

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURERaumluftechnik
Garagen
Entlüftung (VDI-Lüftungsregeln)

Air conditioning

Car parks

Exhaust ventilation (VDI Ventilation Code of Practice)

VDI 2053

Blatt 1 / Part 1

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English*Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.**The German version of this standard shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.*

Inhalt	Seite
Vorbemerkung . . .	2
Einleitung . . .	2
1 Anwendungsbereich . . .	3
2 Normative Verweise . . .	3
3 Formelzeichen und Abkürzungen . . .	4
4 Grundanforderungen . . .	5
4.1 Bauliche Grundlagen . . .	5
4.2 Aufgaben der Garagenlüftung . . .	6
4.3 Immissionsschutz . . .	6
4.4 Allgemeine technische und physiologische Gegebenheiten . . .	7
4.5 Zulässiger Raumlufzustand . . .	7
4.6 Zahlenwertgleichungen für die Kohlenmonoxidemission . . .	8
4.7 Berechnung Außenluftstrom . . .	11
5 Lüftung . . .	13
5.1 Maschinelle Lüftung . . .	14
5.2 Freie Lüftung . . .	20
6 CO-Überwachungsanlage . . .	22
6.1 Grundlagen und Erläuterungen . . .	22
6.2 Mindestanforderungen an das Messsystem . . .	23
6.3 Funktionskontrolle und Inspektion der Überwachungsanlage . . .	24
6.4 Betriebssicherheit der Überwachungsanlage . . .	25
6.5 Warneinrichtungen . . .	25
7 Abnahme und Prüfungen . . .	26

Contents	Page
Preliminary note . . .	2
Introduction . . .	2
1 Scope . . .	3
2 Normative references . . .	3
3 Symbols and abbreviations . . .	4
4 Basic requirements . . .	5
4.1 Structural basis . . .	5
4.2 Tasks of the car park ventilation . . .	6
4.3 Pollution control . . .	6
4.4 General technical and physiological conditions . . .	7
4.5 Permissible ambient air condition . . .	7
4.6 Numerical value equations for the carbon monoxide emission . . .	8
4.7 Calculation of outdoor air flow . . .	11
5 Ventilation . . .	13
5.1 Automatic ventilation . . .	14
5.2 Free ventilation . . .	20
6 CO surveillance system . . .	22
6.1 Fundamentals and notes . . .	22
6.2 Minimum requirements for the measurement system . . .	23
6.3 Function control and inspection of the monitoring system . . .	24
6.4 Reliability of the monitoring system . . .	25
6.5 Warning devices . . .	25
7 Approval and testing . . .	26

VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik (GBG)

Fachbereich Technische Gebäudeausrüstung

VDI-Handbuch Raumluftechnik
VDI-Handbuch Bautechnik

	Seite		Page
8 Betrieb	26	8 Operation	26
Anhang Beispielrechnungen für Wohnhausgarage und öffentliche Garage	26	Annex Example calculations for residential car park and public car park	26
A1 Wohnhausgarage – maschinelle Abluftanlage	26	A1 Residential car park – automatic exhaust air system	26
A2 Öffentliche Tiefgarage in einem Einkaufszentrum – maschinelle Abluftanlage	30	A2 Public underground car park in a shopping centre – automatic ventilation system	30
A3 Wohnhausgarage mit Längslüftung	33	A3 Residential car park with longitudinal ventilation	33
Schrifttum	35	Bibliography	35

Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser VDI-Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen (www.vdi.de/richtlinien), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser VDI-Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Einleitung

Die Lüftung hat eine zentrale Bedeutung für den gesundheitlich unbedenklichen Betrieb von Garagen. Ziel ist es, unbedenklich eingeschätzte Schadstoffkonzentrationen beim Lüftungsbetrieb nicht zu überschreiten. Die notwendige Schutzfunktion bezieht sich ausschließlich auf den kurzzeitigen Aufenthalt von Personen.

Die Richtlinienreihe VDI 2053 „Raumluftechnik; Garagen“ gliedert sich in folgende Blätter:

Blatt 1 Entlüftung

Blatt 2 Entrauchung (in Vorbereitung)

Blatt 1 beschreibt technische Lösungen für die vorstehend umrissene Lüftungsaufgabe. Es ist vorgesehen, die technischen Lösungen für die Entrauchung von Garagen im Brandfall in Blatt 2 zu behandeln.

Eine Liste der aktuell verfügbaren Blätter dieser Richtlinienreihe ist im Internet abrufbar unter www.vdi.de/2053.

Preliminary note

The content of this standard has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the standard VDI 1000.

All rights are reserved, including those of reprinting, reproduction (photocopying, micro copying), storage in data processing systems and translation, either of the full text or of extracts.

The use of this standard without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions specified (www.vdi.de/richtlinien) in the VDI Notices.

We wish to express our gratitude to all honorary contributors to this standard.

Introduction

Ventilation is of central importance for the health-safe operation of car parks. The aim is not to exceed pollutant concentrations assessed as safe during ventilation operation. The essential protective function applies only to the short-term stay of persons.

The series of standards VDI 2053 “Air conditioning; car parks” is subdivided into the following parts:

Part 1 Deairing

Part 2 Smoke extraction (in preparation)

Part 1 describes technical solutions for the ventilation task outlined above. It is intended to handle the technical solutions for smoke ventilation of car parks in case of fire in Part 2.

A catalogue of all available parts of this series of standards can be accessed on the Internet at www.vdi.de/2053.

1 Anwendungsbereich

Die Richtlinie gilt für die Raumluftechnik in Garagen. Garagen sind Gebäude oder Gebäudeteile, die dem Abstellen von Kraftfahrzeugen dienen. Geschlossene Mittel- (100 m² bis 1000 m²) und Großgaragen (über 1000 m²), sowohl oberirdisch als auch unterirdisch, müssen ausreichend gelüftet werden.

Die Richtlinie gilt nicht für automatische Garagen und offene Garagen.

Die Richtlinie gilt ferner nicht für Räume, die für den längeren Aufenthalt von Personen vorgesehen sind. Eine Behandlung der Zuluft ist daher in der Regel nicht erforderlich. Soweit ein längerer Aufenthalt in der Garage als Arbeitsplatz (z.B. Aufsichtsplatz, Kasse) vorgesehen wird, müssen die Arbeitsstätten-Richtlinien beachtet werden. In der Regel müssen derartige Räume mit einer eigenen Raumluftechnischen Anlage ausgestattet werden, die eine Anreicherung der Luft mit Abgasen verhindert.

Die Garagenlüftung dient der Schadstoffabfuhr. Weiterführende Sachverhalte werden in dieser VDI-Richtlinie nicht behandelt. Dies sind z.B.:

- Feuchteabfuhr im Winter (z.B. Abtrocknung nasser Autos)
- Feuchteeintrag im Sommer (z.B. Schimmelbildung)
- Entrauchung im Brandfall

Bei Anwendung dieser Richtlinie ist ein Abgleich mit den jeweils aktuellen, örtlich gültigen Vorschriften (Garagenverordnungen der Länder) unabdingbar.

1 Scope

The standard shall apply to the ventilation and air conditioning installations in car parks. Car parks are buildings or parts of buildings that serve for parking of motor vehicles. Closed medium (100 m² to 1000 m²) and large car parks (over 1000 m²), both above ground and underground, must be adequately ventilated.

The standard shall not apply to automatic and open car parks.

Furthermore, this standard shall not apply to rooms that are designed for long-stay of persons. A treatment of the supply air is therefore usually not necessary. If a longer stay in a workplace in the car park is planned (e.g. supervisor area, cash office), the workplace standards must be observed. Usually such rooms must be equipped with a separate air-conditioning system, which prevents accumulation of exhaust gases in the air.

The car park ventilation is used to extract pollutants. Other issues are not considered in this VDI Standard. These are for example:

- extraction of humidity in winter (e.g. drying wet cars)
- moisture ingress in the summer (e.g. mould growth)
- smoke ventilation in case of fire

When applying this standard, an adjustment to the local regulations (car parks regulations of the Federal States) in their current versions is essential.

2 Normative Verweise / Normative references

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieser Richtlinie erforderlich: /

The following referenced documents are indispensable for the application of this standard:

Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) vom 12. August 2004

Garagenverordnungen der Länder

Muster einer Verordnung über den Bau und Betrieb von Garagen (Muster-Garagenverordnung – M-GarVO); Fassung 1993-05, geändert durch Beschlüsse vom 19.09.1996, 18.09.1997 und 30.05.2008

Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Lüftungsanlagen (Muster-Lüftungsanlagen-Richtlinie – M-LüAR) vom Juli 2010

Grundsätze für die Prüfung technischer Anlagen entsprechend der Muster-Prüfverordnung durch bau-

aufsichtlich anerkannte Prüfsachverständige (Muster-Prüfgrundsätze); Stand: 26.11.2010.

DIN EN 13779:2007-09 Lüftung von Nichtwohngebäuden; Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlageanlagen und Raumkühlsysteme; Deutsche Fassung EN 13779:2007 (Ventilation for non-residential buildings; Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems; German version EN 13779:2007)

DIN EN 15251:2012-12 Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden; Raumlufqualität, Temperatur, Licht und Akustik; Deutsche Fassung EN 15251:2007 (Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics; German version EN 15251:2007)

VDI 3819 Blatt 1:2012-05 Brandschutz in der Gebäudetechnik; Gesetze, Verordnungen, Technische Regeln (Fire protection in building services; Acts, ordinances, technical rules)

VDI 6022 Raumluftechnik, Raumluftqualität; Hygieneanforderungen an Raumluftechnische An-

lagen und Geräte (VDI-Lüftungsregeln) (Ventilation and indoor-air quality; Hygiene requirements for ventilation and air-conditioning systems and units (VDI Ventilation Code of Practice))

3 Formelzeichen und Abkürzungen

Formelzeichen

In dieser Richtlinie werden die nachfolgend aufgeführten Formelzeichen verwendet:

Formelzeichen	Bezeichnung	Einheit
CO_{Ausl}	Auslegungs-CO-Konzentration	$\text{m}^3 \text{CO} / \text{m}^3 \text{Luft}$
$CO_{\text{außen}}$	CO-Gehalt der Außenluft (vorbelastet)	$\text{m}^3 \text{CO} / \text{m}^3 \text{Luft}$
E_{CO}	Kohlenmonoxidemission	g CO
$E_{\text{CO,kalt}}$	Kohlenmonoxidemission – Einfahrt in Garage	g CO
$E_{\text{CO,warm}}$	Kohlenmonoxidemission – Ausfahrt aus Garage	g CO
f_G	Faktor, der die Abweichung von der idealgleichmäßigen Durchmischung berücksichtigt	–
f_{SP}	Auslastungsfaktor	–
s	Fahrstrecke	m
s_{aus}	mittlere Fahrstrecke – Ausfahrt	m
s_{Ausfahrt}	Länge der Ausfahrt ab dem letzten Stellplatz	m
s_{ein}	mittlere Fahrstrecke – Einfahrt	m
s_{Einfahrt}	Länge der Einfahrt bis zum ersten Stellplatz (SP)	m
s_{Parken}	Fahrstrecke für das Ein- bzw. Ausparken	m
$s_{\text{Stellplatz}}$	Länge der Fahrstrecke entlang der Stellplätze	m
$\dot{V}_{\text{außen}}$	Außenluftstrom, der notwendig ist, die CO-Emissionen der Fahrzeuge auf zulässige Werte zu verdünnen	m^3/h
\dot{V}_{CO}	CO-Emission des Fahrzeugs	$\text{m}^3 \text{CO}/\text{h}$

3 Symbols and abbreviations

Symbols

The following symbols are used throughout this standard:

Symbols	Designation	Unit
CO_{Ausl}	design CO concentration	$\text{m}^3 \text{CO} / \text{m}^3 \text{Luft}$
$CO_{\text{außen}}$	CO content of the outside air (pre-loaded)	$\text{m}^3 \text{CO} / \text{m}^3 \text{Luft}$
E_{CO}	carbon monoxide emission	g CO
$E_{\text{CO,kalt}}$	carbon monoxide emission – entrance to car park	g CO
$E_{\text{CO,warm}}$	carbon monoxide emission – exit from car park	g CO
f_G	factor that takes into account the deviation from the ideal uniform mixing	–
f_{SP}	utilization factor	–
s	driving lane	m
s_{aus}	middle driving lane – exit	m
s_{Ausfahrt}	length of the exit from the last parking lot	m
s_{ein}	middle driving lane – entrance	m
s_{Einfahrt}	length of the driving lane up to the first parking lot (SP)	m
s_{Parken}	driving lane for the parking and exiting	m
$s_{\text{Stellplatz}}$	length of driving lane along the parking lots	m
$\dot{V}_{\text{außen}}$	outside air flow which is necessary to dilute the vehicle CO emissions to allowed values	m^3/h
\dot{V}_{CO}	CO emissions of the vehicle	$\text{m}^3 \text{CO}/\text{h}$

Formelzeichen	Bezeichnung	Einheit
z_{SP}	Anzahl der Stellplätze	–
v_{min}	Mindestluftgeschwindigkeit	m/s
v_{zu}	Zuluftgeschwindigkeit/ Eintrittsgeschwindigkeit	m/s
ρ_{CO}	Dichte des Kohlenmonoxids	g CO/ m ³

Abkürzungen

In dieser Richtlinie werden die nachfolgend aufgeführten Abkürzungen verwendet:

FZ	Fahrzeug
FL	Fortluft
JVS	Jet-Ventilationssystem
SP	Stellplatz
ZL	Zuluft

4 Grundanforderungen

4.1 Bauliche Grundlagen

Die Lage und Ausführung der Garage wird nach den Begriffsbestimmungen von § 1 der Muster-Garagenverordnung unterschieden.

Das bauliche Konzept von Garagen ist so anzulegen, dass die Umwelt möglichst wenig beeinträchtigt wird und unbedingt ein zügiges Ein- und Ausfahren in den Straßenverkehr ohne Warte- und Standzeiten gegeben ist. Notwendige Stand- und Wartespuren, z.B. bei Signalanlagen für die Ausfahrt in den Straßenverkehr, sollen nach Möglichkeit außerhalb der Garage angeordnet werden, oder es müssen besondere Lüftungstechnische Vorkehrungen getroffen werden.

Wände innerhalb eines Lüftungsabschnitts dürfen die Lüftungsfunktion nicht beeinträchtigen.

In Einzeltoren von abgeschlossenen Einfachstellplätzen (Boxen) sind geeignete Zu- und Abströmöffnungen von insgesamt 0,15 m² freiem Querschnitt vorzusehen.

Die einzuhaltenden Anforderungen an den Brandschutz und damit die bei den Lüftungseinrichtungen zu beachtenden Brandschutzmaßnahmen ergeben sich aus den öffentlich-rechtlichen Vorschriften der Landesbauordnungen (LBO) und der besonderen Vorschriften für Garagen (Sonderverordnung oder Sonderbauverordnung nach Landesrecht).

Die bauordnungsrechtlichen Anforderungen hinsichtlich der brandschutztechnischen Ausführung der

Symbols	Designation	Unit
z_{SP}	number of parking lots	–
v_{min}	supply air speed/inlet speed	m/s
v_{zu}	minimum air speed	m/s
ρ_{CO}	density of the carbon monoxide	g CO/ m ³

Abbreviations

The following abbreviations are used throughout this standard:

FZ	vehicle
FL	outgoing air
JVS	jet ventilation system
SP	parking lot
ZL	supply air

4 Basic requirements

4.1 Structural basis

The types of car park location and design are according to the definitions of section 1 of the Model Ordinance on Parking Facilities.

The structural concept of car parks shall be such that the environment is affected as little as possible, and quick entering and exiting the road traffic is possible without waiting times and standstills. Necessary standing and waiting lanes, e.g. at signalling systems for the exit into the road traffic, should be arranged where possible outside of the car park, or special ventilation arrangements must be taken.

Walls within a ventilation section shall not affect the ventilation function.

In individual gates of closed single parking lots (boxes) suitable inlet and outlet openings with a total cross-section of 0,15 m² must be provided.

The mandatory requirements for fire protection and thus the fire protection measures to be observed in the ventilation equipment are derived from the public law of the state construction ordinances (LBO) and special provisions for car parks (special ordinance or special construction ordinance under regional law).

The building regulations requirements relating to fire protection design of the air conditioning systems are

lufttechnischen Anlagen gelten als erfüllt, wenn die Regelungen der Muster-Lüftungsanlagen-Richtlinie (M-LüAR) beachtet sind.

Sofern für die Erteilung der Baugenehmigung ein Brandschutznachweis (der im Einzelfall auch als Brandschutzkonzept ausgeführt sein kann) notwendig ist, müssen darin die Brandschutzmaßnahmen für die Garage vollständig abgeklärt und dargestellt sein. Dabei muss die erforderliche brand- und lüftungstechnische Trennung bzw. Abgrenzung der Garage gegen andere Gebäudeteile (Brandabschnitte bzw. Brandbekämpfungsabschnitte) sowie eine Unterteilung der Garage in mehrere Rauchabschnitte erkennbar sein (Koordination aller notwendigen Fachplaner durch den Objektplaner).

Geschlossene Mittel- und Großgaragen stellen in der Regel einen einheitlichen Brandbekämpfungsabschnitt innerhalb eines Gebäudes dar.

Die Absperrvorrichtungen und feuerwiderstandsfähigen Lüftungsleitungsabschnitte müssen entsprechend den Bestimmungen der bauaufsichtlichen Ver- oder Anwendbarkeitsnachweise ausgeführt und eingebaut sein.

4.2 Aufgaben der Garagenlüftung

Die grundsätzliche Aufgabe der Garagenlüftung im Sinne dieser Richtlinie ist die Abfuhr von Schadstoffen. Die Anforderungen an die Lüftung hängen u. a. ab von der Bauweise (offen oder geschlossen), Lage (ober- oder unterirdisch), der Größe (Mittel- oder Großgarage) und der Nutzung (z. B. Wohnhausgarage oder öffentliche Garage).

Garagen dienen nicht dem längeren Aufenthalt von Menschen. Die Anforderungen an den Raumluftzustand sind somit auf die Einhaltung der maximalen Schadstoffkonzentrationen (siehe Abschnitt 4.4) beschränkt. Der eingeführte Zuluftstrom braucht deshalb nicht gefiltert, erwärmt, gekühlt und zugfrei verteilt zu werden.

4.3 Immissionsschutz

Messungen in der Abluft ausgewählter Parkgaragen belegen, dass abhängig von der Größe, der Fahrstrecke und der mittleren Aufenthaltsdauer in der Parkgarage auch bei Einhaltung der CO-Grenzwerte vergleichsweise hohe NO₂-, Benzol- und Feinstaub-(PM₁₀-)Immissionen in und damit auch -Emissionen aus der Garage auftreten können. Im Hinblick auf den Benutzer der Tiefgarage, der sich nur für einige Minuten innerhalb der Parkzone aufhält, sind diese Immissionen nur von untergeordneter Bedeutung. Für unmittelbare Anwohner, die der Abluft langfristig ausgesetzt sind, können diese Benzol-, Feinstaub-

considered to be met if the provisions of the Model Ventilation Systems Guideline (M-LüAR) are observed.

Insofar a fire protection certificate (which can also be a fire protection concept in individual cases) is necessary for issuing the building permit, it must fully identify and describe the fire-prevention measures employed in the car park. The required fire and ventilation separation or demarcation of the car park from other parts of the building (fire-containment sections or firefighting sections) as well as a subdivision of the car park into multiple smoke compartments must be recognisable (coordination of all necessary planners by the project planner).

Closed medium and large car parks usually represent a single firefighting section within a building.

Locking devices and fire-resistant ventilation line sections must be designed and installed in accordance with the provisions of building control authorities on proofs of usability and/or applicability.

4.2 Tasks of the car park ventilation

The basic task of the car park ventilation within the meaning of this standard is removal of pollutants. The requirements for ventilation depend, among other things, on the construction (open or closed), location (above or below ground), size (medium or large car park) and use (e. g. residential or public car park).

Car parks are not intended for longer stay of persons. The requirements for air condition are thus limited to compliance with the maximum pollutant concentrations (see Section 4.4). The introduced supply air flow therefore does not need to be distributed filtered, heated, cooled or draught-free.

4.3 Pollution control

Measurements of the exhaust air of selected car parks show that depending on size, driving distance and average length of stay in the car park, even when complying with the CO limits, relatively high emissions of NO₂, benzene and particulate matter (PM₁₀-) emissions occur in the car park, and thus also from the car park. With regard to the car park user who stays only for a few minutes in the parking area these emissions are only of secondary importance. For immediate residents who are exposed to the exhaust air in the long term, however, these benzene, particulate matter (PM₁₀-) and NO₂ emissions can possibly lead to

(PM₁₀-) und NO₂-Freisetzungen unter ungünstigen Ausbreitungsbedingungen jedoch gegebenenfalls zu einer gesundheitlichen Belastung führen.

Es ist daher bei der Konzeption neuer Lüftungsanlagen von Garagen sicherzustellen, dass es durch die Garagenabluft zu keiner gesundheitlichen Belastung von Anwohnern kommt. Vor allem bodennahe Garagenportale und andere Nachströmöffnungen, die zu Zeiten einer freien Lüftung, je nach Wind- und Temperaturverteilung, auch in mechanisch ventilierten Garagen als Emissionsquellen fungieren können, sind nicht in der Nähe von Fenstern, Balkonen, Spielplätzen oder anderen ähnlich sensiblen Bereichen zu positionieren. Im Zweifelsfall ist mit geeigneten Emissions- und Immissionsmodellen (Screening- oder Prognosemodelle) die zu erwartende Immissionskonzentration an nutzungssensiblen Punkten auf ihre Relevanz zu überprüfen.

4.4 Allgemeine technische und physiologische Gegebenheiten

Wesentliche Verunreinigungen der Garagenluft ergeben sich aus den Verbrennungsprodukten der im Garagenbereich bewegten Kraftfahrzeuge und der Verdunstung des Kraftstoffs aus den abgestellten Fahrzeugen. Neben den Komponenten der stöchiometrischen Verbrennung (CO₂ und H₂O) sind dies das Kohlenmonoxid (CO), die Kohlenwasserstoffverbindungen aus der unvollständigen Verbrennung und aus der Verdunstung, die Oxidationsprodukte des Stickstoffs (summarisch als NO_x) sowie Staub- bzw. Rußpartikel. Unmittelbar toxisch sind insbesondere Kohlenmonoxid CO und Stickstoffdioxid NO₂ als Atemgifte und einige karzinogen wirkende Kohlenwasserstoffe, hier insbesondere Benzol, Ruß bzw. die Feinstäube kleiner 10 µm (PM₁₀) und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK).

Die Menge und Zusammensetzung der Abgase hängt wesentlich ab von

- der Antriebsart (Otto- oder Dieselmotor),
- der Abgasreinigung,
- der Treibstoffqualität,
- dem Betriebszustand (Fahrt mit kaltem oder betriebswarmem Motor respektive Heißabstellung des Fahrzeugs) und
- der Betriebsweise, ausgedrückt durch sogenannte Fahrmuster.

Entsprechende Emissionswerte für Fahrzeuge – sogenannte Emissionsfaktoren – stehen für die Berechnung der Schadstofffreisetzung in Garagen [1; 2] zur Verfügung. Die Datengrundlage sind im Wesentlichen Messungen in einer ausgewählten Tiefgarage und Ergebnisse aus dem Handbuch für Emissionsfaktoren [3] bzw. Simulationsprogrammen. Besonders

health risks under adverse propagation conditions.

Therefore, when designing new car park ventilation systems, it is necessary to ensure that the car park exhaust air poses no health risks for residents. Above all, ground-level car park gates and other air vent openings that can act as emission sources at a time of free ventilation, depending on wind and temperature distribution, even in automatically ventilated car parks, must not be placed near windows, balconies, playgrounds or other similar sensitive areas. If in doubt, the relevance of expected immission concentration on critical points has to be checked with appropriate emission and immission models (screening or forecast models).

4.4 General technical and physiological conditions

Significant contamination of car park air results from combustion products of motor vehicles driving in the car park area, and evaporation of fuel from parked vehicles. In addition to the components of the stoichiometric combustion (CO₂ and H₂O), those are carbon monoxide (CO), hydrocarbon compounds from the incomplete combustion and evaporation, oxidation products of nitrogen (summarily NO_x), and dust and smoke particles. Directly toxic are, in particular, carbon monoxide CO and nitrogen dioxide NO₂ as respiratory poisons, and some carcinogenic hydrocarbons, in particular benzene, soot and particulate matter smaller than 10 µm (PM₁₀), and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs).

The amount and composition of exhaust gases depends largely on

- the type of engine (petrol or diesel),
- exhaust gas purification,
- fuel quality,
- operating condition (driving with cold or warm engine, respectively hot shutdown of the vehicle) and
- the operating mode, expressed by the so-called driving patterns.

Corresponding emission values for vehicles – the so-called emission factors – are available to calculate the release of harmful substances in car parks [1; 2]. The data basis are essentially measurements in a selected car park, and the results from the handbook of emission factors [3] or simulation programs. Particularly in relation to the cold start and evaporative emissions

im Hinblick auf die Kaltstart- und Verdunstungs-emissionen in Garagen liegen in diesen Quellen auch weitergehende Datengrundlagen vor. Weiterhin wurden für Ruß, Benzol und NO_x deutliche Abweichungen zu den Vorgaben des Handbuchs gefunden, die als aktuelle Änderung implementiert sind.

4.5 Zulässiger Raumluftzustand

Unter Würdigung der verfügbaren Quellen wird in dieser Richtlinie eine zulässige CO-Konzentration von 60 ppm als Viertelstundenmittelwert angesetzt. Dieser Mittelwert soll in einem im Einzelfall zu definierenden Raumvolumen (z.B. Überwachungsabschnitt) eingehalten werden. Garagen sind so auszuliegen bzw. zu betreiben, dass dieser Wert im Regelfall nicht überschritten wird. Ein weiterer Grund für die 60 ppm ist in der Funktion des Kohlenmonoxids als Pilotgas für die restlichen Schadstoffe in der Garagenluft zu sehen. Die Katalysatortechnik reduziert den Kohlenmonoxidausstoß besonders deutlich, sodass bei einer CO-Konzentration von 100 ppm nicht mehr gewährleistet ist, dass sich die übrigen Schadstoffe noch innerhalb vertretbarer Grenzen bewegen.

Die meisten Garagenverordnungen lassen Kohlenmonoxidkonzentrationen von 100 ppm als Halbstundenmittelwert zu. Viele Veröffentlichungen geben für Kohlenmonoxid teilweise niedrigere Grenzwerte an.

In Garagenräumen mit ständigen Arbeitsplätzen sind die gesetzlichen Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW nach TRGS 900) einzuhalten.

4.6 Zahlenwertgleichungen für die Kohlenmonoxidemission

Die Schadstofffreisetzung von Fahrzeugen in der Garage hängt wesentlich von folgenden Parametern ab:

- Fahrstrecke in der Garage
- Flottenzusammensetzung (Art der Fahrzeuge)
- Fahrmuster
- Fahrbahnneigung

Wesentlich für die Freisetzung von Schadstoffen bei Ausfahrten ist die bereits zurückgelegte Fahrstrecke, weil der Katalysator erst auf die richtige Betriebstemperatur kommen muss, um optimal zu wirken. Außerdem geht in die Emissionen bei kaltem Motor auch der eigentliche Startvorgang mit ein. In Tabelle 1 sind entsprechende Rechenwerte für das Leitgas CO für einfahrende, betriebswarme Fahrzeuge (Emissionen warm) und für ausfahrende Fahrzeuge (Emissionen kalt, inklusive Startvorgang) in Gramm abhängig von der Fahrstrecke angegeben.

in car parks, also additional data bases are present in these sources. Furthermore, significant deviations from the specifications of the manual were found for soot, benzene and NO_x , which are implemented as current change.

4.5 Permissible ambient air condition

In view of available sources, permissible CO concentration of 60 ppm is specified as quarter of an hour average value in this standard. This average value must be met in a room volume to be defined in individual cases (e.g. monitoring section). Car parks shall be designed and operated so that this value is normally not exceeded. Another reason for the 60 ppm is the function of carbon monoxide as a pilot gas for the rest of the pollutants in the car park air. The catalyst technology reduces carbon monoxide emissions significantly, so that at a CO concentration of 100 ppm it is no longer guaranteed that the other pollutants are still within acceptable limits.

Most car park regulations allow carbon monoxide concentrations of 100 ppm as half-hourly average value. Many publications indicate partially lower limits for carbon monoxide.

In car park spaces with permanent workplaces, the legal workplace exposure limits (WEL, according to technical regulation for dangerous substances TRGS 900) must be observed.

4.6 Numerical value equations for the carbon monoxide emission

The release of pollutants from vehicles in the car park depends largely on the following parameters:

- driving lane in the car park
- fleet composition (type of vehicles)
- driving pattern
- drive lane slope

Essential for the release of pollutants during exits is the distance already travelled, because the catalyst must come to the correct operating temperature in order to work optimally. In addition, the actual start activity of the cold motor is included into emissions. Table 1 specifies the corresponding calculated values for CO leading gas for entering, warm-running vehicles (warm emissions) and for exiting vehicles (cold emissions, including start-up) in grams depending on the driving distance.

Tabelle 1. Rechenwerte für Emissionen von Kohlenmonoxid

Zahlenwertgleichungen für die Kohlenmonoxidemission E_{CO} abhängig von der Fahrstrecke s in m für ein Fahrzeug		CO-Emission je Fahrzeug in g
Längenbezogene Emissionen warm: $E_{\text{CO,warm}}$ in g (bei Einfahrten)		$0,008 \text{ g/m} \cdot s_{\text{ein}}$
Emissionen kalt: $E_{\text{CO,kalt}}$ in g (bei Ausfahrten)	$s < 80 \text{ m}$ $80 \text{ m} \leq s < 500 \text{ m}$	$7,6 \text{ g/m}$ $0,89 \text{ g/m} \cdot s_{\text{aus}}^{0,49}$

Table 1. Calculated values for emissions of carbon monoxide

Numerical value equations for the carbon monoxide emission E_{CO} depending on the driving lane s in m for a vehicle		CO emissions per vehicle in g
Length-related emissions warm: $E_{\text{CO,warm}}$ in g (when entering),		$0,008 \text{ g/m} \cdot s_{\text{ein}}$
Emissions cold: $E_{\text{CO,cold}}$ in g (when exiting)	$s < 80 \text{ m}$ $80 \text{ m} \leq s < 500 \text{ m}$	$7,6 \text{ g/m}$ $0,89 \text{ g/m} \cdot s_{\text{aus}}^{0,49}$

Die Angaben in Tabelle 1 basieren im Wesentlichen auf Untersuchungen der FH Mainz auf Basis des Handbuchs „Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs“ [5] und Untersuchungen in verschiedenen Tiefgaragen [1; 2; 4].

Für die Abschätzung der CO-Emission wird eine mittlere Fahrstrecke (innerhalb der Garage) angesetzt. Diese kann für Ein- bzw. Ausfahrten in der Regel wie folgt ermittelt werden:

$$s_{\text{ein}} = s_{\text{Einfahrt}} + s_{\text{Stellplatz}} / 2 + s_{\text{Parken}} \quad (1)$$

$$s_{\text{aus}} = s_{\text{Ausfahrt}} + s_{\text{Stellplatz}} / 2 + s_{\text{Parken}} \quad (2)$$

mindestens 80 m (Berücksichtigung Kaltstart)

Dabei ist

s_{Einfahrt}	Länge der Einfahrt bis zum ersten SP
s_{Ausfahrt}	Länge der Ausfahrt ab dem letzten SP
$s_{\text{Stellplatz}}$	Länge der Fahrstrecke entlang den Stellplätzen
s_{Parken}	10 m – Fahrstrecke für das Ein- bzw. Ausparken

Die Emissionen kalt werden bei rechnerischen Fahrwegen unter 80 m mit einem streckenunabhängigen Mindestwert berechnet. Diese Näherung bewirkt keine großen Ungenauigkeiten, weil der Kohlenmonoxidausstoß bei diesen eher kurzen Fahrwegen in der Garage zum größten Teil durch den Kaltstartvorgang bestimmt wird.

Aus Tabelle 1 und Bild 1 lässt sich auch der bestimmende Einfluss der ausfahrenden Fahrzeuge (im Vergleich zu den betriebswarm einfahrenden Fahrzeugen) auf die CO-Emission ablesen.

Für maschinelle Lüftungsanlagen ist unter Berücksichtigung aller örtlichen und betrieblichen Gegebenheiten eine nachprüfbare Berechnung durchzuführen.

The data in Table 1 is based mainly on studies of the University of Applied Sciences Mainz on the basis of the manual “Emission Factors for Road Transport” [5] and studies in various underground car parks [1; 2; 4].

For the estimation of CO emissions an average driving distance (inside the car park) is applied. Usually, it can be determined for entering and exiting as follows:

$$s_{\text{ein}} = s_{\text{Einfahrt}} + s_{\text{Stellplatz}} / 2 + s_{\text{Parken}} \quad (1)$$

$$s_{\text{aus}} = s_{\text{Ausfahrt}} + s_{\text{Stellplatz}} / 2 + s_{\text{Parken}} \quad (2)$$

at least 80 m (considering cold start)

where

s_{Einfahrt}	length of the driving lane up to the first SP
s_{Ausfahrt}	length of the exit from the last SP
$s_{\text{Stellplatz}}$	length of driving lane along the parking lots
s_{Parken}	10 m – driving lane for the parking and exiting

Cold emissions are calculated on notional paths under 80 m with a distance-independent minimal value. This approximation does not cause large inaccuracies, because the carbon monoxide emissions from these rather short travel paths in the car park are largely determined by the cold start.

From Table 1 and Figure 1 also the determining influence of exiting vehicles (compared to the normal operating temperature of entering vehicles) on the CO emission can be read.

For automatic ventilation systems, a verifiable calculation must be performed under consideration of all local and operational conditions. In the absence of

Liegen keine ausreichenden Betriebsangaben vor, können die in Tabelle 2 angegebenen Richtwerte zu der Abschätzung herangezogen werden.

Bei ungewöhnlichen Flottenzusammensetzungen oder Verkehrsführungen (Rampen, Stau, Gefahrstellen) können auch abweichende Emissionen, als nach Tabelle 1 berechnet, auftreten. Dieses ist dann geeignet zu berücksichtigen. Eine genauere Berechnung der Emissionsfaktoren kann auch mithilfe der im Schrifttum angegebenen Werke [2; 3] erfolgen.

sufficient operating data, the values listed in Table 2 may be used for the estimation.

In unusual fleet compositions or traffic conditions (ramps, traffic jam, danger areas) differing emissions may also occur as calculated according to Table 1. This has to be considered as appropriate. A more accurate calculation of emission factors can also be done using the works specified in the Bibliography [2; 3].

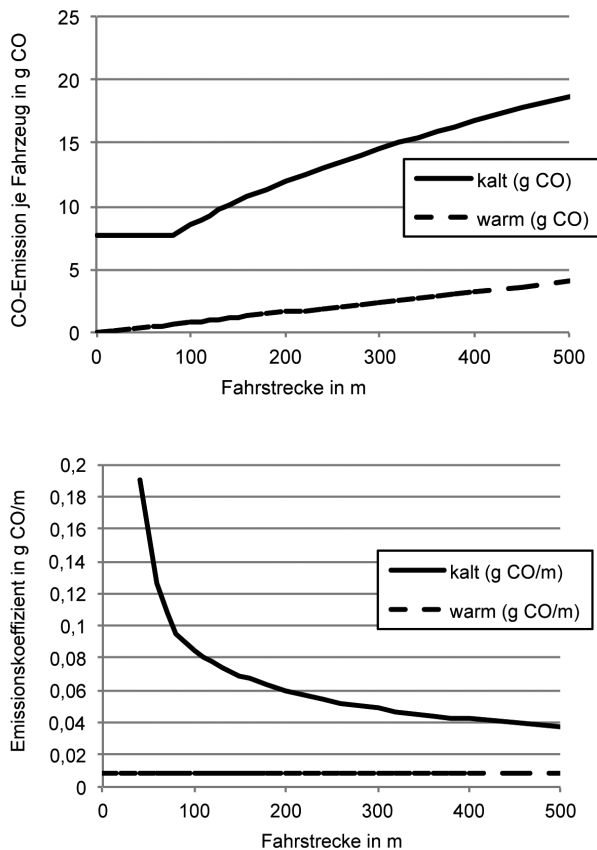


Bild 1. CO-Emission je Fahrzeug und Emissionsfaktor

Die Ermittlung der CO-Emissionen der Fahrzeuge \dot{V}_{CO} erfolgt anhand der ermittelten Emissionen je Fahrzeug und der Anzahl der bewegten Fahrzeuge je Stunde (Auslastungsfaktor mit der Anzahl der Stellplätze):

$$\dot{V}_{CO} = \frac{f_{SP} \cdot z_{SP}}{\rho_{CO}} (E_{CO,warm} + E_{CO,kalt}) \quad \text{in m}^3 \text{ CO/h} \quad (3)$$

Dabei ist

- f_{SP} Auslastungsfaktor (Anhaltswerte siehe Tabelle 2)
- z_{SP} Anzahl der Stellplätze
- ρ_{CO} Dichte von Kohlenmonoxid ($1,16 \cdot 10^3 \text{ g/m}^3$ bei 20°C)

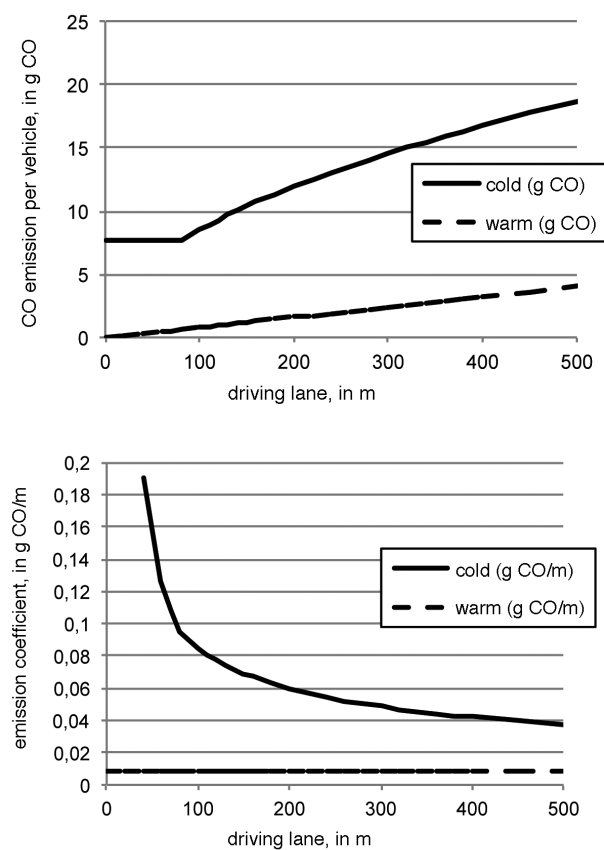


Figure 1. CO emission per vehicle and emission factor

The determination of the CO emissions of the vehicles \dot{V}_{CO} is based on the calculated emissions per vehicle and the number of moving vehicles per hour (utilisation factor with the number of parking spaces):

$$\dot{V}_{CO} = \frac{f_{SP} \cdot z_{SP}}{\rho_{CO}} (E_{CO,warm} + E_{CO,kalt}) \quad \text{in m}^3 \text{ CO/h} \quad (3)$$

where

- f_{SP} utilization factor (reference values see Table 2)
- z_{SP} number of parking lots
- ρ_{CO} density of carbon monoxide ($1,16 \cdot 10^3 \text{ g/m}^3$ at 20°C)

Tabelle 2. Beispiele für Auslastungsfaktoren

Nutzungsart	Beispiel	Fahrzeugbewegungen/Stunde (Bezug auf Stellplätze)	Auslastungs- faktor f_{SP}
Geringer Zu- und Abgangsverkehr	Wohnhausgarage, Bürogarage	60 % der fest zugeordneten Stellplätze (Wohnhaus am Morgen; Bürohaus am Abend) – nur Ausfahrten	$0,6 \text{ h}^{-1}$
Häufiger Zu- und Abgangsverkehr	öffentliche Parkgaragen	80 % bis 150 % der freien Stellplätze (Parkzeiten: 75 min bis 40 min bei Vollbelegung) Ein- und Ausfahrten	$(0,8 \dots 1,5) \text{ h}^{-1}$
Starker Stoßverkehr	Theatergarage	200 % (Ausfahrt aller Fahrzeuge innerhalb von 30 min)	2 h^{-1}

Anmerkung: Es wird empfohlen, den Auslastungsfaktor gemeinsam mit dem Betreiber abzuschätzen und festzulegen.

Table 2. Examples of utilisation factors

Utilization type	Example	Vehicle movements/hour (relating to parking spaces)	Utilization factor f_{SP}
Low entry and exit traffic	residential car park, office car park	60 % of dedicated parking spaces (residential building in the morning; office building in the evening) – exits only	$0,6 \text{ h}^{-1}$
Frequent entry and exit traffic	public car parks	80 % to 150 % of the available parking spaces (Parking hours: 75 min to 40 min at full occupancy), entering and exiting	$(0,8 \dots 1,5) \text{ h}^{-1}$
Stronger rush hour traffic	theatre car park	200 % (exit of all vehicles within 30 min)	2 h^{-1}

Note: It is recommended to estimate and define the utilisation factor together with the operator.

Falls innerhalb einer Garage Teile mit unterschiedlichen Nutzungen, Verkehrsführungen oder baulichen Trennungen vorliegen, ist es gegebenenfalls erforderlich, die CO-Emission unter Berücksichtigung der verschiedenen Einflussfaktoren (z.B. Auslastungen, Fahrstrecken, Emissionsfaktoren) für jeden Garagenteil zu bestimmen.

4.7 Berechnung Außenluftstrom

Der Außenluftstrom muss so groß gewählt werden, dass die CO-Konzentration auch bei der größtmöglichen Betriebsbelastung mindestens bis zu dem in Abschnitt 4.5 angegebenen CO-Grenzwert abgesenkt wird.

Aus der Bilanz für die CO-Emissionen und ihrer zulässigen Konzentration in der Garage erhält man für den erforderlichen Außenluftstrom die grundlegende Gleichung

$$\dot{V}_{\text{außen}} = \frac{\dot{V}_{\text{CO}}}{CO_{\text{Ausl}} - CO_{\text{außen}}} \cdot f_G \quad \text{in m}^3/\text{h} \quad (4)$$

Dabei ist

$\dot{V}_{\text{außen}}$ Außenluftstrom, der notwendig ist, die CO-Emissionen der Fahrzeuge auf zulässige Werte zu verdünnen in m^3/h

If sections with different usage, traffic conditions or structural separations are present within a car park, it may be necessary to determine the CO emission for each garage section, taking into account the different influence factors (e.g. utilisation, driving distances, emission factors).

4.7 Calculation of outdoor air flow

The outdoor air flow chosen must be so large that the carbon monoxide concentration is lowered at least to the CO limit value indicated in Section 4.5, even at the maximum operating load.

From the balance sheet for CO emissions and their permissible concentration in the car park, the basic equation for the required outdoor air flow is obtained

$$\dot{V}_{\text{außen}} = \frac{\dot{V}_{\text{CO}}}{CO_{\text{Ausl}} - CO_{\text{außen}}} \cdot f_G \quad \text{in m}^3/\text{h} \quad (4)$$

where

$\dot{V}_{\text{außen}}$ outside air flow which is necessary to dilute the vehicle CO emissions to allowed values, in m^3/h

\dot{V}_{CO}	CO-Emissionen der Fahrzeuge für die betrachteten Fahrbewegungen in m ³ /h
CO_{Ausl}	Auslegungs-CO-Konzentration in m ³ CO/m ³ Luft (angesetzt mit 60 ppm)
$CO_{\text{außen}}$	CO-Gehalt der Außenluft (Vorbelastung) in m ³ CO/m ³ Luft Anhaltswerte: – an stark befahrenen Straßen: $5 \cdot 10^{-6}$ m ³ CO/m ³ Luft (= 5 ppm) – In Wohnbereichen mit geringem Verkehrsaufkommen kann ohne Vorbelastung der Außenluft gerechnet werden.
f_G	Faktor, der die Abweichung von der idealgleichmäßigen Durchmischung berücksichtigt (siehe Tabelle 3)

Anmerkung: In der Praxis ist die ideale Mischlüftung bzw. Vermischung der Außenluft mit der Garagenluft nicht überall zu gewährleisten. Konzentrationsmessungen in ausgeführten Garagen zeigen auf, dass es auch bei Vorhandensein einer Abluftanlage mit entsprechendem Leitungssystem in der Garage (und gegebenenfalls einer zusätzlichen Zuluftanlage) zu Differenzen zwischen der tatsächlichen und der aus dem Volumenstrom bei idealgleichmäßiger Durchmischung berechneten Luftwechselrate kommen kann.

Auch bei Garagen mit natürlicher Nachströmung kann eine örtlich unterschiedliche Lüftungseffektivität vorliegen, wenn beispielsweise ein Teil der Außenluft ohne nennenswerte Durchmischung mit der Garagenluft abgesaugt wird. Es ist zu berücksichtigen, dass es über die Zufahrtrampen bei geöffneten

\dot{V}_{CO}	CO emissions of the vehicles for the driving movements concerned, in m ³ /h
CO_{Ausl}	design CO concentration, in m ³ CO/m ³ air (set at 60 ppm)
$CO_{\text{außen}}$	CO content of the outside air (pre-loaded), in m ³ CO/m ³ air reference values: – on busy roads: $5 \cdot 10^{-6}$ m ³ CO/m ³ air (= 5 ppm) – In residential areas with low traffic calculation can be done without taking into account the pre-load of the outside air.
f_G	factor that takes into account the deviation from the ideal uniform mixing considered (see Table 3)

Note: In practice, the ideal mixed air ventilation or mixing of outside air with the car park air cannot be ensured everywhere. Concentration measurements performed in selected garages show that there may be differences between the actual air exchange rate, and the air exchange rate calculated from the flow-rate in ideal uniform mixing, even in the presence of an exhaust air system with appropriate line system in the car park (and optionally an additional supply air system).

Also in garages with a natural inflow of outside air a locally different ventilation efficiency may occur, for example when part of the outdoor air is suctioned with the car park air without any noteworthy mixing. It should be noted that there may be a potentially unwanted outside air intake on the access ramps when

Tabelle 3. Anhaltswerte für den Faktor f_G (Abweichung von der idealen Mischlüftung)

Art der Lüftung/Luftführung	Faktor f_G
Abluftanlage/Querströmung	1,2 bis 1,4
Abluftanlage/Querströmung ohne Abluftleitungsnetz	1,3 bis 1,5
Abluftanlage/Längsströmung (geschlossene Wandscheiben)	1,2 bis 1,4
Abluftanlage und Zuluftanlage/Schichtströmung	1,1 bis 1,3
Abluftanlage und Zuluftanlage/Mischströmung	1,3 bis 1,5

Table 3. Reference values for the f_G factor (deviation from the ideal mixed air ventilation)

Type of ventilation/air conduction	Factor f_G
Exhaust air system/cross-low	1,2 to 1,4
Exhaust air system/cross-flow without exhaust line network	1,3 to 1,5
Exhaust air system/longitudinal flow (closed wall plates)	1,2 to 1,4
Exhaust air and supply air system/layered flow	1,1 to 1,3
Exhaust air and air supply system/mixed flow	1,3 to 1,5

Garagentoren zu einer möglicherweise unerwünschten Außenluftansaugung kommen kann, die in anderen Garagenbereichen die geplante Garagenlüftung beeinträchtigt (Kurzschlussströmung)

Die Abweichung von der idealen Mischlüftung (homogene Konzentrationsverteilung) kann durch einen entsprechenden Aufschlag auf den Volumenstrom berücksichtigt werden. Der Aufschlag wird durch den Faktor f_G ausgedrückt und lässt sich pauschal nur als Anhaltswert angeben.

Bei einem zusätzlichen Einsatz von einem Jet-Ventilationssystem (JVS) kann der Faktor f_G mit 0,9 multipliziert werden. Die Verwendung einer Schichtströmung schließt den Einsatz von einem JVS aus.

Die genannten jeweiligen oberen f_G -Werte sind fallweise ohne Nachweis anwendbar. Bei strömungstechnischen Kurzschlüssen müssen die genannten Werte gegebenenfalls erhöht werden.

Die genannten jeweiligen unteren f_G -Werte können bei entsprechenden Nachweisen (z.B. Strömungssimulation, Messungen) angesetzt werden.

Bezüglich der Art der Lüftung und der Luftführung wird auf Abschnitt 5 verwiesen.

5 Lüftung

Die Lüftung von Garagen zur Abfuhr von Schadstoffen kann durch freie oder maschinelle Lüftung (siehe Bild 2) erfolgen. Die Bauart der Garage muss eine gleichmäßige Durchlüftung fördern und zulassen.

Bei der Planung und Ausführung von Lüftungsanlagen sind insbesondere die Muster-Prüfgrundsätze, die Normen DIN EN 13779 und DIN EN 15251, die Richtlinie VDI 3819 Blatt 1 und die Richtlinienreihe VDI 6022 zu beachten.

Das Schutzziel der Garagenlüftung ist die Einhaltung des CO-Konzentration-Schwellenwerts. Die Garagenlüftung in ihrer Funktion muss daher überwacht werden. Dies kann z.B. durch eine CO-Mess- und Warnanlage realisiert werden.

Bei maschineller Lüftung ist eine Funktionsüberwachung der Anlage zu empfehlen. Dies kann beispielsweise realisiert werden durch:

- Strömungsüberwachung aller Luftleitungsabschnitte
- Strömungsüberwachung der Hauptluftleitungen
- Überwachung der Absperrvorrichtungen
- Antriebsüberwachung

Eine geeignete Signalisierung bei Funktionsausfall der Lüftungsanlage ist vorzusehen.

the car park doors are open, which affects the planned car park ventilation in other areas (short circuit current).

The deviation from the ideal mixed air ventilation (homogeneous concentration distribution) may be taken into consideration through an appropriate additional charge to the volume flow. The additional charge is expressed by the factor f_G and can be specified on a flat-rate basis only as an approximate value.

With additional application of a jet ventilation system (JVS), the factor f_G can be multiplied by 0,9. The use of a layered flow excludes the use of a JVS.

The cited respective upper f_G -values are applicable from case to case without proof. In fluidic short circuits, the values cited must be increased as necessary.

The cited respective lower f_G -values can be used when supporting evidence is present (e.g. flow simulation, measurements).

Regarding the ventilation type and airflow, please refer to Section 5.

5 Ventilation

The car park ventilation for the removal of pollutants can be done through free or automatic ventilation (see Figure 2). The car park design must promote and permit even aeration.

In the planning and execution of ventilation systems, in particular, the sample testing requirements, the standards DIN EN 13779 and DIN EN 15251, the standard VDI 3819 Part 1 and the series of standards VDI 6022 must be observed.

The protection objective of the car park ventilation is the compliance with the CO concentration threshold. The car park ventilation function must therefore be monitored. This can be achieved e.g. through a CO detection and warning system.

With automatic ventilation the function monitoring of the plant is recommended. This can be realized for example by:

- flow monitoring of all air line sections
- flow monitoring of the main air lines
- monitoring the locking devices
- drive monitoring

Appropriate signalling in functional failure of the ventilation system must be provided.

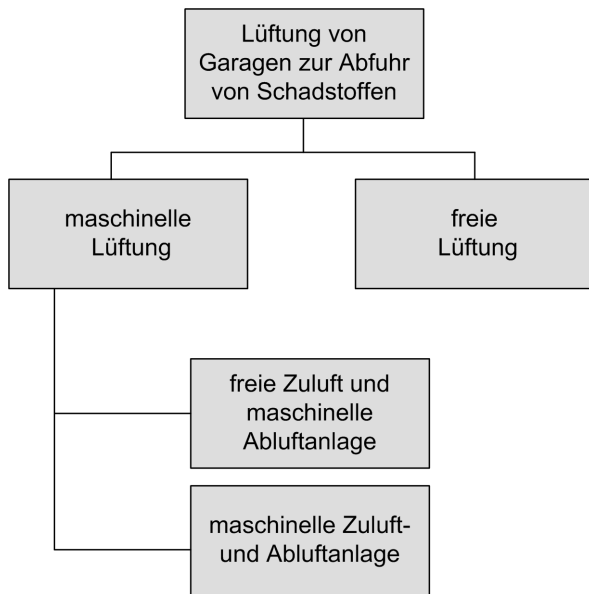


Bild 2. Übersicht der möglichen Lüftungssysteme

Garagenluft darf nicht in andere Nutzungsbereiche gelangen. Bei Gebäuden, die mit Garagen in Verbindung stehen, muss unter Berücksichtigung der Druckverhältnisse das Eindringen von Garagenluft ausgeschlossen werden.

5.1 Maschinelle Lüftung

Bei maschinell betriebenen Lüftungsanlagen müssen die Zu- und Abluftöffnungen aufeinander abgestimmt angeordnet sein. Die maschinelle Lüftung erfolgt durch Ventilatoren. Je nach Garagengröße und -lage sowie abhängig von den gegebenenfalls notwendigen Maßnahmen zum Rauch- und Wärmeabzug wird die Art der Lüftungsanlage festgelegt. Man unterscheidet Garagen mit

- freier Zuluft und maschinellen Abluftanlagen und
- maschineller Zuluft- und Abluftanlage.

Aus bautechnischen, brandschutztechnischen und aerodynamischen Gründen kann eine Garage in einzelne unabhängige Lüftungsabschnitte unterteilt werden.

Die Lüftungsanlage bzw. jeder unabhängige Lüftungsabschnitt muss mindestens zwei Ventilatoren mit jeweils mindestens 50 % des Gesamtluftstroms erhalten. Bei Ausfall eines Ventilators muss sichergestellt sein, dass die übrigen Ventilatoren (auch von der Motorleistung her) in der Lage sind, noch ca. 2/3 des Gesamtluftstroms zu fördern.

Die Leistungs-, Melde- und Steuerstromkreise jedes Ventilators müssen getrennt abgesichert werden. Bei Ausfall der Steuerung müssen die Ventilatoren automatisch in Dauerbetrieb gehen. Für Mittelgaragen mit fest zugeordneten Stellplätzen und geringem Zu-

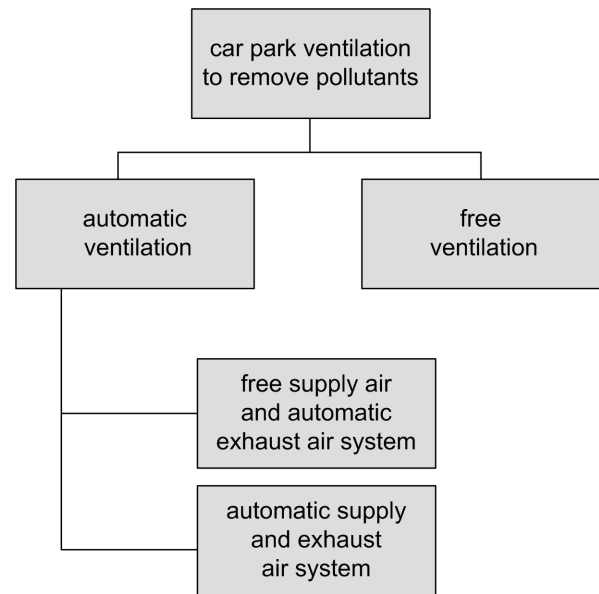


Figure 2. Overview of potential ventilation systems

Car park air must not be discharged into other utilised areas. For buildings that are connected with car parks, penetration of car park air must be excluded, taking into account the pressure conditions.

5.1 Automatic ventilation

In automatically operated ventilation systems, the supply and exhaust openings shall be matched to each other. The automatic ventilation is done with ventilators. The type of ventilation system is set depending on car park size and location, as well as on any necessary measures for smoke and heat exhaust. We differentiate between car parks with

- free supply air and automatic exhaust air system and
- automatic supply and exhaust air system.

From structural, fire protection and aerodynamic reasons, a car park can be divided into individual, independent ventilation sections.

The ventilation system or any independent ventilation section must include at least two ventilators with at least 50 % of the total air flow each. If one ventilator fails, it must be ensured that the remaining ventilators (also from the point of view of the engine power) are able to process about 2/3 of the total air flow.

The power, signalling and control circuits of each ventilator must be secured separately. In the event of a control failure, the ventilators must automatically go into continuous operation. For medium car parks with dedicated parking spaces and low incoming and

und Abgangsverkehr, z.B. Wohnhausgaragen, kann davon abweichend die Lüftungsanlage mit einem Ventilator ausgeführt werden, wenn eine automatische Betriebsüberwachung eingebaut und Störungen in der Garage optisch durch Blink- oder Blitzeinrichtungen angezeigt werden. Die Alarmmeldung darf nur nach Instandsetzung der Lüftungsanlage wieder quittierbar sein.

Ein Hinweisschild

Abluftanlage defekt!

Vorsicht!

Erhöhte Abgasbelastung!

muss auf die Bedeutung der Alarmsignale hinweisen. Eine Abstimmung mit der zuständigen Baubehörde ist bei dieser Realisierung zu erreichen.

Die einzelnen Komponenten sind für den Dauerbetrieb zu dimensionieren. Eine explosionsgeschützte Ausführung ist nicht erforderlich.

Die einzelnen Komponenten der Lüftungsanlage sind so zu montieren, dass in der Garage in zum Begehen bestimmten Bereichen eine lichte Höhe von 2,0 m bestehen bleibt. Alle Bauteile, die in regelmäßigen Abständen gewartet werden müssen oder Verschleiß unterliegen, müssen gut zugänglich sein.

Anstelle der unbehandelten Außenluft kann auch geeignete Fortluft aus anderen Räumen, frei von störenden oder schädlichen Beimengungen, in die Garage eingeführt werden; bei Stillstand der betreffenden Fortluftanlage ist durch anlagentechnische Maßnahmen (z.B. Absperrvorrichtungen) eine Rückströmung auszuschließen. Bei Betrieb der entsprechenden Fortluftanlage ist die Abluftabfuhr aus der Garage zu gewährleisten. Ist ein dauernder Luftstrom aus anderen Räumen zu den Betriebszeiten der Garage nicht gewährleistet, so müssen zusätzlich andere Zuströmungen vorhanden sein. Jegliche Rauchübertragung ist auszuschließen.

Steuerung und Regelung

Lüftungsanlagen können automatisch über die in der Garage installierte CO-Warnanlage angesteuert werden. Bei Garagen ohne eine Warnanlage ist eine automatische Ein- und Ausschaltung der Ventilatoren mit einer Zeitschaltuhr möglich. Wahlweise kann, vor allem bei kleinen Garagen und unregelmäßigen Ein- und Ausfahrzeiten, auch eine entsprechende Einschaltung durch z.B. Torkontakte oder Bewegungsmelder mit Nachlaufzeit oder gleichwertige Schaltungen erfolgen. Die Lüftungsanlage darf von Unbefugten nicht abgeschaltet werden können. Die Laufzeiten der Lüftungsanlage müssen mit den Zeiten des häufigsten Fahrverkehrs übereinstimmen und eine ausreichende Be- und Entlüftung (CO-Grenzwerte) gewährleisten. Bei einer Wohnhausgarage kann das

outgoing traffic, such as residential car parks, the ventilation system can be run with one ventilator notwithstanding, if an automatic system monitoring is integrated, and disturbances in the car park are visually indicated by blinking or flashing devices. The alarm message can be acknowledged again only after repair of the ventilation system.

A signpost

Exhaust air system broken!

Caution!

Increased exposure to exhaust fumes!

must point to the meaning of alarm signals. A consultation with the competent planning authority is necessary to achieve this.

The individual components must be scaled for continuous operation. An explosion-proof design is not required.

The individual components of the ventilation system must be mounted so that in the car park, in areas which are intended to be entered into, a height of 2,0 m is maintained. All components that need to be serviced at regular intervals, or are subject to wear, must be readily accessible.

Instead of untreated outdoor air, suitable exhaust air from other rooms, free of disturbing or harmful admixtures, can be introduced into the car park; at a standstill of the respective exhaust air system, a backflow must be excluded through technology-based measures (e.g. shut-off devices). When operating the corresponding exhaust air system, the exhaust ventilation out of the car park must be ensured. If a continuous airflow from other rooms is not guaranteed during car park operating hours, other inflows must be present. Any transfer of smoke must be excluded.

Control and regulation

Ventilation systems can be automatically controlled by the CO-warning system installed in the car park. For car parks without a warning system, automatic switching on and off of the ventilators with a timer is possible. Optionally, especially in small car parks and irregular entry and exit times, appropriate switch may be used, e.g. a gate contact or a motion sensor with follow-up time, or other equivalent switches. The ventilation system must not be switched off by unauthorized persons. The operating time of the ventilation system must match the times of the most frequent traffic, and ensure adequate ventilation (CO limits). In a residential car park, this can be achieved e.g. by a total of five hours minimum run time (2 h in the morning, 1 h in the noon, 2 h in the evening). Sys-

z.B. durch insgesamt fünf Stunden Mindestlaufzeit realisiert werden (morgens 2 h, mittags 1 h, abends 2 h). Störungen der Anlage sollen in der Garage angezeigt werden.

5.1.1 Freie Zuluft und maschinelle Abluftanlage

Für die Planung und Ausführung von Lüftungsanlagen, die mit einer freien Zuluftzuführung und einer maschinellen Abluftabführung arbeiten, sind nachfolgende Grundsätze zu beachten.

Die Luftführung ist entweder nach dem Prinzip der Querströmung oder der Längsströmung auszuführen. Durch diese Strömungsformen wird erreicht, dass der gesamte Luftstrom über alle Fahrzeuge hinweg strömt, um so das Schadstoffaufnahme-potenzial (Verdünnung) der Außenluft weitgehend zu nutzen. Mischformen sind zu vermeiden, da sonst Strömungskurzschlüsse zu ineffizienter Lüftung führen können.

5.1.1.1 Querströmung

Bei offen gestalteten Garagen (keine den Luftstrom behindernden Raumteiler innerhalb der Garage) soll eine Querströmung umgesetzt werden.

Die Zuluftzuführung soll dabei über direkte Öffnungen in Wänden, Decken oder über Schächte bis zum zu entlüftenden Abschnitt erfolgen. Die Abluft wird gegenüberliegend (in der Regel über ein Leitungssystem) so abgeführt, dass der Abschnitt möglichst gleichförmig – ohne Totzonen – durchströmt wird.

Um eine ausreichende Durchmischung und Eindringtiefe des Zuluftstrahls bei der Querströmung zu erreichen, soll die Zuluftöffnung auf eine Eintrittsgeschwindigkeit von ca. (1...2) m/s dimensioniert werden. Die Abstände der Zuluftöffnungen untereinander sollen nicht mehr als 20 m betragen. Zwischen Zu- und Abluftöffnungen sollen Abstände von 35 m nicht überschritten werden.

Wenn die Zuluftöffnungen so angeordnet werden können, dass auch eine gleichmäßige Durchströmung des gesamten Garagenabschnitts erreicht wird, kann auf ein ausgedehntes Abluftleitungsnetz verzichtet werden (siehe Bild 3).

Im Bereich der Ein- und Ausfahrten kann es gerade zu den Hauptbefahrzeiten wegen der dann häufig offenen stehenden Tore zu einer unerwünschten Nachströmung von Außenluft kommen. Dies kann eine definierte Durchströmung der Garage beeinträchtigen und ist daher zu berücksichtigen. Dieser Luftvolumenstrom fehlt möglicherweise in anderen Garagenbereichen, wo eine Nachströmung der Außenluft über Lüftungsschächte erfolgen soll (Zuschlag auf f_G -Faktor, siehe auch Tabelle 3).

tem defects must be displayed in the car park.

5.1.1 Free supply air and automatic exhaust air system

For the planning and execution of ventilation systems which operate with a free supply air and an automatic exhaust air discharge, the following principles must be observed.

The air duct must be either based on the principle of cross-flow or of the longitudinal flow. Through these flow patterns it is achieved that the entire airflow flows over all vehicles so as to utilise the pollutant uptake potential (dilution) of the outside air. Mixed forms must be avoided, as flow short circuits may otherwise cause inefficient ventilation.

5.1.1.1 Cross-flow

In open-plan car parks (no room divider obstructing the airflow inside the car park) a cross-flow should be implemented.

The air supply shall be implemented via direct openings in walls or ceilings, or through shafts to the vented section. The exhaust air is discharged on the opposite side (usually via a duct system) so that the air flows through the section as uniformly as possible, without dead zones.

In order to achieve adequate mixing and penetration depth of the supply air in cross-flow, the supply air opening should be sized for the entrance speed of about (1...2) m/s. The distances between the air intakes should not be more than 20 m. Distances of 35 m should not be exceeded between supply and exhaust vents.

If the supply air openings can be arranged so that a uniform flow through the entire car park section is achieved, an extended exhaust line network can be dispensed with (see Figure 3).

In the area of entrances and exits, an undesirable inflow of outside air may occur, especially during peak traffic times, because of the gates which are often open at those times. This may affect a defined flow of air in the car park and should therefore be taken into account. This air volume flow may be missing in other car park areas, where an inflow of outside air through ventilation shafts must be carried out (overhead on f_G -factor, see also Table 3).

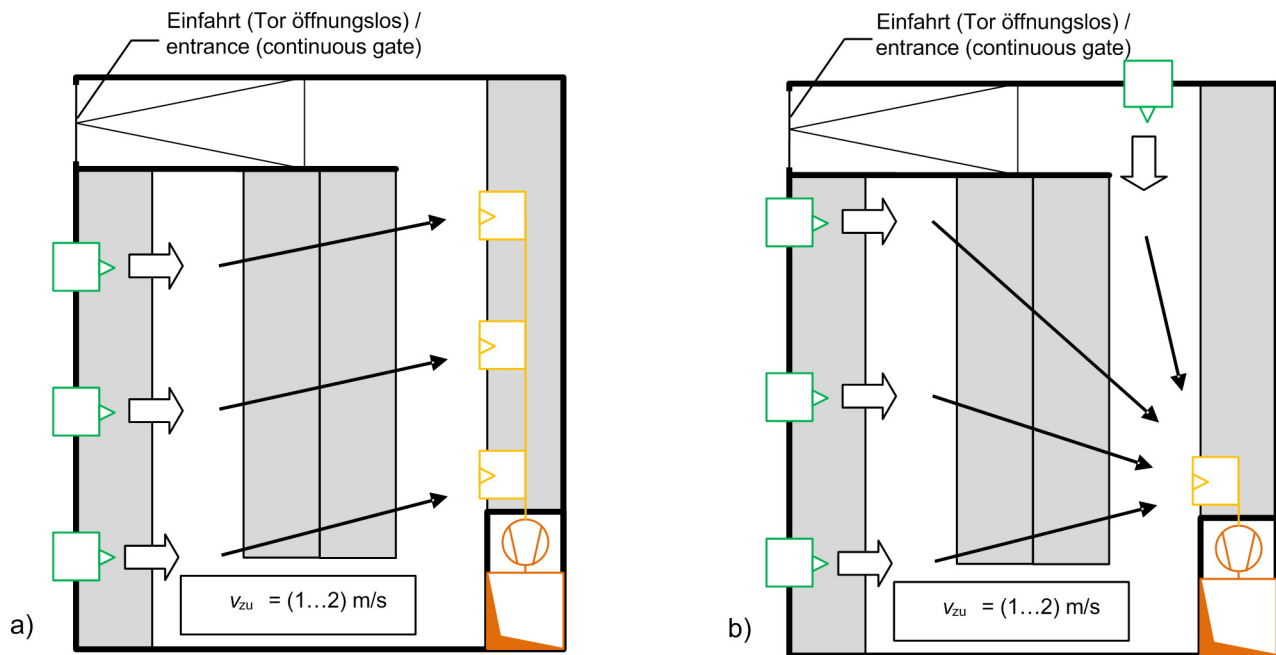


Bild 3. Beispiele für Querströmung

- a) mit Abluftleitungsnetz
b) ohne Abluftleitungsnetz

Figure 3. Examples of cross-flow

- a) with exhaust line network
b) without exhaust line network

5.1.1.2 Längsströmung

Bei der Längsströmung erfolgt die Zuluftführung meist über ein offen gestaltetes Tor (z.B. Gittertor). Die Abluft wird am entgegengesetzten Ende eines baulich ausgeführten „Tunnels“ abgeführt. Um eine gerichtete Strömung zu erreichen, ist eine Mindestgeschwindigkeit im Fahrspurquerschnitt von 0,5 m/s anzustreben. Dabei ist es erforderlich, dass die trennenden Bauteile als geschlossene Wandscheiben (siehe Bild 4) ausgeführt werden, um Strömungskurzschlüsse zu vermeiden.

Die Strömungsgeschwindigkeit der Zuluft soll 1 m/s nicht übersteigen.

5.1.1.3 Jet-Ventilationssystem

Jet-Ventilatorensysteme sind so zu planen und auszulagen, dass die Jet-Ventilatoren die Luft in der zu lüftenden Garage frei ansaugen und wieder frei ausblasen (siehe Bild 5). Damit bewirken sie keine (nennenswerten) Druckänderung zwischen Garage und Umgebung. Sie haben damit auch keinen Einfluss auf den der Garage von außen zuzuführenden Zuluft-Volumenstrom und auf den abzuführenden Abluft-Volumenstrom. Diese Volumenströme ergeben sich aus der Schadstoffbilanz nach Abschnitt 4.6. Jet-Ventilatoren tragen zur Mischung der Luft in der Garage bei und führen damit zu einem homogenen Konzentrationsfeld. Demzufolge können Jet-Ventilatoren gegebenenfalls ein sonst dafür notwendiges Luftleitungsnetz innerhalb der Garage ersetzen, nicht jedoch die

5.1.1.2 Longitudinal flow

In the longitudinal flow, the supply air is usually conducted through an open-plan gate (e.g. a barred gate). The exhaust air is discharged at the opposite end of a structurally installed “tunnel”. In order to achieve a directed flow, a minimum speed in the lane cross section of 0,5 m/s is desirable. Thereby it is required that the separating components are designed as closed wall plates (see Figure 4) in order to avoid flow short-circuiting.

The flow velocity of supply air should not exceed 1 m/s.

5.1.1.3 Jet ventilation system

Jet ventilator systems shall be planned and designed so that the jet ventilators suction the air in the ventilated garage freely and then freely blow it out (see Figure 5). This does not cause any (significant) changes in the pressure between the car park and its surrounding area. They have therefore no influence on the supply air volume flow supplied to the car park from the outside and on the exhaust air volume flow discharged. These volume flows result from the pollution emission levels in accordance with Section 4.6. Jet ventilators contribute to the mixing of the air in the car park, and thus lead to a more homogeneous concentration field. Accordingly, jet ventilators can replace an otherwise necessary air line network inside the car park, but not the automatic ventilation

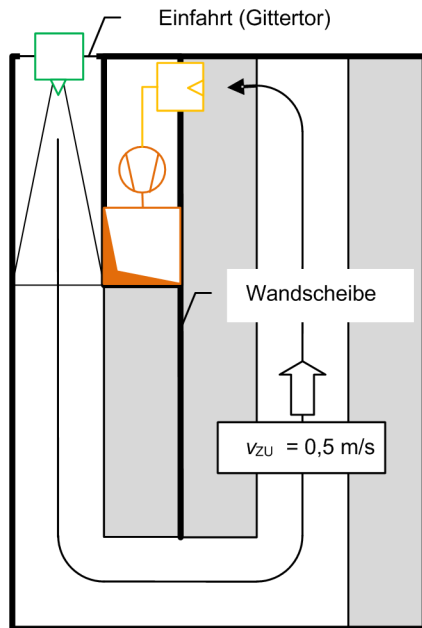


Bild 4. Beispiel für Längsströmung

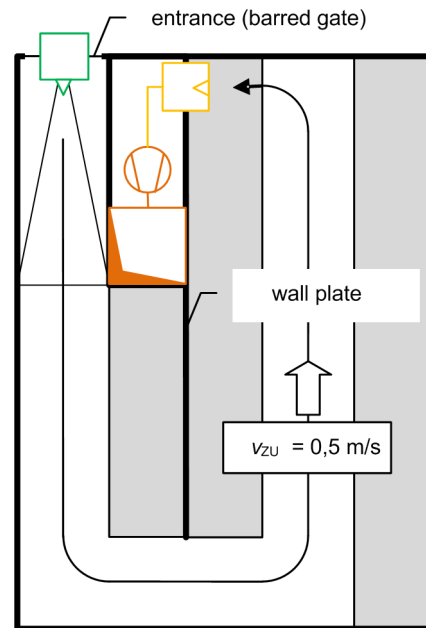


Figure 4. Example of longitudinal flow

maschinelle Abluftanlage. Jeder einzelne Jet-Ventilator hat eine durch seine Wurfweite und seine Strahlbegrenzung bestimmte Wirkfläche (siehe Bild 5). Die Größe der Wirkfläche ist abhängig von zu messenden Strömungscharakteristika des Jet-Ventilators einerseits und seiner Einbausituation in der Garage andererseits. Der Strahl kann gekennzeichnet werden durch seinen Schub, z.B. gemessen nach DIN EN ISO 13350, nach der Düsenform, z.B. runder oder eckiger Strahl, durch den Querschnitt der Düse und die Austrittsgeschwindigkeit. Die Strahlausbreitung in der Garage ergibt sich dann unter Berücksichtigung der Strahlform, Freistrahler oder Wandstrahl, unter Berücksichtigung der Einbaulage und der Raumhöhe sowie unter Berücksichtigung insbesondere der anzusetzenden Rauigkeit der Hüllflächen des Strahls (u. a. abhängig von der Deckenfläche, z.B. installationsfrei oder voll mit Installationen belegt, und der Höhe parkender Fahrzeuge, Stützenanordnung).

Jet-Ventilationssysteme müssen so geplant und ausgeführt werden, dass die Mischung und damit die Homogenisierung des Konzentrationsfelds gewährleistet ist.

5.1.1.4 Weitere Hinweise

Falls innerhalb der Garage räumlich abgetrennte Stellplätze (Boxen) ausgeführt sind, müssen diese mit einem freien Querschnitt von $0,15 \text{ m}^2$ zur Fahrspur hin belüftet werden.

Sofern kein rechnerischer Nachweis nach Abschnitt 4.7 geführt wird, sind für die Bemessung der Abluftanlage die Vorschriften für Garagen des jeweiligen Bundeslandes zu beachten.

system. Every single jet ventilator has an effective area determined by its range of throw and its beam limits (see Figure 5). The size of the effective area is a function of the measured flow characteristics of the jet ventilator on the one hand, and its mounting position in the car park on the other. The beam can be characterized by its thrust, e. g. measured according to DIN EN ISO 13350, by the shape of its nozzle, such as round or rectangular beam, by the cross-section of the nozzle and the output velocity. The beam propagation in the car park is then obtained taking into account the beam shape, the free beam or wall beam, taking into account the mounting position and the room height and in particular the roughness of the enveloping surfaces of the beam (inter alia depending on the ceiling surface, such as installation-free or with installations and the amount of parked vehicles, prop arrangement).

Jet ventilation systems must be designed and constructed such that the mixture and thus the homogenization of the concentration field is guaranteed.

5.1.1.4 Additional Information

If spatially separated parking plots (boxes) are present inside the car park, they must be aerated with a free cross-section of $0,15 \text{ m}^2$ towards the driving lane.

If there is no mathematical verification according to Section 4.7, the rules for car parks of each Federal State must be observed for the sizing of exhaust air system.

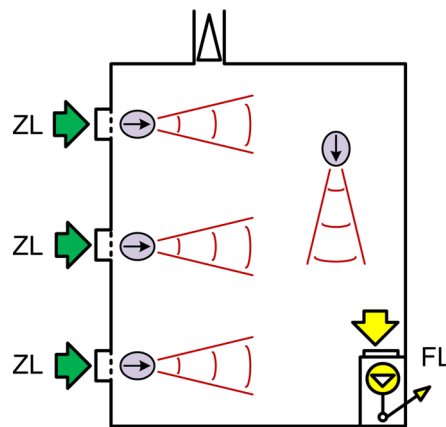


Bild 5. System mit natürlicher Zuluft, Jet-Ventilatoren und maschineller Abluft

Figure 5. System with natural air supply, jet ventilators and automatic exhaust

Bei sehr hohem Zu- und Abgangsverkehr ist in jedem Fall ein rechnerischer Nachweis erforderlich.

Soll die maschinelle Abluftanlage auch zum Zweck der Entrauchung genutzt werden, so ist der Volumenstrom aufgrund der höchsten Anforderungen zu bestimmen. Die Anlagenbauteile müssen dann für alle Anwendungsgebiete, insbesondere hinsichtlich Druck- und Temperaturbeständigkeit, geeignet sein.

5.1.2 Maschinelle Zuluft- und Abluftanlage

Eine maschinelle Lüftung kann als Kombination aus maschineller Zu- und Abluftanlage erfolgen. Die Zu- und Abluftanlage kann entweder mit dem Prinzip der Schichtlüftung oder mit Mischlüftung betrieben werden.

Eine Schichtlüftung stellt eine Variante mit einem reduzierten Luftvolumenstrom dar. Mit einem um 15 % verringerten Volumenstrom werden vergleichbare Schadstoffkonzentrationsverteilungen wie bei einer Mischlüftung erreicht.

Um eine funktionierende Schichtlüftung umsetzen zu können, müssen bestimmte Randbedingungen erfüllt werden. Sollte eine dieser Bedingungen nicht eingehalten werden können, ist eine Mischlüftung zu realisieren.

Bei einer Schichtlüftung wird die Zuluft durch Durchlässe in Bodennähe in die Garage gefördert. Die Zuluftdurchlässe sollen so angeordnet werden, dass eine gleichmäßige Schichtung über die gesamte Grundfläche der Garage erreicht wird. Die Zuluftgeschwindigkeit beträgt bei der Schichtlüftung nicht mehr als 0,2 m/s. Die Austrittsflächen müssen groß genug ausgelegt werden, um die geringen Zuluftgeschwindigkeiten einzuhalten. Durch die niedrige Luftgeschwindigkeit bildet sich eine Schicht mit Zuluftkonzentration. Die schadstoffarme Luft steigt an

At very high incoming and outgoing traffic, a mathematical verification is required in any case.

If the automatic ventilation system will also be used for the purpose of smoke extraction, the volume flow must be determined acc. to the highest demand. The system parts must then be suitable for all applications, in particular in terms of pressure and temperature resistance.

5.1.2 Automatic supply and exhaust air system

Automatic ventilation can be carried out as a combination of automatic supply and exhaust systems. The supply and exhaust system can be operated either with the principle of layer ventilation or with mixed air ventilation.

A layered ventilation represents a variant with a reduced airflow. With a volume flow decreased by 15 %, pollutant concentration distributions comparable to mixed air ventilation are achieved.

In order to implement a working layered ventilation, certain conditions must be met. If any of these conditions cannot be met, a mixed air ventilation must be implemented.

With a layered ventilation, the supply air is conveyed through passages near the car park floor. The supply air passages must be arranged so that a uniform layering across the entire car park is achieved. The supply air velocity, with the layered ventilation, is not more than 0,2 m/s. The outlet areas must be designed large enough to maintain low supply air velocity. Due to the low air speed, a layer with supply air concentration forms. The low-emission air rises upwards due to the thermal lift of the air through the heat sources present in the room. Thermal sources are pri-

den im Raum befindlichen Wärmequellen durch thermischen Auftrieb der Luft nach oben. Thermische Quellen sind vorrangig die Kraftfahrzeuge. In der Garage entsteht durch den Auftrieb eine vertikale Strömung, die eine Konzentrationsschichtung mit geringer Schadstoffkonzentration unten und erhöhter Schadstoffkonzentration oben hervorruft. Des Weiteren erzeugt die Schichtlüftung eine weitestgehend gleichmäßige horizontale Verteilung der Zuluft mit der Folge einer weitgehend gleichmäßigen horizontalen Konzentrationsverteilung.

Die Abströmöffnungen müssen sich entweder in der Decke oder in Deckennähe befinden.

Die Zulufttemperatur soll geringer als die Lufttemperatur in der Garage sein. Es kann daher keine warme Abluft aus anderen Bereichen des Gebäudes genutzt werden. Bei mehrgeschossigen Tiefgaragen muss zusätzlich sichergestellt sein, dass die schadstoffbelastete Abluft nicht als Zuluft für weitere Geschosse dient. Dazu müssen die notwendigen Abluftöffnungen in jedem Geschoss vorgesehen werden.

Die unter Abschnitt 5.1 aufgeführten technischen Anforderungen an die Anlage und deren Betrieb gelten sinngemäß für die Zuluft- und Abluftanlage. Der parallele Betrieb beider Anlagen muss sichergestellt werden.

5.2 Freie Lüftung

Der Luftaustausch zwischen dem Garagenraum und dem Außenbereich wird im Wesentlichen durch die Windkräfte, die Thermik und die Fahrbewegungen in der Garage bewirkt. Die Auslegung der Einrichtungen zur freien Lüftung, wie Lüftungsöffnungen und -schächte sowie deren Anordnung, basieren auf Erfahrungswerten.

Zur freien Lüftung von eingeschossigen geschlossenen Garagen mit geringem Zu- und Abgangsverkehr ist je Stellplatz ein freier Öffnungsquerschnitt von mindestens $0,15 \text{ m}^2$ vorzusehen. Minderungen des freien Querschnitts durch Wetterschutzgitter, Abdeckroste o.Ä., sind zu berücksichtigen. Die Öffnungen sind an Decken und Wänden so anzuordnen, dass ihre Abstände untereinander 20 m nicht überschreiten.

Zur Vermeidung von ungelüfteten Bereichen soll der Abstand von Lüftungsöffnungen bzw. -schächten zur abschließenden Wand hin nicht mehr als 10 m betragen. Trennwände, z.B. Wandscheiben, dürfen den Luftaustausch nicht behindern.

Bis zu einer Garagenbreite von 20 m (was zwei gegenüberliegende Stellplätze einschließlich Fahrgasse ermöglicht) genügt die einseitige Anordnung der Lüftungsöffnungen an einer Längswand. Die Lüftung kann über direkte Öffnungen in Wänden und Decken oder über horizontale oder vertikale Schächte erfol-

marily motor vehicles. A vertical flow is produced in the car park by the thermal lift, which causes a concentration stratification with a low pollutant concentration below, and an increased pollutant concentration above. Furthermore, the layered ventilation produces a largely uniform horizontal distribution of the incoming air, resulting in a largely uniform horizontal concentration distribution.

The discharge openings must be located either in the ceiling or near the ceiling.

The supply air temperature should be lower than the air temperature in the car park. Therefore, no warm exhaust air from other areas of the building can be used. In multi-storey car parks it must be additionally ensured that the pollution-charged exhaust air is not used as supply air for other floors. For this purpose, the necessary exhaust vents must be provided on each floor.

The technical requirements for the facility and its operation mentioned in Section 5.1 shall apply to the supply and exhaust air system accordingly. It is necessary to ensure parallel operation of the two systems.

5.2 Free ventilation

The exchange of air between the car park space and the outdoor space is mainly caused by the wind forces, the thermal conditions and the driving movements in the car park. The design of facilities for free ventilation, such as air vents and shafts, and their arrangement, is based on experience.

For free ventilation of single-storey, closed car parks with low entry and exit traffic, a free opening cross-section of at least $0,15 \text{ m}^2$ must be provided per parking space. Reductions of the free cross-section through grilles, cover grilles or similar must be taken into account. The openings must be arranged on ceilings and walls so that their distances between them do not exceed 20 m.

To avoid unventilated areas, the distance from the ventilation openings or shafts to the last wall must not be more than 10 m. Partition walls, such as wall plates, must not hinder the air exchange.

Up to a car park width of 20 m (which allows two opposite parking spaces including driving lane), the one-sided arrangement of ventilation openings on one longitudinal wall is enough. The ventilation can be done via direct openings in walls and ceilings, or via horizontal or vertical shafts (see Figure 6). Ex-

gen (siehe Bild 6). Aus Erfahrung hat sich die freie Lüftung bei obiger Anordnung der Öffnungen bewährt. Andere Anordnungen bedürfen der Beurteilung durch Sachverständige und gegebenenfalls der entsprechenden Nachweise durch Messungen; dies gilt auch für Garagen mit regem Zu- und Abgangsverkehr.

Sind die Schächte insgesamt länger als 2 m, so ist der Schachtquerschnitt zu verdoppeln (siehe Bild 7). Falls das Garagengeschoß im zweiten Untergeschoß oder tiefer liegt, bedarf es ebenfalls einer Beurteilung durch Sachverständige.

Prinzipbedingt kann es bei freier Garagenlüftung im Bereich der Mündungen der Lüftungsöffnungen zu Lärm- bzw. Abgasemissionen kommen. Deshalb ist auf ausreichende Abstände zu Fenstern, Terrassen, Kinderspielflächen o. Ä. zu achten. Abschnitt 4.3 enthält hierzu weiterführende Angaben.

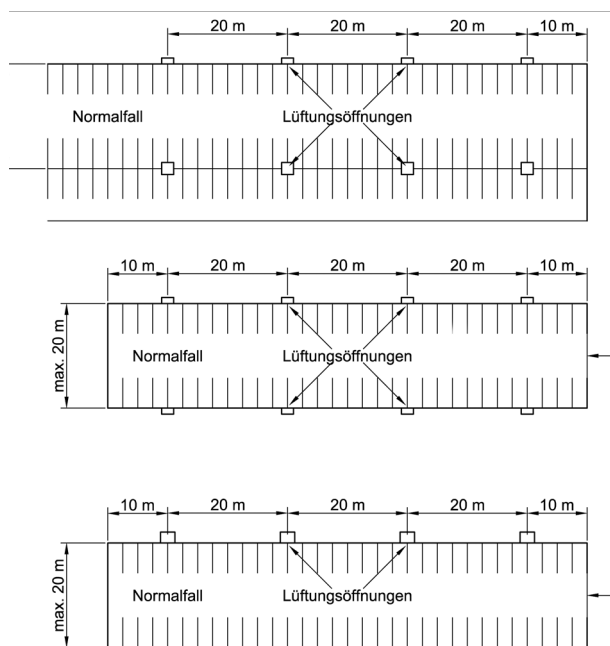


Bild 6. Anordnung der Öffnungen zur freien Lüftung

perience has proved the free ventilation with the above arrangement of the openings. Other arrangements are matters of judgment by experts and, where appropriate, the relevant evidence through measurements; this also applies to car parks with large entry and exit traffic.

If the total length of shafts is more than 2 m, the shaft cross-section must be doubled (see Figure 7). If the car park floor is located in the second basement or lower, it also requires an assessment by experts.

Due to the principle there may be noise and exhaust emissions with free garage ventilation in the area of the ventilation openings. Therefore, adequate clearances to windows, patios, playgrounds or similar must be ensured. Section 4.3 contains further details in this regard.

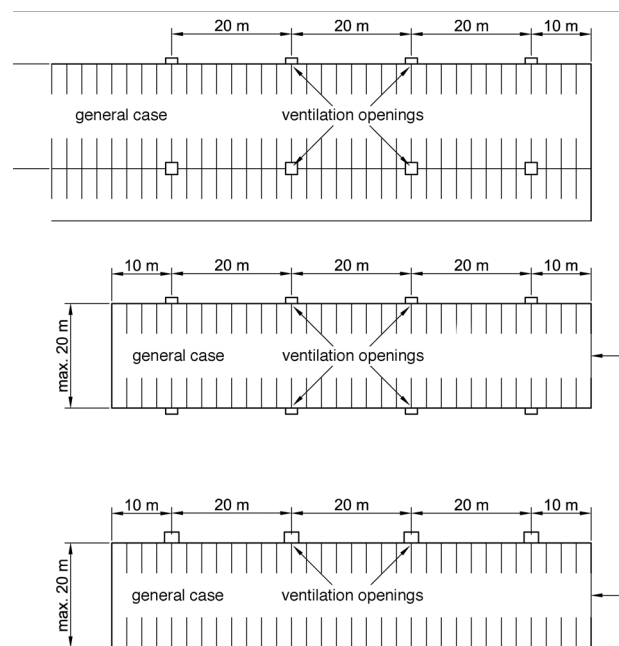


Figure 6. Arrangement of the openings for free ventilation

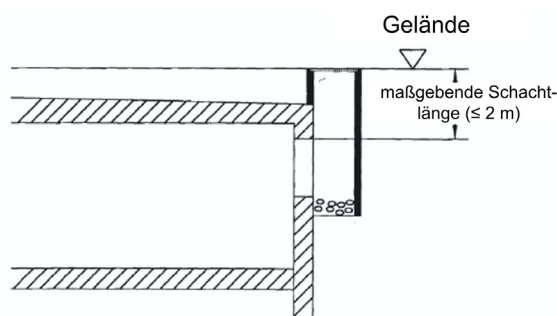
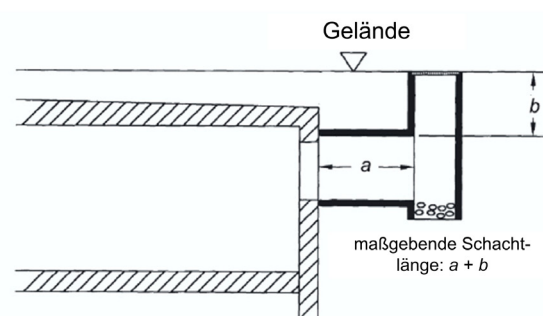


Bild 7. Öffnungen zur freien Lüftung



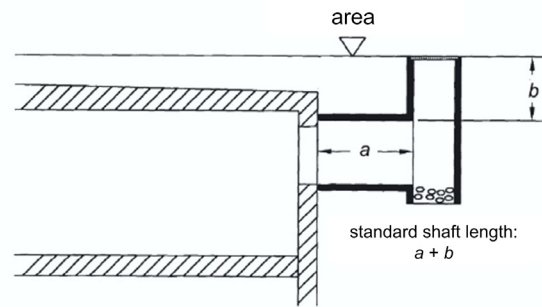
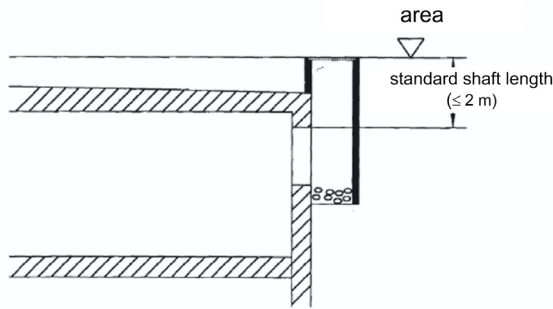


Figure 7. Openings for free ventilation

6 CO-Überwachungsanlage

Dieser Abschnitt behandelt die Mindestanforderungen an die CO-Überwachungsanlagen in Garagen.

Überwachungsanlagen bestehen aus einem Messsystem zur Messung der CO-Konzentration, Grenzwertschaltern und nachgeschalteten Einrichtungen, wie gegebenenfalls Warneinrichtungen, Regelungseinrichtungen oder Steuerungen. Optional können auch Messstellen und Sensoren für andere Gase vorhanden sein.

Die Aufgabe der CO-Überwachungsanlage ist die Kontrolle der in Abschnitt 4.5 genannten CO-Grenzwerte, die Warnung bei deren Überschreitung und/oder die Steuerung der maschinellen Lüftung zur Minderung der Schadstoffkonzentration. Weiterhin kann die CO-Überwachungsanlage im Gefahrenfall Warneinrichtungen steuern und geeignete Maßnahmen zur Reduzierung der Schadstoffkonzentration einleiten. Die jeweils örtlich gültigen Vorschriften und technischen Regeln sind zu beachten.

6.1 Grundlagen und Erläuterungen

6.1.1 Überwachungsabschnitt

Der Überwachungsabschnitt ist ein räumlicher Teil einer Garage, innerhalb dem weitgehend freie Durchmischung der Raumluft aufgrund der baulichen Gegebenheiten sichergestellt ist. Ein Überwachungsabschnitt soll nicht mehr als 400 m² an Garagengrundfläche aufweisen. Jedem Überwachungsabschnitt ist mindestens eine Messstelle zuzuordnen. Geschlossene Zu- und Abfahrtswege können einen eigenen Überwachungsabschnitt darstellen.

In jedem Überwachungsabschnitt ist durch geeignete Positionierung der Messstellen die Einhaltung der CO-Grenzwerte sicherzustellen.

6.1.2 Messsystem

Das Messsystem ist eine Einrichtung zur Bestimmung der CO-Konzentration im Überwachungsabschnitt in der Garage.

6 CO surveillance system

This section covers the minimum requirements for CO monitoring systems in car parks.

Monitoring systems consist of a measurement system for measuring the CO concentration, limit switches and downstream facilities, such as optional warning devices, control devices or controllers. Optional measuring points and sensors for other gases may be present.

The task of the CO monitoring system is controlling of CO-limits referred to in Section 4.5, warning when those are exceeded, and/or control of automatic ventilation to reduce the concentration of pollutants. Furthermore, the CO monitoring system can, in the event of danger, control warning devices and take appropriate measures to reduce the pollutant concentration. The locally valid regulations and technical rules must be observed.

6.1 Fundamentals and notes

6.1.1 Monitoring section

The monitoring section is a spatial part of a car park, within which the largely free mixing of the room air is ensured due to the structural conditions. A monitoring section should not exceed 400 m² of the car park surface. At least one measuring point must be assigned to each monitoring section. Closed access and exit routes may constitute a separate monitoring section.

In each monitoring section the compliance with the CO limits must be ensured by appropriate positioning of measuring points.

6.1.2 Measurement system

The measuring system is a system for determining the CO concentration in the monitoring section in the car park.

Ein Messsystem besteht entweder aus einem oder mehreren CO-Sensoren, die an den Messstellen montiert sind. Das Messsignal der CO-Sensoren wird zu einem zentralen CO-Messgerät übertragen.

Bei ansaugenden Systemen sind als Messstellen Ansaugfiltereinheiten montiert, die über Rohrleitungen direkt oder über einen Probenentnahme-Umschalter an ein CO-Konzentrationsmessgerät angeschlossen sind. Der Probenentnahme-Umschalter (Selektor) ist ein Gerät mit der Aufgabe, bei Vorliegen mehrerer Ansaugfiltereinheiten Luftproben über Leitungen innerhalb einer gewissen Zykluszeit dem nachgeschalteten CO-Konzentrationsmessgerät zuzuführen. Eine Umschaltung von einer auf die andere Messstelle darf frühestens nach Ablauf der Einstellzeit t_{90} nach DIN EN 50545-1*VDE 0400-80 des jeweiligen Messsystems erfolgen. Bei der Ermittlung der Anstiegszeit ist die Ansaugzeit in den Rohrleitungen mit zu berücksichtigen.

Die Zykluszeit ist die Zeitspanne für einen Umlauf des Probenentnahme-Umschalters bzw. die Abfrage aller am CO-Messgerät angeschlossenen Sensoren eines Überwachungsabschnitts.

6.2 Mindestanforderungen an das Messsystem

6.2.1 CO-Messgerät

Das CO-Messgerät muss mindestens die nachfolgend genannten Anforderungen erfüllen.

Für die Beurteilung von CO-Messgeräten sowie der angeschlossenen Sensoren ist DIN EN 50545-1*VDE 0400-80 zu beachten.

6.2.1.1 Standard-Umgebungsbedingungen für Prüfgase

Die allgemeinen Anforderungen beziehen sich auf konstante Umgebungsbedingungen in Luft. Diese Bedingungen sind, sofern nicht anders angegeben:

- Temperatur: konstant auf ± 2 °C innerhalb des Bereichs von 15 °C bis 25 °C
- relative Feuchte: konstant auf ± 10 % relative Feuchte innerhalb des Bereichs von 20 % bis 80 % relative Feuchte
- Druck: konstant auf ± 1 kPa innerhalb des Bereichs von 86 kPa bis 108 kPa

6.2.1.2 Prüfgas zur Messgeräteprüfung/Kalibrierung

Als Standardprüfgas zur Funktionsprüfung ist Luft mit einer Kohlenmonoxidkonzentration von 275 ppm ± 5 % zu verwenden.

A measuring system consists of one or more CO sensors, which are mounted at measuring points. The measurement signal of the CO sensors is transmitted to a central CO measurement device.

In aspirating systems intake filters are mounted as measuring points that are connected to a CO concentration meter via pipelines directly or through a sampling switch. The sampling switch (selector) is a device with the task of supplying air samples via lines within a certain cycle time to supply to the downstream CO concentration measuring device in the presence of several intake filters. A switch from one to the other measurement point shall take place at the earliest after the response time t_{90} acc. to DIN EN 50545-1*VDE 0400-80 of the respective measurement system. When determining the rise time, the intake time in the pipes must be considered.

The cycle time is the time for a circulation of sampling switch, or the query of all sensors connected to the CO measuring device in a monitoring section.

6.2 Minimum requirements for the measurement system

6.2.1 CO measuring device

The CO measuring instrument shall meet at least the requirements listed below.

For the assessment of CO measurement devices and the connected sensors, DIN EN 50545-1*VDE 0400-80 must be considered.

6.2.1.1 Standard environmental conditions for test gases

The general requirements relate to constant ambient conditions in the air. These conditions are, unless stated otherwise:

- temperature: constant at ± 2 °C within the range of 15 °C to 25 °C
- relative humidity: constant at ± 10 % relative humidity within the range of 20 % to 80 %
- pressure: constant ± 1 kPa within the range of 86 kPa to 108 kPa

6.2.1.2 Test gas for testing/calibration of measuring instruments

As standard test gas for functional testing, use air with a carbon monoxide concentration of 275 ppm ± 5 %.

Zur Kalibrierung ist Luft mit einer Kohlenmonoxidkonzentration von 100 ppm ± 10 % zu verwenden.

Die Volumenkonzentration des Prüfgases muss auf ± 2 % bekannt sein.

6.2.1.3 Einstellzeit t_{90}

Die Einstellzeit t_{90} ist die Zeitspanne zwischen dem Zeitpunkt eines sprunghaften Volumenkonzentrationsanstiegs bei Aufgabe von Standardprüfgas am Sensoreingang des Geräts in angewärmtem Zustand und dem Zeitpunkt, an dem die Änderung des Messsignals 90 % des Endwerts erreicht.

6.2.2 Messstellenanordnung

Die CO-Messstellen sind in geeigneter Höhe oberhalb von 1,50 m über dem Boden anzubringen. Der Schutz vor Manipulation und Beschädigung, aber auch die Erreichbarkeit zu Kalibrierung/Filterwechsel sind dabei zu berücksichtigen.

Die räumliche Anordnung der Messstellen im Überwachungsabschnitt ist unter Berücksichtigung der Lage der Einblas- und Absaugöffnungen der Lüftungsanlage, der baulichen Gegebenheiten und der Art des zu erwartenden Fahrverkehrs zu treffen. Die Messstellen sollen etwa in der Mitte des jeweiligen Überwachungsabschnitts angebracht werden. Messstellen dürfen nicht in der Nähe von Zuluftauslässen angebracht werden. Anbringungsorte unmittelbar hinter den einzelnen Parkflächen und mitten über Hauptfahrspuren sind nach Möglichkeit zu vermeiden.

6.3 Funktionskontrolle und Inspektion der Überwachungsanlage

6.3.1 Wiederkehrende Funktionskontrolle

Jede Überwachungsanlage ist mindestens einmal im Vierteljahr einer Funktionskontrolle zu unterziehen, wobei eine Warnfallsimulation und gegebenenfalls eine Erneuerung der Filter der Probenentnahme-Einrichtungen vorzunehmen sind. Diese Funktionskontrolle kann vom Betreiber durchgeführt werden.

6.3.2 Wartung und Inspektion

Mindestens einmal im Jahr ist eine Wartung und Inspektion der Überwachungsanlage entsprechend den Angaben des Herstellers vorzunehmen. Die Überprüfungen sind von fachkundigen Personen durchzuführen. Die Kalibrierung des CO-Messgeräts ist mit Prüfgas für 0 ppm und für einen Wert gemäß Abschnitt 6.2.1.2 vorzunehmen.

For calibration, use air with a carbon monoxide concentration of 100 ppm of ± 10 %.

The volume concentration of test gas must be known to ± 2 %.

6.2.1.3 Response time t_{90}

The response time t_{90} is the timeframe between the sudden increase in volume concentration when the standard test gas reaches the sensor input of the device in the heated state, and the time when the change of the measurement signal reaches 90 % of the final value.

6.2.2 Arrangement of measuring points

The CO measurement points shall be installed at a suitable height above 1,50 m above the ground. Protection against tampering and damage, but also accessibility of the calibration/filter changes must be considered thereby.

The spatial arrangement of measuring points in the monitoring section must be made taking into account the location of the intake and exhaustion vents of the ventilation system, the structural conditions and the nature of the expected traffic. The measuring points are to be mounted approximately in the middle of the respective monitoring section. Measuring points may not be fitted near supply air outlets. Mounting locations directly behind the individual parking spaces and over the middle of the main lanes must be avoided if possible.

6.3 Function control and inspection of the monitoring system

6.3.1 Recurring function test

Each monitoring system shall be subjected to a performance check at least once a quarter, whereas an accident simulation and, where appropriate, a renewal of the filters of the sampling equipment must be made. This function check can be performed by the operator.

6.3.2 Inspection and maintenance

At least once a year a maintenance and inspection of the monitoring system must be performed according to the manufacturer's specifications. The inspections must be carried out by competent personnel. The calibration of the CO measurement device should be carried out with test gas for 0 ppm and for a value according to Section 6.2.1.2.

6.3.3 Prüfprotokoll

Zum Nachweis über durchgeführte Funktionskontrollen gemäß Abschnitt 6.3.1 und Inspektion gemäß Abschnitt 6.3.2 ist ein Prüfprotokoll zu führen. Im Prüfprotokoll müssen die vorgenommenen Funktionskontrollen und Kalibrierungen vollständig dokumentiert sein.

6.4 Betriebssicherheit der Überwachungsanlage

Eine Betriebsstörung (z. B. unzureichende Gasförderung, Ausfall des Selektors) der Überwachungsanlage muss durch eine Störungsblinklampe angezeigt werden. Eine Betriebsstörung der Überwachungsanlage muss den Betrieb der Raumluftechnischen Anlagen (falls vorhanden) auf höchstmöglicher Leistungstufe bzw. unter für den Störfall festgelegten Bedingungen bewirken.

Bei Stromausfall ist die Überwachungsanlage mit einer Ersatzstromquelle zu versorgen. Optische Warnanzeigen (Warnblinkleuchten, Leuchtpiktogramme) müssen bei Stromausfall für mindestens eine Stunde ständig in Betrieb bleiben.

6.5 Warneinrichtungen

Überschreitet der Messwert eines Überwachungsabschnitts den zulässigen Grenzwert von 60 ppm (siehe Abschnitt 4.5) oder den Spitzenwert von 120 ppm, so sind die Warneinrichtungen in Funktion zu setzen. Spitzenwerte von 120 ppm unterhalb von zwei Minuten Dauer können unberücksichtigt bleiben. Bei Altanlagen können auch 250 ppm Augenblickswerte ohne Verzögerungszeit stattdessen genutzt werden. Abweichend davon sind die Angaben der öffentlich-rechtlichen Vorschriften bezüglich der Grenzwerte und Warnungen vorrangig zu berücksichtigen.

Folgende Warnungen sollen durchgeführt werden:

- **optische Warnanzeigen**
Je 500 m² Garagenfläche soll eine Warnblinkleuchte bzw. ein geeignetes Leuchtpiktogramm vorgesehen werden, das allgemein sichtbar am Hauptfahrweg anzubringen ist.
- **Im Aufenthaltsraum** einer ständigen Garagenaufsicht muss eine Warnblinkleuchte bzw. ein geeignetes Leuchtpiktogramm vorhanden sein. Wenn keine ständige Garagenaufsicht vorhanden ist, ist im Einzelfall zu entscheiden, ob und wohin die Alarmer einer Aufsicht zusätzlich angezeigt werden.
- **akustische Warnungen**
Im Einzelfall ist zu prüfen, ob zur Unterstützung der optischen Warnanzeigen akustische Signale zu schalten sind. Akustische Warnsignale müssen quittierbar sein bzw. nach zwei Minuten selbstständig abschalten.

6.3.3 Test protocol

For proof of function tests performed in accordance with Section 6.3.1 and inspection in accordance with Section 6.3.2 a test report must be kept. In the test report, the function checks and calibrations performed must be fully documented.

6.4 Reliability of the monitoring system

A system malfunction (e.g. insufficient gas supply, failure of selectors) of the monitoring system must be indicated by a flashing lamp. A malfunction of the monitoring system must cause the ventilation systems (if any) to function at the highest possible performance level, or trigger the conditions specified for the accident.

In case of power failure, the monitoring system must be powered with a backup power source. Optical warning lights (flashing warning lights, illuminated pictograms) must remain in continuous operation for at least an hour during power failure.

6.5 Warning devices

If the measured value of a monitoring section exceeds the permissible limit of 60 ppm (see Section 4.5) or the peak value of 120 ppm, the warning devices must be set in function. Peak values of 120 ppm or less than two minutes may be disregarded. For old systems, 250 ppm instantaneous values without delay time can be used instead. Information of the public law regulations regarding limit values and warnings must be given priority.

The following warnings should be executed:

- **optical warning indicators**
For each 500 m² of the car park area a flashing warning light or suitable light pictogram must be provided, visibly attached on the main drive lane.
- **In the stay area** of a permanent car park supervision a flashing warning light or suitable light pictogram must be present. If no permanent car park supervision is present, it must be decided in each individual case whether and where alerts will be displayed in addition to the supervision.
- **acoustical warnings**
It must be considered in each individual case whether acoustic signals will be used to support the visual warning. Audible warning signals shall be acknowledged or shut itself off after two minutes.

7 Abnahme und Prüfungen

Zusätzlich zur vertraglichen Abnahme müssen nach den bauordnungsrechtlichen Vorschriften der Länder die maschinellen Lüftungsanlagen und CO-Warnanlagen durch bauaufsichtlich anerkannte Prüfsachverständige einer Prüfung auf ihre Wirksamkeit und Betriebssicherheit unterzogen werden. Für die Durchführung der Prüfungen und die Erstellung der Prüfberichte gelten besondere Prüfgrundsätze der Länder auf der Basis einer Mustervorschrift. Darin sind die durchzuführenden technischen Prüfungen und die Dokumentation im Prüfbericht beschrieben. Die Prüfungen sind bei Neuanlagen und in regelmäßigen Zeitabständen (nach Ländervorschrift) durchzuführen.

8 Betrieb

Wartungs- und Inspektionsarbeiten an Lüftungsanlagen für Garagen sind erforderlich und können z.B. nach Einheitsblatt VDMA 24186-0 und -1 durchgeführt werden. Die Betriebsanweisungen der Hersteller sind zu beachten. Hinweise zum Betreiben sind in der Richtlinienreihe VDI 3810 gegeben.

Die Instandhaltung der RLT-Anlagen umfasst die regelmäßige Kontrolle der technischen Geräte, die Überprüfung und Wartung der CO-Überwachungsanlage und die Kontrolle der Schaltstufen für die Auslösung der Alarmer und Lüfterbetriebsweise.

Sämtliche Sicherheitsorgane, wie Luftstromüberwachung, optische und akustische Störsignale, CO-Überwachungsanlage, optische und akustische Warnanzeigen usw., sind jährlich auf Funktion zu prüfen. Die CO-Überwachungsanlagen müssen dabei kalibriert und gegebenenfalls justiert werden.

Anhang Beispielrechnungen für Wohnhausgarage und öffentliche Garage

A1 Wohnhausgarage – maschinelle Abluftanlage

Die in Bild A1 dargestellte Garage mit den Abschnitten A und B sowie den Stellplatzanzahlen

$z_{SP\ A} = 168$ in Abschnitt A

$z_{SP\ B} = 104$ in Abschnitt B

weist folgende Fahrstrecken auf:

$s_{\text{Einfahrt}} = 42\text{ m}$ für die Abschnitte A und B

$s_{\text{Stellplatz, A}} = 134\text{ m}$ für den Abschnitt A

$s_{\text{Stellplatz, B}} = 156\text{ m}$ für den Abschnitt B

$s_{\text{Ausfahrt}} = 40\text{ m}$ für die Abschnitte A und B

7 Approval and testing

In addition to the contractual acceptance, the automatic ventilation systems and CO warning devices must be inspected by certified testing engineers for their efficiency and security in accordance with the building regulations of the Federal States. For carrying out the tests and the preparation of audit reports, special testing requirements of the Federal States based on a model regulation shall apply. The technical tests to be carried out and the test report documentation are described there. For new systems, the tests shall be conducted at regular intervals (according to the Federal States' regulations).

8 Operation

Maintenance and inspection work on ventilation systems for car parks are required and can be done for example acc. to the specification VDMA 24186-0 and -1. The manufacturer's instructions are to be followed. Operation directions are given in the series of standards VDI 3810.

The maintenance of VAC systems includes regular monitoring of technical devices, review and maintenance of the CO monitoring system, and the control of switching stages for triggering the alarm and ventilator operation.

All safety devices such as air current monitoring, optical and acoustic warnings, CO monitoring system, etc. must be checked annually for proper function. The CO monitoring systems must be calibrated and adjusted, if necessary.

Annex Example calculations for residential car park and public car park

A1 Residential car park – automatic exhaust air system

The car park shown in Figure A1 with sections A and B, as well as with the parking space numbers

$z_{SP\ A} = 168$ in section A

$z_{SP\ B} = 104$ in section B

has the following driving lanes:

$s_{\text{Einfahrt}} = 42\text{ m}$ for sections A and B

$s_{\text{Stellplatz, A}} = 134\text{ m}$ for section A

$s_{\text{Stellplatz, B}} = 156\text{ m}$ for section B

$s_{\text{Ausfahrt}} = 40\text{ m}$ for sections A and B

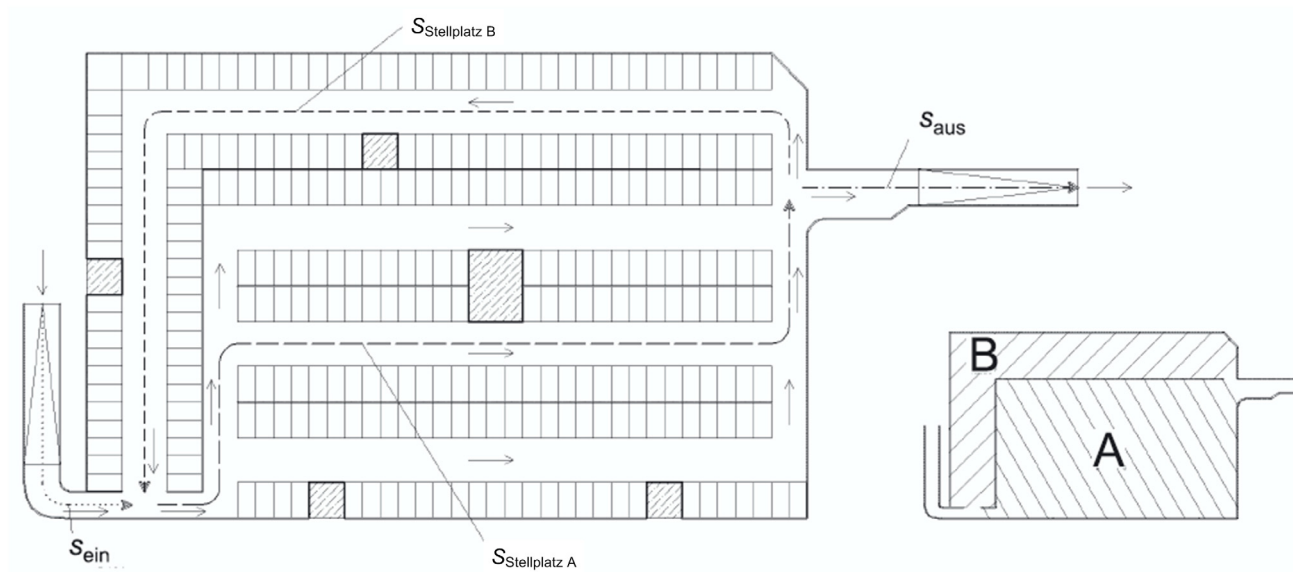


Bild A1. Beispiel – Garagengrundriss einer Wohnhausgarage

Figure A1. Example – car park ground plan of a residential car park

Betrachtet wird das morgendliche Ausfahren; es fahren zu dieser Zeit keine Fahrzeuge in die Garage ein. Es wird eine Querlüftung angenommen.

Für die Fahrzeuge im Abschnitt A kann die mittlere Fahrstrecke s_{aus} unter Berücksichtigung der Fahrstrecke $s_{\text{Parken}} = 10 \text{ m}$ für das Ausparken abgeschätzt werden zu:

$$\begin{aligned} s_{\text{aus,A}} &= s_{\text{Ausfahrt}} + \frac{s_{\text{Stellplatz A}}}{2} + s_{\text{Parken}} \\ &= \left(40 + \frac{134}{2} + 10\right) \text{m} = 117 \text{m} \end{aligned}$$

Exiting in the morning is considered; at that time no vehicles enter the car park. A cross-ventilation is assumed.

For the vehicles in section A, the average distance s_{ex} can be estimated for exiting taking into account the travel distance $s_{\text{Parken}} = 10 \text{ m}$:

$$\begin{aligned} s_{\text{aus,A}} &= s_{\text{Ausfahrt}} + \frac{s_{\text{Stellplatz A}}}{2} + s_{\text{Parken}} \\ &= \left(40 + \frac{134}{2} + 10\right) \text{m} = 117 \text{m} \end{aligned}$$

Die Ermittlung der CO-Emission \dot{V}_{CO} für die in der Garage bewegten Fahrzeuge erfolgt allgemein nach Gleichung (3); da in diesem Beispiel aber nur die Ausfahrt der Fahrzeuge betrachtet wird, entfällt $E_{\text{CO,warm}}$ und die Gleichung vereinfacht sich unter Beachtung der Indizes für den Abschnitt A zu:

$$\dot{V}_{\text{CO,kalt,A}} = \frac{f_{\text{SP}} \cdot z_{\text{SP}}}{\rho_{\text{CO}}} \cdot E_{\text{CO,kalt,A}}$$

Der Auslastungsfaktor wird mit $f_{\text{SP}} = 0,6 \text{ h}^{-1}$ für geringen Zu- und Abgangsverkehr gewählt; das heißt, für die vorliegende Wohnhausgarage liegt die Parkdauer je Stellplatz zur Ermittlung des notwendigen Außenluftstroms bei 100 min.

Die Dichte von Kohlenmonoxid wird im Beispiel mit

$$\rho_{\text{CO}} = 1,16 \cdot 10^3 \frac{\text{g CO}}{\text{m}^3}$$

für 20 °C und 101,325 kPa angenommen.

The determination of CO emission \dot{V}_{CO} of the vehicles driving in the car park is generally performed according to Equation (3); as in this example only the exit of the vehicles is considered, $E_{\text{CO,warm}}$ is omitted and the equation is simplified with respect to the indices for the section A:

$$\dot{V}_{\text{CO,kalt,A}} = \frac{f_{\text{SP}} \cdot z_{\text{SP}}}{\rho_{\text{CO}}} \cdot E_{\text{CO,kalt,A}}$$

The utilization factor is selected with $f_{\text{SP}} = 0,6 \text{ h}^{-1}$ for low incoming and outgoing traffic; that is, for the present residential car park the parking duration per parking space for the determination of the required outdoor air flow is 100 min.

The density of carbon monoxide in the example is assumed to be

$$\rho_{\text{CO}} = 1,16 \cdot 10^3 \frac{\text{g CO}}{\text{m}^3}$$

for 20 °C and 101,325 kPa.

Die Stellplatzanzahl im Abschnitt A ist $SP_A = 168 \equiv 168 \text{ FZ}$, wobei FZ die auf die Stellplätze SP angewiesene Anzahl von Fahrzeugen gemäß Vorgabe ist.

Für die vorgegebene mittlere Fahrstrecke von 117 m errechnet sich der Emissionsfaktor mit:

$$\begin{aligned} E_{\text{CO,kalt,A}} &= 0,89 \cdot s_{\text{aus,A}}^{0,49} \\ &= (0,89 \cdot 117^{0,49}) \frac{\text{g CO}}{\text{FZ}} = 9,179 \frac{\text{g CO}}{\text{FZ}} \end{aligned}$$

Damit ergibt sich die CO-Emission $\dot{V}_{\text{CO,kalt,A}}$ für den Garagenabschnitt A zu:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{\text{CO,kalt,A}} &= \frac{0,6 \cdot 168}{1,16 \cdot 10^3} \cdot 9,179 \frac{\text{m}^3 \text{CO}}{\text{h}} \\ &= \left(0,798 \frac{\text{m}^3 \text{CO}}{\text{h}}\right) \end{aligned}$$

Die Fahrzeuge im Abschnitt B der Garage müssen, bedingt durch die Verkehrsführung, den mittleren Weg zurücklegen:

$$\begin{aligned} s_{\text{aus,B}} &= s_{\text{Ausfahrt}} + \frac{s_{\text{Stellplatz,B}}}{2} + s_{\text{Stellplatz,A}} + s_{\text{Parken}} \\ &= \left(40 + \frac{156}{2} + 134 + 10\right) \text{m} = 262 \text{ m} \end{aligned}$$

Mit den Rechenansätzen wie vor ergeben sich:

$$\begin{aligned} E_{\text{CO,kalt,B}} &= 0,89 \cdot s_{\text{aus,B}}^{0,49} \\ &= (0,89 \cdot 262^{0,49}) \frac{\text{g CO}}{\text{FZ}} = 0,733 \frac{\text{m}^3 \text{CO}}{\text{h}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{V}_{\text{CO,kalt,B}} &= \frac{0,6 \cdot 104}{1,16 \cdot 10^3} \cdot 13,626 \frac{\text{m}^3 \text{CO}}{\text{h}} \\ &= 0,733 \frac{\text{m}^3 \text{CO}}{\text{h}} \end{aligned}$$

Mit den CO-Emissionen

$$\dot{V}_{\text{CO}} = \dot{V}_{\text{CO,kalt}} = \dot{V}_{\text{CO,kalt,A}} + \dot{V}_{\text{CO,kalt,B}}$$

sowie der Auslegungs-CO-Konzentration in der Garage gemäß Abschnitt 4.5 mit
 $\text{CO}_{\text{Ausl}} = 60 \text{ ppm} \equiv 60 \text{ cm}^3 \text{ CO/m}^3$
 und einer angesetzten CO-Vorbelastung der Außenluft

The number of parking spaces in section A is $SP_A = 168 \equiv 168 \text{ FZ}$, where FZ is the number of vehicles assigned to the parking lots SP in accordance with specifications.

For the given average driving distance of 117 m, the emission factor is calculated with:

$$\begin{aligned} E_{\text{CO,kalt,A}} &= 0,89 \cdot s_{\text{aus,A}}^{0,49} \\ &= (0,89 \cdot 117^{0,49}) \frac{\text{g CO}}{\text{FZ}} = 9,179 \frac{\text{g CO}}{\text{FZ}} \end{aligned}$$

Thus, the CO emission $\dot{V}_{\text{CO,kalt,A}}$ for the car park section A will be:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{\text{CO,kalt,A}} &= \frac{0,6 \cdot 168}{1,16 \cdot 10^3} \cdot 9,179 \frac{\text{m}^3 \text{CO}}{\text{h}} \\ &= \left(0,798 \frac{\text{m}^3 \text{CO}}{\text{h}}\right) \end{aligned}$$

The vehicles in section B of the car park, due to the traffic management, must cover the middle path:

$$\begin{aligned} s_{\text{aus,B}} &= s_{\text{Ausfahrt}} + \frac{s_{\text{Stellplatz,B}}}{2} + s_{\text{Stellplatz,A}} + s_{\text{Parken}} \\ &= \left(40 + \frac{156}{2} + 134 + 10\right) \text{m} = 262 \text{ m} \end{aligned}$$

With the calculation methods as above, the results are:

$$\begin{aligned} E_{\text{CO,kalt,B}} &= 0,89 \cdot s_{\text{aus,B}}^{0,49} \\ &= (0,89 \cdot 262^{0,49}) \frac{\text{g CO}}{\text{FZ}} = 0,733 \frac{\text{m}^3 \text{CO}}{\text{h}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{V}_{\text{CO,kalt,B}} &= \frac{0,6 \cdot 104}{1,16 \cdot 10^3} \cdot 13,626 \frac{\text{m}^3 \text{CO}}{\text{h}} \\ &= 0,733 \frac{\text{m}^3 \text{CO}}{\text{h}} \end{aligned}$$

With the CO emissions

$$\dot{V}_{\text{CO}} = \dot{V}_{\text{CO,kalt}} = \dot{V}_{\text{CO,kalt,A}} + \dot{V}_{\text{CO,kalt,B}}$$

and the design CO concentration in the car park under Section 4.5 with
 $\text{CO}_{\text{Ausl}} = 60 \text{ ppm} \equiv 60 \text{ cm}^3 \text{ CO/m}^3$
 and an imposed CO pre-load of the outside air

$CO_{\text{außen}} = 0$ ppm gemäß Abschnitt 4.7
(angenommen wird ein Wohngebiet mit
geringer Verkehrsbelastung) errechnet man
den erforderlichen Außenluftstrom
 $\dot{V}_{\text{außen}}$ entsprechend Gleichung (4) zu:

$$\begin{aligned}\dot{V}_{\text{außen}} &= \frac{\dot{V}_{\text{CO}}}{CO_{\text{Ausl}} - CO_{\text{außen}}} \cdot f_G \\ &= \frac{\dot{V}_{\text{CO,kalt,A}} + \dot{V}_{\text{CO,kalt,B}}}{CO_{\text{Ausl}} - CO_{\text{außen}}} \cdot f_G\end{aligned}$$

Bei diesem Beispiel wird vorausgesetzt, dass die
Luftführung sorgfältig ausgelegt (Nachweis liegt
vor) ist und deshalb mit einem Faktor $f_G = 1,25$ ge-
rechnet werden kann.

$$\begin{aligned}\dot{V}_{\text{außen}} &= \left(\frac{0,798 + 0,733}{60 - 0 \cdot 10^{-6}} \cdot 1,25 \right) \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \\ \dot{V}_{\text{außen}} &\approx 31900 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\end{aligned}$$

Außerdem interessiert die Verteilung des Abluftvolu-
menstroms auf die beiden Garagenabschnitte A und
B. Hierzu führt man obige Berechnung nur für den
Garagenabschnitt B durch und berechnet den Außen-
luftvolumenstrom $\dot{V}_{\text{außen,B}}$, der in diesem Abschnitt
für die Verdünnung der CO-Emissionen der dortigen
Fahrzeuge nötig ist.

Als mittlere Fahrstrecke kann

$$s_{\text{aus,B}} = s_{\text{parken}} + \frac{s_{\text{Stellplatz,B}}}{2} = \left(10 + \frac{156}{2} \right) \text{m} = 88 \text{ m}$$

angegeben werden.

Für diese Fahrstrecke ergibt sich der Emissionsfaktor
 $E_{\text{CO,kalt,B}}$ sowie die CO-Emission $\dot{V}_{\text{CO,kalt,B}}$ mit den
Ansätzen wie vor:

$$\begin{aligned}E_{\text{CO,kalt,B}} &= 0,89 \cdot s_{\text{aus,B}}^{0,49} \\ &= (0,89 \cdot 88^{0,49}) \frac{\text{g CO}}{\text{FZ}} = 7,983 \frac{\text{g CO}}{\text{FZ}} \\ \dot{V}_{\text{CO,kalt,B}} &= \frac{0,6 \cdot 104}{1,16 \cdot 10^3} \cdot 7,983 \frac{\text{m}^3 \text{CO}}{\text{h}} \\ &= 0,429 \frac{\text{m}^3 \text{CO}}{\text{h}}\end{aligned}$$

Und der notwendige Außenluftvolumenstrom
 $\dot{V}_{\text{außen,B}}$ wird:

$$\begin{aligned}\dot{V}_{\text{außen,B}} &= \frac{\dot{V}_{\text{CO,kalt,B}}}{CO_{\text{Ausl}} - CO_{\text{außen}}} \cdot f_G \\ &= \left(\frac{0,429}{(60 - 0) \cdot 10^{-6}} \cdot 1,25 \right) \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \approx 8900 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\end{aligned}$$

$CO_{\text{außen}} = 0$ ppm in accordance with Section 4.7
(a residential area with low traffic is
assumed), we can calculate the required
outdoor air flow $\dot{V}_{\text{außen}}$ according to
Equation (4):

$$\begin{aligned}\dot{V}_{\text{außen}} &= \frac{\dot{V}_{\text{CO}}}{CO_{\text{Ausl}} - CO_{\text{außen}}} \cdot f_G \\ &= \frac{\dot{V}_{\text{CO,kalt,A}} + \dot{V}_{\text{CO,kalt,B}}}{CO_{\text{Ausl}} - CO_{\text{außen}}} \cdot f_G\end{aligned}$$

In this example it is assumed that the airflow is care-
fully designed (proof is available), and therefore a
factor $f_G = 1,25$ can be expected.

$$\begin{aligned}\dot{V}_{\text{außen}} &= \left(\frac{0,798 + 0,733}{60 - 0 \cdot 10^{-6}} \cdot 1,25 \right) \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \\ \dot{V}_{\text{außen}} &\approx 31900 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\end{aligned}$$

Also, the distribution of the exhaust air volume flow
in the two car park sections A and B is of interest. For
this purpose, the above calculation is made only for
the car park section B, and the fresh air flow $\dot{V}_{\text{außen,B}}$
is calculated, which is necessary in this section for the
dilution of the CO emissions of the vehicles present
there.

It can be specified as a middle driving lane:

$$s_{\text{aus,B}} = s_{\text{parken}} + \frac{s_{\text{Stellplatz,B}}}{2} = \left(10 + \frac{156}{2} \right) \text{m} = 88 \text{ m}$$

For this route and with the above-mentioned ap-
proaches, the emission factor $E_{\text{CO,kalt,B}}$ and the CO
emission $\dot{V}_{\text{CO,kalt,B}}$ results as follows:

$$\begin{aligned}E_{\text{CO,kalt,B}} &= 0,89 \cdot s_{\text{aus,B}}^{0,49} \\ &= (0,89 \cdot 88^{0,49}) \frac{\text{g CO}}{\text{FZ}} = 7,983 \frac{\text{g CO}}{\text{FZ}} \\ \dot{V}_{\text{CO,kalt,B}} &= \frac{0,6 \cdot 104}{1,16 \cdot 10^3} \cdot 7,983 \frac{\text{m}^3 \text{CO}}{\text{h}} \\ &= 0,429 \frac{\text{m}^3 \text{CO}}{\text{h}}\end{aligned}$$

And the necessary fresh air volume flow $\dot{V}_{\text{außen,B}}$ is:

$$\begin{aligned}\dot{V}_{\text{außen,B}} &= \frac{\dot{V}_{\text{CO,kalt,B}}}{CO_{\text{Ausl}} - CO_{\text{außen}}} \cdot f_G \\ &= \left(\frac{0,429}{(60 - 0) \cdot 10^{-6}} \cdot 1,25 \right) \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \approx 8900 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\end{aligned}$$

Der zuzuführende rechnerische Volumenstrom zur Verdünnung der CO-Emissionen im Abschnitt A berechnet sich dann als Differenz mit:

$$\dot{V}_{\text{außen,A}} = \dot{V}_{\text{außen}} - \dot{V}_{\text{außen,B}} = 31\,900 - 8\,900 = 23\,000 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Zum Vergleich: Wenn dieser rechnerische Nachweis nicht geführt wird, muss der Außenluftstrom bei Wohnhausgaragen entsprechend den Länderverordnungen unter Ansatz eines flächenbezogenen Luftvolumenstroms – von in der Regel $6 \text{ m}^3/\text{h}$ je Quadratmeter Garagennutzfläche – bestimmt werden. Im vorliegenden Beispiel beträgt die Garagennutzfläche $6\,700 \text{ m}^2$ und somit der damit ermittelte Außenluftvolumenstrom ohne Nachweis $40\,200 \text{ m}^3/\text{h}$ anstelle der berechneten ca. $31\,900 \text{ m}^3/\text{h}$. Bei Realisierung einer Schichtlüftung mit $f_G = 1,1$ könnte der notwendige Außenluftvolumenstrom um weitere ca. $3\,800 \text{ m}^3/\text{h}$ auf $28\,100 \text{ m}^3/\text{h}$ abgesenkt werden.

A2 Öffentliche Tiefgarage in einem Einkaufszentrum – maschinelle Abluftanlage

Der Garagengrundriss wird vom Beispiel in Anhang A1 übernommen. Die Auslastung wird zu $f_{\text{SP}} = 1,0 \text{ h}^{-1}$ angesetzt; die bedeutet, dass ungefähr alle 13 s ein Kraftfahrzeug ein- und ausfährt, was voraussetzt, dass

- das Ein- und Ausschleusen in bzw. aus dem fließenden Verkehr ohne Rückstau erfolgt,
- die Parkgebührenverrechnung vor der Ausfahrt erfolgt und
- die Zähl- und Kontrolleinrichtungen (z.B. Schranken) automatisch mit kurzer Totzeit arbeiten.

Für die einfahrenden Fahrzeuge im Abschnitt A kann die mittlere Fahrstrecke s_{ein} unter Berücksichtigung der Fahrstrecke $s_{\text{Parken}} = 10 \text{ m}$ = konstant für das Einparken abgeschätzt werden zu:

$$\begin{aligned} s_{\text{ein,A}} &= s_{\text{Einfahrt}} + \frac{s_{\text{Stellplatz A}}}{2} + s_{\text{Parken}} \\ &= \left(42 + \frac{134}{2} + 10\right) \text{ m} = 264 \text{ m} \end{aligned}$$

Für die einfahrenden Fahrzeuge zu den Stellplätzen im Garagenabschnitt B beträgt die mittlere Fahrstrecke:

$$\begin{aligned} s_{\text{ein,B}} &= s_{\text{Einfahrt}} + \frac{s_{\text{Stellplatz B}}}{2} + s_{\text{Stellplatz A}} + s_{\text{Parken}} \\ &= \left(42 + \frac{156}{2} + 134 + 10\right) \text{ m} = 264 \text{ m} \end{aligned}$$

Die Ermittlung der CO-Emission \dot{V}_{CO} für die in der Garage bewegten Fahrzeuge erfolgt wie im Beispiel in Anhang A1 nach der allgemeinen Gleichung:

The supplied computational airflow for dilution of CO emissions in Section A is then calculated as the difference with:

$$\dot{V}_{\text{außen,A}} = \dot{V}_{\text{außen}} - \dot{V}_{\text{außen,B}} = 31\,900 - 8\,900 = 23\,000 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

For comparison: If this mathematical verification is not completed, the outdoor air flow of residential car parks must be determined according to the Federal States' regulations using an area-based air volume flow – usually of $6 \text{ m}^3/\text{h}$ per square meter of car park floor space. In the present example, the car park floor area is $6\,700 \text{ m}^2$ and thus the determined outside air flow without proof is $40\,200 \text{ m}^3/\text{h}$ instead of the calculated approx. $31\,900 \text{ m}^3/\text{h}$. When implementing a layered ventilation with $f_G = 1,1$, the required fresh air flow rate could be lowered by approximately $3\,800 \text{ m}^3/\text{h}$ to $28\,100 \text{ m}^3/\text{h}$.

A2 Public underground car park in a shopping centre – automatic ventilation system

The car park floor plan is shown for example in Annex A1. The utilisation is set to $f_{\text{SP}} = 1,0 \text{ h}^{-1}$; which means that approximately every 13 s a vehicle enters and leaves, which implies that

- the entry and exit to and from the traffic flow takes place without congestion,
- the parking fees are calculated before the exit and
- the counting and control devices (e.g. gates) work automatically with a short downtime.

For the incoming vehicles in section A, the average travel distance s_{ein} taking into account the driving distance $s_{\text{Parken}} = 10 \text{ m}$ = constant can be estimated for parking as:

$$\begin{aligned} s_{\text{ein,A}} &= s_{\text{Einfahrt}} + \frac{s_{\text{Stellplatz A}}}{2} + s_{\text{Parken}} \\ &= \left(42 + \frac{134}{2} + 10\right) \text{ m} = 264 \text{ m} \end{aligned}$$

For the vehicles entering the parking lots in the car park section B, the average travel distance is:

$$\begin{aligned} s_{\text{ein,B}} &= s_{\text{Einfahrt}} + \frac{s_{\text{Stellplatz B}}}{2} + s_{\text{Stellplatz A}} + s_{\text{Parken}} \\ &= \left(42 + \frac{156}{2} + 134 + 10\right) \text{ m} = 264 \text{ m} \end{aligned}$$

The determination of CO emission \dot{V}_{CO} for the vehicles driving in the car park, as in the example in Annex A1, is made as per the general equation:

$$\dot{V}_{\text{CO}} = \frac{f_{\text{SP}} \cdot z_{\text{SP}}}{\rho_{\text{CO}}} \cdot (E_{\text{CO,warm}} + E_{\text{CO,kalt}})$$

Zur Vereinfachung des Rechengangs wird zunächst nur die Einfahrt der Fahrzeuge in die Garagenabschnitte A und B betrachtet; es entfällt dann zunächst $E_{\text{CO,kalt}}$.

Die Stellplatzanzahl im Abschnitt A ist $z_{\text{SP,A}} = 168 \equiv 168 \text{ FZ}$ (siehe auch Beispiel in Anhang A1) und analog gilt für die Stellplatzanzahl im Abschnitt B ist $z_{\text{SP,B}} = 104 \equiv 104 \text{ FZ}$. Nachfolgend wird die Fahrzeuganzahl FZ berücksichtigt, da die CO-Emission je Fahrzeug (FZ) in g CO errechnet wird. Der Emissionsfaktor für die einfahrenden Fahrzeuge beträgt:

$$E_{\text{CO,warm}} = 0,008 \cdot s_{\text{ein}}; \text{ als Zahlenwertgleichung}$$

$$\text{in } \frac{\text{g CO}}{\text{FZ}}$$

Man erhält dann unter Beachtung der Indizes:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{\text{CO,warm}} &= \dot{V}_{\text{CO,warm,A}} + \dot{V}_{\text{CO,warm,B}} \\ &= \frac{f_{\text{SP}} \cdot (FZ_A + FZ_B)}{\rho_{\text{CO}}} \cdot E_{\text{CO,warm}} \end{aligned}$$

Der Auslastungsfaktor wird mit $f_{\text{SP}} = 1,0 \text{ h}^{-1}$ für regen Zu- und Abgangsverkehr gewählt; das heißt, für die vorliegende öffentliche Garage wird die Parkdauer je Stellplatz zur Ermittlung des notwendigen Außenluftstroms mit 60 min gewählt.

Die Dichte von Kohlenmonoxid wird, wie im Beispiel in Anhang A1, mit $\rho_{\text{CO}} = 1,16 \cdot 10^3 \frac{\text{g CO}}{\text{m}^3}$ für 20 °C und 101,325 kPa angenommen.

Mit den vorstehenden Vorgaben ergibt sich die CO-Emission $\dot{V}_{\text{CO,warm}}$ für beide Garagenabschnitte zu:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{\text{CO,warm}} &= \dot{V}_{\text{CO,warm,A}} + \dot{V}_{\text{CO,warm,B}} \\ &= \frac{f_{\text{SP}} \cdot FZ_A}{\rho_{\text{CO}}} \cdot 0,008 \cdot s_{\text{ein,A}} + \frac{f_{\text{SP}} \cdot FZ_B}{\rho_{\text{CO}}} \cdot 0,008 \cdot s_{\text{ein,B}} \\ &= \frac{f_{\text{SP}}}{\rho_{\text{CO}}} \cdot 0,008 \cdot (s_{\text{ein,A}} \cdot FZ_A + s_{\text{ein,B}} \cdot FZ_B) \\ &= \left(\frac{1,0}{1,16 \cdot 10^3} \cdot 0,008 \cdot (119 \cdot 168 + 264 \cdot 104) \right) \frac{\text{m}^3 \text{CO}}{\text{h}} \\ &= 0,327 \frac{\text{m}^3 \text{CO}}{\text{h}} \end{aligned}$$

Mit der Auslegungs-CO-Konzentration

$$CO_{\text{Ausl}} = 60 \text{ ppm} \equiv 60 \frac{\text{cm}^3 \text{CO}}{\text{m}^3} \text{ der bei der Einfahrt}$$

$$\dot{V}_{\text{CO}} = \frac{f_{\text{SP}} \cdot z_{\text{SP}}}{\rho_{\text{CO}}} \cdot (E_{\text{CO,warm}} + E_{\text{CO,kalt}})$$

To simplify the calculation, only the entrance of the vehicles into the car park sections A and B is first considered; then it is omitted $E_{\text{CO,kalt}}$.

The number of parking lots in the Section A is $z_{\text{SP,A}} = 168 \equiv 168 \text{ FZ}$ (see example in Annex A1); this similarly applies to the number of parking spaces in Section B, which is $z_{\text{SP,B}} = 104 \equiv 104 \text{ FZ}$. Subsequently, the number of vehicles FZ is taken into account, since the CO emission per vehicle (FZ) is calculated in g CO. The emission factor for incoming vehicles is:

$$E_{\text{CO,warm}} = 0,008 \cdot s_{\text{ein}}; \text{ as numerical value equation}$$

$$\text{in } \frac{\text{g CO}}{\text{FZ}}$$

Taking into account the indexes, we obtain:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{\text{CO,warm}} &= \dot{V}_{\text{CO,warm,A}} + \dot{V}_{\text{CO,warm,B}} \\ &= \frac{f_{\text{SP}} \cdot (FZ_A + FZ_B)}{\rho_{\text{CO}}} \cdot E_{\text{CO,warm}} \end{aligned}$$

The utilization factor is selected with $f_{\text{SP}} = 1,0 \text{ h}^{-1}$ for a large incoming and outgoing traffic; that is, for the present public car park, the parking time per parking space for the determination of the required outdoor air flow of 60 min is selected.

The density of carbon monoxide, as in the example in annex A1, is assumed to be $\rho_{\text{CO}} = 1,16 \cdot 10^3 \frac{\text{g CO}}{\text{m}^3}$ 20 °C and 101,325 kPa.

With the above specifications, the CO emission $\dot{V}_{\text{CO,warm}}$ for both car park sections results in:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{\text{CO,warm}} &= \dot{V}_{\text{CO,warm,A}} + \dot{V}_{\text{CO,warm,B}} \\ &= \frac{f_{\text{SP}} \cdot FZ_A}{\rho_{\text{CO}}} \cdot 0,008 \cdot s_{\text{ein,A}} + \frac{f_{\text{SP}} \cdot FZ_B}{\rho_{\text{CO}}} \cdot 0,008 \cdot s_{\text{ein,B}} \\ &= \frac{f_{\text{SP}}}{\rho_{\text{CO}}} \cdot 0,008 \cdot (s_{\text{ein,A}} \cdot FZ_A + s_{\text{ein,B}} \cdot FZ_B) \\ &= \left(\frac{1,0}{1,16 \cdot 10^3} \cdot 0,008 \cdot (119 \cdot 168 + 264 \cdot 104) \right) \frac{\text{m}^3 \text{CO}}{\text{h}} \\ &= 0,327 \frac{\text{m}^3 \text{CO}}{\text{h}} \end{aligned}$$

With the design CO concentration

$$CO_{\text{Ausl}} = 60 \text{ ppm} \equiv 60 \frac{\text{cm}^3 \text{CO}}{\text{m}^3} \text{ the CO emission gen-}$$

entstehenden CO-Emission $\dot{V}_{\text{CO,warm}}$ sowie einer angesetzten CO-Vorbelastung der Außenluft $\text{CO}_{\text{außen}} = 3 \text{ ppm CO}$ gemäß Abschnitt 4.7 (angenommene Lage der Garage an einer stark befahrenen Straße – Anhaltswert 5 ppm), errechnet sich der notwendige Außenluftstrom $\dot{V}_{\text{außen,ein}}$ analog mit:

$$\dot{V}_{\text{außen,ein}} = \frac{\dot{V}_{\text{CO,warm}}}{\text{CO}_{\text{Ausl}} - \text{CO}_{\text{außen}}} \cdot f_G$$

Wie im Beispiel in Anhang A1 wird vorausgesetzt, dass die Luftführung sorgfältig ausgelegt ist (Nachweis liegt vor) und deshalb mit einem Faktor $f_G = 1,25$ gerechnet werden kann.

$$\dot{V}_{\text{außen,ein}} = \frac{0,327}{(60 - 3) \cdot 10^{-6}} \cdot 1,25 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \approx 7200 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Die Berechnung für die ausfahrenden Fahrzeuge entspricht bis auf die Frequentierung dem Beispiel in Anhang A1:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{\text{CO,kalt}} &= \dot{V}_{\text{CO,kalt,A}} + \dot{V}_{\text{CO,kalt,B}} \\ &= \left(\frac{1,0 \cdot 168}{1,16 \cdot 10^3} \cdot 9,179 \right) + \frac{1,0 \cdot 104}{1,16 \cdot 10^3} \cdot 13,626 \frac{\text{m}^3 \text{CO}}{\text{h}} \\ &= 2,551 \frac{\text{m}^3 \text{CO}}{\text{h}} \end{aligned}$$

Daraus errechnet sich der notwendige Außenluftvolumenstrom $\dot{V}_{\text{außen,aus}}$ für die ausfahrenden Fahrzeuge, analog zur Berechnung für $\dot{V}_{\text{außen,ein}}$ zu:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{\text{außen,aus}} &= \frac{\dot{V}_{\text{CO,kalt}}}{\text{CO}_{\text{Ausl}} - \text{CO}_{\text{außen}}} \cdot f_G \\ &= \frac{2,551}{(60 - 3) \cdot 10^{-6}} \cdot 1,25 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \approx 55900 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \end{aligned}$$

Damit ergibt sich der notwendige Gesamt-Außenluftvolumenstrom $\dot{V}_{\text{außen}}$ zu:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{\text{außen}} &= \dot{V}_{\text{außen,ein}} + \dot{V}_{\text{außen,aus}} \\ &= (7200 + 55900) \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 63100 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \end{aligned}$$

Bei Auslegung als Garage mit nicht geringem Zu- und Abgangsverkehr wird nach den meisten Garagenverordnungen pauschal ein flächenbezogener Luftvolumenstrom von $12 \text{ m}^3/\text{m}^2$ Garagennutzfläche gefordert.

Wenn kein anderweitiger Nachweis geführt wird, würde dies mit der vorliegenden Garagennutzfläche von 6700 m^2 einen notwendigen Außenluftvolumenstrom von $80400 \text{ m}^3/\text{h}$ (gegenüber $63100 \text{ m}^3/\text{h}$) ergeben.

erated during the entrance, as well as the scheduled CO pre-load of the outside air $\dot{V}_{\text{CO,warm}}$ CO in accordance with Section 4.7 (assumed position of the car park on a busy road – reference value 5 ppm), the required outdoor air flow $\text{CO}_{\text{außen}} = 3 \text{ ppm}$ is calculated analogously with: $\dot{V}_{\text{außen,ein}}$

$$\dot{V}_{\text{außen,ein}} = \frac{\dot{V}_{\text{CO,warm}}}{\text{CO}_{\text{Ausl}} - \text{CO}_{\text{außen}}} \cdot f_G$$

As in the example in Annex A1, it is assumed that the airflow is carefully designed (proof is available) and therefore a factor of $f_G = 1,25$ can be expected.

$$\dot{V}_{\text{außen,ein}} = \frac{0,327}{(60 - 3) \cdot 10^{-6}} \cdot 1,25 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \approx 7200 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

The calculation for the exiting vehicles corresponds to the example in Annex A1, excluding the utilisation:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{\text{CO,kalt}} &= \dot{V}_{\text{CO,kalt,A}} + \dot{V}_{\text{CO,kalt,B}} \\ &= \left(\frac{1,0 \cdot 168}{1,16 \cdot 10^3} \cdot 9,179 \right) + \frac{1,0 \cdot 104}{1,16 \cdot 10^3} \cdot 13,626 \frac{\text{m}^3 \text{CO}}{\text{h}} \\ &= 2,551 \frac{\text{m}^3 \text{CO}}{\text{h}} \end{aligned}$$

This translates into the required outdoor air volume flow $\dot{V}_{\text{außen,aus}}$ for exiting vehicles, analogous to the calculation for $\dot{V}_{\text{außen,ein}}$ to:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{\text{außen,aus}} &= \frac{\dot{V}_{\text{CO,kalt}}}{\text{CO}_{\text{Ausl}} - \text{CO}_{\text{außen}}} \cdot f_G \\ &= \frac{2,551}{(60 - 3) \cdot 10^{-6}} \cdot 1,25 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \approx 55900 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \end{aligned}$$

This translates into the necessary total outdoor air volume flow $\dot{V}_{\text{außen}}$ to:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{\text{außen}} &= \dot{V}_{\text{außen,ein}} + \dot{V}_{\text{außen,aus}} \\ &= (7200 + 55900) \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 63100 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \end{aligned}$$

When designing a car park with a larger incoming and outgoing traffic, an area-oriented air flow rate of $12 \text{ m}^3/\text{m}^2$ for car park floor space is required on a flat-rate basis by most car park regulations.

If no evidence is provided otherwise, with the present car park floor space of 6700 m^2 this would result with a necessary fresh air volume flow of $80400 \text{ m}^3/\text{h}$ (compared to $63100 \text{ m}^3/\text{h}$).

A3 Wohnhausgarage mit Längslüftung

Die in Bild A2 dargestellte Garage mit 82 Stellplätzen ($z_{SP} = 82$) weist folgende Fahrstrecken auf:

$$s_{\text{Einfahrt}} = 38 \text{ m}$$

$$s_{\text{Stellplatz}} = 144 \text{ m für den Abschnitt A}$$

Die Garage hat eine lichte Höhe von $H = 2,0 \text{ m}$; die Breite der Fahrgasse beträgt $B = 6,0 \text{ m}$. Es kann von geringem Zu- und Abgangsverkehr ausgegangen werden. Betrachtet wird das morgendliche Ausfahren; es fahren zu dieser Zeit keine Fahrzeuge in die Garage ein.

Die Lüftung der Garage erfolgt mittels Längslüftung. Dazu ist das Tor als Garagengittertor ausgeführt und die Abluft wird am entgegengesetzten Ende der Garage abgesaugt. Die Garage ist entsprechend Abschnitt 5.1.2 ausgeführt.

Unter Berücksichtigung des freien Querschnitts der Fahrgasse mit $6 \text{ m} \times 2 \text{ m} = 12 \text{ m}^2$ und unter Ansatz der Mindestluftgeschwindigkeit von $v_{\min} = 0,5 \text{ m/s}$, ergibt sich daraus ein Mindestaußenluftvolumenstrom von

$$\dot{V}_{\text{außen}} = 21600 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

zur Verdünnung der CO-Emission in der Garage.

Für welche Anzahl von Stellplätzen der vorgegebene freie Querschnitt von 12 m^2 ausreichend ist, hängt von mehreren Faktoren ab, wie:

- Führung der Fahrgasse (gerade, abknickend), hier: abknickend um 180°
- Ausführung der Stellplätze (Anordnung/Winkel der Einstellplätze zur Fahrgasse, Breite der Stellplätze)
- Breite und Höhe der Fahrgassen (Breite abhängig von der Ausführung der Stellplätze, z.B. gemäß § 4 M-GarVO)
- Frequentierung der Garage: hier Wohnhausgarage mit $f_{SP} = 0,6 \text{ h}^{-1}$
- Abweichung von der idealen Mischlüftung/Ausführung von Wandscheiben; hier: $f_G = 1,5$
- Auslegungs-CO-Konzentration in der Garage, hier: $CO_{\text{Ausl}} = 60 \text{ ppm}$
- CO-Vorbelastung der Außenluft, hier: $CO_{\text{außen}} = 0 \text{ ppm}$

Im vorliegenden Fall kommen Stellplätze senkrecht zur Fahrgasse zur Ausführung. Die Stellplatzbreite beträgt $2,4 \text{ m}$, daraus ergibt sich beispielsweise nach der M-GarVO eine notwendige Fahrgassenbreite von $6,0 \text{ m}$.

A3 Residential car park with longitudinal ventilation

The car park shown in Figure A2 with 82 parking spaces ($z_{SP} = 82$) has the following drive lanes:

$$s_{\text{Einfahrt}} = 38 \text{ m}$$

$$s_{\text{Stellplatz}} = 144 \text{ m for section A}$$

The car park has a clear height of $H = 2,0 \text{ m}$; the width of the driving lane is $B = 6,0 \text{ m}$. Low entry and exit traffic can be assumed. Exiting in the morning is considered; at that time no vehicles enter the car park.

The ventilation of the car park is done with longitudinal ventilation. The gate is designed as a barred gate and the exhaust air is extracted at the opposite end of the car park. The car park is designed in accordance with Section 5.1.2.

Taking into account the free cross-section of the lane with $6 \text{ m} \times 2 \text{ m} = 12 \text{ m}^2$ and using the minimum air velocity of $v_{\min} = 0,5 \text{ m/s}$, this results in a minimum outside air flow rate of

$$\dot{V}_{\text{außen}} = 21600 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

for the dilution of the CO emission in the car park.

The number of parking lots which can fit into the predetermined free cross-section of 12 m^2 depends on several factors, such as:

- drive lane conduct (straight, angled) here: angled at 180°
- execution of the plots (arrangement/angle of parking plots to the drive lanes, width of lots)
- width and height of drive lanes (width depends on the design of parking lots, such as under § 4 M-GarVO)
- car park utilisation: here residential car park with $f_{SP} = 0,6 \text{ h}^{-1}$
- deviation from the ideal mixed air ventilation/design of wall plates; here: $f_G = 1,5$
- design CO concentration in the car park, where: $CO_{\text{Ausl}} = 60 \text{ ppm}$
- CO content of the outside air, where: $CO_{\text{außen}} = 0 \text{ ppm}$

In this case, parking lots are perpendicular to the driving lane. The parking space width is $2,4 \text{ m}$, this results in a necessary driving lane width of $6,0 \text{ m}$, for example according to the M-GarVO.

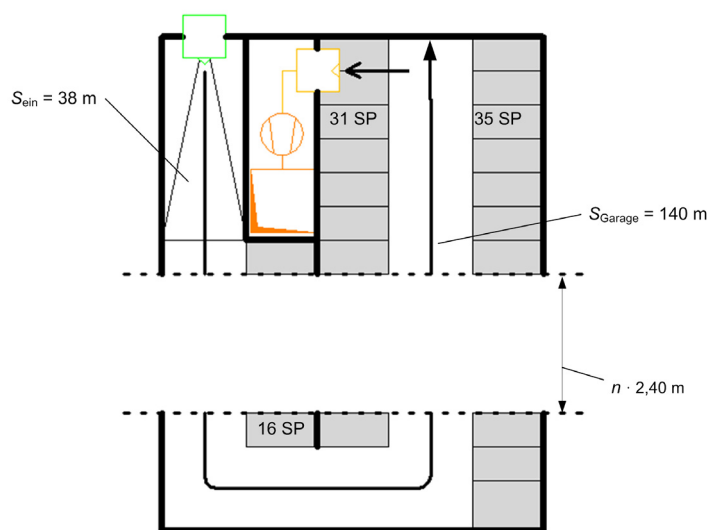


Bild A2. Grundriss Wohnhausgarage mit Längslüftung

Figure A2. Ground plan of residential car park with longitudinal ventilation

Exemplarisch wurde für das vorliegende Beispiel ermittelt, welche Anzahl von Stellplätzen mit dem vorgegebenen Querschnitt der Fahrgasse von 12 m^2 ausreichend gelüftet werden kann. Hierzu wurde modellhaft die Länge der Garage schrittweise um eine Stellplatzbreite, also um $2,4 \text{ m}$ verlängert, damit mehrte sich im vorliegenden Beispiel mit jedem Schritt die aktuelle Stellplatzanzahl um drei Stellplätze, und der Fahrweg in der Garage verlängerte sich aufgrund seiner Abknickung von 180° um jeweils $2 \cdot 2,4 \text{ m} = 4,8 \text{ m}$. Für jeden Schritt der Iterationsrechnung wurde dann der notwendige Außenluftstrom mit den Rechenvorschriften dieser Richtlinie berechnet und mit dem Außenluftstrom, der sich aus dem freien Querschnitt der Fahrgasse ergibt, verglichen.

Für den letzten Iterationsschritt waren 151 Stellplätze bei einer Fahrweglänge in der Garage von $s_{\text{Garage}} = 250,4 \text{ m}$ zu notieren.

Mittels Handrechnung ergibt sich der notwendige Außenluftstrom wie folgt:

$$\begin{aligned} s_{\text{aus}} &= s_{\text{aus}} + \frac{s_{\text{Stellplatz}}}{2} + s_{\text{Parken}} \\ &= 38 + \frac{250,4}{2} + 10 \text{ m} = 173,2 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{\text{CO,kalt}} &= 0,89 \cdot s_{\text{aus}}^{0,49} \\ &= (0,89 \cdot 173,2^{0,49}) \frac{\text{g CO}}{\text{FZ}} = 11,1244 \frac{\text{g CO}}{\text{FZ}} \end{aligned}$$

It was calculated for the present example, what number of parking spaces can be adequately ventilated with the given cross-section of the drive lane of 12 m^2 . For this purpose, the length of the car park was gradually extended to a width of parking space, i.e. by $2,4 \text{ m}$, so that in the present example the current number of parking lots was increased with each step by three lots, and the drive lane in the garage was extended due to its bend of 180° by $2 \cdot 2,4 \text{ m} = 4,8 \text{ m}$. Then the required outdoor air flow was calculated for each step of the iteration calculation with the calculation rules of this standard and compared to the outdoor air flow, which results from the free cross-section of the drive lane.

For the last iteration step 151 parking lots were recorded at a drive lane length in the car park of $s_{\text{Garage}} = 250,4 \text{ m}$.

Manual calculation yields the required outdoor air flow as follows:

$$\begin{aligned} s_{\text{aus}} &= s_{\text{aus}} + \frac{s_{\text{Stellplatz}}}{2} + s_{\text{Parken}} \\ &= 38 + \frac{250,4}{2} + 10 \text{ m} = 173,2 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{\text{CO,kalt}} &= 0,89 \cdot s_{\text{aus}}^{0,49} \\ &= (0,89 \cdot 173,2^{0,49}) \frac{\text{g CO}}{\text{FZ}} = 11,1244 \frac{\text{g CO}}{\text{FZ}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{V}_{\text{CO,kalt}} &= \frac{f_{\text{SP}} \cdot FZ}{\rho_{\text{CO}}} \cdot E_{\text{CO,kalt}} \\ &= \left(\frac{0,6 \cdot 151}{1,16 \cdot 10^3} \cdot 11,1244 \right) \frac{\text{m}^3 \text{CO}}{\text{h}} = 0,8689 \frac{\text{m}^3 \text{CO}}{\text{h}} \\ \dot{V}_{\text{außen,kalt}} &= \frac{\dot{V}_{\text{CO,kalt}}}{CO_{\text{Ausl}} - CO_{\text{außen}}} \cdot f_G \\ &= \left(\frac{0,8689}{(60 - 0) \cdot 10^{-6}} \cdot 1,5 \right) \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 21722,5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\end{aligned}$$

Der ermittelte Außenluftstrom ist (geringfügig) größer als der rechnerisch erzielbare Außenluftstrom von 21 600 m³/h durch den freien Querschnitt der Fahrgasse.

Mit Verringerung um einen Stellplatz von $z_{\text{SP}} = 151$ auf $z_{\text{SP}} = 150$ erhält man schlussendlich einen Außenluftvolumenstrom von

$$\begin{aligned}\dot{V}_{\text{außen}} &= \left(21722,5 - \frac{21722,5}{151} \right) \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \\ &\approx 21580 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} < 21600 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\end{aligned}$$

Im Ergebnis können also **150 Stellplätze** mit dem vorgegebenen Querschnitt der betrachteten Fahrgasse ausreichend gelüftet werden.

$$\begin{aligned}\dot{V}_{\text{CO,kalt}} &= \frac{f_{\text{SP}} \cdot FZ}{\rho_{\text{CO}}} \cdot E_{\text{CO,kalt}} \\ &= \left(\frac{0,6 \cdot 151}{1,16 \cdot 10^3} \cdot 11,1244 \right) \frac{\text{m}^3 \text{CO}}{\text{h}} = 0,8689 \frac{\text{m}^3 \text{CO}}{\text{h}} \\ \dot{V}_{\text{außen,kalt}} &= \frac{\dot{V}_{\text{CO,kalt}}}{CO_{\text{Ausl}} - CO_{\text{außen}}} \cdot f_G \\ &= \left(\frac{0,8689}{(60 - 0) \cdot 10^{-6}} \cdot 1,5 \right) \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 21722,5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\end{aligned}$$

The measured outdoor air flow is (slightly) larger than the calculated outdoor air flow of 21 600 m³/h due to the free cross-section of the drive lane.

With a reduction by one parking lot $z_{\text{SP}} = 151$ to $z_{\text{SP}} = 150$ one obtains finally an outdoor air flow rate of

$$\begin{aligned}\dot{V}_{\text{außen}} &= \left(21722,5 - \frac{21722,5}{151} \right) \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \\ &\approx 21580 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} < 21600 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\end{aligned}$$

Consequently, **150 parking lots** can be adequately ventilated with the specified cross-section of the considered drive lane.

Schrifttum / Bibliography

Gesetze, Verordnungen, Verwaltungsvorschriften / Acts, ordinances, administrative regulations

Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – **ArbStättV**) vom 12. August 2004 (BGBl I, 2004, Nr. 44, S. 2179–2189)

Garagenverordnungen der Länder

Landesbauordnungen (**LBO**)

Muster einer Verordnung über den Bau und Betrieb von Garagen (Muster-Garagenverordnung – **M-GarVO**); Fassung 1993-05, geändert durch Beschlüsse vom 19.09.1996, 18.09.1997 und 30.05.2008

Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Lüftungsanlagen (Muster-Lüftungsanlagen-Richtlinie – **M-LüAR**) vom Juli 2010 (Mitt DIBt, 2011, Heft 1, S. 8–23)

Grundsätze für die Prüfung technischer Anlagen entsprechend der Muster-Prüfverordnung durch bauaufsichtlich anerkannte Prüf-sachverständige (**Muster-Prüfgrundsätze**); Stand: 26.11.2010. Arbeitskreis Technische Gebäudeausrüstung der Fachkommission Bauaufsicht (Mitt DIBt, 2011, Nr. 4, S. 128–134)

Technische Regeln / Technical rules

DIN EN ISO 13350:2010-12 Industrieventilatoren; Leistungsmessung von Strahlventilatoren (ISO 13350:1999); Deutsche Fassung EN ISO 13350:2008 (Industrial fans; Performance testing of jet fans (ISO 13350:1999); German version EN ISO 13350:2008). Berlin: Beuth Verlag

DIN EN ISO 13350:2014-07 Ventilatoren; Leistungsmessung von Strahlventilatoren (ISO/DIS 13350:2014); Deutsche Fassung prEN ISO 13350:2014 (Fans; Performance testing of jet fans (ISO/

DIS 13350:2014); German version prEN ISO 13350:2014). Berlin: Beuth Verlag

DIN EN 13779:2007-09 Lüftung von Nichtwohngebäuden; Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlage und Raumkühlsysteme; Deutsche Fassung EN 13779:2007 (Ventilation for non-residential buildings; Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems; German version EN 13779:2007). Berlin: Beuth Verlag

DIN EN 15251:2012-12 Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden; Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik; Deutsche Fassung EN 15251:2007 (Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics; German version EN 15251:2007). Berlin: Beuth Verlag

DIN EN 50545-1*VDE 0400-80:2012-04 Elektrische Geräte für die Detektion und Messung von toxischen (und brennbaren) Gasen in Tiefgaragen und Tunneln; Teil 1: Allgemeine Anforderungen an das Betriebsverhalten sowie Prüfverfahren für die Detektion und Messung von Kohlenmonoxid und Stickoxiden; Deutsche Fassung EN 50545-1:2011 (Electrical apparatus for the detection and measurement of toxic and combustible gases in car parks and tunnels; Part 1: General performance requirements and test methods for the detection and measurement of carbon monoxide and nitrogen oxides; German version EN 50545-1:2011). Berlin: Beuth Verlag

TRGS 900:2011-04 Arbeitsplatzgrenzwerte. Köln: Carl Heymanns Verlag

VDI 1000:2010-06 VDI-Richtlinienarbeit; Grundsätze und Anleitungen (VDI Guideline Work; Principles and procedures). Berlin: Beuth Verlag

VDI 2053 Blatt 2 Raumluftechnik; Garagen; Entrauchung (in Vorbereitung / in preparation)

VDI 3810 Betreiben und Instandhalten von gebäudetechnischen Anlagen (Operation and maintenance of building installations). Berlin: Beuth Verlag

VDI 3819 Blatt 1:2012-05 Brandschutz in der Gebäudetechnik; Gesetze, Verordnungen, Technische Regeln (Fire protection in building services; Acts, ordinances, technical rules). Berlin: Beuth Verlag

VDI 6022 Raumluftechnik, Raumlufqualität; Hygieneanforderungen an Raumluftechnische Anlagen und Geräte (VDI-Lüftungsregeln) (Ventilation and indoor-air quality; Hygiene requirements for ventilation and air-conditioning systems and units (VDI Ventilation Code of Practice)). Berlin: Beuth Verlag

VDMA 24186-0:2007-01 Leistungsprogramm für die Wartung von technischen Anlagen und Ausrüstungen in Gebäuden; Teil 0: Übersicht und Gliederung, Nummernsystem, Allgemeine Anwendungshinweise (Program of services for the maintenance of technical systems and equipment in buildings; Part 0: Outline and breakdown, numbering system, general instructions for use). Berlin: Beuth Verlag

VDMA 24186-1:2002-09 Leistungsprogramm für die Wartung von lufttechnischen und anderen technischen Ausrüstungen in Gebäuden; Teil 1: Lufttechnische Geräte und Anlagen (Program of services for the maintenance of technical systems and equipment in buildings; Part 1: Air handling devices and systems). Berlin: Beuth Verlag

Weitere technische Regeln / Further technical rules

ASR A 3.6:2012-01-30 Technische Regeln für Arbeitsstätten; Lüftung. Berlin: Beuth Verlag

DIN EN 12599:2013-01 Lüftung von Gebäuden; Prüf- und Messverfahren für die Übergabe raumluftechnischer Anlagen; Deutsche Fassung EN 12599:2012 (Ventilation for buildings; Test procedures and measurement methods to hand over air conditioning and ventilation systems; German version EN 12599:2012). Berlin: Beuth Verlag

DIN EN 12792:2004-01 Lüftung von Gebäuden; Symbole, Terminologie und graphische Symbole; Deutsche Fassung EN 12792:2003 (Ventilation for buildings; Symbols, terminology and graphical symbols; German version EN 12792: 2003). Berlin: Beuth Verlag

DIN EN 45544*VDE 0400-22 Arbeitsplatzatmosphäre; Elektrische Geräte für die direkte Detektion und direkte Konzentrationsmessung toxischer Gase und Dämpfe (Workplace atmospheres; Electrical apparatus used for the direct detection and direct concentration measurement of toxic gases and vapours). Berlin: Beuth Verlag

VDI 2081 Blatt 1:2001-07 Geräuscherzeugung und Lärmminde- rung in Raumluftechnischen Anlagen (Noise generation and noise reduction in air-conditioning systems). Berlin: Beuth Verlag

VDI 2081 Blatt 2:2005-05 Geräuscherzeugung und Lärmminde- rung in Raumluftechnischen Anlagen; Beispiele (Noise generation and noise reduction in air-conditioning systems; Examples). Berlin: Beuth Verlag

VDI 2310 Blatt 12:2004-12 Maximale Immissions-Werte zum Schutz des Menschen; Maximale Immissions-Konzentrationen für Stickstoffdioxid (Maximum ambient concentrations referring to human health; Maximum ambient concentrations for nitrogen di- oxide). Berlin: Beuth Verlag

VDI 3803 Blatt 1:2010-02 Raumluftechnik; Zentrale Raumluf- technische Anlagen; Bauliche und technische Anforderungen (VDI-Lüftungsregeln) (Air-conditioning; Central air-conditioning systems; Structural and technical principles (VDI ventilation code of practice)). Berlin: Beuth Verlag

VDI 3803 Blatt 4:2012-09 Raumluftechnik, Geräteanforderun- gen; Luftfiltersysteme (VDI-Lüftungsregeln) (Air-conditioning, system requirements; Air filter systems (VDI Ventilation Code of Practice)). Berlin: Beuth Verlag

VDI 3803 Blatt 5:2013-04 Raumluftechnik, Geräteanforderun- gen; Wärmerückgewinnungssysteme (VDI-Lüftungsregeln) (Air- conditioning, system requirements; Heat recovery systems (VDI Ventilation Code of Practice)). Berlin: Beuth Verlag

Literatur / Literature

- [1] Zenger, A.; Gritsch, T.; Höpfner, U.; Sinn, M.; Rabl, P.; van der Pütten, N.; Gabler, H.: Tiefgaragenabluft – Analyse der Luft- qualität sowie Entwicklung eines Modells zur Prognose der Emissionen. Tagungsband der VDI-Tagung: Neuere Entwick- lungen bei der Messung und Beurteilung der Luftqualität 27.– 29.4.1999 in Heidelberg. Düsseldorf: VDI Verlag
- [2] Zenger, A.: Luftqualität in und um Tiefgaragen. Immissions- schutz (1998) Heft 4 und (1999) Heft 1
- [3] Keller, M.: Handbuch für Emissionsfaktoren. Version 1.2 (1999): im Auftrag des Umweltbundesamts, Berlin 1999
- [4] Zenger, A.; Sinn, M.: Luftschadstoffbelastung in und um Park- garagen. Tagungsband zur Fachtagung am 24.4.2001 an dem LFU Bayern
- [5] Umweltbundesamt Berlin: Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 1.2.1999

Weitere Literatur / Further literature

Knörr, W.; Höpfner, U.; Lambrecht, U.; Nagel, H.-J.; Patyk, A. (IFEU) TREMOD: Transport Emission Estimation Model; im Rah- men des Forschungsvorhabens „Daten- und Rechenmodell: Ener- gieverbrauch und Schadstoffemissionen aus dem motorisierten Verkehr in Deutschland 1980 bis 2020“ im Auftrag des Umwelt- bundesamts. Berlin 1998, 1999

Zenger, A.: Entwicklung eines numerischen Modells zur Prognose der Emissionen und der mittleren Luftqualität in Tiefgaragen. Im- missionsschutz Oktober 1998

Zenger, A.: Gesundheitliche Relevanz von Tiefgaragenemissionen. Wohnmedizin, Heft 5, Oktober 1999

Zenger, A.; Rau, M.: Screening Modell zur Beurteilung der Immis- sionsbelastung um Tiefgaragen. Immissionsschutz, Januar 2002