind keine unverbrannte Gase oder Brennstoffe mehr enthalten.

Dies heißt jedoch nicht, dass der Brennstoff in der Feuerstätte vollständig verbrannt wurde.

Vollständige Verbrennung

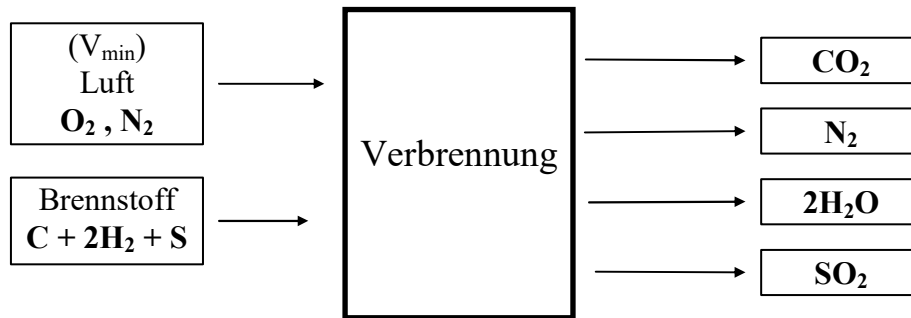
Der gesamte Brennstoff, der zugeführt wurde, ist in der Feuerstätte verbrannt worden. In der Feuerstätte sind nur noch die nicht brennbaren Bestandteile des Brennstoffes vorhanden.

Dies heißt jedoch nicht, dass er vollkommen verbrannt wurde.

Die Verbrennungsgleichung

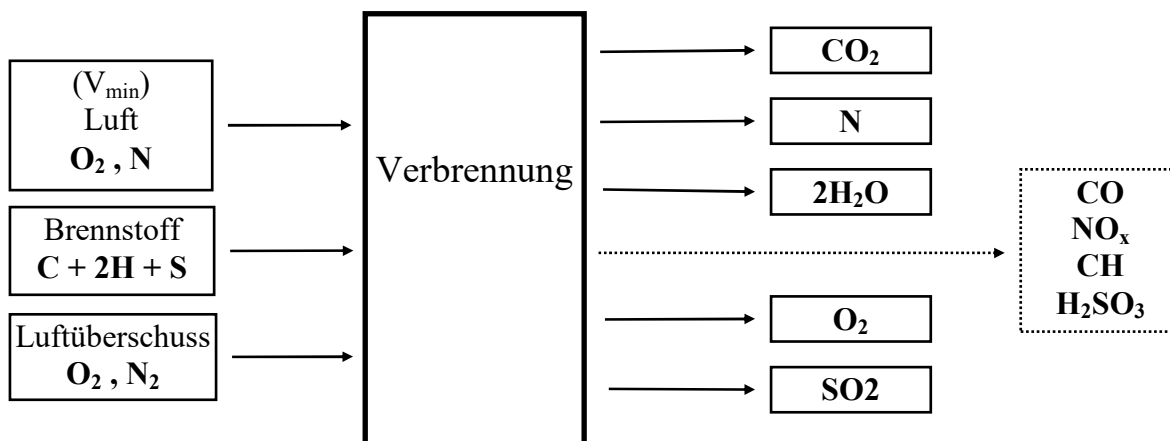
Theoretische oder stöchiometrische Verbrennung Verbrennung ohne Luftüberschuss

Diese Art der Verbrennung ist in der Praxis nicht möglich!
eine solche genaue Mischung des Brennstoffes mit Sauerstoff kann nicht erreicht werden



Normale oder kontrollierte Verbrennung

Verbrennung mit Luftüberschuss (tatsächlich stattfindende Verbrennung)



Luftüberschuss

Jeder Brennstoff hat je nach seiner chemischen Zusammensetzung einen theoretischen Luftbedarf (L_{\min}). Zur Erzielung einer vollständigen Verbrennung, „also ohne CO“ und „Russbildung“, muss einer Feuerstätte stets **mehr Luft zugeführt werden, als theoretisch notwendig ist**. Der Luftüberschuss beträgt je nach Feuerungsart 10% - 40%.

Das **Verhältnis** des tatsächlichen Luftbedarfs (L_{tats}) zum theoretischen Luftbedarf (L_{\min}) wird **Luftverhältniszahl λ** (sprich: **Lambda**) genannt.

Theoretischer Luftbedarf- L_{\min}

Bezogen auf trockene Luft enthält diese rund 21% Sauerstoff und 79% Stickstoff. Weitere Bestandteile der Luft sind Kohlenstoffdioxid und Edelgase die jedoch auf Grund ihrer geringen Menge keinen Einfluss auf die Verbrennung haben und daher bei den Verbrennungsgleichungen nicht berücksichtigt werden. Sie werden daher bei der folgenden Gleichung dem Stickstoff zugeordnet, da auch der bei der Verbrennung nur eine untergeordnete Rolle spielt.

Berechnung der theoretischen Luftmenge

$$L_{\min} = \frac{O_{2\text{th}} \times 100}{21} = m^3$$



Verbrennungsprodukte und Bestandteile des Ab- bzw. Rauchgases

Kohlenmonoxyd

(Chemische Formel = CO, Kohlenoxyd)

Kohlenmonoxyd ist ein überaus giftiges Gas und entsteht bei unvollkommener Verbrennung (Verbrennung bei Luftmangel), ist insbesondere in Autoabgasen und schlecht funktionierenden Heizungsanlagen enthalten.

**CO ist farb-, geruch- und geschmacklos und ohne Messgerät nicht feststellbar.
Es ist gleich schwer oder leichter als Luft (je nach Temperatur)**

Die toxische Wirkung beruht auf der Verdrängung des Sauerstoffes aus dem Hämoglobin des Blutes, da sich CO und Hämoglobin ca. 300-Mal eher verbinden als Sauerstoff und Hämoglobin.

(Als Hämoglobin (Hb) bezeichnet man den eisenhaltigen roten Blutfarbstoff in den roten Blutkörperchen)

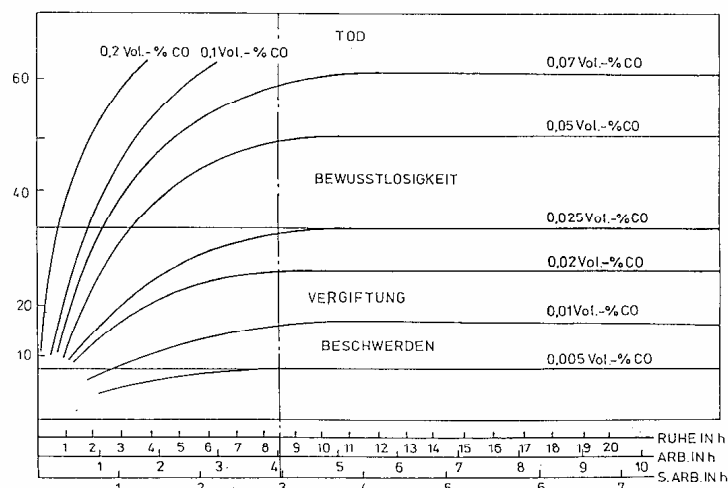
Trotz genügendem Sauerstoffgehalt der Atemluft kommt es hier zu einer so genannten „inneren Erstickung“.

Daher überaus wichtig:

Kontrolle und Messung der Abgase bei Heizungsanlagen auf CO.

Diese Kontrolle geschieht zweckmäßigerweise mit elektronischen Messgeräten

Blutsättigungskurve



CO ist brennbar: $H_o = 3,5 \text{ kWh/m}^3$
 Zündgrenzen: 12,5% - 75%
 Mak-Wert seit 1986: 30ppm = 33mg/m³

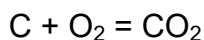
Dichte $d_v = 0,97$ (also leichter als Luft)
 Zündtemperatur 610°C
 Grenzwert für einwandfreie Luft = 5ppm

Typische Werte im Abgas: Ölf Feuerungen: 00 mg/m³ – 50 mg/m³
 Gasfeuerungen: 00 mg/m³ – 40 mg/m³

Kohlendioxid:

(Chemische Formel = CO₂)

Kohlendioxid ist schwerer als Luft und entsteht bei der Verbrennung von Kohlenstoff oder Kohlenstoffhaltigen Verbindungen (z.B. Brennstoffe) mit ausreichend Sauerstoff:



CO₂ ist ein farbloses Gas mit schwach säuerlichem Geschmack. Es ist schwerer als Luft und befindet sich daher oft am Boden von Weinkellern, Brunnen und in tief liegenden Heizräumen.

CO₂ ist ein das Atemzentrum lähmendes Gas.

Das in der Luft enthaltene CO₂ wird von den Pflanzen aufgenommen. Diese setzen es unter Anwesenheit von Chlorophyll und Sonnenenergie (-Licht) mit Wasser in andere, energiereichere Kohlenstoffverbindungen um. Gleichzeitig wird der Sauerstoff frei und an die Luft abgegeben.

Typische Werte im Abgas: Ölfeuerungen: 8 % - 12%
Gasfeuerungen: 8 % - 11%

Das **Chlorophyll** (von altgriechisch χλωρός, chlorós – hellgrün, frisch und φύλλον, phýllon – das Blatt) bezeichnet diejenigen Farbstoffe, durch die Pflanzen ihre grüne Farbe erlangen und mit denen sie bei der Photosynthese Lichtenergie in eine für sie nutzbare Form umwandeln.

Stickstoff und Stickoxide:

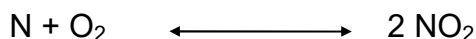
(Chemische Formel = NO_x)

Stickstoff N ist der Hauptbestandteil der Luft. Er hat eine regulierende Wirkung auf die Verbrennung.

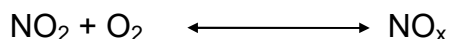
Typische Werte im Abgas: Öl- / Gasfeuerungen: 78 % - 80 %.

Stickstoff braucht eine hohe Aktivierungsenergie, um mit Sauerstoff zu reagieren. Diese Reaktion findet erst bei hohen Temperaturen wie z.B. in Flammen, bei elektrischen Entladungen, vor allem auch in Verbrennungsmotoren statt.

Dabei entsteht Stickstoffmonoxid und in der Folge Stickstoffdioxid:



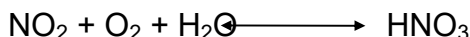
In weiterer Folge reagiert das Stickstoffdioxid in rascher Geschwindigkeit mit Sauerstoff zu NO_x.



Daher kann bei der Abgasmessung auch nur ein NO_x Wert gemessen werden.

Typische Werte im Abgas: Öl-/Gasfeuerungen: 50 mg/m³ - 100 mg/m³

Stickstoffdioxid NO₂ reagiert bei Anwesenheit von Sauerstoff und Wasser weiter zu Salpetersäure:



Diese chemische Reaktion ist mitverantwortlich für den sauren Regen!

Wasserdampf und Wasser

(Chemische Formel = H_2O)

Der sich in den Brenngasen befindende Wasserstoff (2H) verbindet sich mit dem Sauerstoff (O) zu Wasser (H_2O), welches in Form von Dampf in den Abgasen enthalten ist.

Die gebundene Wärme in diesem Dampf ist verlorene Energie. Erst durch die neue Brennwerttechnologie ist es möglich geworden, diese Energie auch zu nutzen.

Schwefeldioxid

(Chemische Formel = SO_2)

Ist ein farbloses, stechend riechendes und sauer schmeckendes, giftiges Gas. Es entsteht vor allem bei der Verbrennung von schwefelhaltigen fossilen Brennstoffen wie Kohle oder Erdölprodukten, die bis zu 4 Prozent Schwefel enthalten. Dadurch trägt es in erheblichem Maß zur Luftverschmutzung bei.

Maximal Wert im Abgas von Ölf Feuerungen > 50.000: 350 mg/m³

Schwefelige Säure

(Chemische Formel = H_2SO_3)

Das Schwefeldioxid verbindet sich mit Wasser zu schwefeliger Säure (H_2SO_3)

Auch diese Chemische Reaktion ist mitverantwortlich für den sauren Regen.

Aber auch für die Versottung von Fängen und die harten Gipsbeläge in einer Feuerstätte.

Restsauerstoff

(Chemische Formel = O_2)

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: Ölf Feuerungen: 2 % - 5%
Gasfeuerungen: 2 % - 6%
(Durchlauferhitzer beachten)

Idealwert ist 3%
 Dieser Wert wird auch bei der Abgasmessung als Bezugswert genommen

Unverbrannte Kohlenwasserstoffe

(Chemische Formel = 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).

Typischer Wert im Abgas von Ölf Feuerungen: kleiner 50 mg/m³



Russ

Russ besteht fast nur aus reinem Kohlenstoff (C) und entsteht bei unvollständiger Verbrennung.

Typischer Wert im Abgas von Ölfeuerungen: Russzahl 0 oder 1 nach Bacharach

Staub

Als Staub werden kleinste, in der Luft verteilte Feststoffe bezeichnet, die in beliebiger Form und Dichte vorhanden sein können. Staub entsteht durch Asche- und Mineralbestandteile von festen und flüssigen Brennstoffen.

Wichtig für die Bestandteile der Rauch- bzw. Abgase ist die Taupunkttemperatur:

Der bei der Verbrennung von in einem Brennstoff enthaltenen Wasserstoff entstehende Wasserdampf wird normalerweise dampfförmig über die Abgasanlage in die Atmosphäre geleitet.

Die Abgastemperaturen am Abgasstutzen der Heizkessel betragen dabei 100 °C bis 200 °C.

Werden die Abgase im Heizkessel zu stark abgekühlt, wird die Taupunkttemperatur unterschritten.

Die Taupunkttemperatur ist abhängig vom Brennstoff und dem Luftüberschuss; sie liegt zwischen 40 °C und 65 °C.

Bei der Verwendung schwefelhaltiger Brennstoffe bildet sich bei Kondensation des Wasserdampfs zusammen mit dem Schwefeldioxid schwefelige Säure, die in Verbindung mit den übrigen Säuren der Rauch- Abgase den Rauch- Abgasfang und die Kesselanlage zerstören können.

Diese Schäden werden auch als „Versottung“ bezeichnet.

Eine Versottung tritt hauptsächlich bei Ölfeuerungen und bei Holzfeuerungen auf, da bei der Verbrennung von Heizöl und Holz Wasserdampf und Schwefeldioxid entstehen.

Erdgas ist dagegen schwefelfrei aber durch den hohen Wasserstoffanteil im Erdgas kann es leicht zu einer Durchfeuchtung des Abgasfanges kommen.

Bei der Verbrennung von Koks bildet sich nur eine sehr geringe Menge Wasserdampf da Koks, bekannterweise, entgaste Kohle ist und ein großer Teil der Kondensat bildenden Stoffe schon bei der Produktion entfernt werden.

Um teure Reparaturen wegen Versottung oder Durchfeuchtung zu vermeiden, ist darauf zu achten, dass die Abgastemperaturen an keiner Stelle der Feuerungsanlage (Feuerstätte, Verbindungsstück, Fang) die Taupunkttemperatur unterschreiten.

Oft bildet sich am Rücklaufeintritt des Heizkessels Kondenswasser. Er darf deshalb nicht mit niedrigen Rücklauftemperaturen betrieben werden, oder die Heizflächen des Heizkessels müssen gegen Säurekorrosion geschützt sein.





In der heutigen Heiztechnik wird jedoch, bei Gas und Ölfeuerungsanlagen, diese Taupunktunterschreitung zur Energiegewinnung genutzt.

Die sogenannte Brennwerttechnologie.

Durch verwenden von feuchtigkeitsunempfindlichen und säurebeständigen Baustoffen und Materialien ist es möglich mit niedrigen Rücklauf – und Abgastemperaturen eine Feuerungsanlage zu Betreiben.

Hier ist das unterschreiten des Taupunktes und Kondensieren der Rauch- Abgase sogar erwünscht.

Brennbare Stoffe werden nach ihrem Brennverhalten in Brandklassen eingeteilt.

| | Brandklassen | Beispiele der Stoffe |
|---|---|--|
|  | Brände fester Stoffe, hauptsächlich organischer Natur, die normalerweise unter Glutbildung verbrennen | Holz, Kohle, Papier, Stroh, Faserstoffe, Textilien |
|  | Brände von flüssigen Stoffen oder flüssig werdenden Stoffen | Benzin, Benzol, Heizöl, Äther, Alkohol, Stearin, Harze, Teer |
|  | Brände von Gasen | Acetylen, Wasserstoff, Methan, Propan, Stadtgas, Erdgas |
|  | Brände von Metallen | Aluminium, Magnesium, Natrium, Kalium |

Neben der Einteilung in Brandklassen, werden die brennbaren Stoffe auch noch nach ihrem Zünd- und Brennverhalten beurteilt:

 **Entzündbarkeit** (schwer – leicht – selbstentzündlich)

 **Brennbarkeit** (schwer – normal – leicht brennbar)

Verbrennungsformen: Glut: Temperatur ca. 500 - 1000 °C
 Flamme: Temperatur ca. 1000 - 2000 °C

Brennstoffe

Unterschied - Brennwert / Heizwert (früher H_u – H_o)

Sie unterscheiden sich durch den Energiebetrag, der durch die Verdampfung des im Brennstoff enthaltenen bzw. bei der Verbrennung wasserstoffhaltiger Brennstoffe gebildete Wasser verbraucht wird.

Damit ist bei den meisten Brennstoffen der Heizwert geringer als der Brennwert $H_u < H_o$

Brennwert: (H_o) = Heizwert + Verdampfungswärme des Wassers

Als Brennwert H_o wird der Quotient aus der bei vollständiger Verbrennung eines festen oder flüssigen Brennstoffes freiwerdenden Wärmemenge und dem Gewicht des Brennstoffes bezeichnet, wenn:

- ☞ die Temperatur des Brennstoffes vor dem Verbrennen und die seiner Verbrennungserzeugnisse 25°C beträgt
- ☞ das vor dem Verbrennen im Brennstoff vorhandene Wasser und das beim Verbrennen der wasserstoffhaltigen Verbindungen des Brennstoffes gebildete Wasser nach der Verbrennung im **flüssigen Zustand** vorliegen
- ☞ die Verbrennungserzeugnisse von Kohlenstoff und Schwefel als Kohlendioxid (CO_2) und Schwefeldioxid (SO_2) im gasförmigen Zustand vorliegen
- ☞ eine Oxidation des Stickstoffs nicht stattgefunden hat.

Heizwert (H_u)

Als Heizwert H_u wird der Quotient aus der bei vollständiger Verbrennung eines festen oder flüssigen Brennstoffes freiwerdenden Wärmemenge und dem Gewicht des Brennstoffes bezeichnet, wenn:

- ☞ die Temperatur des Brennstoffes vor dem Verbrennen und die seiner Verbrennungserzeugnisse 25°C beträgt
- ☞ das vor dem Verbrennen im Brennstoff vorhandene Wasser und das beim Verbrennen der wasserstoffhaltigen Verbindungen des Brennstoffes gebildete Wasser nach der Verbrennung in **dampfförmigen Zustand bei 25°C** vorliegen
- ☞ die Verbrennungserzeugnisse von Kohlenstoff und Schwefel als Kohlendioxid (CO_2) und Schwefeldioxid (SO_2) im gasförmigen Zustand vorliegen
- ☞ eine Oxidation des Stickstoffs nicht stattgefunden hat.

Der Heizwert H_u wird bei allen Feuerungsanlagen zur Brennstoffmengenermittlung verwendet.

Verschiedene Brennwerte:

| | | | |
|-----------|-------------------------|------|-------------|
| Erdgas | 11,2 KWh/m ³ | | |
| Propan | 28,2 KWh/m ³ | oder | 14,0 KWh/kg |
| Butan | 37,2 KWh/m ³ | oder | 13,7 KWh/kg |
| Heizöl EI | | | 12,6 KWh/kg |

Verschiedene Heizwerte:

| | | | |
|-----------|-------------------------|------|-------------|
| Erdgas | 9,6 KWh/m ³ | | |
| Propan | 25,5 KWh/m ³ | oder | 12,8 KWh/kg |
| Butan | 33,7 KWh/m ³ | oder | 12,2 KWh/kg |
| Heizöl EI | | | 11,8 KWh/kg |



Verschiedene Parameter von Brennstoffen die für eine Verbrennung notwendig sind

Reaktionsbereitschaft:

Ist die Bereitschaft brennbarer Stoffe, mit dem in der Luft vorhandenen Sauerstoff eine chemische Verbindung in Form einer Verbrennung einzugehen.

Sie ist stark vom Anteil des Sauerstoffes in der Luft abhängig.

Die Verbrennung brennbarer Gase und Dämpfe ist stets nur in ganz bestimmten Mischungsverhältnissen zwischen Brennstoff und Luft möglich. Jeder Überschuss, ob brennbare Gase/Dämpfe oder Luft, wirkt hemmend auf die Verbrennungsreaktion. Je näher das Gas/Dampf-Luft-Gemisch am optimalen Mischungsverhältnis liegt, desto rascher läuft die Verbrennung ab. Auch das Fehlen oder Vorhandensein reaktionshemmender Stoffe beeinflusst den Verbrennungsablauf.

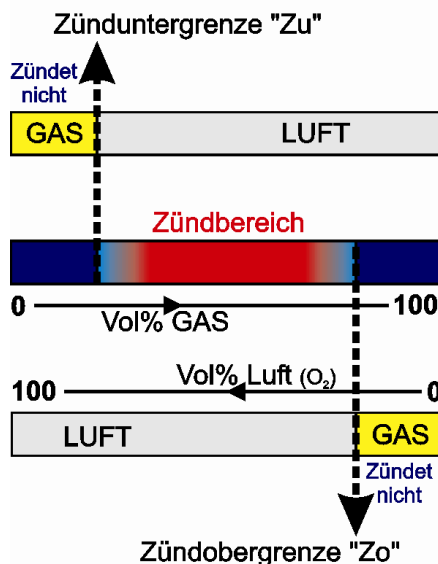
Ein Mischungsverhältnis zwischen brennbaren Gasen/Dämpfen mit Luft, in dem eine Zündung möglich ist, wird als Zündbereich oder Explosionsbereich bezeichnet.

Die Zündgrenze:

Die Zündgrenze ist jenes Mischungsverhältnis von brennbaren Gasen mit Luft, bei dem eine Verbrennung der brennbaren Gase möglich ist.

| | | | | |
|---------------|------------------------------------|-----------------|----------------------|--------------------|
| Erdgas | CH₄ | 5 - 15 % | Wasserstoff | H |
| Propan | C₃H₈ | 2 - 9 % | Kohlenstoff | C |
| Butan | C₄H₁₀ | 2 - 9 % | Kohlenmonoxyd | CO |
| | | | | 12,5 - 75 % |

Die Zündgrenzen



Nur innerhalb dieses Zündbereiches ist das Entzünden eines brennbaren Gases möglich!

Liegt das Gas – Luftgemisch in einem optimalen Mischungsverhältnis vor, so kann die Verbrennung auch explosionsartig erfolgen.

Rauchfangkehrer kennen diesen Vorgang bei Heizbetrieb als Verpuffung.

Ursache meist unsachgemäßer Betrieb einer Feuerstätte!



Der Zündpunkt

Der Zündpunkt ist jene Temperatur, bei der die Verbrennung in Gegenwart von Luftsauerstoff **ohne Zündfunken selbsttätig entzünden** kann.

| | | | | | |
|----------------|--------------------------------|-------|---------------|----|-------------|
| Erdgas | CH ₄ | 645°C | Wasserstoff | H | 530°C |
| Propan | C ₃ H ₈ | 510°C | Kohlenstoff | C | 725°C |
| Butan | C ₄ H ₁₀ | 490°C | Kohlenmonoxid | CO | 610°C |
| Heizöl EL | | 380°C | Holz | | 280 – 340°C |
| Zeitungspapier | | 170°C | Kohle | | 250 – 280°C |

Der Flammpunkt

Der Flammpunkt ist die niedrigste Temperatur, bei der sich brennbare Gase bilden. Durch zuführen einer Zündquelle flackern sie kurzfristig auf, brennen aber bei entfernen der Zündquelle nicht von selbst weiter. (bei Heizöl EL ca. 55°C).

Flammpunkt brennbarer Flüssigkeiten:

Brennbare Flüssigkeiten brennen selbst nicht, sondern nur ihre Dämpfe. Der Flammpunkt einer brennbaren Flüssigkeit ist die niedrigste Temperatur dieser Flüssigkeit, bei der sich an ihrer Oberfläche ausreichend Dämpfe zur Bildung eines entflammbar Dampf/Luft-Gemisches entwickeln (z.B. Benzin ca. -30 °C, Heizöl EL und Dieseldieselkraftstoff mindestens 55 °C).

Die brennbaren Flüssigkeiten werden in 3 Gefahrenklassen eingeteilt:

| | | | |
|----------------------------|-------------------------|--------------------|-----------------------------|
| Gefahrenklasse I: | Flammpunkt unter | 21 °C | (leicht entzündlich) |
| Gefahrenklasse II: | Flammpunkten | 21 – 55 °C | (entzündlich) |
| Gefahrenklasse III: | Flammpunkt über | 55 – 100 °C | (schwerentzündlich) |

Der Brennpunkt

Als Brennpunkt eines Stoffes wird die Temperatur bezeichnet, bei der der Dampfdruck so hoch ist, dass sich das entstehende Gas/Luft-Gemisch mit einer Zündquelle entzünden lässt, und die Verbrennung weiter fortschreitet, wenn die Zündquelle entfernt wird. Meistens liegt der anzuzündende Stoff bereits als Flüssigkeit vor.

Die Zündgeschwindigkeit

Die Zündgeschwindigkeit ist jene Geschwindigkeit in der sich eine Flamme in einem brennbaren Gasgemisch fortpflanzt. Sie ist im Wesentlichen von der Zündgrenze abhängig. Bei Verbrennung eines Gases mit reinem Sauerstoff (O) erhöht sich die Zündgeschwindigkeit um das 5 – 15fache gegenüber der Verbrennung mit Luft.

| | | | | | |
|--------|--------------------------------|---------------|---------------|----|-----------|
| Erdgas | CH ₄ | 0,2 - 0,3 m/s | Wasserstoff | H | 2,8 m/s |
| Propan | C ₃ H ₈ | 0,3 m/s | Kohlenstoff | C | m/s |
| Butan | C ₄ H ₁₀ | 0,41 m/s | Kohlenmonoxid | CO | >0,16 m/s |

Der Stockpunkt

Der Stockpunkt ist jene Temperatur, bei der ein flüssiger Brennstoff in den festen Zustand übergeht.

(bei Heizöl EL -15 °C, bei Heizöl L -10 °C)

Der Fließpunkt

Der Fließpunkt ist jene Temperatur, bei der der Brennstoff wieder flüssig wird. (ca. 5 °C über dem Stockpunkt.)

