



AIR
ANALYTIK

KUNDENINFORMATION

Potenzielle Quellen von Innenraumschadstoffen
VOC - volatile organic compounds



ALLGEMEINES

Flüchtige organische Verbindungen – volatile organic compounds	3
Bewertung von Innenraumschadstoffen	4

PARAMETER

Aromatische Kohlenwasserstoffe	5
Aliphatische Kohlenwasserstoffe - Alkane.....	7
Aliphatische Kohlenwasserstoffe - Alkene.....	8
Aliphatische Kohlenwasserstoffe - Cycloalkane	9
Terpene	10
Alkohole.....	12
Glykole / Glykolether	13
Aldehyde	15
Ketone	17
LHKW	18
Ester	19
Siloxane.....	21
Phenole	22
Carbonsäuren.....	23
Sonstige Verbindungen	24
Literatur und Quellen.....	25

ALLGEMEINES

Der Mensch ist im Laufe seines Lebens einer Vielzahl potenziell schädlicher Substanzen ausgesetzt. Da er den Großteil der Zeit in Innenräumen verbringt - sei es im Büro, im eigenen Zuhause oder im Rahmen von Freizeitangeboten - wächst seit Jahren das Interesse zu erfahren, welchen Substanzen man im Innenraumbereich ausgesetzt sein kann und inwiefern diese eine gesundheitsbeeinträchtigende Wirkung ausüben können. Aufgrund von Faktoren wie unterschiedlicher Baumaterialien/Bauweisen von Gebäuden und Inneneinrichtungen sowie individueller Faktoren wie Alter, Vorerkrankungen oder bestehender Sensibilisierungen und dem Nutzerverhalten (z.B. Lüftungsintervallen) ist die Thematik der Innenraumschadstoffe durchaus komplex.

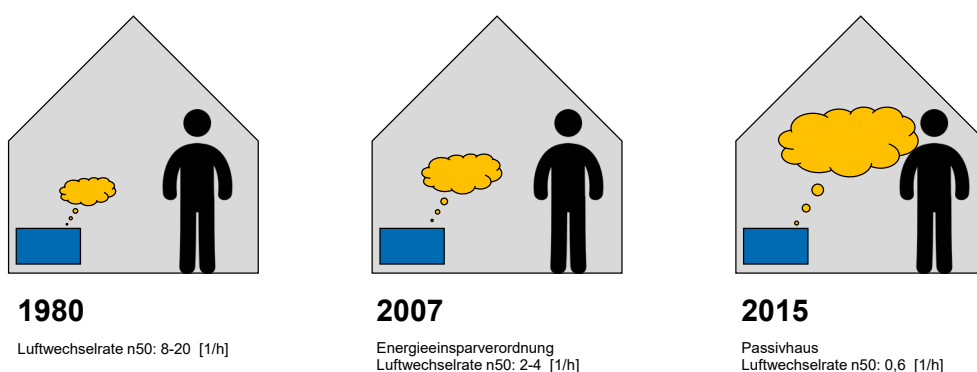


Abbildung 1: Aufgrund unterschiedlicher Bauweisen und energiesparendem Verhalten können sich aus Materialien ausgasende Schadstoffe aufkonzentrieren – Quelle: Innenraumschulung Analytik Institut Rietzler 2020

Flüchtige organische Verbindungen – volatile organic compounds

Im Rahmen dieser Fragestellungen stellen flüchtige organische Verbindungen (VOC - volatile organic compounds) einen wichtigen Untersuchungsbereich dar. Hierbei handelt es sich um Verbindungen, die sich aufgrund ihres Dampfdrucks oder ihrer Siedetemperatur bereits bei in Innenräumen üblichen Temperaturbereichen überwiegend in der Gasphase und somit Atemluft befinden können. Abbildung 2 veranschaulicht am Beispiel von Benzol den Einfluss, den Luft als Schadstoffträger auf den Menschen ausüben kann.



Abbildung 2: Vergleich der potenziell aufgenommenen Konzentrationen von Benzol aus Trinkwasser und eingeatmeter Außenluft im Verlauf eines Tages – Quelle: Innenraumschulung AIR 2020

Laut Definition nach WHO zählt man zu den VOC-Verbindungen jene mit einer Siedetemperatur im Bereich von ungefähr 50 °C – 260 °C. Daneben spricht man von leichtflüchtigen org. Substanzen (VVOC – very volatile organic compounds) bei solchen mit Siedetemperaturen bis ca. 50 °C sowie von mittel- bis schwerflüchtigen org. Substanzen (SVOC – semi volatile organic compounds) ab einer Siedetemperatur von ungefähr 260 °C.

Klassifizierung nach WHO	Siedebereich °C
VVOC	<0 bis 50...100
VOC	50...100 bis 240...260
SVOC	240...260 bis 380...400

Tabelle 1: Klassifizierungen flüchtiger Substanzen nach WHO

Die Ursprünge von VOC-Substanzen sind vielfältig und können sowohl im Außen- als auch Innenbereich liegen. In der Außenluft finden sie sich zum Beispiel durch biologische, technische oder industrielle Prozesse als Abfall- oder Nebenprodukte. Im Innenraumbereich sind die beim Bau von Gebäuden oder bei der Herstellung der Inneneinrichtung verwendeten Materialien, wie zum Beispiel Fußböden, Klebstoffe, Farben, Lacke oder auch Produkte wie Reinigungs- oder Pflegemittel mögliche Quellen.

VOC-Substanzen können ebenfalls aus unerwarteten Quellen entspringen. So können sie etwa als Reaktions- oder Abbauprodukte aus komplett anderen Substanzen entstehen (vgl. Kapitel „Aldehyde“). Auch Produkte, die als „lösemittelfrei“ beworben werden, können durchaus hohe Konzentrationen an VOC-Substanzen enthalten. Laut Definition für „Lösemittel“ (nach TRGS 610 „Ersatzstoffe und Ersatzverfahren für stark lösemittelhaltige Vorstriche und Klebstoffe für den Bodenbereich“) sind damit Stoffe mit einem Siedepunkt bis 200 °C zu verstehen. Durch Verwendung höher siedender VOCs (vgl. Kapitel „Glykole/Glykolether“) als Träger-substanz können entsprechende Produkte zwar als lösemittelfrei deklariert werden, aufgrund der geringeren Flüchtigkeit gegenüber traditionellen Lösemitteln können entsprechende Hochsieder jedoch zu einer länger anhaltenden Belastung im Innenraum führen.

Die Exposition gegenüber organischen Substanzen allgemein kann zu potenziellen Beeinträchtigungen der Gesundheit führen. Generell sind entsprechende Beschwerden nach Exposition sehr unspezifisch und äußern sich häufig als Schwindel, Benommenheit oder Kopfschmerzen. Auch die Reizung von Schleimhäuten von Augen, Nase oder Mund und damit einhergehend trockene oder tränende Augen oder Reizhusten aber auch Hautausschläge können typische Symptome sein. Im Regelfall sind diese jedoch nicht langanhaltend und nehmen nach Exposition mit entsprechenden Substanzen schnell ab.

Da VOC-Substanzen hauptsächlich inhalativ über die Atemluft aufgenommen und über die Schleimhäute und Lunge resorbiert werden, können schnell auch große Mengen vom Körper aufgenommen werden und schneller Wirkung zeigen, als zum Beispiel über eine rein orale oder dermale Aufnahme. Die Anfälligkeit gegenüber entsprechenden Reaktionen ist äußerst subjektiv und hängt von vielen Faktoren ab, darunter dem Alter der Person, Vorerkrankungen, vorherigen Sensibilisierungen oder Empfindlichkeiten gegenüber speziellen Substanzen.

Bewertung von Innenraumschadstoffen

Nicht nur subjektive und unspezifische Symptome einerseits, auch mögliche Wechselwirkungen von Einzelsubstanzen untereinander und Stoffgemische stellen Gutachter bei der Bewertung von Analysen von Innenraumschadstoffen vor Herausforderungen. So ist jede Untersuchung immer im Einzelfall zu betrachten. Messungen sollten zunächst zur Orientierung herangezogen werden, um sich einen Überblick über die vorherrschende Situation zu verschaffen. Anhand eventuell vorhandener Positivbefunde kann daraufhin versucht werden, die entsprechende Emissionsquelle ausfindig zu machen und über die Notwendigkeit weiterer Schritte wie z.B. dem Entfernen dieser zu entscheiden.

Da bisher fast keine gesetzlich festgelegten Grenzwerte für VOCs existieren, erfolgt die Interpretation von Ergebnissen bisher hauptsächlich nach toxikologischen (z.B. Richtwerte des Umweltbundesamtes) oder statistisch abgeleiteten Bewertungskonzepten (z.B. Orientierungswerte der AGÖF – Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute).

PARAMETER

Die im Folgenden aufgelisteten Stoffgruppen und Einzelsubstanzen befinden sich im Untersuchungsspektrum der VOC-Analytik des Labors **Analytik Institut Rietzler GmbH (AIR)**.

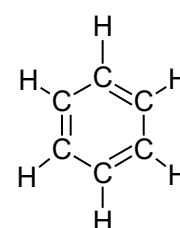
Die allgemeinen Informationen sollen einen ersten Überblick über die entsprechende Stoffgruppe hinsichtlich der chemischen Struktur, Verwendungszwecke und Vorkommen geben. Bei der darauffolgenden tabellarischen Auflistung wird auf Besonderheiten der jeweiligen Einzelsubstanzen eingegangen. Eine Übersicht darüber, welche Parameter mit welchem Adsorptionsmedium und in welchem Umfang analysiert werden können sowie die entsprechenden empfohlenen Probenahmebedingungen können dem Leistungsverzeichnis des Analytik Institut Rietzler für Innenraumanalytik entnommen werden.

Aromatische Kohlenwasserstoffe

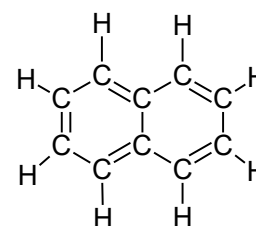
Bei aromatischen Kohlenwasserstoffen handelt es sich um Substanzen, welche ausschließlich aus den Elementen Kohlenstoff und Wasserstoff bestehen. Allen gemeinsam ist das Vorhandensein mindestens eines aromatischen Kohlenstoffrings.

Vertreter dieser Gruppe finden sich häufig in Mineralölprodukten. Da sie ebenfalls bei unvollständigen Verbrennungsprozessen entstehen und in Abgasen von Treibstoffen und Tabakrauch vorkommen, sind viele dieser Substanzen ubiquitär in unserer Umwelt verbreitet, sowohl im Innen- (Garagen, wohnhaft an stark befahrenen Straßen, Raucherhaushalt) als auch im Außenbereich (Tankstellen, Innenstädte).

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Aromaten mit kondensierten Ringsystemen, finden sich ebenfalls in fossilen Brennstoffen oder Naturasphalt wieder oder entstehen bei unvollständigen Verbrennungen nach Brandschäden. Sie können Bestandteil von (Guss-)Asphalt und Teeren sein. Im Bereich der Baustoffe finden Sie sich hauptsächlich durch die Verwendung von Teer als Altlast in Klebern, Abdichtungen oder Isolierstoffen wieder. Eine weitere Quelle im Innenraumbereich können Asphaltestriche oder Asphaltfußbodenplatten darstellen.



Struktur: Benzol



Struktur: Naphthalin

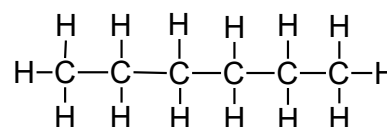
Benzol	CAS-Nr. 71-43-2 Indikator für Kfz-Abgase (Außenluft, Garagen), Gehalte bis 1 % in Benzin
Toluol	CAS-Nr. 108-88-3 Gemische aus Toluol, Ethylbenzol, m, p- und o-Xylol zur Verwendung als Lösemittel (z.B. Lacke, Kleber)
Ethylbenzol	CAS-Nr. 100-41-4
m, p-Xylol	CAS-Nr. 108-38-3 / 106-42-3
o-Xylol	CAS-Nr. 95-47-6
Styrol	CAS-Nr. 100-42-5 Verwendung der Polymerform als Kunststoff (z.B. in aufgeschäumter Form als Isolierungsmaterial Styropor) als Copolymer Anwendung in Klebstoffen, Harzen und Kunststoffen
i-/n-Propylbenzol	CAS-Nr. 98-82-8 / 103-65-1

2-Ethyltoluol	CAS-Nr. 611-14-3
3-/4-Ethyltoluol	CAS-Nr. 620-14-4 / 622-96-8
1,2,3-Trimethylbenzol	CAS-Nr. 526-73-8 „Hemellitöl“ Verwendung als Lösemittel für u.a. Lacke oder Klebstoffe
1,2,4-Trimethylbenzol	CAS-Nr. 95-63-6 „Pseudocumol“
1,3,5-Trimethylbenzol	CAS-Nr. 108-67-8 „Mesitylen“
1,2,4,5-Tetramethylbenzol	CAS-Nr. 95-93-2 „Durol“
1,2,3,5-Tetramethylbenzol	CAS-Nr. 527-53-7 „Isoduro“
1,2,3,4-Tetramethylbenzol	CAS-Nr. 488-23-3 „Prehnitol“
p-Cymol	CAS-Nr. 99-87-6
n-Butylbenzol	CAS-Nr. 104-51-8
Naphthalin	CAS-Nr. 91-20-3 Teil der 16 PAK nach EPA (Environmental Protection Agency)
Indan	CAS-Nr. 496-11-7
1,4-Diethylbenzol	CAS-Nr. 0105-05-5
1,2-Diethylbenzol	CAS-Nr. 135-01-3
1,4-Diisopropylbenzol	CAS-Nr. 100-18-5
Tertiärbutylbenzol	CAS-Nr. 98-06-6
Alpha-Methylstyrol	CAS-Nr. 98-83-9
Acenaphthen	CAS-Nr. 83-32-9 Teil der 16 PAK nach EPA
Acenaphthylen	CAS-Nr. 208-96-8 Teil der 16 PAK nach EPA
Fluoren	CAS-Nr. 86-73-7 Teil der 16 PAK nach EPA
Phenanthren	CAS-Nr. 85-01-8 Teil der 16 PAK nach EPA
Anthracen	CAS-Nr. 120-12-7 Teil der 16 PAK nach EPA
1-Methylnaphthalin	CAS-Nr. 90-12-0
2-Methylnaphthalin	CAS-Nr. 91-57-6
1,2,3,4-Tetrahydronaphthalin	CAS-Nr. 119-64-2
2,6-Diisopropylnaphthalin	CAS-Nr. 24157-81-1
Inden	CAS-Nr. 95-13-6

Aliphatische Kohlenwasserstoffe - Alkane

Bei Alkanen handelt es sich um unpolare azyklische Verbindungen, welche ausschließlich aus den Elementen Kohlenstoff und Wasserstoff aufgebaut sind.

Anwendung finden Sie typischerweise als Lösemittel, Kraftstoffe und Brennstoffe (z.B. Benzin, Diesel, Heizöl) oder anderweitige Mineralölprodukte und kommen in der Regel als Gemische mehrerer Substanzen vor.



Struktur: Hexan

Eine erhöhte Konzentration von aliphatischen Kohlenwasserstoffen in Innenräumen kann auf eine unvollständige räumliche Trennung zu Garagen oder Heizöltanks hinweisen.

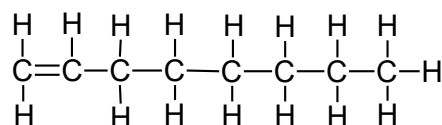
Mittel- bis schwerflüchtige Vertreter dieser Substanzklasse (Eicosan (C20) und höher) finden sich ebenfalls in großen Mengen in bitumenhaltigen Materialien, welche aus Erdöl gewonnen werden und im Straßenbau als Alternative zu PAK-haltigem Teer in Form von Bitumen oder als Abdichtungen Anwendung finden.

3-Methylpentan	CAS-Nr. 96-14-0
Heptan	CAS-Nr. 142-82-5
2-Methylhexan	CAS-Nr. 591-76-4
Octan	CAS-Nr. 111-65-9
Iso-Octan	CAS-Nr. 540-84-1
Nonan	CAS-Nr. 111-84-2
Decan	CAS-Nr. 124-18-5
Undecan	CAS-Nr. 1120-21-4
Dodecan	CAS-Nr. 112-40-3
2,2,4,6,6-Pentamethylheptan	CAS-Nr. 13475-82-6
Tridecan	CAS-Nr. 629-50-5
Tetradecan	CAS-Nr. 629-59-4
Pentadecan	CAS-Nr. 629-62-9
Hexadecan	CAS-Nr. 544-76-3
2,2,4,4,6,8,8-Heptamethylnonan	CAS-Nr. 4390-04-9
Heptadecan	CAS-Nr. 629-78-7
Octadecan	CAS-Nr. 593-45-3
Nonadecan	CAS-Nr. 629-92-5
Eicosan	CAS-Nr. 112-95-8
Pentan	CAS-Nr. 109-66-0
2-Methylpentan	CAS-Nr. 107-83-5
Hexan	CAS-Nr. 110-54-3
3-Methylhexan	CAS-Nr. 589-34-4
2,3-Dimethylpentan	CAS-Nr. 565-59-3
2,3-Dimethylheptan	CAS-Nr. 3074-71-3

Aliphatische Kohlenwasserstoffe - Alkene

Bei Alkenen handelt es sich um aliphatische Kohlenwasserstoffe, die mindestens eine ungesättigte Bindung, eine Doppelbindung, zwischen zwei Kohlenstoffatomen besitzen.

Zu Vorkommen und Anwendung siehe Abschnitt „Alkane“.



Struktur: 1-Octen

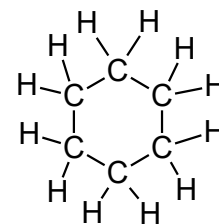
1-Octen	CAS-Nr. 111-66-0
1-Decen	CAS-Nr. 872-05-9
1-Dodecen	CAS-Nr. 112-41-4
Triisobutylene	CAS-Nr. 7756-94-7
4-Vinylcyclohexen	CAS-Nr. 100-40-3
4-Phenylcyclohexen	CAS-Nr. 4994-16-5
1-Hepten	CAS-Nr. 592-76-7
1-Nonen	CAS-Nr. 124-11-8
1-Undecen	CAS-Nr. 821-95-4
Isododecen	CAS-Nr. 141-70-8
1-Tridecen	CAS-Nr. 2437-56-1

Aliphatische Kohlenwasserstoffe - Cycloalkane

Vertreter der Cycloalkane bestehen ausschließlich aus den Elementen Kohlenstoff und Wasserstoff und besitzen mindestens einen Kohlenstoffring in ihrer Struktur.

Im Gegensatz zu aromatischen Kohlenwasserstoffen besteht das Ringsystem bei Cycloalkanen ausschließlich aus Einfachbindungen.

Zu Vorkommen und Anwendung siehe Abschnitt „Alkane“.



Struktur: Cyclohexan

Methylcyclopentan	CAS-Nr. 96-37-7
Cyclohexan	CAS-Nr. 110-82-7
Methylcyclohexan	CAS-Nr. 108-87-2

Terpene

Bei Terpenen handelt es sich um eine sehr große, heterogene und strukturell vielfältige Gruppe von Stoffen. Sie kommen natürlich vor, unter anderem in ätherischen Ölen von Pflanzen oder Hölzern (z.B. als typischer Geruch von neuem Holz).

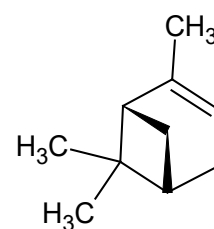
Vielen gemeinsam ist ein intensiver, oft angenehmer Geruch, weshalb sie Anwendung in einer großen Produktvielfalt finden und in fast allen Haushalten anzutreffen sind, darunter Parfum, Duftkerzen oder -öle, Deos, Duschgele, Shampoo oder Reinigungsmittel. Ebenso finden Sie Anwendung als Aromastoffe in medizinischen Produkten oder Nahrungsmitteln.

Einige Vertreter dieser Substanzen können bei empfindlichen Personen sensibilisierend oder irritativ wirken, weshalb in solchen Fällen oft zu alternativen, parfümfreien Produkten gegriffen wird.

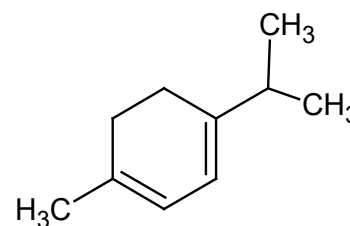
Viele dieser Stoffe finden ebenfalls Anwendung als alternative Löse- mittel in Naturfarben, auch hier kann es bei empfindlichen Personen zu negativen gesundheitlichen Reaktionen kommen.

Unter den Terpenen unterscheidet man strukturell u.a. zwischen mono- und bicyklischen Terpenen. Bicyklische Terpene weisen aufgrund ihrer Struktur mindestens ein asymmetrisches Kohlenstoffatom auf und liegen daher in zwei enantiomeren Formen vor, welche als (+) - und (-)-Form bezeichnet werden und sich wie Bild und Spiegelbild verhalten.

Unterschiedliche Enantiomere können sich stark in Ihrer Wirkweise, Geruch (z.B. Limonen, entweder orangen- oder terpentinartig) oder Toxizität unterscheiden, sind analytisch jedoch oft nicht zu trennen und werden daher als Einzelsubstanz ausgewertet.



Struktur: alpha-Pinen



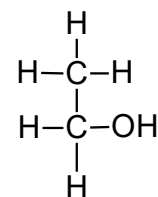
Struktur: alpha-Terpinen

Alpha-Pinen	CAS-Nr. 80-56-8 Kiefernartiger Geruch, natürlicher Bestandteil des Harzes von Nadelhölzern Gehalte bis 90% in Terpentinöl Anwendung in Bauprodukten unter anderem in OSB-Platten
Beta-Pinen	CAS-Nr. 127-91-3 Natürlicher Bestandteil des Harzes von Nadelhölzern
Delta-3-Caren	CAS-Nr. 13466-78-9 natürlicher Bestandteil von Nadelhölzern und Bestandteil von Terpentinölen
Limonen	CAS-Nr. 138-86-3 Natürlicher Bestandteil von Zitrusfrüchten, Verwendung als Zitrusduft in vielen Produkten
Beta-Linalool	CAS-Nr. 78-70-6
Campher	CAS-Nr. 76-22-2 Verwendung als Geruchs- und Geschmacksstoff, z.B. in Mottenschutz und Arzneimitteln
Camphen	CAS-Nr. 79-92-5 Zwischenprodukt, zur Herstellung von Campher verwendet
Eucalyptol	CAS-Nr. 470-82-6 Hauptkomponente in u.a. Eukalyptusöl, Minze, Thymian. Aufgrund schleimlösender und bakterizider Wirkung Anwendung u.a. in Produkten für Atemwegserkrankungen, Aromastoff in Süßwaren oder Parfum
Menthol	CAS-Nr. 89-78-1 Natürlicher Bestandteil in Minzölen. Verwendung als Duft- und Aromastoff in Süßwaren, Parfum, Likör. Aufgrund desinfizierender Wirkung Verwendung in Zahnpflegemitteln und Salben
Alpha-Terpinen	CAS-Nr. 99-86-5 Vorkommen unter anderem in Teebaumöl Verwendung als Aromastoff Antibakterielle und fungizide Wirkung
Longifolen	CAS-Nr. 475-20-7 Vorkommen u.a. in Kiefernöl
Humulen	CAS-Nr. 6753-98-6 „alpha-Caryophyllen“ Vorkommen u.a. in Hopfenpflanzen und Kräutern
(-)-Isolongifolen	CAS-Nr. 1135-66-6
Beta-Caryophyllen	CAS-Nr. 87-44-5
Verbenon	CAS-Nr. 80-57-9
(-)-Borneol	CAS-Nr. 464-45-9
gamma-Terpinen	CAS-Nr. 99-85-4
a-Terpineol	CAS-Nr. 98-55-5
Terpinolen	CAS-Nr. 586-62-9
Linalylacetat	CAS-Nr. 115-95-7
beta-Myrcen	CAS-Nr. 123-35-3

Alkohole

Vertreter dieser Substanzgruppe zeichnen sich durch mindestens eine Hydroxylgruppe (OH-Gruppe) in ihrer chemischen Struktur aus.

Unterteilt werden Alkohole einerseits durch die Stellung der Hydroxylgruppe im Molekül (so spricht man von primären Alkoholen, wenn die Hydroxylgruppe am endständigen Kohlenstoffatom sitzt und weiterhin von sekundären, tertiären Alkoholen usw.) und andererseits durch deren Anzahl im Molekül (einwertige Alkohole beinhalten eine Hydroxylgruppe, zwei-, oder dreiwertige entsprechend mehr).



Struktur: Ethanol

Anwendung finden Sie im privaten Umfeld vorrangig als Lösemittel. Durch Ihre Verwendung in z.B. Reinigungsmitteln, Desinfektionsmitteln, Lacken, Harzen oder Parfums finden sich Substanzen aus dieser Gruppe in praktisch jedem Haushalt wieder.

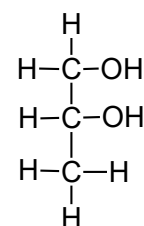
Im industriellen Bereich werden Alkohole ebenfalls überwiegend als Lösemittel sowie darüber hinaus für die Herstellung von u.a. Arzneimitteln, Kunststoffen, Lacken oder Weichmachern eingesetzt.

Ethanol	CAS-Nr. 64-17-5 Trinkalkohol
2-Propanol	CAS-Nr. 67-63-0
1-Butanol	CAS-Nr. 71-36-3
2-Butanol	CAS-Nr. 78-92-2
Isobutanol	CAS-Nr. 78-83-1
1-Pentanol	CAS-Nr. 71-41-0
Iso-Amylalkohol	CAS-Nr. 123-51-3
1-Hexanol	CAS-Nr. 111-27-3
2-Ethylhexanol	CAS-Nr. 104-76-7
1-Nonanol	CAS-Nr. 143-08-8
Benzylalkohol	CAS-Nr. 100-51-6
1-Propanol	CAS-Nr. 100-51-6
1-Dekanol	CAS-Nr. 112-30-1

Glykole / Glykolether

Bei Glykolen handelt es sich um sogenannte Dirole, Alkohole, die zwei Hydroxylgruppen (OH-Gruppen) aufweisen. Glykolether sind Ether, die sich von Glykolstrukturen ableiten lassen. Dabei wird der Wasserstoff einer oder beider im Glykol enthaltenen Hydroxylgruppen durch einen Kohlenwasserstoffrest (Alkylrest) ersetzt.

Im industriellen Bereich werden sie vor allem als Lösemittel oder bei Syntheseprozessen verwendet. Im privaten Umfeld findet man diese Substanzen aufgrund ihres leicht süßlichen Geschmacks oft als Trägerflüssigkeiten, zum Beispiel in sogenannten e-liquids in e-Zigaretten, in Süßwaren oder Arzneimitteln. Bedingt durch ihre gute Mischbarkeit mit Wasser werden sie weiterhin oft als Lösemittel für Produkte wie Farben und Lacke auf Wasserbasis eingesetzt.



Struktur: 1,2-Propylenglykol

Aufgrund ihrer teilweise hohen Siedetemperaturen von über 200 °C fallen Glykolverbindungen und ihre Derivate nicht unter die Definition als „Lösemittel“ nach TRGS (Technische Regeln für Gefahrenstoffe) und können auch in als „lösemittelfrei“ deklarierten Produkten enthalten sein. Bedingt durch die erhöhte Siedetemperatur und entsprechend geringere Flüchtigkeit können Glykolverbindungen auch zu länger anhaltenden Belastungen der Innenraumluft beitragen, was aufgrund ihres nur schwachen und angenehmen Geruchs nicht notwendigerweise wahrgenommen oder als störend empfunden wird.

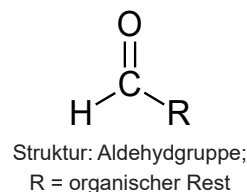
1,2-Propylenglykol	CAS-Nr. 57-55-6 Künstlicher Nebel bei Veranstaltungen, Trägersubstanz in e-Liquids, Arzneimitteln u.a.
2-Methoxyethanol	CAS-Nr. 109-86-4 „EGME“
2-Ethoxyethanol	CAS-Nr. 110-80-5 „EGEE“
2-Butoxyethanol	CAS-Nr. 111-76-2 „EGMB“
1-Methoxy-2-Propanol	CAS-Nr. 107-98-2 „2PG1ME“
2-Butoxyethoxyethanol	CAS-Nr. 112-34-5 „DEGBE“
2-Phenoxyethanol	CAS-Nr. 122-99-6 „EGMP“ Verwendung in Bodenbelagskleber
Diethylenglykolmethylether	CAS-Nr. 111-77-3 „DEGME“
Diethylenglykoldimethylether	CAS-Nr. 111-96-6 „DEGDME“
Diethylenglykolmonoethylether	CAS-Nr. 111-90-0 „DEGEE“
Ethylenglykolhexylether	CAS-Nr. 112-25-4 „EGHE“

Dipropylenglykol-1-methylether	CAS-Nr. 34590-94-8 „D2PGME“
2-Propylenglykol-1-ethylether	CAS-Nr. 1569-02-4 „2PG1EE9“
2-Propylenglykol-1-tertbutylether	CAS-Nr. 57018-52-7 „2PG1tBE“
Diethylenglykol	CAS-Nr. 111-46-6
Ethylenglykol	CAS-Nr. 107-21-1
Diethylenglykol-diethylether	CAS-Nr. 112-36-7
Dipropylenglykol	CAS-Nr. 25265-71-8
Dipropylenglykol-monobutylether	CAS-Nr. 29911-28-2 „DPGMB“ Verwendung in Wand- und Deckenfarben
Dipropylenglykol-monopropylether	CAS-Nr. 29911-27-1
1-Butoxy-2-Propanol	CAS-Nr. 5131-66-8 „PGMB“
3-Methoxy-1-butanol	CAS-Nr. 2517-43-3
1-Phenoxy-2-propanol	CAS-Nr. 770-35-4
2-Methyl-2,4-pentandiol	CAS-Nr. 107-41-5
Tripropylenglykol	CAS-Nr. 24800-44-0
Tripropylenglykol-monobutylether	CAS-Nr. 55934-93-5 „TPGMB“ Verwendung in Latexfarbe
Triethylenglykol-monobutylether	CAS-Nr. 143-22-6
Triethylenglykoldi-methylether	CAS-Nr. 112-49-2

Aldehyde

Als Aldehyde werden Verbindungen bezeichnet, die eine endständige Carbonylgruppe (CHO-Rest, vgl. Abbildung rechts) enthalten.

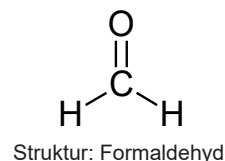
Abhängig von der Struktur des organischen Rests unterscheidet man zwischen mehreren Untergruppen, darunter gesättigte und ein- oder mehrfach ungesättigte, verzweigte und unverzweigte, zyklische oder aromatische Aldehyde.



Dabei gehören vor allem sogenannte Alkanale, gesättigte azyklische aliphatische Aldehyde, insbesondere C4 (Butanal) bis C11 (Undecanal), zu häufig in Innenräumen detektierten Substanzen. Grund hierfür ist, dass diese Substanzen in der Regel nicht direkt eingebracht, sondern im Laufe der Zeit durch Oxidation anderer Verbindungen gebildet werden. Hauptsächlich handelt es sich hierbei um Alkohole oder ungesättigte Fettsäuren, die zum Beispiel in Hölzern und Holzwerkstoffen, Lacken, Harzen, Ölen, Klebstoffen, Beschichtungen oder Bodenbelägen vorkommen können und durch Einflüsse wie Licht, Wärme oder Sauerstoff abgebaut werden. Da diese Reaktionen langsam ablaufen, kann dies zu länger anhaltenden Belastungen der Raumluft mit entsprechenden Aldehyden führen.

In der Regel treten Aldehyde nicht einzeln, sondern als Gemische auf, wobei Hexanal hier häufig die höchste Konzentration aufweist. Die Zusammensetzung ist abhängig von der entsprechenden Quelle.

Von besonderer Bedeutung in der Gruppe der Aldehyde ist Formaldehyd, das strukturell einfachste Aldehyd. Zwar kommt es natürlich vor und ist ubiquitär in der Umwelt vorhanden, u.a. durch Zersetzung von Pflanzenmaterial in Böden oder Hölzern oder endogen im Stoffwechsel vieler Lebewesen, der Großteil wird jedoch industriell hergestellt. So wird es einerseits z.B. zur Konservierung von Kosmetika oder zur Desinfektion eingesetzt. Den hauptsächlichen Expositionsweg im Innenraum stellt jedoch die Ausgasung aus Materialien dar. Es wird u.a. zur Produktion von Leimen und Harzen eingesetzt, welche wiederum bei der Herstellung von Holzwerkstoffen wie Spanplatten oder Schaumstoff-Dämmplatten zur Verleimung verwendet werden. Durch Hydrolyse der entsprechenden Leime und Harze wird Formaldehyd wieder freigesetzt und kann so über Jahrzehnte hinweg für eine andauernde Belastung der Innenraumluft sorgen.

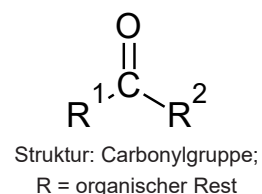


n-Butanal	CAS-Nr. 123-72-8 „Butyraldehyd“
n-Pentanal	CAS-Nr. 110-62-3 „Valeraldehyd“
n-Hexanal	CAS-Nr. 66-25-1 „Capronaldehyd“
n-Heptanal	CAS-Nr. 111-71-7 „Önantaldehyd“
n-Octanal	CAS-Nr. 124-13-0 „Caprylaldehyd“
n-Nonanal	CAS-Nr. 124-19-6 „Pelargonaldehyd“
n-Decanal	CAS-Nr. 112-31-2 „Caprinaldehyd“
n-Undecanal	CAS-Nr. 112-44-7
Benzaldehyd	CAS-Nr. 100-52-7
Propanal	CAS-Nr. 123-38-6 „Propionaldehyd“
2-Methylpropanal	CAS-Nr. 78-84-2 „Isobutanal“
3-Methylbutanal	CAS-Nr. 590-86-3 „Isovaleraldehyd“
2-Ethylhexanal	CAS-Nr. 123-05-7
Acrolein	CAS-Nr. 107-02-8 „Propenal“
Crotonaldehyd	CAS-Nr. 4170-30-3
Methacrolein	CAS-Nr. 78-85-3
2-Hexenal	CAS-Nr. 505-57-7
2-Heptenal	CAS-Nr. 2463-63-0
2-Oktenal	CAS-Nr. 2548-87-0
2-Nonenal	CAS-Nr. 2463-53-8
2-Dekenal	CAS-Nr. 3913-71-1
Furfural	CAS-Nr. 98-01-1
Acetaldehyd	CAS-Nr. 75-07-0
n-Propanal	CAS-Nr. 123-38-6
2-Methylpropanal/n-Butanal	CAS-Nr. 78-84-2 / 123-72-8
p-Tolualdehyd	CAS-Nr. 104-87-0
2-Butenal	CAS-Nr. 4170-30-3
Formaldehyd	CAS-Nr. 50-00-0 s. Text oben

Ketone

Bei Ketonen handelt es sich um Kohlenwasserstoffverbindungen, die eine nicht-endständige Carbonylgruppe enthalten.

Anwendung finden Sie vorrangig als Lösemittel, aufgrund des überwiegend angenehmen, süßlichen und fruchtigen Geruchs werden vor allem aliphatische Ketone auch als Duft- und Aromastoffe eingesetzt.



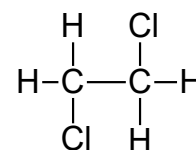
Aceton	CAS-Nr. 67-64-1 Lösemittel vor allen in Kosmetik- (Nagellackentferner), Klebstoff- und Lackindustrie In niedrigen Konzentrationen charakteristisch süßlicher, in hohen Konzentrationen stechender Geruch
Methylethylketon	CAS-Nr. 78-93-3
2-Pentanon	CAS-Nr. 107-87-9
2-Hexanon	CAS-Nr. 591-78-6
Methylisobutylketon	CAS-Nr. 108-10-1
Isophoron	CAS-Nr. 78-59-1
Acetophenon	CAS-Nr. 98-86-2
Cyclohexanon	CAS-Nr. 108-94-1
2-Heptanon	CAS-Nr. 110-43-0
3-Heptanon	CAS-Nr. 106-35-4
2-Oktanon	CAS-Nr. 111-13-7

LHKW

Unter der Abkürzung LHKW werden leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe zusammengefasst, Kohlenwasserstoffverbindungen, die ein oder mehrere Halogenatome (Fluor, Chlor, Brom, Iod) enthalten. Die meisten dieser Substanzen werden synthetisiert und kommen nicht natürlich in der Umwelt vor.

Bedingt durch die Einführung von Halogenatomen (primär chlorierte Kohlenwasserstoffe, sogenannte CKW) in die Molekülstruktur und eine dadurch veränderte Reaktivität, weisen diese Substanzen oftmals eine erhöhte Toxizität im Vergleich zu reinen Kohlenwasserstoffen auf. Aufgrund dessen werden einige LHKW heutzutage nicht mehr eingesetzt und, wo dies möglich ist, mit ungefährlicheren Ersatzstoffen substituiert, um den Einsatz weitestgehend zu minimieren.

Anwendung finden sie hauptsächlich als Lösemittel (z.B. in der Gummi- oder Silikonharzproduktion aber auch Lacken oder Farben), Entfettungsmittel und für die chemische Synthese im industriellen Bereich. Da sie nur sehr langsam abgebaut werden und bedingt durch ihre breite Anwendung in der Industrie, können sich diese Substanzen in der Umwelt anreichern und sind praktisch ubiquitär vorhanden, weshalb sie auch im Bereich der Wasser-, Boden- oder Abfallanalytik routinemäßig untersucht werden.



Struktur: 1,2-Dichlorethan

1,2-Dichlorethan	CAS-Nr. 107-06-2 Anwendung als Abbeizmittel und Bleifänger in bleihaltigen Motorkraftstoffen, Insektizid
1,2-Dichlorpropan	CAS-Nr. 78-87-5
1,1,1-Trichlorethan	CAS-Nr. 71-55-6
1,1,2-Trichlorethan	CAS-Nr. 79-00-5
1,2-Dibromethan	CAS-Nr. 106-93-4 Anwendung als Abbeizmittel und Bleifänger in bleihaltigen Motorkraftstoffen
Trichlorethen	CAS-Nr. 79-01-6 „TRI“ Anwendung in der chemischen Textilreinigung oder Fleckentfernern, Entfettungsmittel
Tetrachlorethen	CAS-Nr. 127-18-4 „PER“ Anwendung in der chemischen Textilreinigung oder Fleckentfernern, Entfettungsmittel
Trichlormethan	CAS-Nr. 67-66-3 „Chloroform“ Nebenprodukt bei Chlorierung von Badewässern, früher Anwendung als Narkotikum
Tetrachlormethan	CAS-Nr. 56-23-5 „TETRA“ früher Anwendung in der chemischen Textilreinigung und als Feuerlöschmittel
Chlorbenzol	CAS-Nr. 108-90-7
1,2-Dichlorbenzol	CAS-Nr. 95-50-1
1,3-Dichlorbenzol	CAS-Nr. 541-73-1
1,4-Dichlorbenzol	CAS-Nr. 106-46-7
Dichlormethan	CAS-Nr. 75-09-2 Vereisungsmittel (Medizin), Treibmittel in Sprays
2-Chlorpropan	CAS-Nr. 75-29-6

Ester

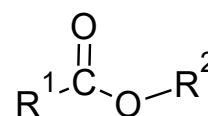
Chemisch gesehen handelt es sich bei Estern um Verbindungen, die formal als Ergebnis einer Kondensationsreaktion (Wasserabspaltung) zwischen einer Säure und einem Alkohol entstehen. Bei den hier dargestellten und fortan als Ester bezeichneten Substanzen handelt es sich jeweils um Carbonsäureester, also solche Verbindungen, die formal von Carbonsäure abgeleitet werden.

Ester kommen sowohl natürlich als auch synthetisch vor und finden in vielen Bereichen Anwendung.

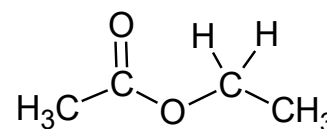
Beispiele für natürlich vorkommende Ester sind Triglyceride, Fette. Viele Obstsorten enthalten ebenfalls Esterverbindungen, die für das fruchtige Aroma verantwortlich sind und als Aromastoffe Verwendung finden.

Einsatz finden Ester als Lösemittel, u.a. in Lacken oder Klebstoffen. Aufgrund ihres zum Teil fruchtigen und angenehmen Geruchs werden sie ebenfalls in Produkten wie Lufterfrischern oder Parfums verwendet.

Polymere von Estern finden Anwendung als Kunststoffe (zum Beispiel PET) die u.a. zu Verpackungszwecken von Lebensmitteln oder Getränken genutzt werden.



Struktur: Carbonsäureestergruppe;
R = organischer Rest



Struktur: Ethylacetat

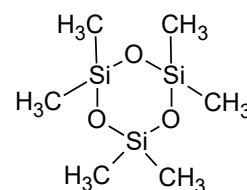
Methylacetat	CAS-Nr. 79-20-9
Ethylacetat	CAS-Nr. 141-78-6
Isopropylacetat	CAS-Nr. 108-21-4
n-Butylacetat	CAS-Nr. 123-86-4
Isobutylacetat	CAS-Nr. 110-19-0
1-Methoxy-2-propylacetat	CAS-Nr. 108-65-6 „PGMMA“
2-Ethoxyethylacetat	CAS-Nr. 111-15-9 „EGEEA“
Ethylenglykol-butyl-etheracetat	CAS-Nr. 112-07-2 „EGBEA“
Dimethylphthalat	CAS-Nr. 131-11-3
Diethylphthalat	CAS-Nr. 84-66-2
Texanol	CAS-Nr. 25265-77-4
TXIB	CAS-Nr. 6846-50-0
DGB-Acetate	CAS-Nr. 124-17-4 „DEGMBA“
Methylacrylat	CAS-Nr. 96-33-3
Methylmethacrylat	CAS-Nr. 80-62-6
n-Propylacetat	CAS-Nr. 109-60-4
2-Methoxyethylacetat	CAS-Nr. 110-49-6 „EGMMA“
2-Ethylhexylacetat	CAS-Nr. 103-09-3

3-Methoxybutylacetat	CAS-Nr. 4435-53-4
Bornylacetat	CAS-Nr. 76-49-3
Ethyldiglykolacetat	CAS-Nr. 112-15-2
Di(n-butyl)phthalat	CAS-Nr. 84-74-2 „DBP“
Diisobutylphthalat	CAS-Nr. 81-69-5 „DIBP“
Dibutylmaleinat	CAS-Nr. 105-76-0
Diisobutyladipat	CAS-Nr. 141-04-8
Dimethylglutarat	CAS-Nr. 1119-40-0
Dimethylsuccinat	CAS-Nr. 106-65-0
n-Butylformiat	CAS-Nr. 592-84-7
2-Ethylhexylacrylat	CAS-Nr. 103-11-7
Acrylsäurebutylester	CAS-Nr. 141-32-2
Benzoessäuremethylester	CAS-Nr. 93-58-3

Siloxane

Bei Substanzen dieser Gruppe handelt es sich um Siliciumverbindungen, bei denen mehrere Siliciumatome über Sauerstoff miteinander verbunden sind.

Einsatz finden sie aufgrund ihrer Eigenschaften, wie Verbesserung der Kratzfestigkeit oder besserer Pigmentverläufe, vor allem in Anstrichen wie Lacken oder Farben. Aber auch bedingt durch ihre Geruchslosigkeit werden Siloxane immer häufiger als Alternative zu konventionellen, geruchsauffälligen Lösemitteln eingesetzt.



Struktur: Hexamethylcyclotrisiloxan D3

Ein weiteres breites Anwendungsfeld finden Siloxanverbindungen im Bereich der Kosmetika und Körperpflegeprodukte und werden u.a. in Shampoo, Conditioner, Körperlotionen oder Make-up beigemischt.

Hexamethylcyclotrisiloxan D3	CAS-Nr. 541-05-9
Octamethylcyclotetrasiloxan D4	CAS-Nr. 556-67-2
Decamethylcyclopentasiloxan D5	CAS-Nr. 541-02-6
Dodecamethylcyclohexasiloxan D6	CAS-Nr. 540-97-6

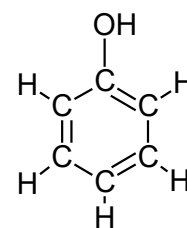
Phenole

Charakteristisch für Vertreter dieser Substanzgruppe ist ein aromatischer Kohlenstoffring, an den mindestens eine oder mehrere Hydroxylgruppen gebunden sind.

Verwendung finden Sie vor allem im industriellen Bereich bei der Herstellung von aromatischen Verbindungen für z.B. Kunststoffe und -harze, Weichmacher, Farben, Pharmazeutika oder Pestizide.

Kresole (Methylphenole) kommen natürlich in geringen Konzentrationen in z.B. Tomaten, Käse, Kaffee, Tee oder Wein vor. Durch unvollständige Verbrennungen von Holz, Kohle, Kraftstoffen oder das Rauchen von Tabak gelangen sie ebenfalls in die Umwelt. Anwendung finden Sie in der Industrie bei der Herstellung von u.a. Kunst- und Farbstoffen oder Harzen. Aufgrund ihrer bakteriziden, insektiziden und fungiziden Wirkung werden Sie ebenfalls als Konservierungs- oder Desinfektionsmittel eingesetzt.

Da einige Kresole auch endogen durch den Stoffwechsel gebildet werden (v.a. p-Kresol) kann es auch ohne erkennbare Exposition zu Positivbefunden z.B. im Urin kommen.



Struktur: Phenol

Phenol	CAS-Nr. 108-95-2 Natürlich vorkommend in Steinkohlenteer (z.B. teerhaltiger Asphalt)
2-Methylphenol	CAS-Nr. 95-48-7 „o-Kresol“
3-/4-Methylphenol	CAS-Nr. 108-39-4 / 106-44-5 „m/p-Kresol“
Butylhydroxytoluol	CAS-Nr. 128-37-0 „BHT“

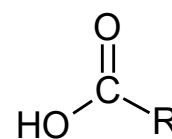
Carbonsäuren

Als Carbonsäuren bezeichnet man Verbindungen, die mindestens eine Carboxygruppe enthalten.

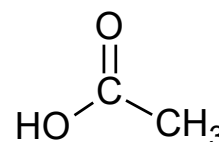
Bei den hier aufgeführten Substanzen handelt es sich um Alkansäuren, Carbonsäuren, die aus einer Carboxygruppe und einem Alkylrest bestehen. Somit enthalten sie neben Kohlenstoff, Wasserstoff und dem Sauerstoff der Carboxygruppe keine weiteren Elemente.

Für Raumluftuntersuchungen relevant sind hauptsächlich die Carbonsäuren bis C8 (Octansäure). Höhere Carbonsäuren findet man dagegen vorwiegend an Staub gebunden vor.

Vor allem niedrige Carbonsäuren können niedrige Geruchsschwellenwerte sowie eine hohe Geruchsintensität aufweisen.



Struktur: Carboxygruppe



Struktur: Essigsäure

Essigsäure	CAS-Nr. 64-19-7 „Ethansäure“ Natürlicher Bestandteil von ätherischen Ölen Freisetzung aus Naturprodukten, z.B. Holz möglich Weitere mögliche Quellen: MDF-Platten, Dämmstoffe, Essigreiniger, Linoleum und Kork sowie Tabakrauch
Propansäure	CAS-Nr. 79-09-4 „Propionsäure“ Freisetzung bei Gärungs- und Fermentationsprozessen oder biologischem Abbau von pflanzlichem und tierischem Material möglich
n-Butansäure	CAS-Nr. 107-92-6 „Buttersäure“ Natürlicher Bestandteil von menschlichem Schweiß Freisetzung aus Bodenbelägen auf Polyvinylbutyral-Basis (PVB) oder Linoleum möglich
n-Pentansäure	CAS-Nr. 109-52-4 „Valeriansäure“ Natürlicher Bestandteil von menschlichem Schweiß und Holzwerkstoffen Verwendung als Geruchsstoff in Pestiziden Freisetzung aus Linoleum oder Bodenklebern möglich
n-Hexansäure	CAS-Nr. 142-62-1 „Capronsäure“ Natürlicher Bestandteil von Holzwerkstoffen weitere mögliche Quellen: Bodenbelagskleber oder Alkydharzprodukte
n-Heptansäure	CAS-Nr. 111-14-8 „Önanthsäure“ Freisetzung aus Bodenbelagsklebstoffen möglich
n-Octansäure	CAS-Nr. 124-07-2 „Caprylsäure“ Bestandteil von Seifen, Insektiziden, Fungiziden, antiseptischen Arzneimitteln
n-Nonansäure	CAS-Nr. 112-05-0 „Pelargonsäure“ Natürlicher Bestandteil von ätherischen Ölen Verwendung in Herbiziden Verwendung zur Herstellung von Harzen und Weichmachern oder kosmetischer Artikel
n-Decansäure	CAS-Nr. 334-48-5 „Caprinsäure“
2-Ethylhexansäure	CAS-Nr. 149-57-5

Sonstige Verbindungen

2-Pentylfuran	CAS-Nr. 3777-69-3
Tetrahydrofuran	CAS-Nr. 109-99-9 „THF“
1,4-Dioxan	CAS-Nr. 123-91-1
2-Butanonoxim	CAS-Nr. 96-29-7
N-Methyl-2-pyrrolidon	CAS-Nr. 872-50-4 „NMP“
Benzothiazol	CAS-Nr. 95-16-9
1-Chlornaphthalin	CAS-Nr. 90-13-1 Einsatz bis in 70er Jahre als Fungizid/Holzschutzmittel, aufgrund muffigen Geruchs heutzutage substituiert
2-Chlornaphthalin	CAS-Nr. 91-58-7 Einsatz bis in 70er Jahre als Fungizid/Holzschutzmittel, aufgrund muffigen Geruchs heutzutage substituiert
2-Methylfuran	CAS-Nr. 534-22-5
Tert-Butylmethylether	CAS-Nr. 1634-04-4 „MTBE“
Dibutoxymethan	CAS-Nr. 2568-90-3
Diethylcarbonat	CAS-Nr. 105-58-8
Acetonoxim	CAS-Nr. 127-06-0
Caprolactam	CAS-Nr. 105-60-2
Dimethylacetamid	CAS-Nr. 127-19-5
Dimethylformamid	CAS-Nr. 68-12-2
Methyl-isothiazolinon	CAS-Nr. 2682-20-4 „MIT“
Tris-2-chlorethylphosphat	CAS-Nr. 115-96-8

Literatur und Quellen

1. Gesamtverband Schadstoffsanierung e.V.: Schadstoffe in Innenräumen und an Gebäuden – Erfassen, bewerten, beseitigen, 2. Auflage, Rudolf Müller Verlag, Köln 2014
2. Zwiener, Lange: Handbuch Gebäude-Schadstoffe und gesunde Innenraumluft, Erich Schmidt Verlag, Berlin 2012
3. Mücke, Lemmen: Duft und Geruch – Wirkungen und gesundheitliche Bedeutung von Geruchsstoffen, 1. Auflage, ecomed MEDIZIN, Heidelberg, München, Landsberg, Frechen, Hamburg 2010
4. Hans-Werner Vohr: Toxikologie – Band 2: Toxikologie der Stoffe, 1. Auflage, WILEY-VCH, Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim 2010
5. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/umwelteinfluesse-auf-den-menschen/chemische-stoffe/fluechtige-organische-verbindungen#was-sind-die-quellen-fur-voc>, (14.08.20)
6. „Assessment of exposure to indoor air pollutants“, WHO Regional Publications European Series, No. 78, 1997
7. TRGS 610 „Ersatzstoffe und Ersatzverfahren für stark lösemittelhaltige Vorstriche und Klebstoffe für den Bodenbereich“, März 1998
8. <http://www.agoef.de/orientierungswerte/agoef-voc-orientierungswerte.html> (05.10.20)
9. Richtwerte für Innenraumluft: Bicyclische Terpene (Leitsubstanz alpha-Pinen); Dr. Sagunski, Bundesgesundheitsbl – Gesundheitsforsch – Gesundheitsschutz 4/2003
10. https://www.lgl.bayern.de/gesundheit/arbeitsplatz_umwelt/projekte_a_z/hbm_glykole_belastung_bevoelkerung.htm (15.09.2020)
11. „Richtwerte für gesättigte azyklische aliphatische C4-C11-Aldehyde in der Innenraumluft“, Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz 6.2009
12. https://www.lfu.bayern.de/abfall/schadstoffratgeber_gebaeuderueckbau/suchregister/doc/509.pdf (07.09.20)
13. „VOC/SVOC/MVOC – flüchtige organische Verbindungen“, 2009 agoef
14. <https://repository.publisso.de/resource/fri:3903616-1/data> (17.09.2020)
15. VDI 4301 Blatt 7 „Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Carbonsäuren“
16. <https://www.internetchemie.info/chemie-lexikon/stoffe/n/nonansaeure.php> (14.08.20)
17. Strukturformeln: ChemSketch Freeware