



# **EMPFEHLUNGEN**

**für die Ableitung von Abwässern aus  
Kondensationsheizkesseln ("Brennwertkessel")**

**März 1988**



# **EMPFEHLUNGEN**

**für die Ableitung von Abwässern aus  
Kondensationsheizkesseln ("Brennwertkessel")**

**März 1988**

Mitglieder der Arbeitsgruppe:

J. Donhauser	Hoval AG
J. Drsek	Ygnis AG
W. Eberli	Bundesamt für Umweltschutz
B. Hurni	Amt für Umweltschutz und Energie des Kantons Basel-Landschaft
M. Koebel	Eidg. Institut für Reaktorforschung (Paul Scherrer Institut)
E. Kölliker	Technische Forschungs- und Beratungsstelle der schweiz. Zementindustrie, Wildegg
P. Leumann	Amt für Gewässerschutz und Wasserbau des Kantons Zürich
P. Liechti	Bundesamt für Umweltschutz
A. Mattioli	Brennwald AG
E. Müller	Bundesamt für Umweltschutz (Vorsitz)
G. Peter	Ingenieurschule Winterthur
W. Schär	Bundesamt für Umweltschutz
F. Theiler	EMPA Dübendorf
J. Weber	EMPA Dübendorf

Bezugsquelle: Dokumentationsdienst  
Bundesamt für Umweltschutz  
3003 Bern

# I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

	<u>Seite</u>
1 EINLEITUNG	1
2 KONDENSATIONSHEIZKESSEL	3
3 MENGE UND ZUSAMMENSETZUNG VON KONDENSATEN	7
4 PROBLEME DURCH SAURE KONDENSATE / BETONKORROSION	9
4.1 Oeffentliche Kanalisation und Oberflächengewässer	9
4.2 Hauskanalisation	9
4.3 Verhältnisse in Neubauten	10
4.4 Verhältnisse in Altbauten	10
5 MASSNAHMEN BEI DER ABLEITUNG VON KONDENSATEN	11
5.1 Allgemeine Grundsätze	11
5.2 Gasfeuerungen	11
5.3 Oelfeuerungen	11
ANHANG 1      Zusammensetzung von Kondensaten	15
ANHANG 2      Betonkorrosion	17
BIBLIOGRAPHIE	21

## 1 EINLEITUNG

Heizungsanlagen sollen bei möglichst kleinem Energieverbrauch viel Wärme liefern. Der Wirkungsgrad auch von kleineren Heizsystemen wurde vor allem seit der Oelkrise von 1973 laufend verbessert. Insbesondere wurde die Verbrennung optimiert, die Heizkessel besser isoliert und die Kesselwasser- und Abgas-temperaturen gesenkt. Durch die Senkung dieser Temperaturen können jedoch materialtechnische Probleme auftreten. Unter ca. 125°C kondensiert Schwefelsäure aus und unter 45 bis 60°C, je nach Luftüberschuss und Brennstoffart, kondensiert auch Wasser aus dem Abgasstrom aus.

Die dadurch entstehenden sauren Kondensate entsprechen den Anforderungen der "Verordnung über Abwassereinleitungen" meist nicht. Schäden an Kanalisationen und Hausinstallationen sind als Folge von Kondensateinleitungen aus kleineren Verbrennungsanlagen bis heute noch nicht festgestellt worden. In der Praxis stellt sich die Frage, ob diese Abwässer vor der Ableitung einer Vorbehandlung zu unterziehen sind, obwohl nur verhältnismässig geringe Mengen anfallen. Zur Abklärung der verschiedenen Fragen setzte das Bundesamt für Umweltschutz eine Arbeitsgruppe ein.

## 2 KONDENSATIONSHHEIZKESSEL

Bei der Wärmeerzeugung lässt sich ein zusätzlicher Energiegewinn erzielen, wenn ein Teil des bei der Verbrennung von Gas oder Oel entstehenden Wassers schon im Heizkessel kondensiert. Pro Liter kondensierendem Wasser kann maximal 0,67 kWh (Kondensationswärme) dem Wasserkreislauf der Zentralheizung mitgegeben werden. In der Praxis erfolgt die Abkühlung der Abgase im Kondensator durch den Heizungsrücklauf; um einen möglichst grossen Anteil des Verbrennungswassers zu kondensieren, sind daher niedrige Rücklauftemperaturen anzustreben. Die abgekühlten Abgase steigen allerdings meist nicht mehr selbständig im Kamin hoch, was einen Gebläsebrenner oder einen Abgasventilator erforderlich macht. Im Kamin kann zusätzliche Kondensation auftreten.

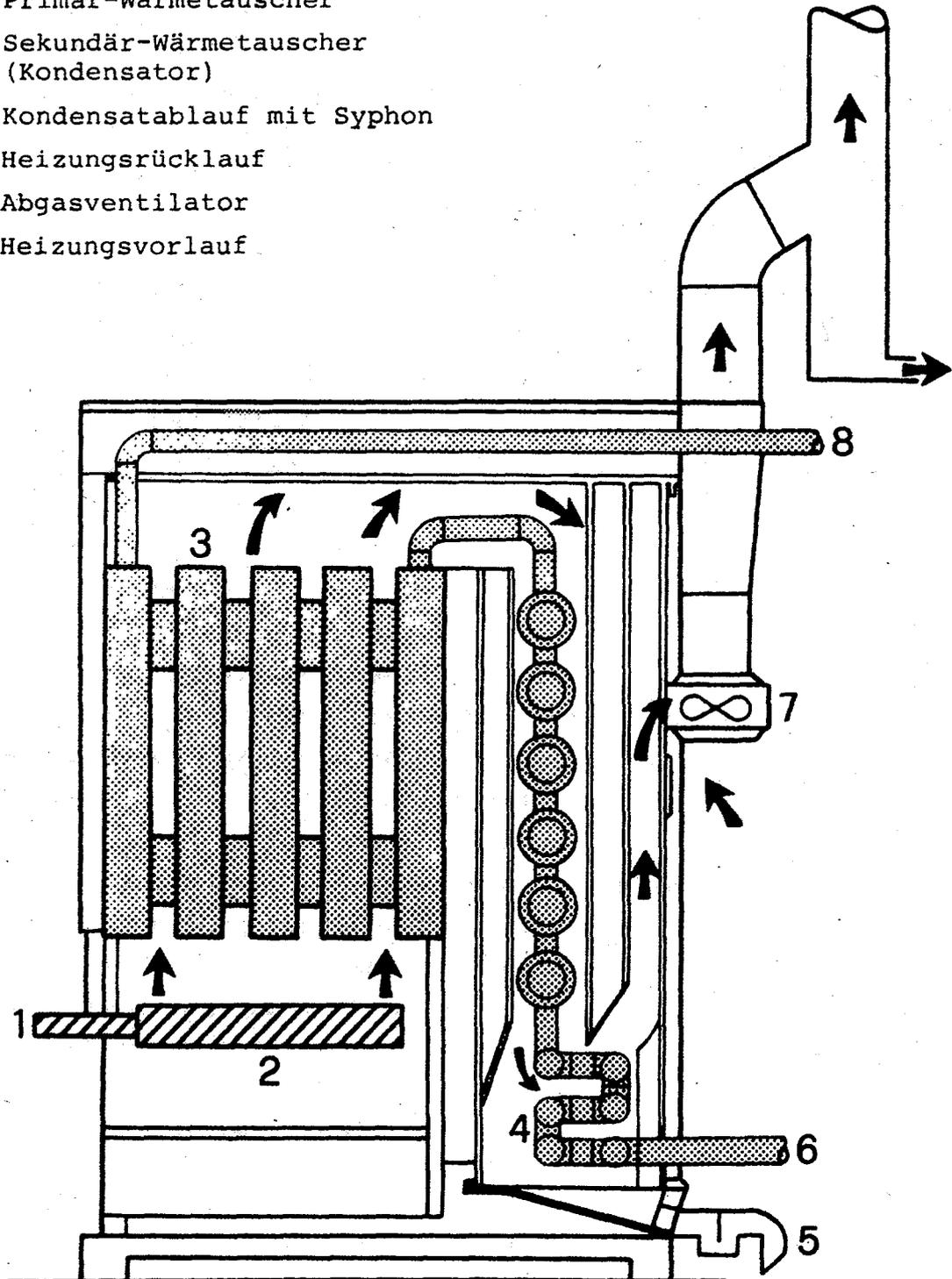
Viele der heute angebotenen Brennwertkessel sind mit zwei Wärmeaustauschern ausgestattet. Der erste kühlt die Verbrennungsgase wie in einem konventionellen Kessel auf Temperaturen oberhalb des Taupunktes ab; im zweiten werden sie durch den Kontakt mit dem Heizungsrücklaufwasser unter den Taupunkt abgekühlt. Das entstehende Kondensat fliesst nach unten ab. Der Abgasventilator liegt bei dieser Konstruktionsart meist hinter dem zweiten Wärmeaustauscher. Die Trennung in zwei Teile ermöglicht die Verwendung von nicht korrosionsbeständigen Materialien im konventionellen Teil.

Bei Brennwertkesseln mit integriertem Wärmeaustauscher findet die Wärmeübertragung bis hin zur Kondensation in einer Stufe statt. Die Geräteabmessungen sind daher sehr kompakt. Der Heizungsrücklauf mündet am unteren Ende der Kondensationsfläche ein und wird im Gegenstrom zu den Heizgasen durch den Wärmeaustauscher geführt. Im unmittelbaren Flambereich verlässt das aufgeheizte Wasser dann wieder den Kessel.

## Funktionsprinzip Kondensations - Gasheizkessel

### Legende

- 1 Gasanschluss
- 2 Atmosph. Erdgasbrenner
- 3 Primär-Wärmetauscher
- 4 Sekundär-Wärmetauscher (Kondensator)
- 5 Kondensatablauf mit Syphon
- 6 Heizungsrücklauf
- 7 Abgasventilator
- 8 Heizungsvorlauf



Bei dieser Konstruktion muss der gesamte Kesselblock aus korrosionsbeständigem Material bestehen. Der Brenner ist so angeordnet, dass die Verbrennungsgase nach unten strömen. Das Gebläse für den Abgastransport befindet sich hier auf der Verbrennungsluftseite.

Nur bei vollständiger Kondensation des Verbrennungswassers könnte bei Erdgas der obere Heizwert  $H_o$  (Brennwert) genutzt werden, welcher etwa 111 % vom unteren Heizwert  $H_u$  beträgt. In der Praxis kondensiert aber wegen den zu hohen Rücklauf-temperaturen nur ein Teil des gesamten Verbrennungswassers. Der Markt für Gaskondensationskessel weitet sich aus.

Der Wasserstoffanteil ist im Erdöl kleiner als im Gas. Bei ölbetriebenen Kondensationskesseln ist der Energiegewinn durch die Kondensation letztlich etwa halb so gross und zudem stellen sie hohe materialtechnische Anforderungen. Gegenwärtig ist nicht damit zu rechnen, dass Oelkondensationskessel verbreitet eingesetzt werden.

### 3 MENGE UND ZUSAMMENSETZUNG VON KONDENSATEN

---

Bei der vollständigen Verbrennung werden pro kg Heizöl Extra-Leicht ca. 1,15 kg Wasser und pro Kubikmeter Erdgas ca. 1,7 kg Wasser in Form von Wasserdampf gebildet. Unter sehr günstigen Bedingungen fällt etwa 0,8 Liter Wasser pro kg Heizöl bzw. 1,4 Liter pro Kubikmeter Erdgas als Kondensat an. Die tatsächlich ausgeschiedene Kondensatmenge ist abhängig von der Rücklauftemperatur, dem Luftüberschuss bei der Verbrennung und der Grösse der Oberfläche der Nachschaltheizflächen. Auch in der Uebergangszeit (April, Mai, September, Oktober), d.h. wenn die Rücklauftemperaturen am niedrigsten sind, wird aber bestenfalls die Hälfte der zu erwartenden Menge abgeschieden. In einem Einfamilienhaus mit gut dimensionierter Heizung mit Brennwerttechnik beträgt der Kondensatanfall der Gesamtanlage bei Verbrennung von Oel maximal 700-1'500 Liter und bei Verbrennung von Gas 1'500-3'000 Liter Kondensat pro Jahr.

Erdgas wird bei der Förderung total entschwefelt. Aus Sicherheitsgründen werden dem Gas aber schwefelhaltige Riechstoffe zugegeben. Der Schwefelanteil des in die Schweiz gelieferten Erdgases beträgt im Mittel weniger als 12 mg pro Normalkubikmeter. Die Schwefelmenge, die pro Einfamilienhaus bei einem Verbrauch von 3'000 Kubikmetern pro Jahr an die Umwelt abgegeben wird, liegt somit unter 50 Gramm. Da nur ein sehr geringer Teil des Schwefels bis zum  $\text{SO}_3$  oxidiert wird und davon nur ca. die Hälfte ins Kondensat gelangt, entstehen bei kleineren Gaskondensationsheizkesseln pro Jahr weniger als 5 Gramm Schwefelsäure, die in sehr grosser Verdünnung in die Kanalisation gelangen. Der sehr geringe Gehalt an starken Säuren im Kondensat ist mehrheitlich auf die Bildung von salpetriger- und Salpetersäure bei der Verbrennung zurückzuführen.

Seit 1. Juli 1987 ist der Schwefelanteil im Heizöl Extra-Leicht gemäss Vorschrift in der Luftreinhalteverordnung klei-

ner als 0,2 %. Bei der Verbrennung wird Schwefel zu  $\text{SO}_2$  oxidiert. Davon wird nur ein geringer Anteil (ca. 1-3 %) weiter bis zum  $\text{SO}_3$  oxidiert. Das heisst pro kg verbranntem Heizöl entstehen 50 bis 150 mg  $\text{SO}_3$ . Diese Menge wird bei der Kondensation des Verbrennungswassers nur zu 30 bis 60 % als Schwefelsäure ausgewaschen. Für ein kleineres Einfamilienhaus mit einem Jahresverbrauch von 3'000 kg Heizöl Extra-Leicht ergibt dies eine Jahresproduktion von lediglich 60-300 g Schwefelsäure. Bei einer Kondensatmenge von ca. 1'000 Liter pro Jahr entsprechen 200 g im Durchschnitt dem Sulfatgehalt einer 0,02 prozentigen Schwefelsäure (siehe Anmerkung 1).

Das bei der Verbrennung von Schwefel hauptsächlich gebildete Schwefeldioxid wird nur zu einem kleinen Teil im Kondensat aufgenommen. Im Beispiel des oben erwähnten Einfamilienhauses liegt die im Jahr über das Kondensat ausgeschiedene Menge bei 100 g. Bei unvollständiger Verbrennung treten zudem organische Säuren und Russ im Kondensat auf. Die Säurekapazität der Oelkondensate ist häufig 2 mal höher als der pH-Wert vermuten lässt. Als Folge der Korrosion von Chrom-Nickel-Stahl-Legierungen in Oelheizungskesseln und von Aluminium-Silizium-Legierungen in Gasheizungskesseln können ebenfalls geringe Metallmengen ins Kondensat gelangen, die bezüglich Abwasserbelastung allerdings unbedeutend sind (siehe Anmerkung 2).

Die Zusammensetzung von Kondensaten ist in Anhang 1 ersichtlich.

#### Anmerkung 1

Im Kondensat von Oelheizungskesseln, denen eine eigentliche Abgaswäsche nachgeschaltet wird, ist der Sulfatanteil wesentlich grösser. Die Ableitung solcher Kondensate wird hier nicht weiter diskutiert.

#### Anmerkung 2

Wenn die zur Verbrennung angesaugte Luft jedoch organische Halogenverbindungen, zum Beispiel chlorierte Lösungsmittel, enthält, kann auch bei Gasheizungen wegen der Kesselkorrosion durch die bei der Verbrennung entstehenden starken Säuren der Metallanteil in den Kondensaten recht hohe Werte annehmen.

## 4 PROBLEME DURCH SAURE KONDENSATE / BETONKORROSION

---

### 4.1 Oeffentliche Kanalisation und Oberflächengewässer

Abwässer aus Kondensationsheizkesseln stellen bei den beobachteten Sulfatkonzentrationen und pH-Werten wegen den geringen Mengen und den günstigen Verdünnungsverhältnissen weder für kommunale Abwasseranlagen noch für Oberflächengewässer eine Gefahr dar. Die Pufferwirkung der kommunalen Abwässer reicht selbst für die Neutralisation des Säureanteils der Kondensate aus Oelfeuerungen aus. So werden auch in der öffentlichen Kanalisation durch Einleiten nicht vorbehandelter Kondensate keine Schäden entstehen, wenn im betreffenden Leitungsabschnitt andere Abwässer fließen.

### 4.2 Hauskanalisation

Korrosion kann einzig unmittelbar bei der Einleitestelle in die Hauskanalisation auftreten, wenn diese aus unbeschichteten, zementgebundenen Werkstoffen (Beton, Faserzement) besteht. Bei dauernder Belastung, vor allem mit Kondensaten aus Oelfeuerungen, können diese Werkstoffe angegriffen werden. Besonders beim Eintrocknen an der Innenseite von Kanalisationsrohren steigt der Sulfat- und Säuregehalt und somit die Aggressivität gegenüber den erwähnten Werkstoffen an. Ein Einleiten der Kondensate in Rohre, die häufig mit anderen Haushaltabwässern beschickt werden, verhindert dieses Eintrocknen aber weitgehend.

Kondensate aus Gasfeuerungen mit Gehalten von weniger als 10 mg Sulfat/l und 2 mmol/l an starken Säuren bewirken in kleinen Mengen vernachlässigbare Korrosionen an Beton und Faserzement. Kondensate aus Oelfeuerungen müssen aber gemäss bestehender Normen als aggressiv gegenüber Beton und Faserzement bezeichnet werden.

#### 4.3 Verhältnisse in Neubauten

In neueren Gebäuden besteht die Kanalisation meist nur noch aus Rohren aus Kunststoffen, Steinzeug und beschichtetem Faserzement. In solchen Rohren tritt auch beim Kontakt mit Kondensaten aus Oelfeuerungen keine Korrosion ein. Häufige Benetzung vorausgesetzt, ist gut verdichteter Beton ebenfalls recht korrosionsbeständig. Probleme können allenfalls bei grösseren Gebäuden auftreten, in denen während der Wochenenden keine anderen Abwässer anfallen. Vor allem wenn Abwasser aus solchen Gebäuden am Ende der Kanalisationsstränge eingeleitet wird, ist auch auf das Material und die Qualität der öffentlichen Kanalisationen zu achten.

#### 4.4 Verhältnisse in Altbauten

In Altbauten bestehen die Einlaufschächte häufig noch aus sogenanntem "Ortsbeton". Korrosionsprobleme vor allem mit Kondensaten aus Oelfeuerungen können hier auftreten.

#### Anmerkung

Genauere Angaben zu den Mechanismen der Betonkorrosion sind in Anhang 2 enthalten.

## 5 MASSNAHMEN BEI DER ABLEITUNG VON KONDENSATEN

---

### 5.1 Allgemeine Grundsätze

Besondere Schutzmassnahmen sind bei Hausinstallationen und Kanalisationsabschlüssen aus korrosionsfesten Materialien (Kunststoff, Steinzeug, beschichteter Faserzement) nicht erforderlich.

Die Kondensate sollten möglichst an einer Stelle eingeleitet werden, wo regelmässig Abwasser fliesst. Dies ist besonders bei ungenügender Kenntnis der Zusammensetzung der bei Hausinstallationen und Kanalisationen verwendeten Materialien zu beachten. Allenfalls sind Kunststoffleitungen bis zu einer geeigneten Einleitungsstelle zu verlegen oder die gefährdeten Kanalisationsrohre, falls möglich, zu beschichten.

### 5.2 Gasfeuerungen

Abwässer aus Gasheizungskesseln sind schwach sauer. Sie enthalten nur sehr geringe Sulfatmengen. Korrosionsverhindernde Massnahmen sind deshalb in der Regel nicht notwendig. Bedingung ist für zementgebundene Werkstoffe ein einwandfreier Zustand. Bei grossen kondensierenden Anlagen ist es sinnvoll, die gefährdeten Rohre in der Hauskanalisation zu beschichten.

### 5.3 Oelfeuerungen

Obwohl Kondensate aus Oelheizungskesseln stärker betonkorrosiv als Kondensate aus Gasheizkesseln sind, ist eine separate Neutralisation bei ausreichender und gewährleisteter Durchmischung mit Haushaltsabwässern nicht erforderlich, denn die Pufferkapazität genügt in der Regel zur Neutralisation des Säureanteils der Kondensate. Ein Ausfällen der Sulfate bei

Gehalten unter ca. 1,5 g/l ist mit  $\text{CaCO}_3$  oder  $\text{Ca(OH)}_2$  wegen der Grösse des Löslichkeitsproduktes von  $\text{CaSO}_4$  nicht möglich. Tröpfchenweise Abgabe stark sauer und sulfathaltiger Lösungen (> 600 mg Sulfat pro Liter) auf eine nichtverdichtete Betonoberfläche, die periodisch eintrocknet, ist unbedingt zu vermeiden; deshalb sollten Kondensate aus Ölheizungskesseln in Altbauten schwallweise in die Kanalisation abgegeben werden. Nachspülen mit Wasser verhindert Betonkorrosion weitgehend. Auch in eventuell vorhandenen Rissen und Löchern werden dadurch saure Kondensatreste neutralisiert und verdünnt. Die Spülwassermenge sollte die Kondensatmenge um mindestens das Doppelte übertreffen.

Zusammenfassung der Massnahmen

Anlagen mit installierter Leistung bis ca. 200 kW		
verwendeter Brennstoff	Werkstoff(e) der Kanalisationsrohre	Massnahmen
1) Gas + Oel	Kunststoffe Steingut beschichtete Rohre (Beton, Faserzement*)	keine besonderen Massnahmen; bei ungenügender Verdünnung sind Betonschächte nötigenfalls zu beschichten. Für an einem Endstrang gelegene Bauten gilt Punkt 2) resp. 3).
2) Gas	zementgebunden (Beton, Faserzement) ohne Beschichtung	Einleiten der Kondensate an Ort mit periodischer Abwasserführung oder schwallweises Ableiten mit Nachspülen.
3) Oel	zementgebunden (Beton, Faserzement) ohne Beschichtung	Schwallweises Ableiten mit Nachspülen.

\* bekannt unter dem Handelsnamen Eternit

Bei Anlagen mit einer installierten Leistungen von mehr als 200 kW ist im Einzelfall zu prüfen, welche Massnahmen zu treffen sind. Eine allfällige Neutralisation ist in Betracht zu ziehen, wenn grosse Mengen Oelkondensat periodisch ohne ausreichende Verdünnung in zementgebundene Rohrleitungen eingeleitet werden. Als Beispiel seien hier grosse Verwaltungsgebäude erwähnt, die während der Wochenenden beheizt werden, ohne dass häusliche Abwässer fliessen.

**ANHANG 1: Zusammensetzung von Kondensaten**

---

Bereich der in den Kondensaten aus Gasfeuerungen gemessenen Stoffe (inkl. Kaminkondensate\*)

---

pH-Wert		3,3	-	5,5	
Säureäquivalente					
- starker Säuren		0,05	-	10	mmol/l
Mittelwert				< 2	mmol/l
- schwacher Säuren		1	-	4	mmol/l
Mittelwert				2	mmol/l
CO <sub>2</sub>		50	-	80	mg/l
Sulfit	SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0,2	-	3	mg/l
Sulfat	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2	-	30	mg/l
Ammonium	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>			ca. 15	mg/l
Nitrit	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	1	-	(350)	mg/l
Nitrat	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1	-	(800)	mg/l
Chlorid	Cl <sup>-</sup>	0,5	-	(330)	mg/l
Chrom	Cr <sup>3+</sup>			< 2	mg/l
Nickel	Ni <sup>2+</sup>			< 2	mg/l
Aluminium	Al <sup>3+</sup>	1	-	190	mg/l
Eisen	Fe <sup>3+</sup>	0,05	-	28	mg/l

\* Die Kondensatmengen liegen zwischen 45 und 100 (max. 120) Millilitern pro Kilowattstunde. Hohe Konzentrationswerte sind die Folge der Aufkonzentration vor allem im Kamin und treten bei stärkerer Kondensation nicht auf. Die in Klammern angegebenen Werte sind als "Ausreisser" einzelner Anlagen zu betrachten.

Bereich der in den Kondensaten aus Oelfeuerungen gemessenen Stoffe (inkl. Kaminkondensate\*)

---

pH-Wert		1,8	-	3,7	
Säureäquivalente					
- starker Säuren		0,7	-	60	mmol/l
Mittelwert				12	mmol/l
- schwacher Säuren		1	-	4	mmol/l
Mittelwert				< 2	mmol/l
TOC		30	-	600	mg/l
Sulfit	SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0,2	-	3	mg/l
Sulfat	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	50	-	500	mg/l
Nitrit	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,2	-	3	mg/l
Nitrat	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,5	-	10	mg/l
Chlorid	Cl <sup>-</sup>	50	-	260	mg/l
Cadmium	Cd <sup>2+</sup>			< 0,006	mg/l
Blei	Pb <sup>2+</sup>			< 0,1	mg/l
Molybdän	Mo <sup>2+</sup>			< 0,1	mg/l
Chrom	Cr <sup>3+</sup>			4	mg/l
Nickel	Ni <sup>2+</sup>	0,5	-	6	mg/l
Aluminium	Al <sup>3+</sup>			< 0,5	mg/l
Eisen	Fe <sup>3+</sup>	1	-	20	mg/l
Kupfer	Cu <sup>2+</sup>			< 0,6	mg/l

\* Die Werte gelten für Heizöl mit einem Schwefelanteil unter 0,3 %. Da in der Schweiz gemäss Luftreinhalteverordnung nur noch Schwefelanteile von maximal 0,2 % erlaubt sind, ist bei den Sulfaten und Sulfiten mit kleineren Konzentrationen zu rechnen. Die Kondensatmengen liegen zwischen 25 und 50 (max. 60) Millilitern pro Kilowattstunde. Hohe Konzentrationswerte sind die Folge der Aufkonzentration vor allem im Kamin und treten bei stärkerer Kondensation nicht auf.

## **ANHANG 2: Betonkorrosion**

---

Beton und Faserzementprodukte sind mikroporöse, mineralische Baustoffe mit einer guten Beständigkeit gegen Wasser. Es gibt jedoch verschiedene Wasserinhaltsstoffe, die einzeln oder in Kombination zu Korrosion führen können. Dabei unterscheidet man zwischen verschiedenen Korrosionsmechanismen: Auslaugung, Ionenaustausch und Strukturzerstörung.

Entscheidend für die Beständigkeit zementgebundener Baustoffe ist die Dichtigkeit und Porenstruktur des Gefüges, die von der Zusammensetzung und Verarbeitung bestimmt wird, namentlich von der Zementdosierung, dem Wasser/Zement-Wert, dem Zuschlag, der Verdichtung und der Nachbehandlung.

In Abhängigkeit vom vorgegebenen Wasser/Zement-Wert enthält der Zementstein im submikroskopischen Bereich mehr oder weniger Kapillarporen, die Wasser und Salzlösungen aufsaugen können. Ein dichter Beton mit einem geringen Gehalt an wasserfüllbaren Kapillarporen zeigt allgemein eine gute chemische Beständigkeit. Die im Abwasserbereich heute verwendeten häufigsten Faserzementprodukte besitzen aufgrund ihres lagigen Aufbaus eine dichtere Oberfläche und unterscheiden sich hinsichtlich Wasseraufnahme und Diffusionsverhalten vom Beton.

Die Beständigkeit gegen Wasser ist durch Schutzschichten bedingt, deren Aufbau von der Wasserqualität abhängt. Eine Beurteilung des Angriffsgrades von Wässern erfordert die Kenntnis der örtlichen Baustoffqualität. Im Falle stark aggressiver Wässer muss zusätzlich eine Imprägnierung, Versiegelung oder Beschichtung appliziert werden.

Durch Kontakt zementgebundener Baustoffe mit der Luft oder mässig kohlendioxidhaltigem Wasser bildet sich durch Karbonatisierung der im Zement enthaltenen Calciumhydroxide eine Schutzschicht. Durch Säuren, stark kohlendioxidhaltiges oder weiches Wasser kann diese wieder aufgelöst werden. Damit wandert die Neutralisierungszone tiefer in den von Natur aus stark basischen Baustoff. An der Oberfläche bleibt eine gelartige, säurebeständige Silikat-Schutzschicht zurück. Diese ist empfindlich gegenüber mechanischer Beanspruchung und wird bei einer Austrocknung der Oberfläche oder einer Reinigung zerstört. Schutzschichten werden auch beim Bewuchs der Oberflächen mit Mikroorganismen gebildet, welche die Poren der Zementstruktur verstopfen.

Die meisten Bestandteile des Zementgesteins, wie Calcium-Oxide, -Hydroxide und -Karbonate, sowie Silikate und Aluminate sind nicht säurebeständig. Der Säureangriff auf zementgebundene Baustoffe ist deshalb durch eine gleichmässige Auslaugung der Oberfläche gekennzeichnet.

Ammonium- und magnesiumhaltiges Wasser gilt ebenfalls als aggressiv für zementgebundene Baustoffe. Diese Ionen bewirken durch einen Ionenaustausch eine Verminderung des Calciumhydroxidgehaltes des Zementsteins. Das umgesetzte Calciumhydroxid wird unter Festigkeitsverlust aus dem Innern des Zementsteins nachgeliefert.

Bei chlorid- und insbesondere bei sulfathaltigem Wasser erfolgt eine Neubildung von Stoffen im Innern des porösen Zementgesteins. Dies führt im Falle der Sulfate zu einer strukturzerstörenden Treiberkorrosion. Der Sulfatangriff beruht auf der Bildung von voluminösen "Ettringit" durch eine chemische Reaktion mit den Aluminaten des Zementgesteins. Die Schädigung zeigt sich in einem Aufquellen und einer Erwei-

chung der Matrix. Auch hier spielt die Qualität des zementgebundenen Baustoffs eine entscheidende Rolle. Eine dichte Struktur mit einem geringen Anteil an Kapillarporen bewirkt eine hohe Sulfatbeständigkeit.

Als Mass für die Aggressivität von Kondensaten gegenüber zementgebundenen Werkstoffen ist der pH-Wert alleine wenig geeignet, da er über die Pufferkapazität und den Ionengehalt einer Lösung nichts aussagt.

## BIBLIOGRAPHIE

Der Schweiz. Bundesrat: Verordnung über Abwassereinleitungen vom 8. Dezember 1975 (Stand am 1. April 1985)

Der Schweiz. Bundesrat: Luftreinhalte-Verordnung (LRV) vom 16. Dezember 1985

Vereinigung Kantonalen Feuerungsversicherungen: Merkblatt Nr. 002, Ableiten von Abgasen mit einer Temperatur von max. 80 Grad Celsius bei Feuerungsaggregaten für Oel und Gas

DIN 4702, Teil 6 (DK 697.326:662.95:620.1), Heizkessel, Brennwertkessel für Gasförmige Brennstoffe

AIV, Merkblatt M251 (DK 628.394:621.182.16:628.474), Regelwerk Abwasser-Abfall: Einleitung von Kondensaten aus Feuerstätten in öffentliche Abwasseranlagen (1985)

Amt für Gewässerschutz und Wasserbau Zürich: Kreisschreiben an die Stadt und Gemeinden zuhanden der Baubewilligungsbehörde betreffend Kondensationsheizkessel (Januar 1986)

Zusammenfassender Bericht über "Abführung des Abgaskondensats von Brennwertkesseln". Zu beziehen bei N.V. Nederlandse Gasunie, afd. Voorlichting, Postbus 19, 9700 MA Groningen, Niederlande

D. Alexander, G.C. Kobussen: Korrosion und Werkstoffanforderungen an Brennwertgeräte. Vortrag gehalten am Brennwertsymposium vom 13. und 14. Dezember 1984 in Essen

P.H.J. Bartholomeus: Erfahrungen mit Brennwertkesseln in den Niederlanden. Praxis und Wirtschaftlichkeit moderner Gastechnologien, Internationale Fachtagung Oktober 1983 in Darmstadt; Nr. 8 der ASUE Schriftenreihe; Vulkan-Verlag, Essen

P.H.J. Bartholomeus: Brennwertgeräte in den Niederlanden. gwf-gas/erdgas 124/2, 97-103 (1983)

H. Bathke und T. Jannemann: Uebersicht über gasbeheizte Brennwertkessel. gwf-gas/erdgas 123, 515-527 (1982)

Ch.P. Beckervordersandforth: Einführung in die Brennwerttechnologie unter den Gesichtspunkten Energieeinsparung, Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit. Vortrag gehalten am Brennwertsymposium vom 13. und 14. Dezember 1984 in Essen

J. de Bree, W. Dijkhof, T. Bakker: Demonstratia-projekten HR-ketels. Nederlandse Energie Ontwikkelings Maatschappij B.V. (NEOM), VEG-Gasinstituut N.V., N.V. Nederlandse Gasunie 1982

W. Dijkhof: Erfahrungen mit Brennwertkesseln in den Niederlanden. Vortrag gehalten am Brennwertsymposium vom 13. und 14. Dezember 1984 in Essen

Ch. Erb (EMPA Dübendorf): Was ist zu halten von Oelkondensationskesseln. Haus Technik 3/86, 52-58

Ch. Erb (EMPA Dübendorf): Zur Abscheidung von Schwefel in Oelkondensationskesseln. Heizung-Klima 1/2, 24-25 (1986)

Ch. Erb, G. Zweifel: Nutzungsgrade von Oelkondensationskesseln, Ergebnisse aus Feldmessungen und Modellrechnungen. EMPA-interner Bericht zu Ergebnissen des NEFF-Projektes 279 (1986)

K. Gut: Messungen an einem ölgefeuerten Heizkessel mit Kondensationsrekuperator. Diplomarbeit ATIS (Horw 1986)

W. Handrock: Betriebserfahrungen mit Brennwertkesseln im Bereich eines Versorgungsunternehmens. Vortrag gehalten am Brennwertsymposium vom 13. und 14. Dezember 1984 in Essen

Th. Jannemann: Stand der Brennwerttechnik in der Bundesrepublik Deutschland. Vortrag gehalten am Brennwertsymposium vom 13. und 14. Dezember 1984 in Essen

A.G.C. Kobussen: Corrosion in H.E.-Boilers and Analysis of Flue-Gas Condensate. Reprint for the International Gas Research Conference 13-16 June 1983, in London

M. Koebel: Kondensierende Oelheizungskessel - ein Beitrag zum Umweltschutz? Heizung-Klima 7, 50-52 (1984)

M. Koebel: Welchen SO<sub>2</sub>-Anteil kann der kondensierende Oelheizkessel aus den Rauchgasen eliminieren? EIR, Abteilung 33 TM-33-83-38 (EIR-interne Publikation)

M. Koebel: Korrosion von Oelgefeuerten Zentralheizkesseln durch saure Verbrennungsprodukte des Brennstoffschwefels, EIR-Bericht Nr. 492, (Juli 1983)

E. Koelliker: Ueber die Wirkung von Wasser und wässriger Kohlensäure auf Beton. Werkstoffwiss. und Bausanierung, Int. Koll. (Esslingen / Sept. 1983)

P. Koppe: Einleitung von wässrigen Kondensaten aus Gasfeuerungen in öffentliche Abwasseranlagen. Vortrag gehalten am Brennwertsymposium vom 13. und 14. Dezember 1984 in Essen

C.L. Kruse: Abgasseitige Korrosion bei Oel- und Gasfeuerung. Werkstoffe und Korrosion 37, 334-351 (1986)

O. Matile (Lausanne): Kondensationsgaskessel und was man über deren Installation wissen muss. GEEU 1986/2 81-83 oder Gas-Wasser-Abwasser, 66, Nr. 4, 246-248 (1986)

G. Peter, Q.W. Yang und B. Brunold: Die Beständigkeit von Beton im Bereich Wasser und Abwasser. Gas-Wasser-Abwasser 66, 7, 453-459 (1986)

G. Peter, M. Partl, und L. Varga: Korrosionsschutzmassnahmen an zementgebundenen Abwasserrohren. Vortrag gehalten am Int. Kongress für Leitungsbau, 2.-6. November 1987 in Hamburg

J. Plate, J. Tenhumberg: Das System Feuerstätte - Kamin bei niedrigen Abgasverlusten. GAS-Wärme international, Band 34, Heft 8, 329-331 (1985)

J. Plate, J. Tenhumberg: Auswirkungen niedriger Abgasverluste auf den Kamin. GAS-Wärme international, Band 34, Heft 11 (1985)

G.J. van Rossum: Probleme des Abgaskondensates aus Brennwertkesseln. gwf-gas/erdgas 124/2, 104-114 (1983)

G.J. van Rossum, P.H.J. Bartholomeus and J. Boogd: Disposal of flue gas condensate from high efficiency boilers, examination of effects on the drain system and the environment. Lecture given at the symposium on "Condensing Heat Exchangers", 3-4 march 1982, Atlanta, Georgia

I. Skunca: Normung und Zulassungsprüfung für Brennwertkessel, Vortrag gehalten am Brennwertsymposium vom 13. und 14. Dezember 1984 in Essen

I. Skunca: Ableitung von Verbrennungskondensaten in häusliche und kommunale Entwässerungsanlagen. Gas-Wasser-Abwasser 67, 6 (1987)

M. Stadelmann: Untersuchungen über Gas-Kondensationskessel, GAS-Wärme international Band 32, Heft 11, 459-464 (1983)

G.H. Stickford et al.: Flue-Gas Condensate Disposal from High-Efficiency Gas Furnaces. Batelle Columbus Laboratories, Columbus Ohio 43201, Final Report (Sept 1981)

F. Stohler: Die aktuelle Reportage: Information über Oelkondensationskessel an Ort und Stelle. Heizung-Klima 11, 26-31 (1984)

F. Stohler: Praxis: Eliminierung von sauren Schwefelverbindungen aus Rauchgasen. Heizung-Klima 11, 44-45 (1984)

B. Subherwal, A. Mottershaed: A Better Understanding of Condensing Appliances. Report prepared by BR Laboratories for the California Gas Company, April 1984