

Diplomarbeit

Bewertung der Kriterien der Lufthygiene von RLT-Anlagen und deren Auswirkung auf die Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit

Vorgelegt am: 17.08.2021

Von: **Yven Herbst**
Siedlung 5b
06542 Allstedt OT Beyernaumburg

Studiengang: Versorgungs- und Umwelttechnik

Studienrichtung: Technische Gebäudesysteme

Seminargruppe: VU 18/2

Matrikelnummer: 4003274

Praxispartner: Arcadis Germany GmbH
Seebener Straße 22
06114 Halle (Saale)

Gutachter: Dipl.-Ing. Dirk Erbarth
(Arcadis Germany GmbH)
Dr.-Ing. André Kremonke
(Staatliche Studienakademie Glauchau)

Freigabeerklärung

Hiermit erklären wir uns einverstanden/~~nicht einverstanden~~*), dass die ~~Bachelor-Thesis / Diplomarbeit~~*) ~~der/des Studenten/in~~

Name, Vorname: Yven Herbst

SG : VU 18/2

zur öffentlichen Einsichtnahme durch den Dokumentenserver der Bibliothek der Staatlichen Studienakademie Glauchau bereitgestellt wird.

Thema der Arbeit:

Bewertung der Kriterien der Behaglichkeit von RLT-Anlagen und deren Auswirkung auf die Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit

Halle/Saale, 17.08.2021

Ort, Datum

.....
Stempel, Unterschrift des Praxispartners

Arbeit zur Veröffentlichung freigegeben: ja nein

.....
Datum

.....
Unterschrift Leiter/in d. Studiengang

*) Nichtzutreffendes bitte streichen

Themenblatt Diplomarbeit

Studiengang Versorgungs- und Umwelttechnik

Student: **Yven Herbst**
Matrikelnummer: **4003274**
Seminargruppe: **4VU18-2**

Thema der Diplomarbeit

Bewertung der Kriterien der Lufthygiene von RLT-Anlagen und deren Auswirkung auf die Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit

Gutachter/ Betreuer: Dipl.-Ing. Dirk Erbarth
Gutachter (Studienakademie): Dr.-Ing. André Kremonke

Ausgabe des Themas: **25.05.2021**
Abgabe der Arbeit an den SG am: **17.08.2021, bis 14:00:00**



Prof. Ingolf Tiator
Vorsitzender des Prüfungsausschusses
Technik

Inhaltsverzeichnis

Freigabeerklärung	II
Themenblatt Diplomarbeit.....	III
Inhaltsverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VII
Formelverzeichnis	VIII
Abkürzungsverzeichnis.....	IX
1. Zielsetzung der Diplomarbeit	1
2. Was ist Lufthygiene?	2
2.1 Definition	2
2.2 Historische Entwicklung	5
2.3 Aktuelle Rechts- und Gesetzeslage für Arbeitsstätten in Deutschland	8
2.4 Erwartete zukünftige Entwicklungen	16
3. Möglichkeiten der Beeinflussung durch RLT-Anlagen	18
3.1 Raumströmungen	18
3.2 Entscheidende Luftverunreinigungen.....	22
3.2.1 Gasförmige Anteile in der Luft.....	22
3.2.2 Gefahrstoffe	32
3.2.3 Stäube.....	35
3.2.4 Flüchtige organische Verbindungen (VOC).....	39
3.2.5 Krankheitserreger.....	42
3.2.6 Radioaktive Strahlenbelastungen.....	47
4. Technische Umsetzung	52
4.1 Projektstand	52
4.2 Variantenbetrachtung für das Laboratorium	54
4.2.1 Variante 1: Turbulente Mischlüftung.....	54
4.2.2 Variante 2: Quelllüftung.....	56
5. Zusammenfassung	68
Literaturverzeichnis	69
Anhangsverzeichnis	76
Ehrenwörtliche Erklärung.....	112
Erklärung zur Prüfung wissenschaftlicher Arbeiten	113

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Behaglichkeitskriterien, welche aktiv durch raumluftechnische Anlagen beeinflusst werden können	2
Abbildung 2	Wechselbeziehungen zwischen Wohlbefinden - Luftqualität - Gesundheit	3
Abbildung 3	Darstellung der Hauptbestandteile der Luft bei 0°C und 1013 hPa (Werte nach [4])	4
Abbildung 4	Entwicklung der Innenraumlufthygiene	7
Abbildung 5	Beispielhaftes Strömungsbild einer turbulenten Mischlüftung nach [12].....	19
Abbildung 6	Beispielhaftes Strömungsbild einer Kolbenlüftung nach [14]	20
Abbildung 7	Beispielhaftes Strömungsbild einer Quelläftung nach [14]	21
Abbildung 8	Beispielhafte Darstellung der Zusammensetzung ausgewählter Spurengase (Werte nach [4])	22
Abbildung 9	Entwicklung der CO ₂ -Emissionen von Deutschland nach UBA.....	25
Abbildung 10	Verlauf der CO ₂ -Konzentrationen bei verschiedenen Lüftungsmaßnahmen	28
Abbildung 11	Entwicklung der CO ₂ -Konzentration für ein Klassenzimmer nach [20].....	30
Abbildung 12	Darstellung der Abhängigkeit von CO ₂ -Konzentration und Außentemperatur	31
Abbildung 13	Zusammenhang zwischen CO ₂ - und VOC-Konzentration nach	31
Abbildung 14	Atmosphärische Emissionen der betrachteten Gefahrstoffe für 1990 und 2017 (Werte nach [21])	33
Abbildung 15	Einteilung von Staub hinsichtlich der Partikelgröße von Teilchen	36
Abbildung 16	Übersicht der Emissionen von anthropogenen Feinstaubquellen nach UBA [32].....	37
Abbildung 17	Deutschlandweite Übersicht der Jahresmittelwerte für Partikel kleiner 2,5 µm nach UBA [33]	38
Abbildung 18	Auftretende gesundheitliche Beschwerden bei hohen VOC-Emissionen im Innenraum (Werte nach [39])	41
Abbildung 19	Hygienische Bewertung von VOC-Emissionen nach dem TVOC-Konzept [40].....	42
Abbildung 20	Beispielhafte Einteilung von Krankheitserregern.....	43
Abbildung 21	Vergleich der Partikelkonzentration in einem Klassenzimmer bei unterschiedlichen Lüftungsmethoden nach [20].....	45
Abbildung 22	Häufigkeit des Heuschnupfens in der Schweiz nach [46]	47
Abbildung 23	Geographische Übersicht der durchschnittlichen Radonkonzentration in Wohnungen nach [52]	49
Abbildung 24	Radonmittelwerte für Keller-, Erd- und 1. Obergeschoss für ein betrachtetes Gebäude nach [53].....	50

Abbildung 25 Auswirkungen der Fensterlüftung auf die Radonkonzentration für einen ausgewählten Raum nach [53].....	51
Abbildung 26 Aktueller Lageplan des Bauvorhabens	52
Abbildung 27 Grundriss und Schnitte des zu betrachtenden Laborraums	53
Abbildung 28 Draufsicht des Laborraums inklusive Luftdurchlässe und Kanalführung.....	54
Abbildung 29 Strömungsbild bei turbulenter Mischlüftung im Laborraum (isotherme Luftstrahlen) [54]	55
Abbildung 30 Seitenansicht von rechts auf das Strömungsbild [54]	56
Abbildung 31 Übersicht der aktuellen Kanalführung (Zuluft: rot; Abluft: gelb).....	57
Abbildung 32 Strömungsbild bei Anordnung der Quellluftauslässe im Deckenbereich [54]	57
Abbildung 33 Strömungsbild bei Anordnung der Quellluftauslässe an der südlichen Wandseite in Bodennähe [54].....	58
Abbildung 34 Simulation bei Anordnung der Quellauslässe in Bodennähe [55]	59
Abbildung 35 Simulation hinsichtlich auftretender Luftgeschwindigkeiten [55]	59
Abbildung 36 Darstellung der Luftführung im Labor bei anderer Anordnung der Quellluftauslässe.....	60
Abbildung 37 Aktuelle Luftqualität in Halle/Nord bezüglich Feinstaub-, Ozon- und Stickstoffdioxidkonzentrationen nach [56].....	61
Abbildung 38 Vorauswahl des Laufradtypen im Cordier-Diagramm aus [18].....	63
Abbildung 39 Entwicklung der CO ₂ -Konzentration im Laborraum.....	67

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Beispielhafter Überblick der aktuellen Rechts- und Gesetzeslage in Deutschland zum Thema Lufthygiene in Innenräumen	9
Tabelle 2	Maßnahmen zur Verringerung der CO ₂ -Konzentration in der Raumluft	10
Tabelle 3	Tabellarischer Überblick von Grenzwerten ausgewählter Schadstoffe	12
Tabelle 4	Grenzwerte für Feinstaub unterschiedlicher Partikelgröße nach BImSchV und WHO	12
Tabelle 5	Klassifizierung von Luftarten nach DIN EN 13779	14
Tabelle 6	Einzuhaltende Grenzwerte für Emissionen aus Baustoffen für unterschiedliche Gebäudetypen.....	16
Tabelle 7	Überblick ausgewählter charakteristischer Merkmale der betrachteten Luftströmungen	21
Tabelle 8	Auswirkungen von Sauerstoffmangel auf den menschlichen Körper nach [15]	23
Tabelle 9	CO ₂ -Abgabe pro Person in Abhängigkeit der Tätigkeit nach [18].....	27
Tabelle 10	Einteilung der flüchtigen organischen Verbindungen nach deren Siedebereich (MVOC ausgenommen, Tabelle nach [12])	40
Tabelle 11	Empfohlene Luftfilterklassen in Abhängigkeit von der Außenluftqualität und der gewünschten Zuluftqualität nach VDI 6022 Blatt 1	61
Tabelle 12	Überblick der Feinstaubfilterklassen nach DIN EN 13779 und DIN EN ISO 16890 nach [57]	62
Tabelle 13	Entstehende Druckverluste im Lüftungsgerät und Kanalnetz	62
Tabelle 14	Tabellarischer Vergleich der entstehenden Betriebskosten für die Ventilatoren in Abhängigkeit der verwendeten Filterklasse.....	66

Formelverzeichnis

Formel 1	Berechnung der Lüftungseffektivität.....	13
Formel 2	Chemische Reaktionsgleichung der aeroben Atmung des Menschen	24
Formel 3	Berechnung der zugeführten CO ₂ -Konzentration durch den Menschen [18]	27
Formel 4	Berechnung der abgeführten CO ₂ -Konzentration [18]	27
Formel 5	Ermittlung der tatsächlich herrschenden CO ₂ -Konzentration in der Raumluft [18].....	28
Formel 6	Berechnung der Ventilatorlaufzahl σ	62
Formel 7	Berechnung des Laufradaußendurchmessers des Ventilators	64
Formel 8	Berechnung des Leistungsbedarfs der Ventilatorwelle	64
Formel 9	Berechnung der Druckverluste bei Grundlüftung mit Hilfe der Ähnlichkeitsgesetze	65

Abkürzungsverzeichnis

AGW	Arbeitsplatzgrenzwert
AIR	Ausschuss für Innenraumrichtwerte
ArbStättV	Arbeitsstättenverordnung
ASR	Arbeitsstättenregeln
BAT	Biologischer Arbeitsstoff-Toleranzwert
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
BGF	Bruttogesamtfläche
BGW	Biologischer Grenzwert
BimschG	Bundesimmissionsschutzgesetz
BNB	Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen
clo	clothing insulation value
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
DIN	Deutsches Institut für Normung
DR	Draught Rating
EHA	Exhaust air (Fortluft)
ETA	Extract air (Abluft)
GefStoffV	Gefahrstoffverordnung
GEG	Gebäudeenergiegesetz
IDA	Indoor air (Raumluft)
IfSG	Infektionsschutzgesetz
IRK	Innenraumlufthygiene-Kommission
MAK	Maximale Arbeitsplatz Konzentration
ODA	Outdoor air (Außenluft)
PD	Percentage of Dissatisfaction
PMV	Predicted Mean Vote (vorausgesagtes mittleres Votum)
PPD	Predicted Percentage of Dissatisfaction (vorausgesagter Prozentsatz Unzufriedener)

ppm	parts per million, Anteile pro Million
RLT-Anlagen	Raumluftechnische Anlagen
RLT-Gerät	Raumluftechnisches Gerät
SSK	Strahlenschutzkommission
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
TRGS	Technische Regeln für Gefahrstoffe
UBA	Umweltbundesamt
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VOC	Volatile Organic Compounds
WHO	World Health Organization
WRG	Wärmerückgewinnung
ZfP	Zerstörungsfreie Prüfungen

1. Zielsetzung der Diplomarbeit

In der vorangegangenen Studienarbeit wurde das Thema Behaglichkeit des Menschen vollumfänglich bearbeitet und es wurde ein grober Überblick über das Themengebiet geschaffen. Dabei lagen die Schwerpunkte auf dem thermischen und akustischen Empfinden des Menschen. Diese wurden theoretisch betrachtet und anhand eines Planungsbeispiels praktisch verdeutlicht. In dieser Arbeit soll nun an den Erkenntnissen aus der Studienarbeit angeknüpft werden und eine Untersuchung des dritten Teilgebiets der Behaglichkeit erfolgen, der Luftqualität in Innenräumen.

Anfangs soll ein allgemeiner Überblick gegeben werden, hierzu wird der Begriff Lufthygiene an sich definiert. Dabei wird er in seine Bausteine Luft und Hygiene zerlegt, welche dann separat betrachtet werden und somit zu einer ersten Aufklärung über das Themengebiet verhelfen sollen. Des Weiteren wird auf die historische Entwicklung der Lufthygiene eingegangen unter Berücksichtigung der wissenschaftlichen Fortschritte und deren Auswirkung auf die Raumlufttechnik. Als Nächstes wird ein Blick auf die aktuelle Rechts- und Gesetzeslage in Deutschland geworfen, dazu werden Planungs- und Richtwerte bezüglich einzuhaltender Luftverunreinigungen aus den Vorschriften entnommen und tabellarisch gegenübergestellt. In Bezug auf die aktuelle „Covid-19-Krise“ erfolgt eine Beurteilung über zukünftige Entwicklungen im Bereich der Innenraumlufthygiene in Deutschland.

Nun soll detaillierter auf die entscheidenden Luftbestandteile in Innenräumen eingegangen werden. Dazu zählt jede Verunreinigung, welche gezielt durch Lüftungsmaßnahmen aus der Raumluft entfernt werden kann. Dabei findet zunächst eine Betrachtung möglicher Luftbewegungen in Innenräumen statt, da bereits diese einen erheblichen Einfluss auf das Vorhandensein von Luftschadstoffen haben. Danach erfolgt eine theoretische Untersuchung der folgenden Luftverunreinigungen: Gasförmige Anteile in der Luft, Gefahrstoffe, Stäube, flüchtige organische Verbindungen, Krankheitserreger und radioaktive Strahlenbelastungen in der Raumluft.

Nach den betrachteten Luftverunreinigungen erfolgt nun eine Variantenbetrachtung am Planungsbeispiel. Dabei wird an das Projekt aus der Studienarbeit angeknüpft, in der ein Seminar- und Büroraum untersucht wurde. In der Diplomarbeit dient nun ein Laboratorium als Gegenstand der Betrachtung, da hier höhere Anforderungen an die Luftqualität gegeben sind. Schlussendlich soll für eine Variante die Hauptkomponenten der Lüftungsanlage ausgelegt werden, wobei auch hier wieder wie in der Studienarbeit auf Wirtschaftlichkeit und Komfortansprüche eingegangen wird.

2. Was ist Lufthygiene?

2.1 Definition

Die Lufthygiene bzw. Luftqualität hat einen großen Einfluss auf das Wohlbefinden der Menschen in Innenräumen sowie im Freien. Besonders in Zeiten von Digitalisierung und Home-Office wird die Innenraumluftqualität zunehmend wichtiger, nach [1] verbringt der Großteil aller Menschen ungefähr 90% der Zeit in Innenräumen, wobei sie je nach Alter, Geschlecht und Aktivität durchschnittlich 10 bis 20 m³ Luft am Tag einatmen. Dabei können sehr viele Schadstoffe aufgenommen werden, welche unsere Gesundheit und das Wohlbefinden beeinträchtigen.

Die Lufthygiene kann von jeder Person subjektiv unterschiedlich betrachtet und bewertet werden. Das wohl bekannteste Beispiel hierfür ist die verschiedene Beurteilung von Gerüchen, so gibt es heutzutage unzählige Arten von Parfümen und Deodorants. Die Innenraumluftqualität zählt neben dem thermischen und akustischen Empfinden zu den Behaglichkeitskriterien, welche aktiv durch RLT-Anlagen beeinflusst werden können. Anhand der Abbildung 1 erkennt man, dass jedes Kriterium einen gewissen Einfluss auf die „Gesamtbehaglichkeit“ des Menschen hat, wobei die Lüftungstechnik keines dieser vernachlässigen sollte. Ist beispielsweise die thermische Behaglichkeit und die Raumluftqualität im Innenraum für die Allgemeinheit gegeben, das akustische Empfinden aber durch die Lüftungsanlage nicht, so ist der Schalldruckpegel im Raum zu hoch, wodurch sich die Menschen unwohl fühlen und die „Gesamtbehaglichkeit“ nicht erreicht wird.

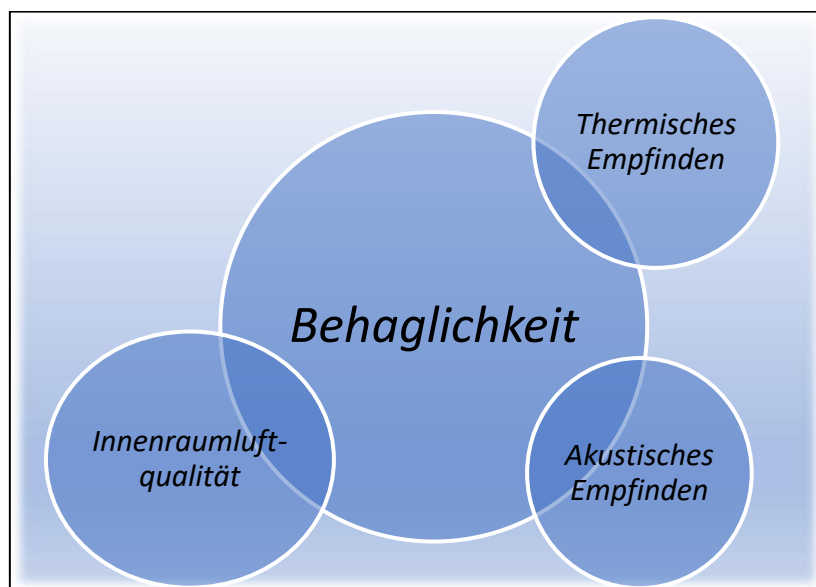


Abbildung 1 Behaglichkeitskriterien, welche aktiv durch raumluftechnische Anlagen beeinflusst werden können

Die Lufthygiene ist neben der Behaglichkeit des Menschen auch Bestandteil der allgemeinen Hygiene, dementsprechend lässt sich eine Definition hiervon ableiten. Hygiene ist nach der Gesundheitsberichterstattung des Bundes [2] „die Gesamtheit aller Bestrebungen und Maßnahmen zur Verhütung von Krankheiten und Gesundheitsschäden beim Einzelnen (Individualhygiene) und bei der Allgemeinheit (Allgemeinhygiene)“. Demnach beschreibt die Lufthygiene alle Maßnahmen zur Vermeidung von Krankheiten verursacht durch Raum- oder Außenluft oder wie das Umweltbundesamt (UBA) sagt: Die Lufthygiene befasst sich mit den Auswirkungen von Beschaffenheit und Reinheitsgrad der Luft [...] auf die Gesundheit des Menschen“. [3]

Wie bereits erwähnt, beeinflusst die Luftqualität das allgemeine Wohlbefinden der Menschen, wobei der Mensch sie nur eingeschränkt wahrnehmen kann. Er kann sie in gewisser Weise riechen, allerdings nicht schmecken, fühlen, sehen oder hören. Lediglich bei sehr hohen bzw. niedrigen Belastungen nimmt man wahr, ob die Luftqualität entsprechend niedrig oder hoch ist. Für genauere Bewertungen ist man auf ordnungsgemäße Messungen von Hilfswerten (CO₂-Belastung, VOC-Emissionen u.a.) angewiesen. Neben dem Wohlbefinden kann die Luftqualität auch die Gesundheit des Menschen beeinflussen. Bei guter Luftqualität sind wenig Krankheitserreger und Schadstoffe in der Luft enthalten, wodurch das Risiko einer Infektion bzw. Vergiftung stark sinkt. Auch zwischen Gesundheit und Wohlbefinden herrscht eine gegenseitige Wechselbeziehung. Dabei ist zu beachten, dass eine behaglich sichühlende Person nicht unbedingt gesund sein muss bzw. dass sich eine gesunde Person nicht unbedingt behaglich fühlt.

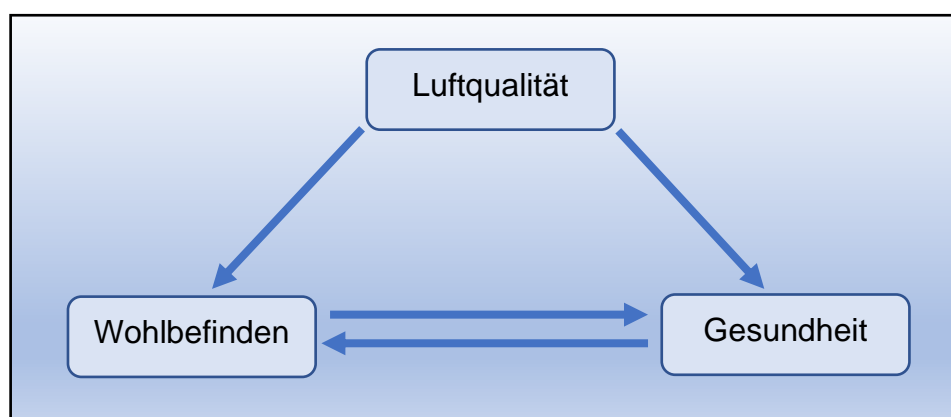


Abbildung 2 Wechselbeziehungen zwischen Wohlbefinden - Luftqualität - Gesundheit

Um einen groben Überblick der für die Raumlufthqualität entscheidenden Bestandteile zu bekommen, muss man zunächst die Luft an sich und ihre chemische Zusammensetzung aufzeigen. Luft ist grundsätzlich ein Gemisch aus sehr vielen

Stoffen (i.d.R. Gase), viele von ihnen kommen nur in sehr geringer Konzentration vor (Spurengase), haben aber dennoch einen sehr großen Einfluss auf die Luftqualität. Die größten Bestandteile sind Stickstoff und Sauerstoff, welche zusammen ungefähr 99 % der Luft betrachten. Der Rest wird durch Argon (ca. 0,93 %) sowie andere Edel- und Spurengase ausgefüllt (ca. 0,07 %). [4]

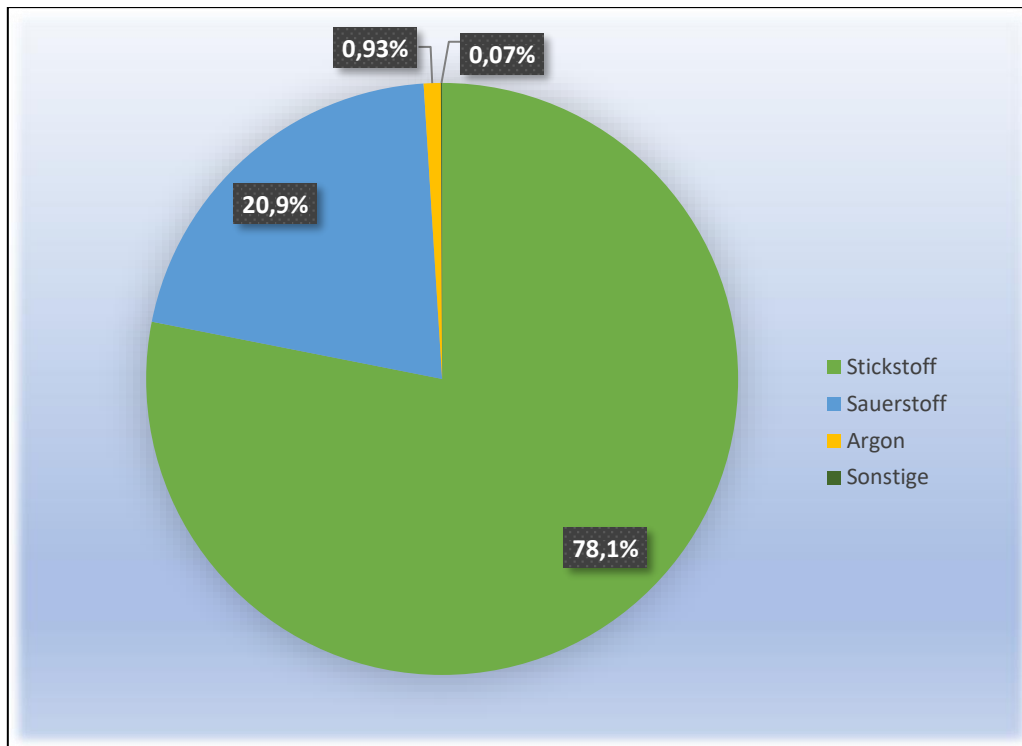


Abbildung 3 Darstellung der Hauptbestandteile der Luft bei 0°C und 1013 hPa (Werte nach [4])

Zu den restlichen Edel- und Spurengasen gehören u.a.:

- Kohlenstoffdioxid
- Ozon
- Stickoxide
- Wasserstoff
- Flüchtige organische Verbindungen (VOC)
- Edelgase wie Helium, Neon, Krypton, Xenon, Radon

Des Weiteren sind vor allem in der Innenraumluft Luftverunreinigungen enthalten, welche einen wesentlichen Einfluss auf die Gesundheit des Menschen haben. Sie können beispielsweise aus Baustoffen bzw. den Einrichtungsgegenständen emittieren, vom Menschen selbst ausgehen oder durch die Außenluft in den Raum gelangen. Dabei kann man nach [5] zwischen abiotischen (u.a. anorganische Gase, Stäube, VOC, CO₂, Radon) und biogenen (u.a. Mikroorganismen, pflanzliche Strukturen) Luftverunreinigungen unterscheiden.

RLT-Anlagen sollen die Konzentrationen solcher Luftverunreinigungen möglichst niedrig halten, um ein angenehmes Raumklima und eine gute, nicht gesundheitsschädliche Raumluftqualität zu ermöglichen. Aufgrund dessen wird in der Diplomarbeit das Verhalten dieser Luftbestandteile einschließlich Krankheitserreger in Innenräumen betrachtet. Die Außenluftqualität wird lediglich für die Variantenbetrachtung der technischen Umsetzung charakterisiert.

2.2 Historische Entwicklung

Die Lufthygiene war schon in früheren Zeiten der Menschheitsgeschichte ein wichtiges Thema. Geruchsbelästigungen und schlechte Innenraumluft spielten bereits in der Antike eine gewisse Rolle, hier wurden Geruchsstoffe zur Verbesserung der Luftqualität verwendet. [6] Die Menschen versuchten ihre Gebäude und Innenräume weitestgehend sauber zu halten, um weniger Schadstoffe und Luftverunreinigungen von innen zu erzeugen. Eine gezielte Abfuhr dieser Substanzen erfolgte nur unkontrolliert durch die natürliche Lüftung, allerdings konnte es passieren, dass sich die Luftqualität dadurch verschlechterte. Der Grund hierfür war die schlechte Hygiene in der Kanalisation bzw. die allgemeine Hygiene in Dörfern und Städten, wodurch sich mitunter im Spätmittelalter Krankheiten wie die Pest in Europa ausbreiteten.

Die Aufklärung über die chemische Zusammensetzung der Luft erfolgte im 18. Jahrhundert durch den französischen Naturwissenschaftler Antoine Laurent de Lavoisier. 1792 gelang ihm die Kohlenstoffdioxid-Produktion eines Menschen für unterschiedliche Aktivitäten zu messen. Aufgrund seiner Erkenntnisse beschäftigte er sich zunehmend mit der Verbesserung der Luftqualität, so konnte er beispielsweise einen Zusammenhang zwischen schlechter Lufthygiene und hohen Todesfällen in Gefängnissen nachweisen. Er forderte daraufhin den Luftaustausch in Gefängnissen zu erhöhen, um die Luftqualität in den Zellen zu erhöhen und die Sterberate zu senken. Im weiteren Verlauf der Zeit wurde die Lufthygiene zunehmend wichtiger, auch aufgrund schwerwiegender vergangener Pandemien durch die Pest oder Cholera, die thermische Behaglichkeit war dagegen noch eher uninteressant. Im 19. Jahrhundert befasste sich der deutsche Wissenschaftler Max von Pettenkofer mit der Belastung der Luftqualität durch den Menschen und führte nach [7] 1858 eine Kohlenstoffdioxid-Obergrenze in der Raumluft von 1.000 ppm ein, er schaffte somit einen ersten Luftqualitätsmaßstab. Weiterhin kam er zu dem Schluss, dass die Erhöhung der CO₂-Konzentration durch Personen maximal 200 ppm betragen darf, damit noch eine „gute“ Luftqualität im Raum vorhanden ist. Aufgrund der wachsenden Erkenntnisse über Lufthygiene wurden vereinzelt erste Anlagen zur Belüftung von Gebäuden gebaut. Der Antrieb der Luftmengen erfolgte beispielsweise

durch den thermischen Auftrieb, die Luft strömte hauptsächlich durch gemauerte Schächte. Im britischen Unterhaus „House of Commons“ wurde bereits 1836 solch eine Anlage installiert.

Erste Gedanken zur Erstellung von Bewertungsmöglichkeiten für die Raumlufthqualität hatte Yaglou 1936, wobei er eine große Anzahl an Personen beim Betreten eines Raumes die dort herrschende Luftqualität subjektiv bewerten ließ. [8] Man spricht hier von der empfundenen Luftqualität. Da sein Messergebnis durch subjektive Faktoren beeinflusst wurde, musste eine anschließende statistische Auswertung bezüglich der Unzufriedenheit erfolgen. Diese war bei guter Luftqualität geringer als bei schlechter Luftqualität. Aus seinen Untersuchungen zog er folgende Schlussfolgerungen (nach [9]):

- In einem dicht besetzten Raum wird eine höhere personenbezogene Lüftungsrate benötigt als in einem schwach besetzten Raum
- Von Raumnutzern ausgeatmetes Kohlendioxid ist kein geeignetes Merkmal für den Nachweis von Körpergeruch
- Körpergeruch ist sehr instabil und Instabilität ist eine Erklärung für höhere Lüftungsraten in dichten besetzten Räumen

Mit der Weiterentwicklung des Elektromotors am Anfang des 20. Jahrhunderts konnten bereits erste Lüftungsgeräte mit einem elektrisch angetriebenen Ventilator realisiert werden, zudem ließ man die Luft nicht mehr in eingemauerten Schächten strömen, sondern nutzte nach und nach Luftkanäle. Die Anforderungen an die thermische Behaglichkeit stiegen, die Lufthygiene dagegen geriet in der Praxis zunächst in den Hintergrund. Man versuchte die Geräte so kompakt und preiswert wie möglich zu gestalten, die Sauberkeit der Komponenten bzw. der Kanäle sowie deren Reinigung wurden dabei vernachlässigt. Zum Ende des 20. Jahrhunderts gab es zunehmend Beschwerden in Bezug auf die Luftqualität in maschinell belüfteten Räumen. Neuzeiterkrankungen wie das „Sick Building Syndrom“, bei den Krankheiten und Symptome wie Reizung der Augen- und Nasenschleimhaut, Kopfschmerzen und Müdigkeit durch schlechte Raumlufthqualität auftreten, führten dazu, dass die Luftqualität wieder mehr Berücksichtigung erhielt und in den Vordergrund wissenschaftlicher Betrachtungen rückte.

So wurden beispielsweise 1988 Yaglou´s Gedanken zur empfundenen Luftqualität von dem dänischen Ingenieur Ole Fanger wieder aufgegriffen und weiterentwickelt. Dieser ging davon aus, dass neben dem Menschen auch Verunreinigungen von Baustoffen oder Einrichtungsgegenständen im Raum ausgehen. Aufgrund fehlender technischer Messmöglichkeiten wurde auch hier die Raumlufthqualität durch den Menschen selbst subjektiv bewertet. Bei dieser Bewertung führte er zwei neue

Größen zur Bestimmung der empfundenen Luftqualität ein. Als Grundlage diente die Einheit „Olf“, welche die Geruchsbelastung durch verschiedene Verunreinigungsquellen widerspiegelt. Eine Standardperson hat demnach eine Verunreinigungslast von 1 Olf. Die zweite Maßeinheit „dezipol“ beschreibt die empfundene Luftverunreinigung der Raumluft, bei der 1 Olf 10 l/s reine Luft verunreinigt. [10]

Gewisse hygienische Standards für RLT-Anlagen wurden durch die im Juli 1998 veröffentlichte Richtlinie VDI 6022 geschaffen. Die Richtlinie hat auch heutzutage in bearbeiteter Form noch Gültigkeit.

Die nachfolgende Abbildung fasst die historischen Ereignisse anhand eines Zeitstrahls zusammen und gibt einen abschließenden Überblick zur Entwicklung der Innenraumlufthygiene.

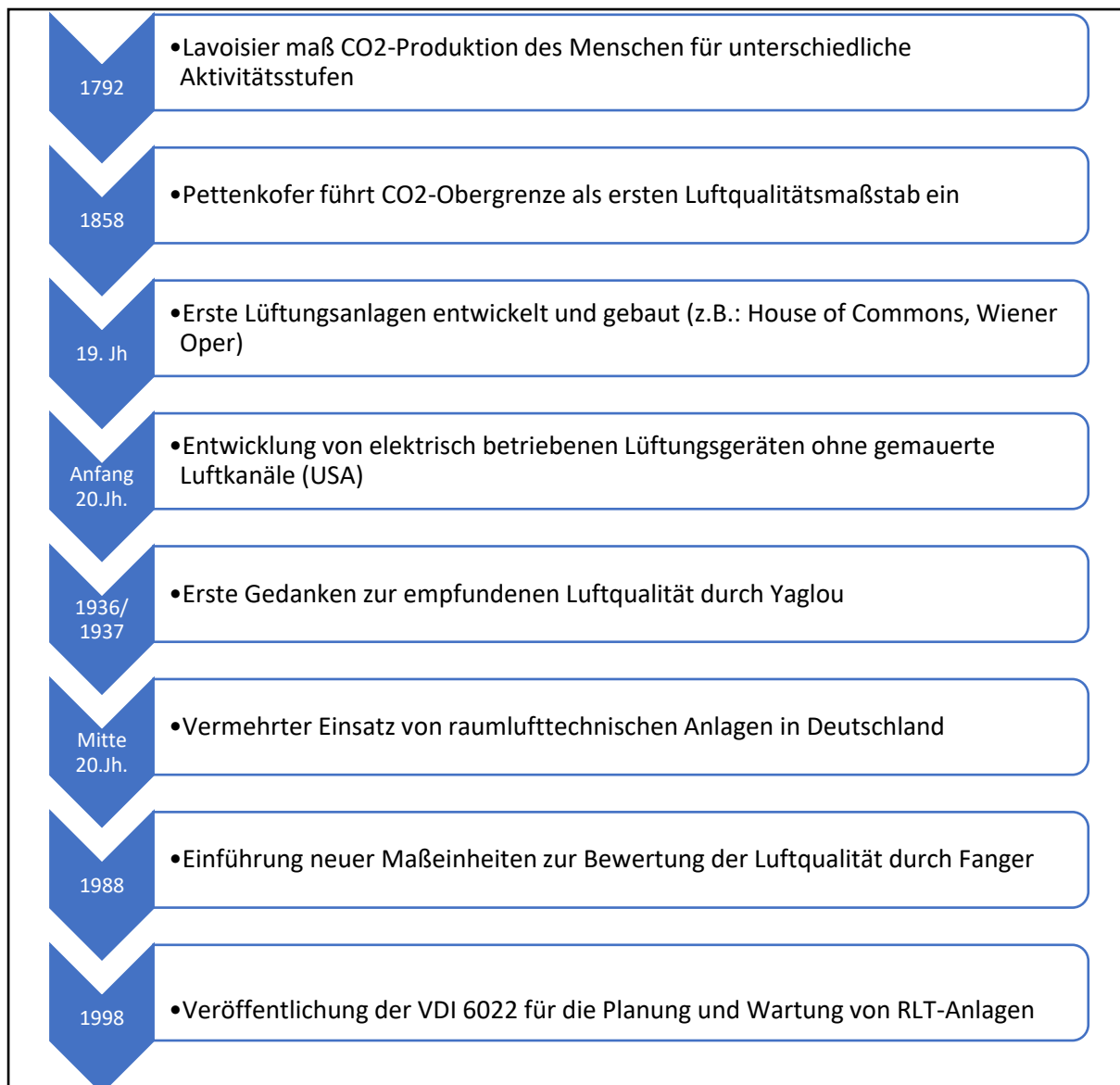


Abbildung 4 Entwicklung der Innenraumlufthygiene

Auch die Entwicklung der Gebäudehülle hatte einen großen Einfluss auf die Innenraumluftqualität. Wie bereits erwähnt, waren die Gebäude vor dem 20. Jahrhundert wesentlich undichter gebaut. Die Heizungsanlagen, beispielsweise Kaminöfen in Wohngebäuden, arbeiteten nicht so effektiv wie heutige Anlagen, beleuchtet wurde mit Hilfe von Kerzen. Dadurch herrschte ein gewisser Unterdruck im gesamten Gebäude, wodurch ständig frische Außenluft durch die Undichtheiten nachströmte. Es kam somit zu einem ständig, unkontrollierbaren und schwankenden Luftaustausch durch Infiltration. Aufgrund dieser undichten Gebäudehülle gab es zwar hohe Wärmeverluste, aber es erfolgte keine starke Anreicherung von Luftfeuchtigkeit und schlechter Raumluft.

Erst ab dem 20. Jahrhundert, besonders nach den Energiekrisen der 1970er Jahre, wurden die Gebäude teilweise so dicht gebaut, dass die Wärmeverluste durch die Gebäudehülle sehr stark abnahmen. Durch die luftdichten und wärmegeprägten Neubauten konnten sich allerdings höhere Konzentrationen an Luftverunreinigungen anreichern, da die Lüftung durch Infiltration verschwindend gering wurde. Neben diesen Verunreinigungen kann auch die Luftfeuchtigkeit im Gebäude schwerer entweichen, was zu Schimmelbildung führen kann. Somit mussten verstärkte Lüftungsmöglichkeiten gefunden werden, um die Raumluftqualität zu erhalten. Im Wohnungsbau reichte eine regelmäßig durchgeführte Fensterlüftung i. d. R. aus, für Industrie- und Gewerbe bzw. für Räume, die eine gewisse Luftqualität erfordern, musste gezielter agiert werden. Man brauchte einen geregelten Luftaustausch mit thermodynamisch aufbereiteter Außenluft, welcher auf die Luftqualität mittels Sensoren geprüft wurde. Diese Anforderungen wurden wie oben beschrieben durch moderne und kompakte Lüftungsgeräte realisiert.

2.3 Aktuelle Rechts- und Gesetzeslage für Arbeitsstätten in Deutschland

Die Anforderungen an die Lufthygiene in Innenräumen wird in verschiedenen Vorschriften geregelt. Wie bereits in der Studienarbeit beschrieben, haben von der Bundesregierung erlassene Gesetze die höchste Bedeutsamkeit. Sie setzen europäische Vorgaben um und regeln den nationalen Rahmen, welcher in Verordnungen bzw. Normen und Richtlinien konkretisiert wird. [6] Nachfolgend werden die in Tabelle 1 dargestellten Vorschriften bezüglich der gestellten Anforderungen an die Innenraumluftqualität einzeln betrachtet.

Lufthygiene			
Gesetze	Europäische Richtlinien		
Verordnungen	Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes- Immissionsschutzgesetzes (39.BImSchV)		
Normen Richtlinien	DIN EN 16798-1** DIN EN 15251 * DIN EN 13779* DIN 1946-2* VDI 6022	Arbeitsstättenregel (ASR) A3.6	Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS)
*zurückgezogen/ veraltet **ersetzt die mit *gekennzeichneten Normen			

Tabelle 1 Beispielhafter Überblick der aktuellen Rechts- und Gesetzeslage in Deutschland zum Thema Lufthygiene in Innenräumen

Verordnungen und Arbeitsstättenregel

An erster Stelle ist hier die Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) zu nennen. Diese schreibt vor, dass „während der Nutzungsdauer ausreichend gesundheitlich zuträgliche Atemluft“ in Arbeitsstätten bereitgestellt werden muss, dabei dürfen eingesetzte RLT-Anlagen nicht Ursache von Verunreinigungen werden.¹ Nach der Arbeitsstättenregel (ASR) A3.6 Lüftung sollte die Atemluft Außenluftqualität aufweisen, es sei denn die Außenluft ist zu stark belastet.² Weiterhin wird definiert, dass die Innenraumlufthqualität durch Stoff-, Feuchte- und Wärmelasten beeinflusst wird. Dabei sollten Maßnahmen zur Beseitigung der Lasten nach ASR A3.6 in folgender Reihenfolge stattfinden:

- Last vermeiden
- Last minimieren
- Quelle kapseln
- Last quellennah abführen

Treten dennoch Beschwerden über die Luftqualität auf, so müssen weitere Maßnahmen, wie verstärktes Lüften, vorgenommen werden. Als mögliche Ursachen für Stofflasten innerhalb des Raumes können nach ASR A3.6 sein:

- die Anwesenheit von Beschäftigten und sonstigen Personen (Emission von CO₂ und Geruchsstoffen),
- die Emissionen aus Bauprodukten oder Einrichtungsgegenständen (z. B. flüchtige organische Stoffe (VOC), Formaldehyd, Fasern),

¹ ArbStättV, 2004/ 2020: Anhang Anforderungen und Maßnahmen für Arbeitsstätten nach § 3 Absatz 1 „3.6 Lüftung“, S.13

² ASR A3.6, Januar 2012: 4.1 Grundsätze Absatz 1, S.3

- das Eindringen von belasteter Luft aus anderen Räumen oder Bereichen (z. B. aus Tätigkeiten mit Gefahrstoffen oder biologischen Arbeitsstoffen) oder von außen,
- eine schlecht gewartete RLT-Anlage,
- das Auftreten von Schimmel oder
- Radon, das in einigen Gebieten Deutschlands (siehe Radonkartierung der Länder) aus dem Untergrund in Gebäude eindringen kann.³

Ist die Hauptverunreinigungsquelle die Personen im Raum selbst, so ist nach ASR A3.6 die CO₂-Konzentration zu überprüfen. Als Grenzwert wird hier von der Pettenkofer-Zahl von 1.000 ppm ausgegangen, bei Überschreiten sind geeignete Maßnahmen nach Tabelle 2 durchzuführen.

CO ₂ -Konzentration [ml/m ³] bzw. [ppm]	Maßnahmen
<1000	<ul style="list-style-type: none"> • Keine weiteren Maßnahmen (sofern durch die Raumnutzung kein Konzentrationsanstieg über 1000 ppm zu erwarten ist)
1000-2000	<ul style="list-style-type: none"> • Lüftungsverhalten überprüfen und verbessern • Lüftungsplan aufstellen (z. B. Verantwortlichkeiten festlegen) • Lüftungsmaßnahme (z. B. Außenluftvolumenstrom oder Luftwechsel erhöhen)
>2000	<ul style="list-style-type: none"> • weitergehende Maßnahmen erforderlich (z. B. verstärkte Lüftung, Reduzierung der Personenzahl im Raum)

Tabelle 2 Maßnahmen zur Verringerung der CO₂-Konzentration in der Raumluft⁴

Einrichtungsgegenstände bzw. Bauprodukte im Gebäude sollten emissionsfrei oder emissionsarm, überprüft, aufeinander abgestimmt und richtig verarbeitet sein, damit entstehende Stofflasten verhindert bzw. weitestgehend minimiert werden.

Gefahrstoffverordnung, Technische Regeln für Gefahrstoffe

Die Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) schreibt vor, dass der Arbeitgeber hinsichtlich einzuhaltender Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) und biologischen Grenzwerten (BGW) eine Gefährdungsbeurteilung durchführen muss, wenn mit Gefahrstoffen gearbeitet wird oder bei der Ausübung von Tätigkeiten diese entstehen. Nach GefStoffV sagt der AGW aus, wie hoch die Konzentration eines Stoffs in der Raumluft sein darf,

³ ASR A3.6, Januar 2012: 4.2 Stofflasten Absatz 1, S.4

⁴ ASR A3.6, Januar 2012: Tabelle 1, S.4

damit keine langanhaltenden schädlichen Auswirkungen auf die Gesundheit der Menschen im Raum entstehen können. Der BGW spiegelt die Konzentration eines Stoffs in der Raumluft wider, bei der keine Beeinträchtigung auf die Gesundheit der Menschen im Raum erfolgt. In den aktuellen Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) sind die AGW (TRGS 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte“) und BGW (TRGS 903 „Biologische Grenzwerte“) zu finden. Bei der Planung von RLT-Anlagen werden i. d. R. nur AGW berücksichtigt. Neben den Grenzwerten der TRGS werden jährlich von der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe Vorschläge zur Maximalen-Arbeitsplatz-Konzentration (MAK, gleichzusetzen mit AGW) und dem biologischen Arbeitsstoff-Toleranzwert (BAT, gleichzusetzen mit BGW) von Schadstoffen entwickelt. Diese Vorschläge werden gegebenenfalls in die GefStoffV übernommen und in der TRGS als AGW bzw. BGW ergänzt.

Nationale und internationale Leitlinien für Grenzwerte von Gefahrstoffen

Die Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK) bzw. deren Nachfolger der Ausschuss für Innenraumrichtwerte (AIR) des Umweltbundesamtes (UBA) betrachten für jeweils einen Gefahrstoff zwei Richtwerte: Richtwert 1 (RW 1) und Richtwert 2 (RW 2). Der RW 1 ist mit dem AGW und dem MAK-Wert zu vergleichen, der RW 2 mit dem BGW und dem BAT. Die zwei Richtwerte dienen ähnlich wie die MAK- und BAT-Liste als Bewertung der Innenraumluftqualität und sollen als Vorschlag betrachtet werden. Neben diesen Richtwerten werden vereinzelt auf der Grundlage praktischer Erfahrungen auch Leitwerte für bestimmte Gefahrstoffe vermittelt, hier beispielsweise Kohlenstoffdioxid, Kohlenstoffmonoxid oder Feinstaub.

International stellt die World Health Organization (WHO) regelmäßig Leitlinien zur Berücksichtigung gängiger Gefahrstoffe in der Raumluft bereit, welche als Empfehlung für nationale Gesetze dienen. Die DIN EN 16798-1 verweist beispielsweise auf die Einhaltung dieser Grenzwerte.

Die Tabelle 3 gibt eine Übersicht über AGW, RW 1 sowie Grenzwerte aus WHO-Leitlinien ausgewählter Schadstoffe der Raumluft:

Gefahrstoff	TRGS AGW [mg/m ³]	TRGS AGW ppm	WHO-Leitlinie [11] / DIN EN 16798 [mg/m ³]	UBA [1] RW 1 [mg/m ³]
Brom	0,7	-	-	-
Chlor	1,5	0,5	-	-
Kohlenstoffdioxid	9100	5000	-	1820-3640*
Kohlenstoffmonoxid	35	30	35 (1 Stunde) 10 (8 Stunden)	35* (1 Stunde) 10*(8 Stunden)
Staubgrenzwert				
• alveogängig	1,25	-	-	-
• einatembar	10	-	-	-
Stickstoffdioxid	0,95	0,5	0,2 (1 Stunde)	0,08 (1 Stunde)
Formaldehyd	0,37	0,3	0,1	0,1
Naphthalin	2	0,4	0,01	0,01
Tetrachlorethylen	69	10	0,25	0,1
* als Leitwert angegeben				

Tabelle 3 Tabellarischer Überblick von Grenzwerten ausgewählter Schadstoffe

Mit der Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates gilt seit 2005 europaweit für Partikel kleiner 10 µm die Einhaltung des Tagesmittelwertes (errechneter durchschnittlicher Mittelwert für einen Tag) von 50 µg/m³, wobei 35 Überschreitungen im Jahr erlaubt sind. Der Grenzwert des Jahresmittelwertes (errechneter durchschnittlicher Mittelwert für ein Jahr) liegt bei 40 µg/m³. Diese Grenzwerte wurden in die 39. BImSchV übernommen. Für Partikel kleiner 2,5 µm gibt es aktuell keine Grenzwerte für den Tagesmittelwert, der Grenzwert für den Jahresmittelwert liegt bei 25 µg/m³. Die Richtwerte der WHO sind dagegen deutlich niedriger angesetzt, siehe Tabelle 4:

Bezeichnung	Richtlinie 2008/50/EG BImSchV [µm/m ³]	WHO [µm/m ³]
Tagesmittelwert PM10	50*	50**
Tagesmittelwert PM2,5	-	25**
Jahresmittelwert PM10	40	20
Jahresmittelwert PM2,5	20	10
*maximal 35 Überschreitungen pro Jahr sind zulässig		
**keine Überschreitungen zulässig		

Tabelle 4 Grenzwerte für Feinstaub unterschiedlicher Partikelgröße nach BImSchV und WHO

Normen

DIN 1946-2 (zurückgezogen)

Laut DIN 1946-2 sollte genau wie nach ASR A3.6 die Zuluft Außenluftqualität aufweisen, wenn diese nicht auffallende Verunreinigungen aufweist. Der Umluftanteil sollte so gering wie möglich gehalten werden, um eine gute Raumlufthqualität zu gewährleisten. Die CO₂-Konzentration sollte 1.500 ppm nicht überschreiten, als Richtwert gilt hier 1.000 ppm (Pettenkofer-Zahl, siehe 2.2 *Historische Entwicklung*). Der Außenluftvolumenstrom wird personen-, flächenbezogen oder aus der Schadstoffbelastung ermittelt. Die Luftführung im Raum sollte so erfolgen, dass Stofflasten möglichst schnell aus der Raumlufth gelangen und frische Außenluft eindringt. Hierzu wird die Lüftungseffektivität ε_v als Aussagekriterium verwendet und berechnet sich wie folgt:

$$\varepsilon_v = \frac{C_{AB} - C_{ZU}}{C_{AZ} - C_{ZU}}$$

Formel 1 Berechnung der Lüftungseffektivität

C_{AB} = Schadstoffkonzentration der Abluft

C_{ZU} = Schadstoffkonzentration der Zuluft

C_{AZ} = Schadstoffkonzentration in der Aufenthaltszone

Im Anhang A der DIN 1946-2 werden zudem Verunreinigungslasten pro Person für unterschiedliche Aktivitäten bzw. für Raucher in Olf angegeben (Anhang 1). Des Weiteren können flächenmäßige Verunreinigungslasten in olf/m² ermittelt werden. Für Gebäude mit geringen Verunreinigungslasten werden 0,2 olf/m² angenommen, bei 40% Raucheranteil 0,6 olf/m².⁵

DIN EN 13779 (zurückgezogen)

Die DIN EN 13779 nimmt zunächst eine Klassifizierung der Luftarten von 1 bis 4 vor. Die Luftqualität sinkt dabei mit steigender Kategorie. Für die Außenluft gelten nur 3 Kategorien nach den WHO-Richtlinien von 1999.⁶ Die konkreten Tabellen für jede Luftart sind im Anhang 2 dargestellt.

⁵ DIN 1946 Teil 2, Januar 1994: Anhang A Raumlufthqualitätsbezogener Außenluftstrom, S.9

⁶ DIN EN 13779, September 2007: 6.2.3 Außenluft, S.18

	IDA	ODA	ETA	EHA
1	Hohe Raumlufthqualität	Luft mit geringer Konzentration an Verunreinigungen	Abluft mit geringem Verunreinigungsgrad	Fortluft mit geringem Verunreinigungsgrad
2	Mittlere Raumlufthqualität	Luft mit hoher Konzentration an Verunreinigungen	Abluft mit mäßigem Verunreinigungsgrad	Fortluft mit mäßigem Verunreinigungsgrad
3	Mäßige Raumlufthqualität	Luft mit sehr hoher Konzentration an Verunreinigungen	Abluft mit hohem Verunreinigungsgrad	Fortluft mit hohem Verunreinigungsgrad
4	Niedrige Raumlufthqualität	-	Abluft mit sehr hohem Verunreinigungsgrad	Fortluft mit hohem Verunreinigungsgrad

Tabelle 5 Klassifizierung von Luftarten nach DIN EN 13779

Bezüglich der Raumlufth sind Definitionen für jeden Anwendungsfall schwierig. Aufgrund dessen sind weitere Klassifizierungen nach DIN EN 13779 für spezielle Anwendungen möglich:

- Indirekte Klassifizierung durch den Außenluftvolumenstrom je Person (Standardwerte nach Anhang 4)
- Indirekte Klassifizierung durch den Luftvolumenstrom je Bodenfläche (Standardwerte nach Anhang 3)
- Klassifizierung nach CO₂-Konzentration (Standardwerte nach Anhang 3)
- Klassifizierung nach Konzentration bestimmter Verunreinigungen

Weiterhin werden neben Klassifizierungen von Luftarten die wichtigsten Auslegungskriterien für Raumlufthqualität beschrieben. Dies sind nach DIN EN 13779 Angaben zur Personenbelegung, zu einem möglichen Rauchverbot und anderen Emissionsquellen. Es muss beachtet werden, dass bei höheren Temperaturen und Luftfeuchtigkeit die empfundene Luftqualität sinkt. Weiterhin werden Richtwerte für Luftverunreinigungen der Außenluft tabellarisch dargestellt, diese werden hier nicht betrachtet.

Als mögliche Umluft ist nach dieser Norm lediglich Abluft der Klasse 1 geeignet, wenn eine gute Raumlufthqualität erreicht werden soll, siehe hierzu Anhang 5. Als Überströmluft kann Abluft der Klassen 1 und 2 verwendet werden.

DIN EN 15251 (zurückgezogen)

Die DIN EN 15251 klassifiziert nicht die Luftarten an sich, sondern stellt Kategorien dar, welche unterschiedliche Anforderungen an das Innenraumklima aufweisen. Dabei spiegelt die Kategorie 1 die höchsten Anforderungen wider, die Kategorie 4 die niedrigsten (siehe Anhang 6). Des Weiteren wird eine Klassifizierung von gebäudebezogenen Emissionen vorgenommen, demnach können Gebäude „nicht schadstoffarm“, „schadstoffarm“ oder „sehr schadstoffarm“ sein. Dies hat Einfluss auf

die empfohlenen Lüftungsraten, welche vorrangig von den Belegungs- und Nutzungsraten, den stattfindenden Aktivitäten und Prozessen im Raum sowie den Emissionen aus Bauprodukten bzw. Einrichtungsgegenständen bestimmt werden. Im Anhang B wird die Raumlufthqualität für Wohn- und Nichtwohngebäuden betrachtet. Für Nichtwohngebäude ergeben sich folgende Methoden zur Ermittlung der Lüftungsraten:

- Berechnung der erforderlichen Lüftung für die Komponente „Personen“ (Raucher, Nichtraucher) und Zusammenfassung der erforderlichen Lüftung für die Gebäudekomponente
- Berechnung der erforderlichen Lüftungsrate je Person oder je Quadratmeter Grundfläche
- Berechnung der erforderlichen Lüftungsrate auf der Grundlage einer Massebilanz und der erforderlichen Kriterien für den CO₂-Gehalt⁷

Die Differenz der CO₂-Konzentration zwischen Raum- und Außenluft ist abhängig von der gewählten Kategorie, hierzu siehe Anhang 7.

DIN EN 16798 (aktuell gültig)

In der DIN EN 16798-1 werden die Kategorien zur Bewertung der Innenraumqualität aus der DIN EN 15251 grob übernommen, die Bezeichnung ändert sich von römischen Zahlen I bis IV auf IEQ_I bis IEQ_{IV} (siehe Anhang 8).

Zur Ermittlung der Raumlufthqualität werden folgende Verfahren verwendet:

- 1. Verfahren auf Grundlage der wahrgenommenen Luftqualität
- 2. Verfahren unter Einhaltung von Grenzwerten der Stoffkonzentration
- 3. Verfahren auf der Grundlage vorgegebener Luftvolumenströme

Die Standardauslegungswerte für die CO₂-Konzentration oberhalb der Außenluft sind im Anhang 9 zu sehen, diese sind wesentlich höher angesetzt als in der DIN EN 15251. Für Schlafzimmer ist diese Differenz wesentlich geringer, so liegt sie für Kategorie 4 nicht mehr bei 1.350 ppm, sondern nur noch bei 950 ppm. Des Weiteren werden konkrete Grenzwerte für Emissionen aus Baustoffen angegeben, diese sind für schadstoffarme und sehr schadstoffarme Gebäude aufgelistet:

⁷ DIN EN 15251, Dezember 2012: Anhang B, S.30f.

QUELLE	Emissionsarme Baustoffe für schadstoffarme Gebäude	Sehr emissionsarme Baustoffe für sehr schadstoffarme Gebäude
Summe der VOC (TVOC) (nach EN 16516)	< 1 000 µg/m ³	< 300 µg/m ³
Formaldehyd	< 100 µg/m ³	< 30 µg/m ³
Alle mit C1 A oder C1 B eingestuften krebserregenden VOC	< 5 µg/m ³	< 5 µg/m ³
R-Wert (nach EN 16516)	< 1,0	< 1,0

Tabelle 6 Einzuhaltende Grenzwerte für Emissionen aus Baustoffen für unterschiedliche Gebäudetypen

Neben diesen Grenzwerten, bezogen auf die Klassifizierung von Gebäuden, verweist die DIN EN 16798-1 auf Richtwerte für Verunreinigungen nach der WHO, hierzu siehe Anhang 10.

In der DIN EN 16798-3 wird zudem die Klassifizierung der Luftarten aus der DIN EN 13779 (siehe Tabelle 5) wieder aufgegriffen. Dabei werden die Kategorien für ODA, ETA und EHA beibehalten. Statt der Raumluftqualität IDA wird nun die Zuluftqualität SUP betrachtet, diese wird in 5 Kategorien statt üblicherweise 4 eingeteilt.

VDI 6022

Die VDI 6022 stellt hygienische Anforderungen an die Beschaffenheit raumluftechnischer Anlagen und Geräte, sodass diese nicht selbst Verunreinigungsquelle werden. Dieser Aspekt ist nicht weiterer Gegenstand der Diplomarbeit.

2.4 Erwartete zukünftige Entwicklungen

Die Luftqualität vor allem in Innenräumen wird „immer“ eine wichtige Rolle für den Menschen spielen, da ihr Einfluss auf das Wohlbefinden und die Gesundheit sehr groß ist. Dabei stiegen in den letzten Jahrzehnten die Anforderungen an Grenzwerte und Emissionen deutlich, auch weil die Technik stetig verbessert wurde. In Deutschland konnte dadurch die Außenluftqualität erheblich verbessert werden, wie in den nachfolgenden Erläuterungen gezeigt wird. Dennoch sind diese je nach Institution stark unterschiedlich, wie man an Tabelle 3 oder Tabelle 4 sehen kann. Hier ist eine mögliche Annäherung auf einheitliche Grenzwerte zwischen beispielsweise EU und WHO realistisch, wobei die WHO die zurzeit strengsten Vorgaben verfolgt.

Der Stand der Technik wird sich fortlaufend weiterentwickeln, wodurch auch Normen und Richtlinien in regelmäßigen Abständen überarbeitet werden müssen. Die Anforderungen an die Luftzustände im Raum werden wie oben beschrieben weiter

ansteigen. Dabei wird mehr hinterfragt werden, wie diese Luftzustände am einfachsten bzw. ohne hohe energetische Aufwände zu erreichen sind, beispielsweise Erhöhung des Luftaustausches oder Einsatz besserer Luftfilter. Bei beiden Varianten entstehen höhere Betriebskosten, hier muss der jeweilige Fachmann eine Betrachtung durchführen und anhand dieser entscheiden.

Im Bereich der Immissionen und Luftverunreinigungen im Innenraum erfolgten ebenso wissenschaftliche Fortschritte, wobei die „Covid-19-Krise“ im Jahr 2020 deutliche Mängel aufgezeigt hat. So gerieten vorrangig Mikroorganismen und Krankheitserreger in den Blickpunkt der Wissenschaft. Besonders Räume mit hohen Nutzungsgraden, wie Klassenzimmer in Schulgebäuden haben sich als „Problemfall“ entpuppt, da hier die Ansteckungsgefahr sehr hoch ist. Des Weiteren wird nicht mit Lüftungsanlagen gelüftet, sondern noch mit der Fensterlüftung. Diese sind häufig nur gekippt, wodurch viele Krankheitserreger in der Raumluft verbleiben. Die „Covid-19-Krise“ hat das Denken der Menschen über die Innenraumlufthygiene nachhaltig verändert, so geht man beispielsweise häufiger zum Niesen oder Husten aus dem Raum. Allerdings ist es wahrscheinlich, dass diese Verhaltensregeln mit der Zeit abschwächen, wenn die allgemeine Gefahr vorüber ist, wie es bereits in früheren Epidemien und Pandemien der Fall war. Dennoch kann man davon ausgehen, dass besonders in Schulen Lüftungsanlagen nachgerüstet werden, um die Lufthygiene längerfristig zu erhöhen und die Gesundheit nicht zu gefährden.

3. Möglichkeiten der Beeinflussung durch RLT-Anlagen

3.1 Raumströmungen

Die Innenraumluftqualität wird durch die im Raum herrschende Luftströmungen beeinflusst, so können Luftverunreinigungen je nach Strömung unterschiedlich abtransportiert bzw. im Raum verteilt werden. Ziel sollte dabei sein die Konzentration dieser Verunreinigungen so gering wie möglich zu halten und ein angenehmes Raumklima zu schaffen. Dabei gibt es verschiedene Möglichkeiten für freie bzw. natürliche oder maschinelle Lüftung. Während bei der freien Lüftung ein Luftaustausch über Fenster, Türen oder Fugen in der Gebäudehülle durch Dichteunterschiede oder Windkraft erfolgt, sorgen bei maschineller Lüftung Ventilatoren für zeitlich konstante Druckunterschiede, welche einen Luftaustausch über Luftdurchlässe jeglicher Art erzeugen. In den folgenden Betrachtungen werden nur Luftströmungen infolge maschineller Lüftung durch RLT-Anlagen betrachtet. Je nach Turbulenzgrad gibt es dabei zwei Formen der Raumströmung:

- Turbulente Mischströmung
- Turbulenzarme Verdrängungsströmung

Im Folgenden werden beide Formen theoretisch betrachtet und deren Wirkung auf die Lufthygiene und vorhandene Schadstoffe dargestellt. Der Einfluss auf das thermische Raumklima wird nicht berücksichtigt (hierzu siehe [6]).

Turbulente Mischströmung

Bei der turbulenten Mischströmung werfen die Luftauslässe jeweils einzelne Luftstrahlen mit hohen Geschwindigkeiten in den Raum hinein, wodurch viele Luftströmungen in verschiedene Richtungen entstehen, welche eine schnelle Durchmischung mit der Raumluft erzeugen. Dadurch wird in kurzer Zeit sehr viel Luftvolumen bewegt (Luftinduktion), wodurch sich Zu- und Raumluft gut vermischen. Diese Vermischung bewirkt, dass sich der Luftstrahl verlangsamt und Temperatur sowie Schadstoffkonzentrationen nahezu gleichmäßig im Raum verteilt werden. Es kommt demnach nur zu einer Verdünnung, der sich in der Raumluft befindenden Schadstoffen. Die Ausblasegeschwindigkeiten sind i. d. R. größer als 1 m/s, im Durchschnitt liegen diese zwischen 2 und 5 m/s, bei größeren Raumvolumen bis zu 15 m/s. [12] Die erreichbare Raumtiefe ist nach [13] in etwa 0,5- bis 2-fach so groß wie die Raumhöhe. Turbulente Mischlüftungen können von Luftdurchlässen wie u.a. Lüftungsgitter, Deckenluftdurchlässe, Dralldurchlässe oder Schlitzdurchlässe realisiert werden und sind sowohl für den Heiz- oder Kühlfall geeignet. Dabei sollte ein energetischer Kurzschluss vor allem in Heizbetrieb vermieden werden, da hier die warme Luft zunächst an der Decke entlang strömt und bei zu geringen Abständen zwischen Zu- und Abluftdurchlass wieder abgesaugt wird, ohne sich mit der Raumluft

zu vermischen. Dies kann auch verhindert werden, indem die Ausblasegeschwindigkeit erhöht wird, sodass die Zuluft so weit wie möglich in den Raum „gedrückt“ wird und nicht entlang der Decke strömt, wobei allerdings mehr Energie erforderlich ist. Im Kühlbetrieb ist die Zuluft dagegen leichter als die Raumluft, sie sinkt demnach schneller in den Aufenthaltsbereich, was unter Umständen Zugserscheinungen hervorrufen kann. Eine beispielhafte Darstellung des Strömungsbildes einer Mischlüftung ist in Abbildung 5 dargestellt.

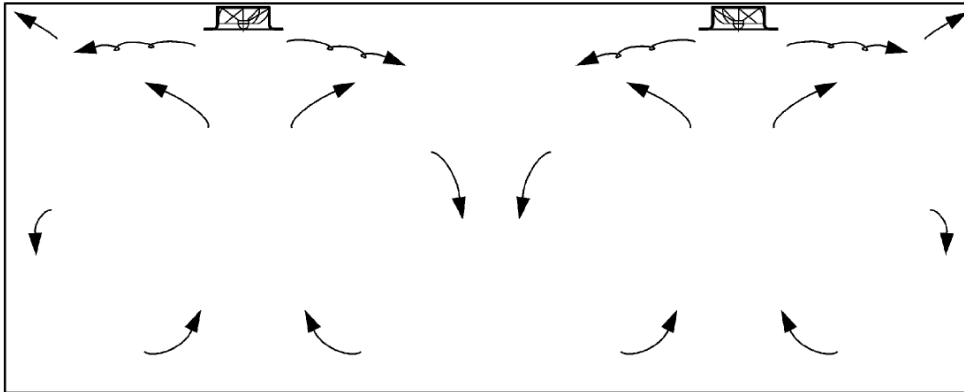


Abbildung 5 Beispielhaftes Strömungsbild einer turbulenten Mischlüftung nach [12]

Bei hohen Schadstoffkonzentrationen wäre eine Mischlüftung für die Lufthygiene nicht ratsam. Die Verunreinigungen würden durch die Durchmischung nicht sofort aus der Raumluft entweichen, sondern lediglich verdünnt werden und verteilen sich gleichmäßig im Raum. Dadurch halten sie sich für einen längeren Zeitraum in der Raumluft auf, was besonders bei Krankheitserregern nicht wünschenswert ist, da hier eine einmalige Infektion ausreicht. Die gleichmäßige Durchmischung ist ebenfalls nachteilhaft, wenn nur punktuelle Belastungen im Raum auftreten, da sich diese schnell zu flächendeckenden Belastungen entwickeln.

Turbulenzarme Verdrängungsströmung

Die turbulenzarme Verdrängungsströmung hat mehrere Sonderformen, die bekanntesten sind die Kolben- und Quelllüftung. Charakteristisch für eine Verdrängungsströmung ist die Verdrängung der verbrauchten Raumluft durch frische Zuluft in eine bestimmte Richtung im Raum, in der dann die technische Absaugung ins Kanalnetz erfolgt. Dabei ist die Richtung der Luftbewegung nahezu gleich im Gegensatz zur Mischlüftung, bei der die Strömungsrichtungen verschieden, teilweise sogar entgegengesetzt sind. Im Normalfall bildet sich ein Gefälle von Temperatur und Luftverunreinigungen in der Raumluft aus, es kommt zu keiner Verdünnung von Schadstoffen und anderen Partikeln. Im Folgenden werden vorzugsweise Kolben- und Quelllüftung als Formen der Verdrängungsströmung betrachtet.

Bei der Kolbenlüftung wird die Zuluft über eine sehr große Eintrittsfläche in den Raum geblasen, wobei eine gleichmäßige Luftströmung im Raum realisiert wird, siehe Abbildung 6. Diese Strömung erfasst entstandene Schadstoffe und führt sie zum großflächigen Abluftdurchlass. Ein Vorteil der Kolbenlüftung ist, dass sowohl horizontale als auch vertikale Strömungsrichtungen möglich sind, wodurch eine gewisse Flexibilität hinsichtlich der Raumgeometrie entsteht. Dennoch ist es bei dieser Luftführung wichtig, dass die freie Fläche im Raum möglichst groß ist, damit die Strömung nicht unterbrochen wird. Es sollten demnach keine Gegenstände vorhanden sein, welche das Strömungsbild verändern können, da sonst Verunreinigungen nicht vollumfänglich abtransportiert werden und in der Raumluft verbleiben. Des Weiteren sollten punktuelle Wärmequellen vermieden werden, da durch die thermischen Einflüsse Störungen im Strömungsbild entstehen können und Luftverunreinigungen nicht ordnungsgemäß abgeführt werden. Sind diese Bedingungen erfüllt, dann bietet die Kolbenlüftung eine sehr gute Luftführung, um Verunreinigungen in der Raumluft schnell abzuführen. Demnach wird sie vorrangig bei Räumen mit hohen Anforderungen an die Lufthygiene, wie Labore, Reinraumanlagen oder Operationssäle angewendet. [14]

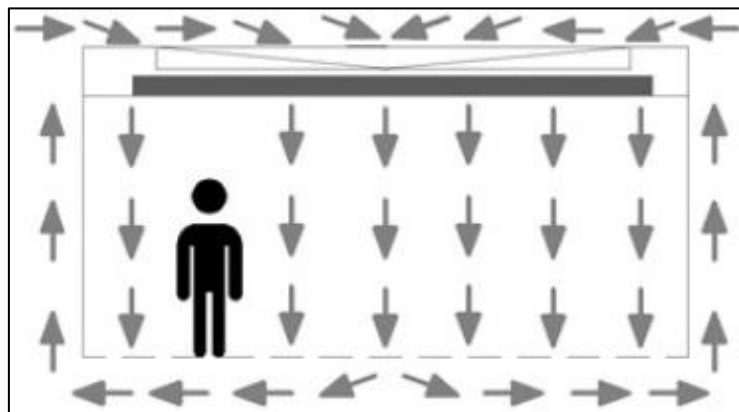


Abbildung 6 Beispielhaftes Strömungsbild einer Kolbenlüftung nach [14]

Bei der Quelllüftung wird die Zuluft mit sehr niedriger Geschwindigkeit kühler als die Raumluft eingebracht. [12] Aufgrund höherer Dichte sinkt sie zunächst in Richtung Boden, generell wird hier die Zuluft oftmals schon in Bodennähe eingebracht, um das Herabsinken und dadurch auftretende Zugluft zu vermeiden. Dementsprechend erfolgt eine zielgerichtete Ausbreitung über die gesamte Bodenfläche, durch die bereits größere Partikel aufgenommen werden. Das charakteristische bei einer Quelllüftung sind die im Raum vorhandenen Wärmequellen (Menschen, elektrische Geräte u.a.), welche einen wesentlichen Einfluss auf das Strömungsbild haben siehe Abbildung 7. So bildet sich beim Menschen durch konvektive Wärmeabgabe ein kaum wahrnehmbarer Luftstrom an der Hautoberfläche, welcher der Luftströmung am Boden eine zusätzliche Auftriebsströmung verleiht. Während diese nach oben

steigt, werden weitere Partikel in den oberen Bereich des Raums verdrängt. Aufgrund dessen steigen Temperatur und Schadstoffkonzentration mit der Raumhöhe, der Abluftdurchlass sollte demnach vorzugsweise im Deckenbereich angeordnet werden. Bei der Quelllüftung werden dadurch viele entstandene Geruchs- und Schadstoffe erfasst und abgeführt. Probleme entstehen, wenn keine Wärmequellen im Raum vorhanden sind, in diesem Fall würde die Zuluft nicht genügend Auftriebsströmung erhalten, wodurch Verunreinigungen im oberen Bereich nicht abgeführt werden. Sind allerdings keine Wärmequellen im Raum, dann wird dieser i. d. R. auch nicht genutzt, eine bedarfsgerechte Lüftung wäre hier vorteilhaft.

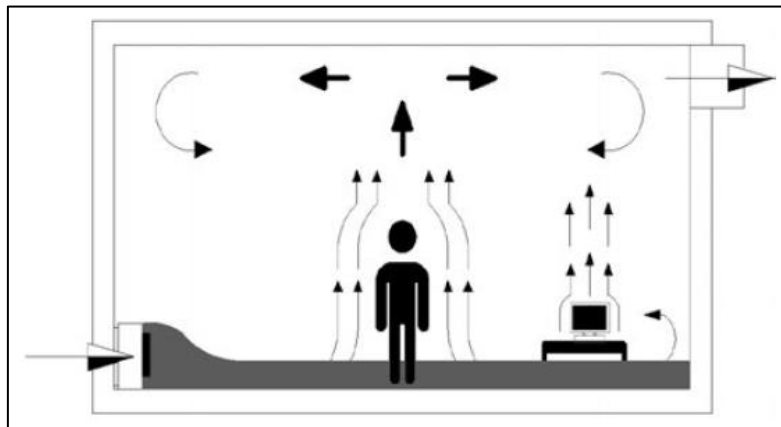


Abbildung 7 Beispielhaftes Strömungsbild einer Quelllüftung nach [14]

Typische Merkmale für die betrachteten Luftströmungen sind in Tabelle 7 zusammenfassend dargestellt.

	Mischlüftung	Verdrängungslüftung	
		Quelllüftung	Kolbenlüftung
Strömungsbild	Durchmischung von Raum- und Zuluft	Verdrängung der Raumluft durch Zuluft	
Luftstrahl	Turbulent	turbulenzarm	turbulenzarm, nahezu laminar
Behandlung von Luftverunreinigungen	Verdünnung von Geruchs- und Schadstoffen	Verdrängung von Geruchs- und Schadstoffen in Richtung Abluftdurchlass	
Ausblasegeschwindigkeit	Hoch	sehr niedrig	niedrig
Typischer Luftdurchlass	Dralldurchlass	Quellluftauslass	Verdrängungsauslass

Tabelle 7 Überblick ausgewählter charakteristischer Merkmale der betrachteten Luftströmungen

3.2 Entscheidende Luftverunreinigungen

3.2.1 Gasförmige Anteile in der Luft

Die Luft ist ein Gemisch mehrerer Gase, die Hauptbestandteile sind Stickstoff, Sauerstoff, Edelgase, Wasserdampf und Kohlenstoffdioxid, siehe Abbildung 3. Diese sind nun Gegenstand der folgenden Betrachtung, Kohlenstoffdioxid wird aufgrund seiner hohen Bedeutsamkeit bezüglich Innenraumluftqualität eine gesonderte Rolle spielen. Wasserdampf wurde hinsichtlich der Zustandseigenschaften feuchter Luft in der Studienarbeit bereits ausführlich betrachtet und wird dementsprechend nicht berücksichtigt.

Neben diesen gibt es noch sehr viele andere Spurengase, welche in verschwindend geringer Konzentration vorkommen, wie Abbildung 8 zeigt. Der größte Bestandteil ist Kohlenstoffdioxid mit etwa 400 ppm, gefolgt von den Edelgasen Neon und Helium.

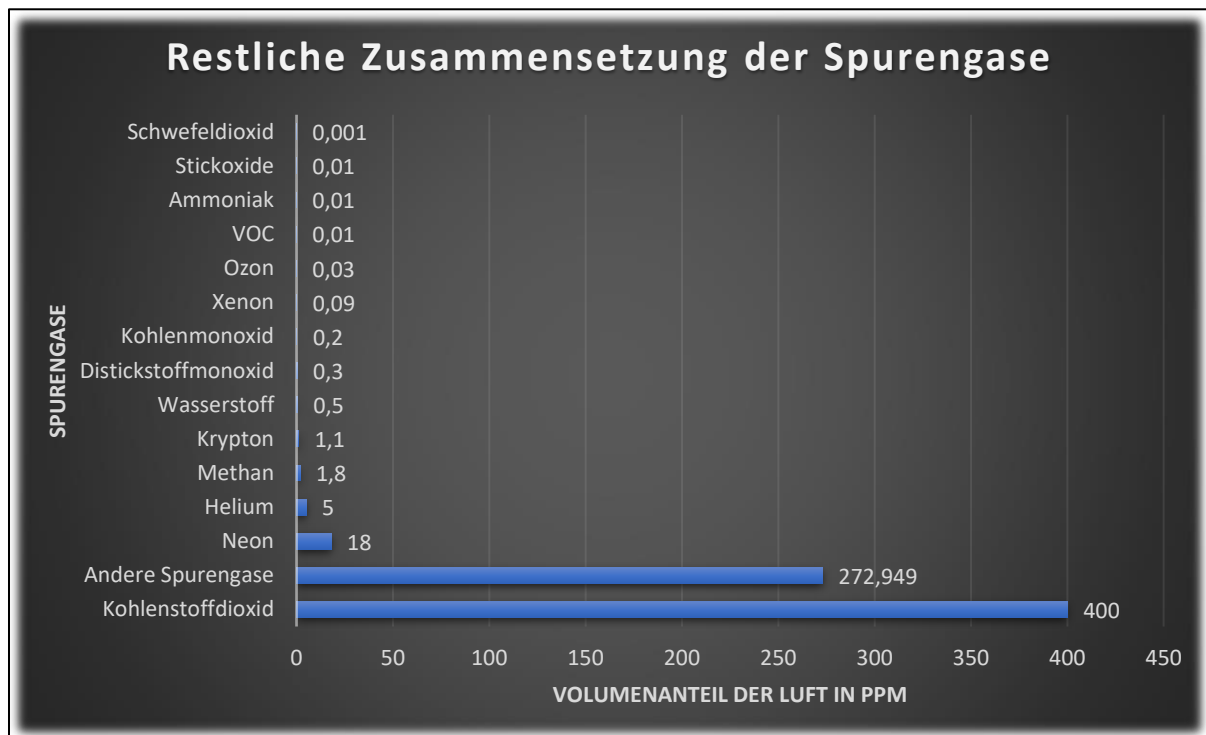


Abbildung 8 Beispielhafte Darstellung der Zusammensetzung ausgewählter Spurengase (Werte nach [4])

Die restlichen Spurengase werden unter Punkt 3.2.2 *Gefahrstoffe* berücksichtigt, Geruchstoffe werden im Punkt 3.2.4 *Flüchtige organische Verbindungen (VOC)* erläutert. Hier soll es vorrangig um die gasförmigen Hauptbestandteile der Luft gehen.

Mit 78,1 % ist das Gas Stickstoff der größte Bestandteil unserer Luft in der Atmosphäre. Dabei tritt das Gas in molekularer Form auf und ist für viele Lebewesen

essenziell. Besonders Pflanzen sind auf das Vorhandensein von Stickstoff in der Luft angewiesen, da sie sonst nicht wachsen könnten. Die hohe Konzentration kommt u.a. durch Mikroorganismen zustande, welche Nitrat in molekularen Stickstoff umwandeln können, siehe Stickstoffkreislauf (Anhang 12). Der Körper des Menschen kann Luftstickstoff nicht nutzen, er ist für uns zunächst unbedeutend. In seiner natürlichen Konzentration ist dieser für den Menschen nicht giftig sowie geruch- und farblos. Diese Eigenschaften machen Luftstickstoff allerdings gefährlich, so führt er in höheren Konzentrationen als üblich zur Erstickung von vielen Lebewesen. Durch die Geruchlosigkeit bemerkt man dies jedoch nicht, wodurch bei zu spätem Handeln bereits schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit auftreten können. Diese kann man aus Tabelle 8 ableiten. So würde bereits bei einem Anstieg auf 79,5 % das Arbeitsvermögen nachlassen. Lüftungsanlagen haben wenig Einfluss auf die Stickstoffkonzentration in der Luft, da sie nicht aus der Luftmenge gefiltert werden kann. Lediglich ein erhöhter Luftwechsel kann dazu beitragen, dass die Konzentration des Luftstickstoffs nicht zu hoch ansteigt. Schädliche Stickstoffverbindungen wie Ammoniak oder Stickstoffdioxid werden im Punkt 3.2.2 *Gefahrstoffe* behandelt.

Neben Stickstoff ist Sauerstoff ein wesentlicher Bestandteil der atmosphärischen Luft. Er ist für die meisten Landlebewesen lebensnotwendig, da er für die Erzeugung von Energie, während des Stoffwechsels mitverantwortlich ist. Unter Normbedingungen tritt der Luftsauerstoff genau wie Luftstickstoff in molekularer Form auf und ist ebenfalls geruch- und farblos. Sinkt die Konzentration nun in der Luft von 20,9 % ab, so treten gesundheitliche Probleme auf. Je geringer die Konzentration wird, desto schädlicher werden die Auswirkungen auf den menschlichen Körper. So nimmt bereits ab einer Konzentration von 19 % das Arbeitsvermögen des Menschen zunehmend ab. Liegt die Luftsauerstoffkonzentration unterhalb von 10 % kann dies bereits zum Tod führen. Eine genaue Übersicht der gesundheitlichen Auswirkungen auf den menschlichen Körper infolge von Sauerstoffmangel gibt Tabelle 8:

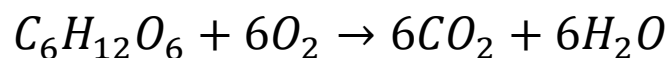
Sauerstoffkonzentration [%]	Gesundheitliche Auswirkungen
20,9	Normalzustand
15-19,5	Arbeitsvermögen lässt nach
12-15	Erhöhung von Puls und Atmung, Urteilsfähigkeit sinkt
10-12	Weiterer Anstieg von Puls und Atmung, Schwindel, blaue Lippen
8-10	Übelkeit, Ohnmacht, Erbrechen
6-8	Nach 8 min. – 100% Todesfälle, nach 6 min. – 50% Todesfälle
< 6	Koma in 40 Sekunden, Krämpfe, Atemstillstand, Tod

Tabelle 8 Auswirkungen von Sauerstoffmangel auf den menschlichen Körper nach [15]

Den Sauerstoffgehalt der Luft können Lüftungsanlagen ebenso wenig beeinflussen wie den Stickstoffgehalt, auch hier kann lediglich mit verstärkter Lüftung und Einbringung frischer Außenluft indirekt die Sauerstoffkonzentration der Raumluft erhöht werden. Allerdings ist dadurch auch eine Verringerung möglich, wenn die Außenluft durch besondere Umstände einen geringeren Sauerstoffgehalt als die Raumluft aufweist.

Die reaktionsträgen Edelgase machen im Gegensatz zu Stickstoff und Sauerstoff einen verschwindend geringen Anteil aus. Die wichtigsten sind Argon (9300 ppm), Neon (18 ppm), Helium (5 ppm), Krypton (1,1 ppm) und Xenon (0,09 ppm). Das radioaktive Edelgas Radon wird unter Punkt 3.2.6 *Radioaktive Belastungen* betrachtet. Bis auf Radon sind alle Edelgase für den Menschen ungefährlich, in der Innenraumlufthygiene spielen diese demnach keine entscheidende Rolle. Eine Überprüfung bzw. Behandlung durch RLT-Anlagen ist nicht notwendig.

Wie bereits erwähnt, nimmt das Spurengas Kohlenstoffdioxid eine gesonderte Rolle hinsichtlich der Lufthygiene ein. Die Hauptursache dafür erschließt sich aus der Reaktionsgleichung der aeroben Atmung des Menschen:



Formel 2 Chemische Reaktionsgleichung der aeroben Atmung des Menschen

Demnach reagiert ein Glucosemolekül mit sechs Sauerstoffmolekülen, wodurch jeweils sechs Wassermoleküle und Kohlendioxidmoleküle entstehen. Der Umgebungsluft wird also kontinuierlich Sauerstoff entzogen und anschließend die gleiche Menge Kohlendioxid wieder hinzugefügt. Ohne einen Luftaustausch mit der Außenluft würde die CO₂-Konzentration somit bei Belegung des Innenraumes stark ansteigen. Beim Ausatmen beträgt die CO₂-Konzentration der Luft ca. 40.000 ppm, also ungefähr das 100-fache der Außenluft. Aufgrund dessen stellt der Mensch eine wesentliche Verunreinigungsquelle dar. Die Höhe der CO₂-Konzentration hängt nach [16] von folgenden Faktoren ab:

- Personenanzahl, Aktivität und Aufenthaltsdauer
- Raumvolumen
- Verbrennungsvorgänge
- Lüftung (insbesondere Luftwechsel, Höhe des Außenluftvolumenstroms)

In der Außenluft kommt es als natürlicher Bestandteil vor, die Konzentration kann von Standort zu Standort unterschiedlich hoch sein. Allgemein werden 400 ppm angesetzt, wobei dieser Wert in Ballungsgebieten und Großstädten oft höher ist. In

ländlichen Gegenden und Kleinstädten beträgt die CO₂-Konzentration i. d. R. 350 bis 400 ppm. Der vorindustrielle Wert war dagegen viel geringer, er betrug schätzungsweise 280 ppm. [4] Im Anhang 13 ist eine tabellarische Übersicht der Entwicklung von CO₂-Konzentrationen im Jahresmittel für verschiedene Standorte in Deutschland zu sehen. [17] Dabei betrug dieser 1975 im Durchschnitt noch 338 ppm, 44 Jahre danach im Jahr 2019 dagegen schon 415,5 ppm.

Obwohl die CO₂-Konzentration in der Außenluft in Deutschland stetig ansteigt, sinken die Emissionen des Treibhausgases kontinuierlich, wie in Abbildung 9 zu sehen ist. Während zwischen 1990 und 1995 vorrangig der verringerte Braunkohleeinsatz in Ostdeutschland zur Senkung der CO₂-Emissionen beitrug, ist ab 1995 die aktive Klimaschutzpolitik der Bundesregierung Hauptursache für den anhaltenden Rückgang. Im Jahr 2020 hatte zudem die Corona-Pandemie einen wesentlichen Einfluss auf die Reduzierung der CO₂-Emissionen. Dabei erkennt man, dass besonders die Energiewirtschaft, durch bessere Technik und strengere Vorschriften sowie private Haushalte, durch ein stärker werdendes „Umweltbewusstsein“, einen deutlichen Rückgang verzeichnen.

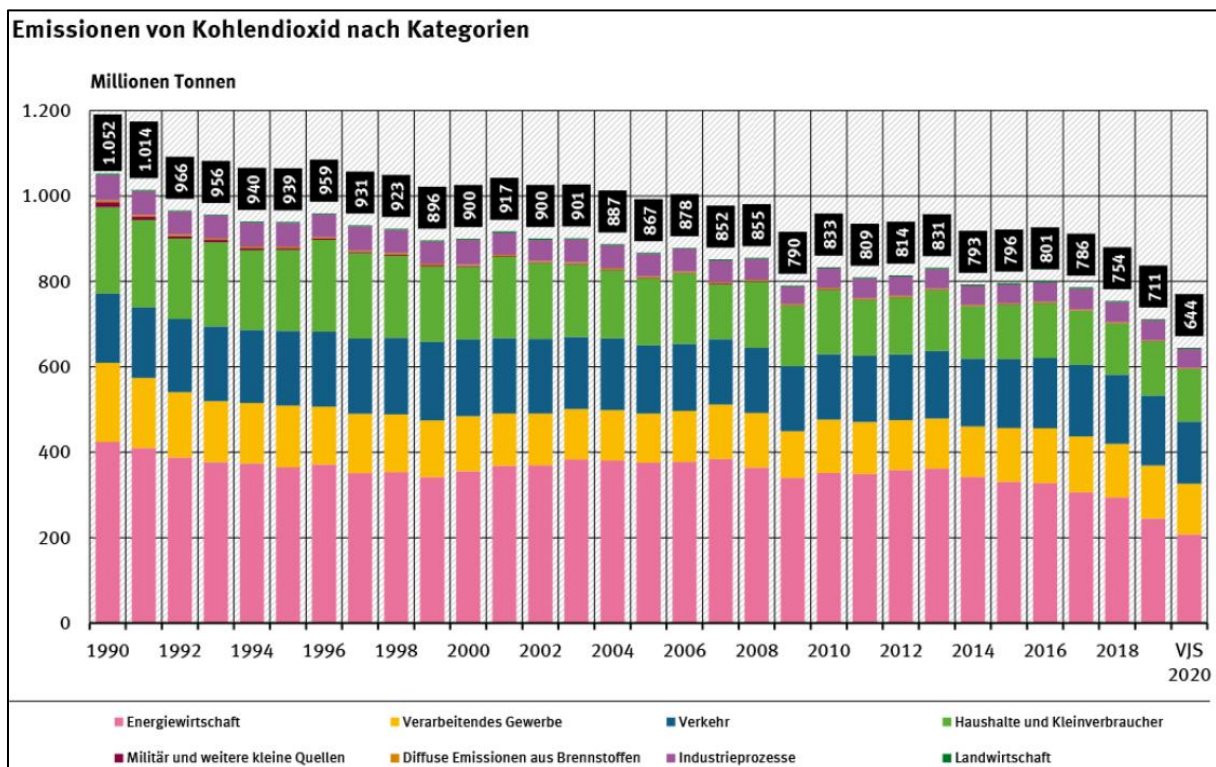


Abbildung 9 Entwicklung der CO₂-Emissionen von Deutschland nach UBA

In der Innenraumlufte werden die Außenluftkonzentrationen allerdings sehr schnell überschritten, hier gibt es unterschiedlichste Grenzwerte von Normen und Institutionen. Allgemein wird die Pettenkofer-Zahl von 1.000 ppm als Richtgröße

verwendet. Besonders kritisch sind Räume mit hohen Belastungen über einen längeren Zeitraum, wie beispielsweise Klassenzimmer in Schulen. In Versammlungs- bzw. Seminarräumen kommt es zu kurzzeitigen Spitzenbelastungen, hier wäre eine bedarfsgerechte Lüftung vorteilhaft. Zu hohe CO₂-Belastungen können zu gesundheitlichen Beschwerden wie Kopfschmerzen, Müdigkeit und beeinträchtigtes Leistungsvermögen führen. Nach [18] ist ein CO₂-Wert von ungefähr 100.000 ppm die tödliche Grenze, bei der zunächst Bewusstlosigkeit, Gehirnschäden und letztendlich der Tod eintritt. In der Regel ist es schwer für gewisse CO₂-Konzentrationen exakte gesundheitliche Auswirkungen auf den Menschen abzuleiten, da jeder Körper auf diese unterschiedlich reagiert. In einer Studie der Wissenschaftler Sayers, Smith, Holland und Keatinge aus dem Jahr 1987 wurden beispielsweise 21 Testpersonen über einen Zeitraum von 20 min. einer CO₂-Konzentration von bis zu 75.000 ppm ausgesetzt, wobei sich lediglich deren Denkleistung verlangsamte. [19]

Um gesundheitliche Schäden infolge hoher CO₂-Konzentrationen zu verhindern, sollten geeignete Maßnahmen ergriffen werden. Eine Lastreduzierung ist nicht möglich, da der Mensch häufig selbst Hauptverunreinigungsquelle ist. Man müsste ihn als Lastquelle entfernen, was grundsätzlich schwer möglich ist. Entsteht allerdings durch andere Prozesse wie Verbrennungsvorgänge Kohlendioxid, dann muss hier eine Verringerung der Last erfolgen. Ist dies auch nicht möglich, gibt es nur noch eine Alternative, die Lüftung. Diese wird nach ASR A3.6 ab einem CO₂-Wert von über 1.000 ppm in der Raumluft notwendig, siehe Tabelle 2. Werte zwischen 1.000 und 2.000 ppm werden vom UBA als hygienisch auffällig bewertet. [16] Wird eine Konzentration von 2.000 ppm in der Raumluft überschritten, so sollten nach ASR A3.6 weitere Maßnahmen stattfinden, wie ein verstärkter Luftaustausch oder sogar eine Reduzierung der Personenanzahl. Letzteres lässt sich in der Praxis wie bereits erwähnt sehr schwer durchsetzen. Das UBA bewertet solche Konzentrationen als hygienisch inakzeptabel.

Die CO₂-Konzentration in der Raumluft lässt sich als Lüftungsindikator darstellen und mit Hilfe verschiedenster Modellrechnungen sehr genau ermitteln. Grundsätzlich setzt sich die Konzentration dabei unter Standardbedingungen aus drei Anteilen zusammen. Als aller erstes wäre da die Ausgangskonzentration vor dem betrachteten Zeitraum, i. d. R. entspricht diese der Außenluftkonzentration also ungefähr 400 ppm. Erfolgte allerdings schon ein Lasteintrag, so kann die Ausgangskonzentration auch wesentlich höher sein. Als nächstes muss die zugeführte CO₂-Konzentration ermittelt werden. Hier muss geprüft werden, welche Emissionsquellen im Raum vorhanden sind. Häufig wird vereinfacht der Mensch als

alleinige Verunreinigungsquelle angenommen, finden jedoch beispielsweise Verbrennungsvorgänge statt, führen diese der Raumluft ebenfalls Kohlenstoffdioxid hinzu. Dieser CO₂-Eintrag kann über chemische Reaktionsgleichungen ermittelt werden. Hier wird zunächst nur der CO₂-Eintrag durch den Menschen betrachtet. Dieser berechnet sich wie folgt:

$$K_{ZU} = \frac{\dot{V}_K}{\dot{V}_L} \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot \tau})$$

Formel 3 Berechnung der zugeführten CO₂-Konzentration durch den Menschen [18]

\dot{V}_K = Schadstoffvolumenstrom

\dot{V}_L = Außenluftvolumenstrom

λ = Luftwechselrate

τ = Zeitintervall

Der Schadstoffvolumenstrom \dot{V}_K wird ermittelt aus der CO₂-Produktion pro Person, welche von verschiedenen Faktoren wie Tätigkeit, Geschlecht oder Alter abhängt und der Personenanzahl. Die CO₂-Abgabe pro Person in l/h für verschiedene Aktivitätsgrade ist in Tabelle 9 dargestellt:

Tätigkeit	Aktivitätsgrad	CO ₂ -Abgabe in l/h
Statische Tätigkeit im Sitzen, wie Lesen und Schreiben	1	15
Sehr leichte körperliche Tätigkeit im Stehen oder Sitzen	2	23
Leichte körperliche Tätigkeit	3	30
Mittelschwere bis schwere körperliche Tätigkeit	4	40

Tabelle 9 CO₂-Abgabe pro Person in Abhängigkeit der Tätigkeit nach [18]

Der Außenluftvolumenstrom \dot{V}_L setzt sich aus dem Raumvolumen und der vorhandenen Luftwechselrate zusammen. Nach Formel 3 wird demnach die zugeführte CO₂-Konzentration kleiner, wenn sich der Außenluftvolumenstrom erhöht.

Letztendlich wird die durch die Lüftungsmaßnahme abgeführte CO₂-Konzentration betrachtet:

$$K_{AB} = (K_{AU} - K_0) \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot \tau})$$

Formel 4 Berechnung der abgeführten CO₂-Konzentration [18]

K_{AU} = Konzentration in der Außenluft

K_0 = Anfangskonzentration zum Zeitpunkt τ

Die in der Raumluft tatsächlich vorliegende CO₂-Konzentration ergibt sich dann aus der Summe der zugeführten Konzentration und der Ausgangskonzentration verringert um die abgeführte Last:

$$K = K_0 + K_{ZU} - K_{AB}$$

Formel 5 Ermittlung der tatsächlich herrschenden CO₂-Konzentration in der Raumluft [18]

Auf die CO₂-Abgabe des Menschen kann man mit Lüftungstechnischen Maßnahmen keine Auswirkungen erzielen. Anhand der betrachteten Formeln erkennt man allerdings, dass der Außenluftvolumenstrom und die Luftwechselrate, welche im direkten Zusammenhang stehen, einen größeren Einfluss auf die vorhandene Konzentration der Raumluft haben. Das nachfolgende Beispiel soll dies verdeutlichen:

Es wird ein Klassenzimmer in einer Schule betrachtet, der Unterricht findet von 8:00 Uhr bis 15:30 Uhr statt. Es befinden sich 27 Schüler und ein Lehrer im Raum, von 9:30 Uhr bis 10:00 Uhr gibt es eine erste Pause sowie von 12:30 bis 13:00 Uhr eine zweite. Die CO₂-Abgabe pro Person wurde mit 0,015 l/h bzw. 15.000 ppm angenommen. Die Abmessungen des Raumes betragen 8 m x 7 m x 3 m (Länge x Breite x Höhe), wodurch sich ein Raumvolumen von 168 m³ ergibt. Es wurden folgende Lüftungsvarianten berücksichtigt:

- Fugenlüftung (L_w = 0,3; Außenluftvolumenstrom 51 m³/h)
- Dauerhaft gekippte Fenster (L_w = 1,0; Außenluftvolumenstrom 168 m³/h)
- Stoßlüftung in den Pausen, ansonsten Fugenlüftung (L_w = 4,0; Außenluftvolumenstrom 672 m³/h)
- RLT-Anlage im Dauerbetrieb (L_w = 2,0; Außenluftvolumenstrom 340 m³/h)

Es stellen sich je nach Lüftungsvariante unterschiedliche CO₂-Konzentrationen ein, was man anhand der Abbildung 10 nachvollziehen kann. Die exakten Berechnungen für jede Variante sind im Anhang 14 nachzuvollziehen.

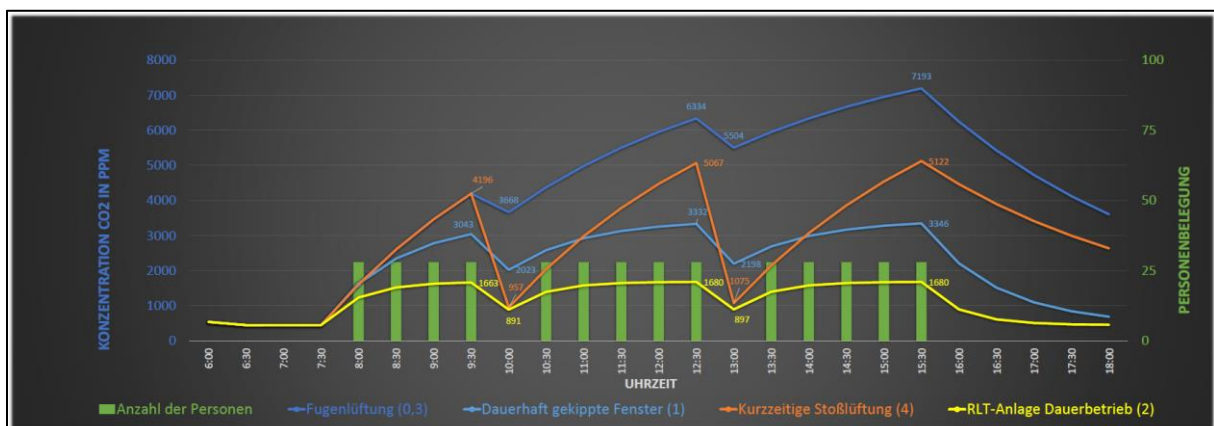


Abbildung 10 Verlauf der CO₂-Konzentrationen bei verschiedenen Lüftungsmaßnahmen

Demnach steigt die CO₂-Konzentration bei einem 0,3-fachen Luftwechsel durch die Fugen der Gebäudehülle auf bis zu 7.193 ppm. In den Pausen gibt es nur einen geringfügigen kurzzeitigen Abfall. Die dauerhafte Kipplüftung bewirkt langanhaltende hohe Konzentrationen um 3.000 ppm, bei kurzer Stoßlüftung in den Pausen können durch hohe Luftwechsel die CO₂-Konzentration dagegen auf 1.000 ppm herabgesenkt werden. Dennoch steigt hier die Konzentration bei voller Belegung auf 5.122 ppm und liegt demnach teilweise höher als bei der dauerhaften Lüftung durch gekippte Fenster. Am hygienisch akzeptabelsten ist in diesem Fall die Lüftung durch eine im Dauerbetrieb laufende RLT-Anlage. Hier steigt die CO₂-Konzentration bei durchgehendem 2-fachem Luftwechsel nicht höher als 1.680 ppm, man liegt nach UBA im „hygienisch auffälligen“ Bereich, nach ASR A3.6 sind bei dieser Variante keine weiteren Maßnahmen zu ergreifen.

Eine Studie der TU-Berlin in Zusammenarbeit mit der WOLF GmbH bekräftigt diesen Sachverhalt. So stellten sich für ein Klassenzimmer nach einer Unterrichtsstunde bei mechanischer Lüftung geringere CO₂-Konzentrationen ein als bei freier Lüftung (siehe Abbildung 11). Die mechanische Lüftung erfolgte durch ein Lüftungsgerät der WOLF GmbH und erzielte einen stündlichen Luftwechsel von 4,44 die Fenster wurden dauerhaft gekippt sowie nach 20 min kurzzeitig komplett geöffnet. Weiterhin ist zu erkennen, dass sich bei der maschinellen Lüftung die Last wesentlich gleichmäßiger im Raum verteilt, während bei der Fensterlüftung größere Schwankungen auftreten.

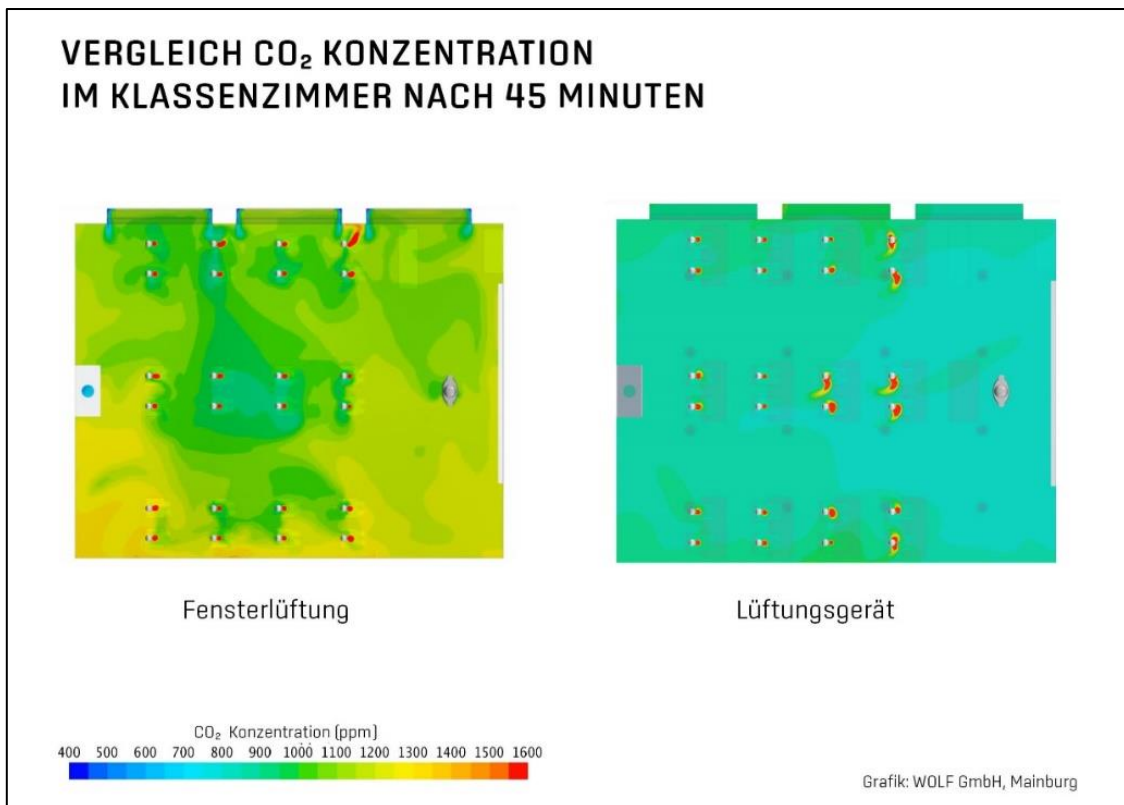


Abbildung 11 Entwicklung der CO₂-Konzentration für ein Klassenzimmer nach [20]

Die CO₂-Konzentration im Innenraum kann bei Fensterlüftung unter Umständen auch von der Außentemperatur indirekt abhängen, da ein gewisser Zusammenhang zwischen Lüftungsverhalten der Nutzer und Außentemperatur vorhanden ist. So liegt nach statistischen Messungen die CO₂-Konzentration der Raumluft im Winter durchschnittlich höher als im Sommer. Dies lässt sich auf die thermische Behaglichkeit zurückführen. Im Winter herrschen niedrigere Außentemperaturen, welche der Mensch meidet, da seine Wärmebilanz aus dem Gleichgewicht gerät und er anfängt zu frieren. Aufgrund dessen lässt er keine frische Außenluft in den Raum hinein, die CO₂-Konzentration steigt. Im Sommer hat die Außenluft eher angenehme Lufttemperaturen, wodurch öfter gelüftet wird und Kohlendioxid aus der Raumluft entweichen kann. Abbildung 12 verdeutlicht diesen Sachverhalt für eine Grundschule, demnach liegt die CO₂-Konzentration bei 0°C Außentemperatur bei ungefähr 1648 ppm im Durchschnitt, bei 20°C Außentemperatur nur noch bei 942 ppm (Einsetzen der Außentemperatur in dargestellte Gleichung). Daraus lässt sich schlussfolgern, dass bei höheren Außentemperaturen in der Grundschule mehr gelüftet wurde.

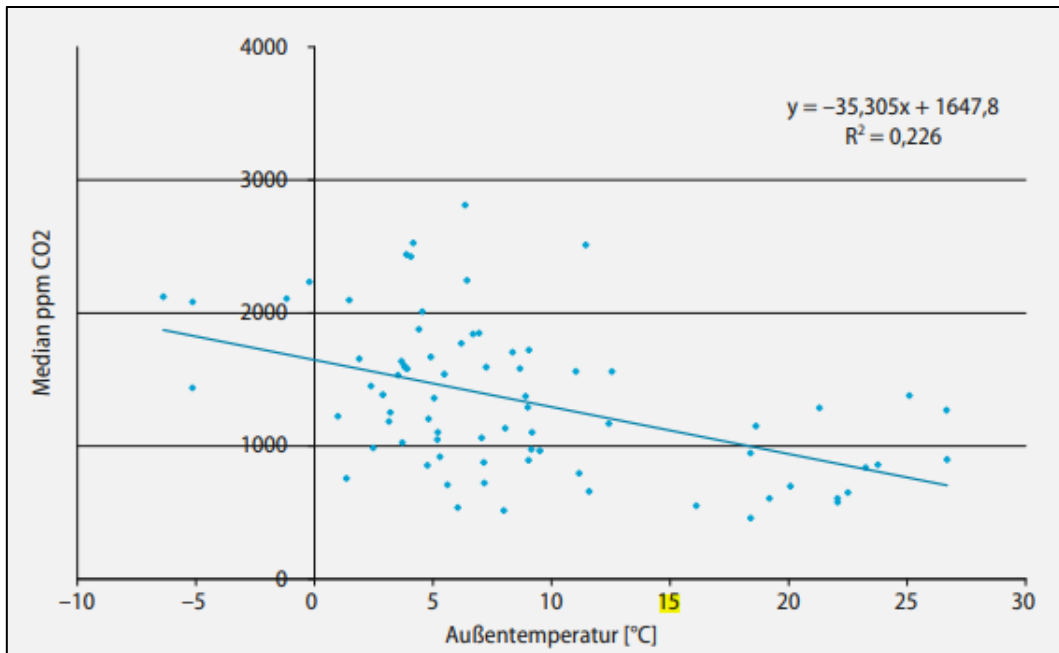


Abbildung 12 Darstellung der Abhängigkeit von CO₂-Konzentration und Außentemperatur

Bei Einsatz von maschinellen Lüftungsmöglichkeiten, welche die Außenluft im Winter erwärmen, würde diese Abhängigkeit wegfallen, da hier bei Raumbelugung immer ein kontrollierter Luftaustausch erfolgt. Die durchschnittliche CO₂-Konzentration würde dementsprechend im Winter als auch im Sommer annähernd gleich sein, wenn die Rahmenbedingungen (Aktivität, Personenzahl, Luftwechsel, Raumvolumen) dieselben bleiben.

Oftmals wird behauptet, dass der Mensch CO₂ in der Raumluft durch seinen Geruchssinn wahrnehmen kann, da bei hoher Konzentration ein unangenehmer Geruch zu verspüren ist. Dies hängt allerdings nicht von der CO₂-Konzentration ab, sondern viel mehr von der Konzentration flüchtiger organischer Verbindungen (VOC). Ist der Mensch nun Hauptverunreinigungsquelle, so steigt die CO₂-Konzentration wie auch die VOC-Konzentration. Dieser Sachverhalt ist in der folgenden Abbildung dargestellt:

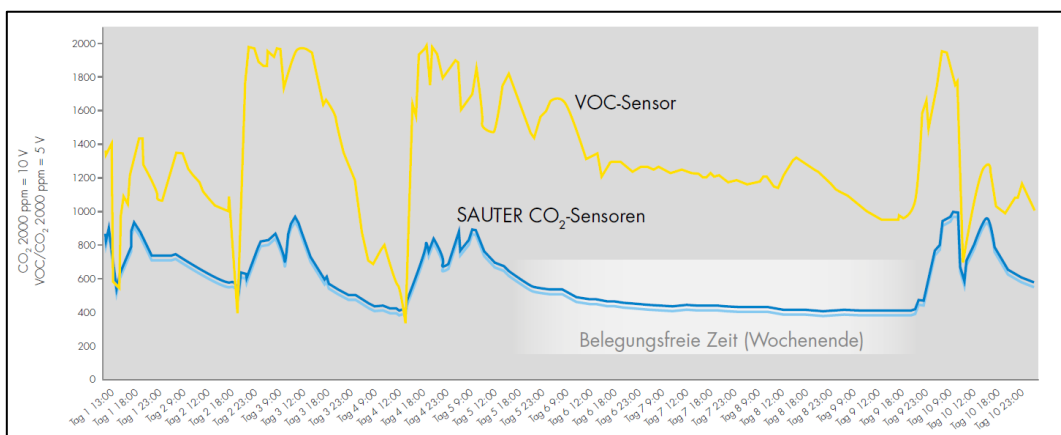


Abbildung 13 Zusammenhang zwischen CO₂- und VOC-Konzentration nach

Es ist zu erkennen, dass bei Anstieg der CO₂-Konzentration auch die Belastung durch VOC zunimmt. Dieser Zusammenhang ist allerdings nur für Räume anzunehmen, bei denen die Hauptverunreinigungsquelle der Mensch selbst ist. Das Verhalten von VOC und deren Auswirkungen auf Personen in Innenräumen wird im Punkt 3.2.4 *Flüchtige organische Verbindungen (VOC)* ausführlicher betrachtet.

3.2.2 Gefahrstoffe

Gefahrstoffe sind nach GefStoffV alle Stoffe, Gemische oder Erzeugnisse, welche gefährliche explosionsfähige Eigenschaften aufweisen oder einen AGW nach TRGS zugewiesen ist. Sie können bereits durch geringe Konzentrationen schwerwiegende Folgen für die Gesundheit des Menschen, aber auch für die Umwelt haben. Aufgrund dessen ist deren Einfluss auf die Lufthygiene im Raum enorm groß, besonders dort, wo größere Gefahrquellen vorhanden sind.

Die GefStoffV unterteilt Gefahrstoffe in Gefahrenklassen auf, wobei zwischen physikalischen Gefahren, Gesundheitsgefahren, Umweltgefahren und weiteren Gefahren unterschieden wird. Die Tabelle hierzu ist im Anhang 15 dargestellt. Da eine Betrachtung aller anerkannten Gefahrstoffe nach TRGS und Gefahrstoffverordnung den Rahmen sprengen würde, werden die aktuell relevantesten und für die Lufthygiene am bedeutendsten Stoffe berücksichtigt. Dies sind im Konkreten:

- Ammoniak
- Stickstoffoxide
- Kohlenstoffmonoxid
- Schwefeldioxid
- Ozon

Daneben sind auch Stäube, Kohlenstoffdioxid, flüchtige organische Verbindungen und Radon Gefahrstoffe für den menschlichen Körper, diese werden in den anderen Gliederungspunkten ausführlicher untersucht. Das UBA hat die atmosphärischen Emissionen relevanter Gefahrstoffe über mehrere Jahre gemessen und dabei für alle einen Rückgang der Emissionen festgestellt. Es besteht ein Zusammenhang zum Rückgang der Staub-Emissionen, siehe Punkt 3.2.3 *Stäube*, da auch hier durch den Fortschritt der Technik sowie verschärften Richtlinien und Grenzwerten die Emissionen kontinuierlich zurückgegangen sind.

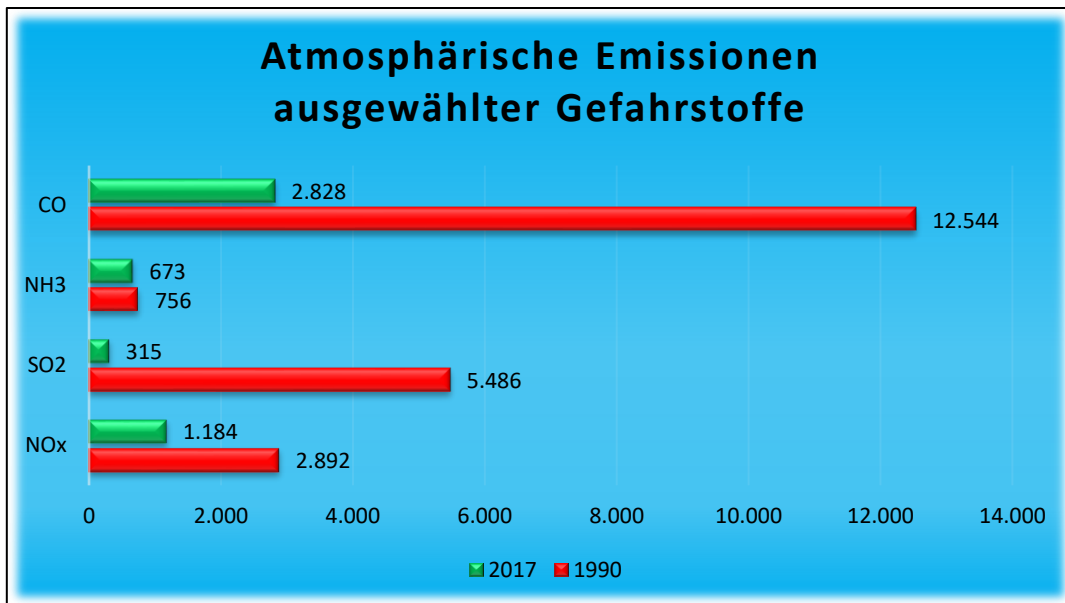


Abbildung 14 Atmosphärische Emissionen der betrachteten Gefahrstoffe für 1990 und 2017 (Werte nach [21])

Ammoniak ist eine farblose gasförmige Stickstoffverbindung mit einer natürlichen Konzentration von 0,01 ppm in der Außenluft. Auf natürliche Weise entstehen nur geringe Mengen an Ammoniak, wie beispielsweise bei der Zersetzung von abgestorbenen Pflanzen. Die anthropogenen Quellen überwiegen dagegen, vor allem bei der Nutztierhaltung und Landwirtschaft, so werden beispielsweise 95 % der Ammoniak-Emissionen in Deutschland nur durch die Landwirtschaft verursacht. [22] [23] Im Gegensatz zu anderen gasförmigen Gefahrstoffen hat es einen sehr starken stechenden Geruch, den der Mensch auch bei geringer Konzentration wahrnimmt. Dadurch handelt der Mensch i. d. R. auch schneller, indem er beispielsweise die Gefahrquelle ausfindig macht, den Raum lüftet oder sich aus dem Raum begehrt. Tut er dies nicht, so sind gesundheitliche Schäden, wie Reizungen der Atemwege, Husten, Kopfschmerzen oder Riechstörungen zu erwarten. Damit diese erst gar nicht auftreten, ist der nach TRGS geforderte AGW von 14 mg/m³ bzw. 20 ppm einzuhalten.

Stickoxide nehmen den ungefähr gleichen Anteil wie Ammoniak in der Luft ein (0,01 ppm) und gehören zu den Stickstoffverbindungen, wobei sie lediglich aus Sauerstoff-Atomen und Stickstoff-Atomen bestehen. Zu den bedeutendsten Verbindungen gehören Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid. Stickoxide stellen eine große Gefahr für die Umwelt dar, sie tragen beispielsweise zur Ozonbildung und Feinstaubbelastung bei. Auch hier überwiegen anthropogene Quellen, besonders durch die Energiewirtschaft und den Straßenverkehr. Allgemein entstehen sie als ein Nebenprodukt bei vielen Verbrennungsprozessen. Die natürliche Konzentration kann dadurch stellenweise stark überschritten werden. Besonders Ballungsgebiete und Großstädte weisen höhere Stickoxid-Konzentrationen auf. Nach der 39. BImSchV

sollte der 1-Stunden-Imissionsgrenzwert $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (18 zugelassene Überschreitungen pro Jahr) nicht überschreiten, der Jahresgrenzwert beträgt $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Wie bereits erwähnt, entstehen Stickoxide durch Verbrennungsvorgänge, welche in Innenräumen allerdings selten stattfinden und selbst wenn werden sie über die Abgasanlage ins Freie gelangen. Aufgrund dessen stellen punktuell hohe Stickoxid-Belastungen in der Außenluft eine Gefahrenquelle für die Lüftung dar. So kann es passieren, dass durch den Luftaustausch Stickoxide von außen in den Raum gelangen, besonders in Großstädten kann dieser Vorgang eintreten. Man sollte dementsprechend die Außenluftqualität mit gewissen Sensoren prüfen, bevor man mit der Lüftungsmaßnahme beginnt. [24]

Kohlenstoffmonoxid ist ein farb- und geruchloses Gas, welches mit durchschnittlich 0,2 ppm in der Luft vorkommt. Ebenso wie Stickoxide entsteht es hauptsächlich durch Verbrennungsvorgänge, vor allem wenn zu wenig Sauerstoff zugeführt wird und somit eine unvollständige Verbrennung vorliegt. Auch sind Energiewirtschaft und Straßenverkehr hauptsächliche Quellen für hohe Emissionen. [25] Das Gas beeinträchtigt bei hoher Konzentration die Sauerstoffaufnahme des Menschen maßgeblich und wirkt als Atemgift. Aufgrund seiner Geruchlosigkeit werden hohe Konzentrationen nicht wahrgenommen, der Mensch wird vergiftet und erstickt bevor er überhaupt handeln kann. Treten Symptome wie Müdigkeit und Kopfschmerzen auf, ist es in vielen Fällen bereits zu spät, um zu handeln. [26] Aufgrund dessen sollte bei möglichen Kohlenmonoxid-Quellen, also überall wo kohlenstoffhaltige Substanzen verbrannt werden, Sensoren im Raum installiert werden, welche die Konzentration in der Raumluft regelmäßig messen. Ein erhöhter Luftaustausch kann dazu beitragen die Konzentration zu verringern, vorausgesetzt die Außenluft ist nicht hoch belastet. Auch hier sollte besonders in Großstädten auf die Außenluftqualität geachtet werden, um die Raumluft nicht unnötig zu belasten. Nach 39.BImSchV darf der 8-Stunden-Mittelwert $10 \text{mg}/\text{m}^3$ nicht überschreiten.

Schwefeldioxid ist ein farbloses Gas, welches mit einer Konzentration von ungefähr 0,001 ppm in der Luft vorkommt. Anders als Kohlenmonoxid hat es einen auffallenden stechenden Geruch, der Mensch nimmt es dementsprechend leicht wahr. Ähnlich wie Stickoxide und Kohlenmonoxid entsteht Schwefeldioxid durch Verbrennungsprozesse, vorrangig von fossilen Brennstoffen wie Kohle oder Öl. [27] Bei starker Belastung können die Schleimhäute und Augen des Menschen gereizt werden, des Weiteren können Atemnot und Schäden der Atemwege auftreten. Schwefeldioxid hat außerdem wesentliche Auswirkungen auf die Umwelt, so kann es bei hoher Konzentration Pflanzen schädigen sowie Böden und Gewässer versauern. Der 1-Stunden-Grenzwert beträgt nach 39.BImSchV $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 zugelassene

Überschreitungen pro Jahr), der Tagesgrenzwert darf $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dreimal im Jahr überschreiten. Anhand der Abbildung 14 sieht man, dass die Emissionen von Schwefeldioxid gegenüber anderen Gefahrstoffen seit 1990 am stärksten abgenommen haben. Heutzutage werden nahezu flächendeckend die Konzentrationsgrenzwerte von Schwefeldioxid eingehalten, dennoch sollte man bei der Lüftung von Innenräumen die Außenluftqualität messen, da punktuelle Belastungen dennoch vorhanden sein können.

Ozon ist ein sehr giftiges Gas, welches bereits bei niedrigen Konzentrationen Gesundheitsschäden wie Reizung der Schleimhäute oder Kopfschmerzen verursachen kann. In der Luft nimmt es eine Konzentration von ca. 0,03 ppm ein. Das instabile Ozonmolekül besteht aus drei Sauerstoffatomen und ist ein charakteristisch starkes Oxidationsmittel. Bei höherer Intensität weist es einen stechend scharfen Geruch auf, nach [28] nimmt der Mensch Ozon ab einer Konzentration von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wahr. Ozon kann durch verschiedenste Prozesse entstehen, das in der Stratosphäre vorkommende Ozon wird beispielsweise durch die Anreicherung von einem Sauerstoffmolekül mit einem durch die Sonnenstrahlung gespaltenen Sauerstoffatom produziert. Hier bildet sich die sogenannte Ozonschicht aus, welche schädliches UV-Licht der Sonne absorbiert. Durch zu hohe Stickoxid-Konzentrationen können sich allerdings in Bodennähe durch eine Reaktion von Stickstoffdioxid und Sauerstoff Ozonmoleküle bilden, hier spricht man vom unerwünschten Ozon, welches schädlich für den Menschen ist. Besonders an sehr warmen Tagen im Sommer entsteht dieses Ozon in Großstädten, dann sollte mittels Sensoren die Ozonkonzentration überprüft werden. Eine weitere Bildungsmöglichkeit von Ozon sind Gewitter, welche durch den elektrischen Strom bei der Entladung zwischen Wolke und Erde Ozon entstehen lassen können. [28] Ein AGW-Wert für Ozon gibt es zurzeit nicht, der MAK-Wert betrug $0,2 \text{ mg}/\text{m}^3$. Nach 39. BImSchV beträgt der langfristige Zielwert $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als höchster 8-Stunden-Mittelwert eines Tages, bei Überschreitung des 1-Stunden-Mittelwertes von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ müssen unverzüglich Maßnahmen ergriffen werden, da hier ein Gesundheitsrisiko für die Bevölkerung entsteht.

3.2.3 Stäube

Nach [12] ist Staub im Allgemeinen „in der Luft verteilte, disperse Feststoffe beliebiger Form, Struktur und Dichte, die nach Feinheit unterteilt werden können“. Staub gehört neben Ruß und Rauch zum Schweb- bzw. Gesamtstaub, welcher als Sammelbegriff für alle festen, flüssigen und gemischtphasigen Teilchen in der Luft, die über einen Zeitraum in der atmosphärischen Luft verweilen, dient. [29]

Staub kann unterschiedlich betrachtet werden, zum Beispiel hinsichtlich der Partikelgröße, der Staubklasse, der Gefährdung, dem Schadstoffgehalt usw. Hier soll zunächst eine Betrachtung hinsichtlich der Partikelgröße der Teilchen erfolgen, wie in Abbildung 15 dargestellt ist.

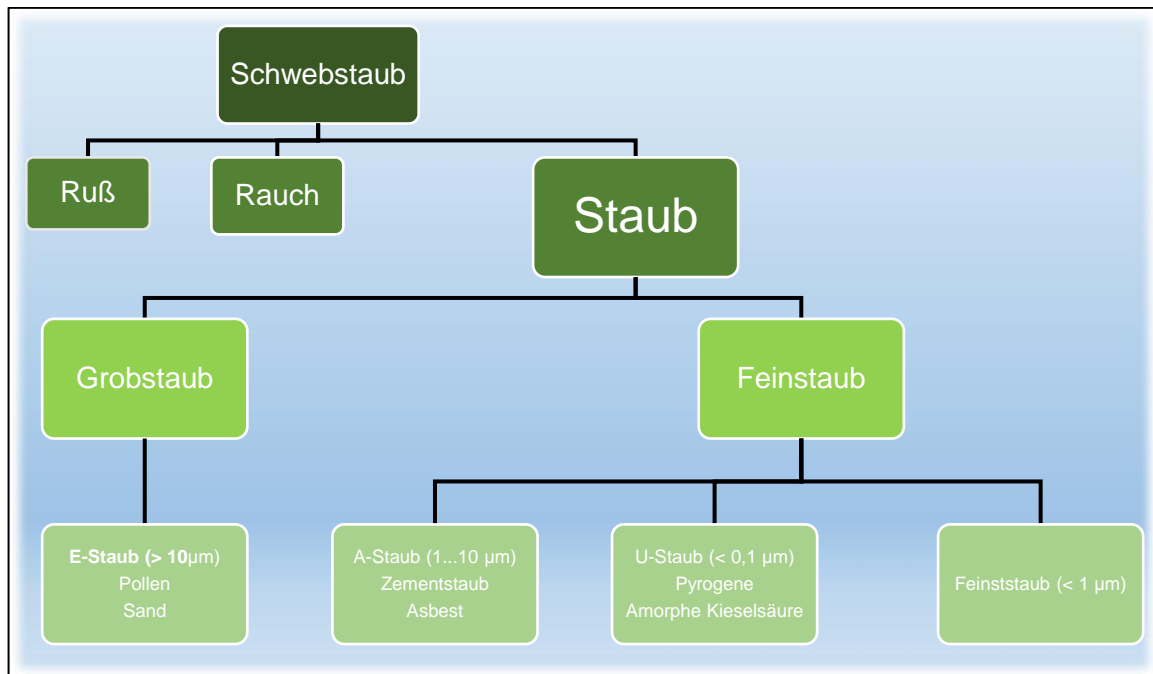


Abbildung 15 Einteilung von Staub hinsichtlich der Partikelgröße von Teilchen

So kann man grundsätzlich zwischen Grob- und Feinstaub unterscheiden. Teilchen mit einem Durchmesser größer 10 µm sind „grobe Partikel“ und gehören zum Grobstaub. Sie zählen laut TRGS 900 zur einatembaren Fraktion, so werden sie über Mund und Nase eingeatmet, wobei ein Großteil an den Nasenhärchen und Schleimhäuten des Menschen hängen bleibt. Sie gelangen dementsprechend nicht bis in die Lunge und sind i.d.R. nicht für die Gesundheit gefährdend. Wie schädlich der Grob- oder Feinstaub wirklich ist, hängt im Allgemeinen neben der Staubart und der Partikelgröße von der Dauer und Konzentration der Staubbelastung sowie von der Ablagerung in den Atemwegen ab. [30]

Sind die Teilchen kleiner als 10 µm ordnet man sie dem Feinstaub zu. Dieser lässt sich nochmals unterteilen in A-Staub (Alveolengängiger Staub), U-Staub (Ultrafeiner Staub) und Feinstaub. Feinstaub ist wesentlich gesundheitsschädlicher als Grobstaub, da die Partikel ab einer Größe von 2,5 µm bis in die Bronchien und Lungenbläschen (Aveolen) gelangen können, wodurch die Sauerstoffaufnahme zunehmend gestört wird. Aufgrund dessen betrachtet man Partikel mit einer Größe zwischen 10 und 2,5 µm (auch PM₁₀ genannt) und einer Größe kleiner 2,5 µm (auch PM_{2,5} genannt), beide Gruppen gehören aber zum A-Staub. Je nach Art der

Belastung können unterschiedliche Auswirkungen auf die Gesundheit des Menschen auftreten, wie einfache Schleimhautreizungen, Entzündungen der Luftröhre, Atemwegserkrankungen bis hin zu Herz-Kreislaufproblemen. [31]

Feinstaub kann durch natürliche Vorgänge entstehen, wie Bodenerosion oder Vulkanausbrüche, oder durch anthropogene, also vom Menschen geschaffene Quellen. Hier kann Feinstaub durch Verbrennungsvorgängen in Motoren, im Privathaushalt (Kaminheizung), bei Industrieprozessen (Herstellung von Metallen) aber auch in der Landwirtschaft entstehen. Anhand der Abbildung 16 erkennt man, dass die Hauptursachen für die Entstehung von Feinstaub Industrieprozesse, die Landwirtschaft und der Verkehr sind.

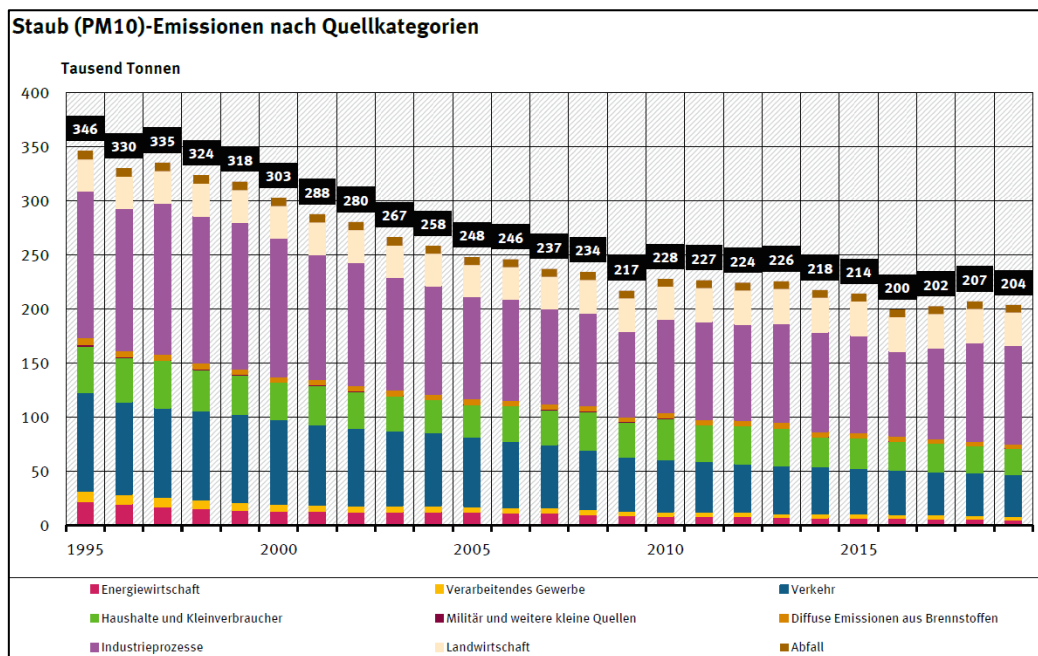


Abbildung 16 Übersicht der Emissionen von anthropogenen Feinstaubquellen nach UBA [32]

Des Weiteren sieht man einen Rückgang der Emissionen um 41 %, von 346.000 t (1995) auf 204.000 t (2019) bezogen auf Partikel kleiner 10 µm. Dieser Rückgang kam durch stetig verbesserte Technik, verschärfte Richtlinien der EU, wie die Richtlinie 1999/30/EG des Rates vom 22.04.1999 oder die Luftqualitätsrichtlinie des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 21.05.2008, wodurch geringere Grenzwerte von Luftschadstoffen einzuhalten waren, zustande. Einzuhaltende Grenzwerte nach BImSchV oder WHO sind in der Tabelle 4 im Punkt 2.3 *Aktuelle Rechts- und Gesetzeslage für Arbeitsstätten in Deutschland* dargestellt. Für die ultrafeinen Stäube gibt es zurzeit noch keine Grenzwerte, da die derzeitigen wissenschaftlichen Erkenntnisse diesbezüglich ungenügend sind. Diese Partikel kleiner 0,1 µm entstehen vorwiegend bei thermischen Prozessen (Schweißprozesse)

oder bei der mechanischen Bearbeitung von Werkstoffen. Solche Partikel können beispielsweise Pyrogene und amorphe Kieselsäuren sein.

Die Abbildung 17 verdeutlicht nochmals den Rückgang der Feinstaubbelastung deutschlandweit, hier für alle Partikel kleiner 2,5 µm. Man kann erkennen, dass besonders in Großstädte und industriellen Ballungsgebieten die Jahresmittelwerte den Grenzwert von 20 µg/m³, vor 2020 noch 25 µg/m³, oftmals überschritten wurden. Dennoch ist zu sehen, dass vor allem der Osten Deutschlands eine etwas höhere Feinstaubbelastung, mit ungefähr 12,5 µg/m³ im Durchschnitt, aufweist und somit geringfügig höhere Konzentrationen als der restliche Teil des Landes besitzt.

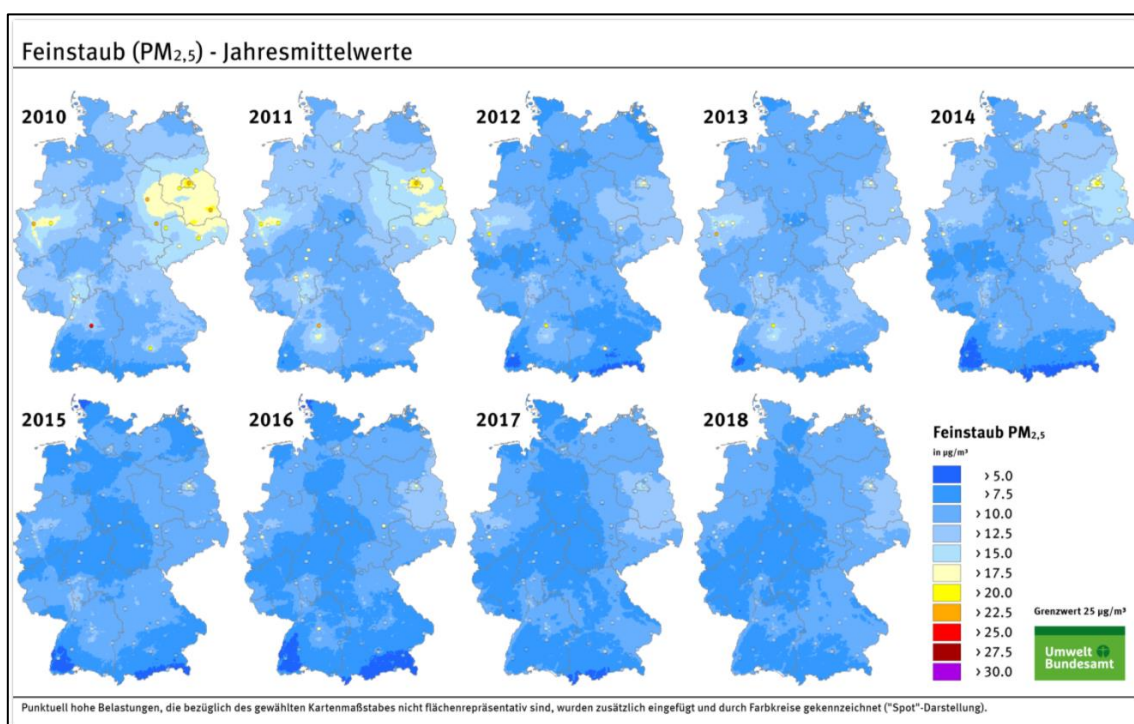


Abbildung 17 Deutschlandweite Übersicht der Jahresmittelwerte für Partikel kleiner 2,5 µm nach UBA [33]

Nun kann man Stäube auch nach deren Gefährdungspotential beurteilen. So gibt es nach DIN EN 60335-2-69 folgende drei Klassen:

- Staubklasse L (Leicht gefährlich)
- Staubklasse M (Mittel gefährlich)
- Staubklasse H (Hoch gefährlich)

Zur Staubklasse L gehört der herkömmliche Hausstaub oder Sand mit einem allgemeinen AGW von > 1 mg/m³, hier bedarf es keiner besonderen Entsorgung. Holz- oder Metallstäube zählen zur Staubklasse M. Hier muss ein AGW von ≥ 0,1 mg/m³ im Raum eingehalten werden. Stäube der Staubklasse H sind die gesundheitsschädlichsten und krebserregend, hierzu gehören beispielsweise

Formaldehydstäube, Kobaltstäube, Asbest und Mineralfasern. Der AGW für diese Staubklasse beträgt $<0,1 \text{ mg/m}^3$. [34]

Damit keine gesundheitlichen Schäden aufgrund von Stäuben entstehen, sollten Maßnahmen getroffen werden, beispielsweise eine erste Gefährdungsbeurteilung. Hier muss analysiert werden, welche Staubarten mit welcher Staubklasse vorhanden sind. Grundsätzliche Maßnahmen zur Verringerung von Stäuben in der Raumluft sind:

- Unnötige Entstehung von Staub vermeiden
- Staubarme Materialien, Baustoffe verwenden
- Schutzkleidung tragen
- Beachtung der AGW

Für die Belüftung des Raums ist die maschinelle Lüftung gegenüber der freien Lüftung vorteilhafter, da bei der freien Lüftung Zu- und Abluft nicht gefiltert werden können. Des Weiteren kommt es hier zu unkontrollierbaren Luftströmungen, wodurch Stäube genau da hingelangen können, wo sie vermieden werden sollten. Bei maschineller Lüftung können Stäube gezielt an der Entstehungsquelle abgesaugt werden, um eine Ausbreitung im Raum zu verhindern. Die Zuluft kann exakt gefiltert werden, sodass die Grenzwerte für die entsprechenden Teilchen eingehalten werden. Außerdem können durch die Abluftfilterung wenig im Raum entstandene Stäube in die Außenluft gelangen, wodurch beispielsweise andere Mitmenschen im Freien vor höheren Staubbelastungen geschützt werden. [35]

3.2.4 Flüchtige organische Verbindungen (VOC)

Das UBA definiert flüchtige organische Verbindungen (engl. Volatile Organic Compounds) als „gas- und dampfförmige Stoffe organischen Ursprungs in der Luft“ mit einem Siedebereich zwischen $50\text{-}260^\circ\text{C}$. Dazu zählen beispielsweise verschiedenste Kohlenwasserstoffe, Alkohole, Aldehyde oder organische Säuren. Diese organisch-chemischen Verbindungen können als eine Vielzahl in der Raumluft vorkommen. [36] Der Mensch kann durch seinen Geruchssinn sehr viele von diesen bei hoher Konzentration wahrnehmen, einer Studie aus dem Jahr 2014 zufolge sogar über eine Billion verschiedener Düfte. [37]

Die flüchtigen organischen Verbindungen lassen sich nach ihrem Siedebereich einteilen, demnach gibt es neben den VOC auch leicht flüchtige organische Verbindungen (engl. Very Volatile Organic Compounds) und schwerflüchtige organische Verbindungen (engl. Semi Volatile Organic Compounds) wie folgende Tabelle zeigt:

Beschreibung	Bezeichnung	Siedebereich	Beispiele
Leicht flüchtige organische Verbindungen	VVOC	<0°C – 50°C...100°C	Formaldehyd, Schaumbildner
Flüchtige organische Verbindungen	VOC	50 – 100°C...240 bis 260°C	Restmonomere, Additive
Schwerflüchtige organische Verbindungen	SVOC	240 bis 260°C...380 bis 400°C	Weichmacher, Biozide
An Partikel gebundene organische Verbindungen	POM	> 380°C	Holzschutzmittel, PCB
Biologisch flüchtige Verbindungen	MVOC	-	Stoffwechselprodukte

Tabelle 10 Einteilung der flüchtigen organischen Verbindungen nach deren Siedebereich (MVOC ausgenommen, Tabelle nach [12])

Sind schwerflüchtige organische Verbindungen in der Raumluft enthalten, können diese nach längerer Zeit in Richtung Bodennähe sinken, wobei sie an Hausstaub oder anderen Partikeln haften bleiben. Man spricht dann auch von organischen Partikeln (engl. Particulate Organic Matter). Neben diesen existieren biologisch flüchtige Verbindungen (engl. Microbial Volatile Organic Compounds), dies können beispielsweise Stoffwechselprodukte von Schimmelbildung oder auch Bakterien und Pilze sein.

Flüchtige organische Verbindungen können aus natürlichen Quellen, wie biologische Prozesse beispielsweise Pflanzenstoffwechsel, oder anthropogenen Quellen, wie technische Prozesse, Straßenverkehr oder Reinigungs- und Pflegemittel emittieren. In Innenräumen sind u.a. Einrichtungsgegenstände und verwendete Bauprodukte Quellen von VOC-Emissionen. Da jedes Lebewesen VOC-Emissionen an die Umgebungsluft emittiert, ist auch der Mensch selbst eine Verunreinigungsquelle im Raum. Bei einer Internetumfrage des UBA gaben die befragten Teilnehmer (n=300) als häufige Geruchsquellen in Innenräumen Bodenbeläge (38%), Möbel (20%) und Wandfarben/ Wände (20%) an. Nach UBA sind die VOC-Emissionen besonders bei Sanierungen und unsachgemäßer Verarbeitung im Durchschnitt höher als üblich. [38] [39]

Ist der Mensch diesen höheren Konzentrationen über einen längeren Zeitraum bzw. in regelmäßigen Abständen ausgesetzt, können unter Umständen gesundheitliche Beeinträchtigungen auftreten. Laut einer Befragung von 108 betroffenen Personen durch das UBA sind dies i.d.R. Reizungen von Nase und Augen sowie zunehmende Müdigkeit und Kopfschmerzen, siehe Abbildung 18.

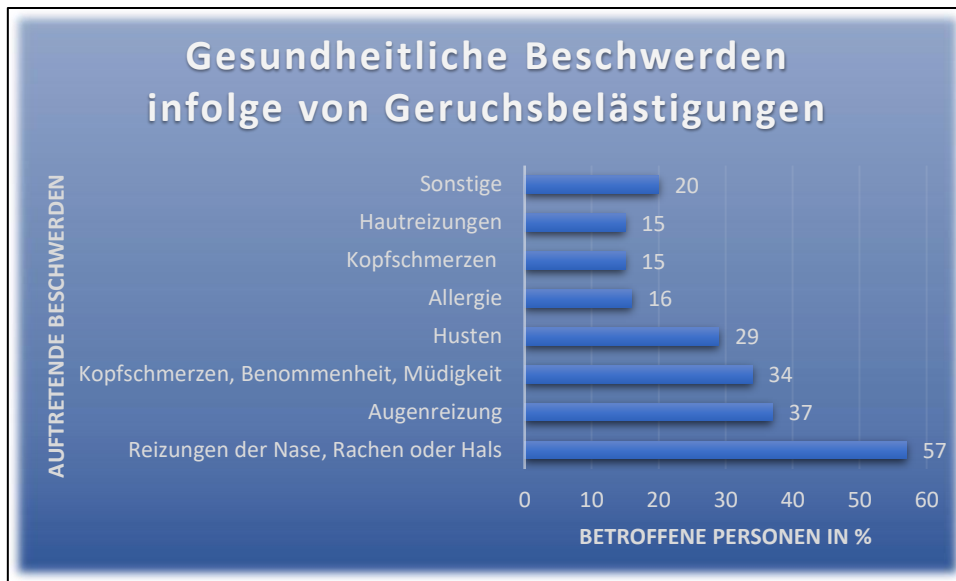


Abbildung 18 Auftretende gesundheitliche Beschwerden bei hohen VOC-Emissionen im Innenraum (Werte nach [39])

Besonders V_{VOC} und V_{OC} weisen hohe Geruchsintensitäten auf und sind für den Menschen leicht bemerkbar. Durch regelmäßiges Lüften können sie problemlos aus der Raumluft entfernt werden. S_{VOC} sind dagegen nicht so leicht bemerkbar, sie setzen sich oftmals am Hausstaub oder anderen Partikeln fest und können so über eine längere Zeitdauer im Raum verharren. Aufgrund dessen sind sie eher durch Reinigen von Oberflächen und Einrichtungsgegenstände zu entfernen, Lüften bringt hier nicht immer den gewünschten Erfolg.

Um die Vielzahl der in der Raumluft enthaltenen VOC zu bewerten, wurde das TVOC-Konzept (engl. Total Volatile Organic Compound) entwickelt. Eine allgemeine Bewertung der VOC-Emissionen ist grundsätzlich schwierig, da die Gemische verschiedenste Eigenschaften aufweisen und zu vielen Stoffen wissenschaftliche Erkenntnisse fehlen. Der TVOC-Wert an sich spiegelt die Summe der Konzentration der Einzelverbindungen wider, dieser ist jedoch noch nicht toxikologisch vollumfänglich begründet. Das heißt er dient heutzutage lediglich als eine gewisse Einschätzung der Gesamtsituation hinsichtlich VOC-Emissionen in der Raumluft. Das UBA hat im Jahr 2007 das Konzept von Seifert aus 1999 weiterentwickelt und 5 Bewertungsstufen eingeführt. Demnach liegt die hygienisch unbedenkliche Grenze bei 1 mg/m^3 in der Raumluft, wobei Richtwerte einzelner Stoffe eingehalten werden müssen. Überschreitet der TVOC-Wert 1 mg/m^3 so ist der Raum nur noch eingeschränkt nutzbar bzw. ab einem Wert von 10 mg/m^3 ist eine Nutzung gänzlich zu vermeiden. Dann sind Sanierungs- und Umbaumaßnahmen unter Umständen erforderlich. Die einzelnen Stufen nach UBA für die Hygienische Bewertung von VOC-Emissionen gibt Abbildung 19:

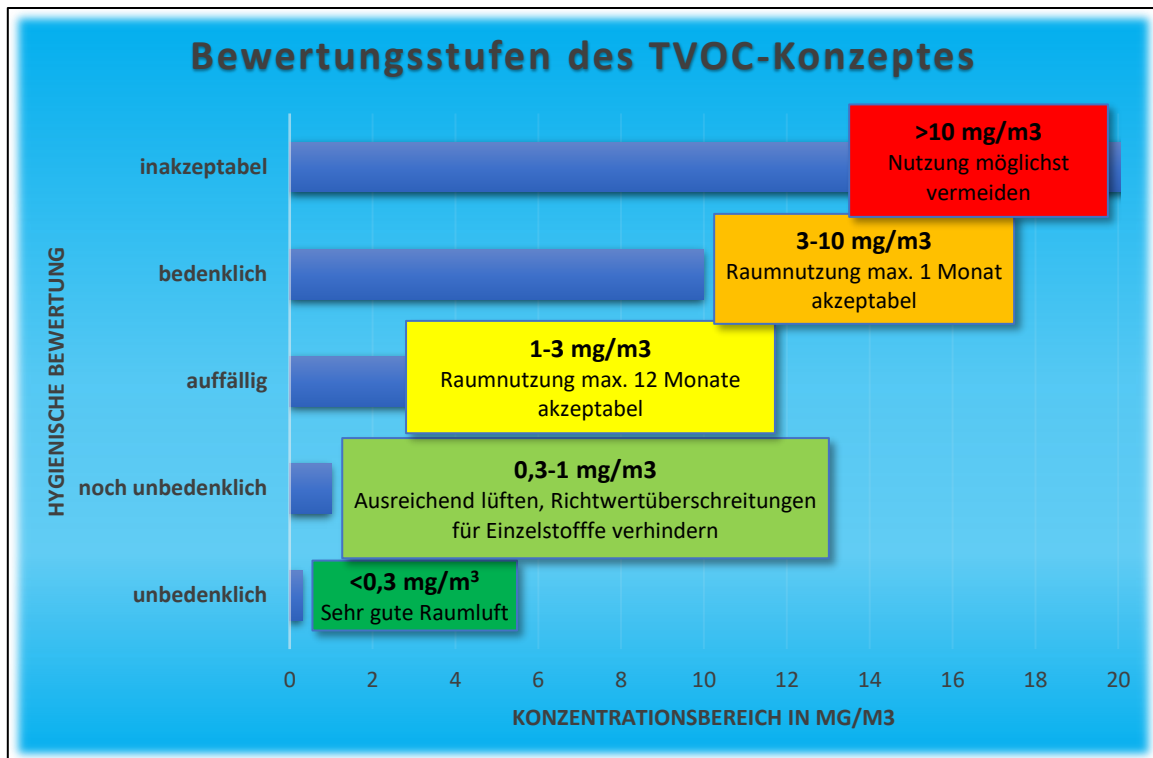


Abbildung 19 Hygienische Bewertung von VOC-Emissionen nach dem TVOC-Konzept [40]

Wie bereits erwähnt sind diese Werte toxikologisch nicht begründet, sie stellen dementsprechend nur Leitwerte zur Einhaltung dar. Dennoch sind bereits für einzelne organische Verbindungen Richtwerte und vorgeschriebene AGW vorhanden. Hier bildet sich ein gewisser Widerspruch zu den Bewertungsstufen des TVOC-Konzeptes. Werden beispielsweise in einem Raum VOC durch ausschließlich Formaldehyd und Naphthalin emittiert, wobei die Konzentration den aktuellen AGW nach TRGS entspricht, also für Formaldehyd $0,37 \text{ mg/m}^3$, für Naphthalin 2 mg/m^3 , so beträgt der TVOC-Wert $2,37 \text{ mg/m}^3$. Dies entspricht einer hygienisch auffälligen Bewertung, obwohl die gesetzlichen Grenzwerte eingehalten werden. Würden die Konzentrationen dagegen dem Richtwert 1 nach UBA entsprechen, so wäre der TVOC-Wert nur noch $0,11 \text{ mg/m}^3$, die Raumlufte wäre bezüglich vorhandener VOC-Emissionen sehr gut. Anhand dessen sieht man, dass zwischen hygienischen Leitwerten und den gesetzlichen Grenzwerten noch gewisse Diskrepanzen herrschen, hier müsste in Zukunft eine Anpassung zwischen Leitwerten und schon vorhandenen Grenz- bzw. Richtwerten erfolgen.

3.2.5 Krankheitserreger

In Innenräumen kommen neben generellen Luftbelastungen, wie Schadstoffe, Gerüche, Feuchte, CO_2 etc. auch Belastungen durch schwebende Krankheitserreger

wie Viren und Bakterien vor. Solche Krankheitserreger bzw. Keime sind nach Infektionsschutzgesetz (IfSG) Mikroorganismen, welche beim Menschen „eine Infektion oder übertragbare Krankheit verursachen kann“⁸. Diese Mikroorganismen können beispielsweise Viren, Bakterien, Pilze, Algen u.a. sein, siehe Abbildung 20. In dieser Arbeit werden vorrangig die Einflüsse von Viren und Bakterien auf die Lufthygiene betrachtet.

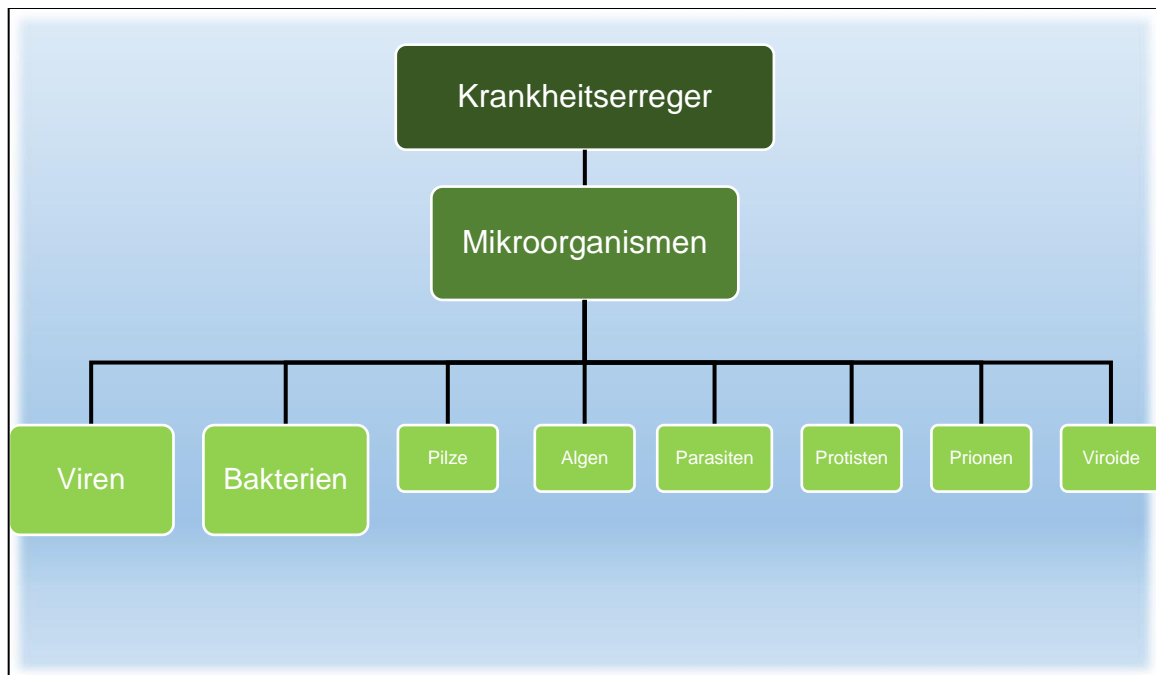


Abbildung 20 Beispielhafte Einteilung von Krankheitserregern

Viren sind kleine Partikel, welche von einer Hülle umgeben sind, in der sich lediglich das Erbgut befindet. Sie weisen keinen eigenen Stoffwechsel auf und benötigen für ihre Vermehrung lebendige Zellen, sie sind dementsprechend keine eigenständigen Zellen. Viren können ausschließlich gesundheitliche Schäden in Form von Infektionskrankheiten an anderen Lebewesen auslösen, Material- bzw. Gebäudeschäden sind nicht möglich. Solche Infektionskrankheiten sind beispielsweise die Grippe (Influenza) oder Hepatitis. Im Gegensatz zu Viren sind Bakterien mikroskopisch kleine Einzeller ohne Zellkern mit eigenem Stoffwechsel. Sie weisen unterschiedlichste Formen, sie können beispielsweise kugel-, stäbchen-, oder spiralförmig sein, auf, wobei sich ihr Größe im μm -Bereich oder kleiner befindet. Auch sie können Infektionskrankheiten beim Menschen wie Cholera oder Typhus verursachen. Vereinzelt sind Bakterien dagegen auch gesundheitsfördernd bzw.

⁸ IfSG, Juli 2000: § 2 Begriffsbestimmungen, S.5

sogar lebensnotwendig für den Menschen, dies sind u.a. Darm- und Milchsäurebakterien. [41] [42]

Bakterien und Viren sind sehr klein, wodurch ihre Sinkgeschwindigkeit sehr langsam wird, i. d. R. ist diese kleiner als die vorhandene Luftgeschwindigkeit. Des Weiteren schweben sie wie nahezu jeder Mikroorganismus in der Raumluft nicht allein, sondern mit einem Staub- oder Flüssigkeitspartikel. Dieses Gebilde nennt man auch „Aerosol“, welche sehr unterschiedliche Größen aufweisen. Sie können beispielsweise Durchmesser von $0,001\ \mu\text{m}$ bis über $100\ \mu\text{m}$ besitzen. Je nach Größe und Gewicht variiert ihre Sinkgeschwindigkeit und somit der Aufenthalt in der Raumluft. Allgemein kann man sagen: Je kleiner die Aerosole, desto kleiner ist die Sinkgeschwindigkeit und umso länger verbleiben sie in der Luft. Wird dabei eine Größe von $10\ \mu\text{m}$ unterschritten, ist es möglich, dass sich die Aerosole sogar mehrere Tage in der Raumluft aufhalten. Jedoch ist dabei zu beachten, dass auf die Verweilzeit in der Raumluft noch mehrere Faktoren einwirken, wie Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur oder die Belüftung des Raumes. [43]

Das Infektionsrisiko für verursachte Infektionskrankheiten durch Viren oder Bakterien hängt dabei von der Virulenz und der Infektionsdosis ab. Eine Übertragung kann beispielsweise über Nahrungsmittel, offene Wunden, Hautverletzungen oder über den Luftweg erfolgen. Für die Lüftungstechnik ist lediglich die Luftübertragung bedeutend, da man hier durch die Be- und Entlüftung sowie Reinigungstechnologien Einfluss auf die Verweilzeit der Aerosole bzw. Tröpfchen hat. Dabei sind Tröpfchen grundsätzlich auch Aerosole, in der Medizin werden allerdings alle flüssigen Aerosole größer $5\ \mu\text{m}$ als Tröpfchen bezeichnet. Dementsprechend wird hier zwischen Tröpfcheninfektion und der Infektion über Aerosole unterschieden. [43]

Obwohl nach [12] die Gefahr einer Infektion durch Kontaktübertragung wesentlich höher ist als die Tröpfcheninfektion über den Luftweg, ist das Infektionsrisiko dennoch da und sollte so gering wie möglich gehalten werden. Besonders beim Sprechen, Singen und Husten werden sehr viele Aerosole über die ausgeatmete Luft durch den Menschen im Raum verbreitet. Befinden sich bereits Krankheitserreger in den Atemwegen, so enthalten die ausgestoßenen Aerosole diese. Die Größe der Partikel ist dabei sehr verschieden, so werden beim normalen Atmen kleine Aerosole ($< 5\ \mu\text{m}$) ausgeschieden, beim Husten oder Niesen dagegen größere Aerosole bzw. Tröpfchen (bis $100\ \mu\text{m}$). [44]

In Innenräumen besteht grundsätzlich eine höhere Anreicherung von Krankheitserregern als im Freien, da das Luftvolumen durch die Umfassungsflächen

begrenzt wird und Aerosole schlechter entweichen können. Um das Infektionsrisiko zu verringern, müssen Maßnahmen durchgeführt werden. Dies können zum einen die durch die „Covid-19-Krise“ aktuell geltenden AHA-Regeln sein. Also Abstand zueinander halten (mindestens 1,5 m), Hygieneregeln beachten und eine Alltagsmaske bzw. einen Mund-Nasen-Schutz tragen. Ist Husten oder Niesen nicht zu vermeiden, so sollte der Mensch den Raum kurz verlassen, da hier besonders viele Aerosole ausgestoßen werden. Zum anderen sollten Lüftungstechnische Maßnahmen ergriffen werden, um die Partikelkonzentration im Raum zu verringern. So senkt sich nach [45] die freigesetzte Stoffmenge im Raum schon bei einfachem Luftwechsel bereits um ungefähr 60%. Bei der Fensterlüftung sorgt die Querlüftung für den schnellsten Luftaustausch und reduziert somit die Aerosol-Konzentration im Raum maßgeblich. Neben der Querlüftung wird vor allem die Stoßlüftung als wirksame Lüftungsmaßnahme durchgeführt. Die Kipplüftung ist dagegen weniger wirkungsvoll, da hier nur ein geringer Luftaustausch möglich ist. Die Konzentration an Krankheitserregern im Raum sinkt mit steigendem Luftwechsel, was vor allem durch RLT-Anlagen erzielt werden kann. Dieser Sachverhalt ist in Abbildung 21 dargestellt:

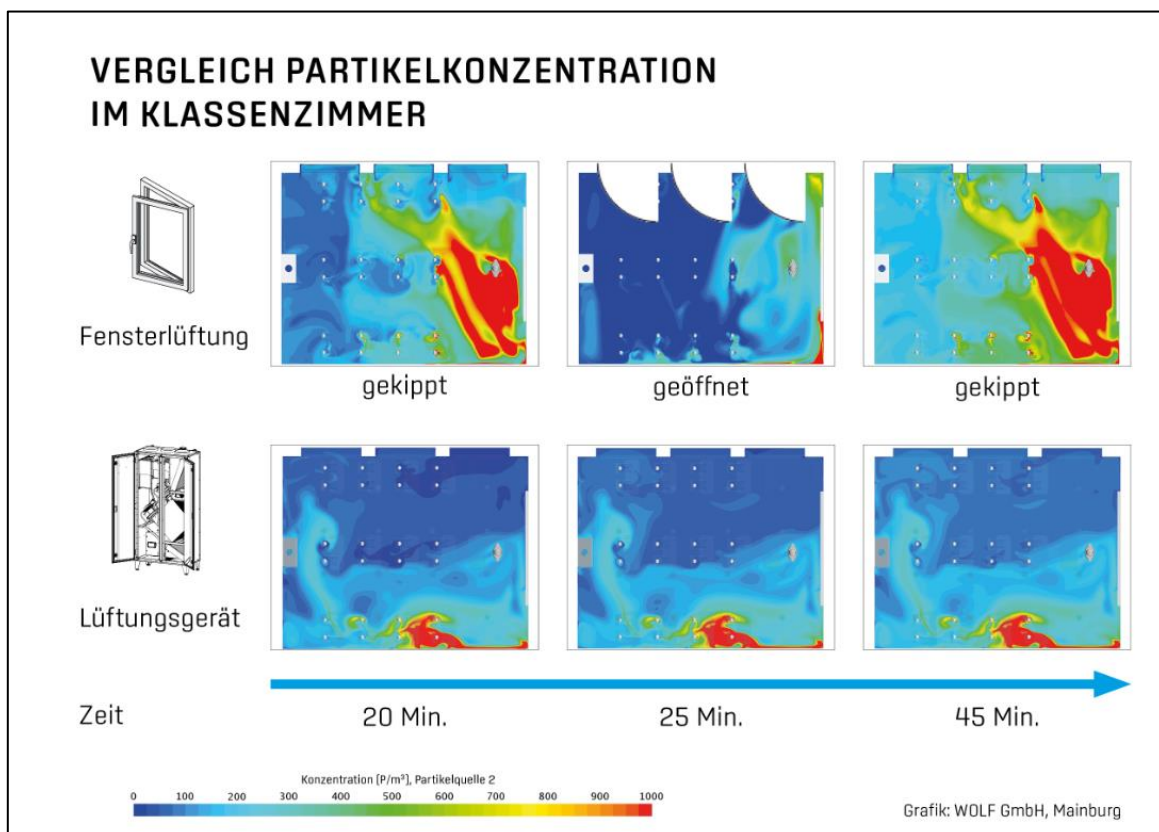


Abbildung 21 Vergleich der Partikelkonzentration in einem Klassenzimmer bei unterschiedlichen Lüftungsmethoden nach [20]

Es ist zu erkennen, dass vor allem bei Kipplüftung flächendeckend erhöhte Partikelkonzentrationen zu verzeichnen sind, während diese bei maschineller Lüftung

lediglich punktuell direkt an der Quelle vorliegen. Eine größere Ausbreitung im Raum wird hier verhindert.

Demnach sollte für stark belegte Räume, wie Besprechungsräume oder Klassenzimmer in Schulen eine Grundlüftung mittels RLT-Anlage durchgeführt werden, da die Fensterlüftung die Aerosol-Konzentration nicht ausreichend senken kann. Ist diese dennoch zu hoch, so muss der Luftaustausch durch die RLT-Anlage erhöht werden, wodurch wiederum die Betriebskosten steigen. Weitere Maßnahmen können sein, Nutzungspläne zu erstellen und somit die Menschenmenge zu reduzieren oder die Aktivitäten aus den Innenräumen nach außen verlegen, beispielsweise Schulunterricht im Freien statt im Klassenzimmer. [44]

In vorangegangenen Betrachtungen zur CO₂-Konzentration in der Raumluft wurde bereits ein Zusammenhang zwischen Lüftungsmaßnahmen und kalten Außentemperaturen erläutert. So wurde bei kalten Außenlufttemperaturen weniger gelüftet, wodurch die CO₂-Konzentration anstieg. Demnach würde auch die Konzentration an Krankheitserregern stetig ansteigen, wenn kein Luftaustausch erfolgt. Hinzu kommt, dass bei kalter Umgebungsluft besonders Viren stabiler und infektiöser auftreten und Abwehrkräfte bei ausgekühlten oberen Atemwegen deutlich schwächer sind. Des Weiteren befinden sich im Winter oftmals mehr Menschen in Innenräumen als im Sommer, wodurch auch mehr Aerosole ausgeschieden werden. Am wirkungsvollsten wären bei Fensterlüftungen regelmäßige Stoßlüftungen, am besten in Form von Querlüftung, statt dauerhafte Kipplüftungen, da hier die Raumlufttemperatur nicht zu stark sinkt und die Aerosol-Konzentration abnimmt. RLT-Anlagen können dagegen im Winter den Luftwechsel ohne Probleme erhöhen, wenn eine thermodynamische Behandlung der Zuluft erfolgt. Des Weiteren sind Luftreinigungsmethoden, wie Filter-, UV-C- oder Ozontechnologie, möglich, welche Krankheitserreger abtöten bzw. „inaktivieren“. Die Lüftung durch RLT-Anlagen ist aufgrund von Luftreinigungs- und Behandlungsmethoden bei kalten Außentemperaturen wesentlich effektiver gegenüber der Fensterlüftung. [44]

Unter Berücksichtigung der stetigen Zunahme spielen Allergene eine zunehmend wichtigere Rolle in der Innenraumluftthygiene. Im Gegensatz zu Krankheitserregern oder Gefahrstoffen spricht man hier von Fremdstoffen, die keine Gefahr für die Gesundheit darstellen, jedoch eine „überschießende Reaktion des Immunsystems“ des Menschen hervorrufen. [5] Dabei handelt es sich bei den meisten Allergenen um tierische oder pflanzliche Eiweißsubstanzen wie Blütenpollen oder Milben. Einfluss auf die Allergenkonzentration in der Raumluft haben neben Temperatur und Feuchte auch die Möblierung sowie das Lüftungs- und Reinigungsverhalten. Vor allem die

Intensität und Häufigkeit der Lüftung kann die Konzentration stark beeinflussen. Wie bereits erwähnt, findet seit geraumer Zeit ein anhaltender Anstieg der Allergien statt, wie eine statistische Messung aus der Schweiz verdeutlicht. Diese Messungen bezogen sich auf die Häufigkeit an Heuschnupfen erkrankter Personen. So befand sich 1926 unter 120 befragten Personen lediglich ein Allergiker, während 2017 bereits 20% der schweizerischen Bevölkerung von Heuschnupfen betroffen waren.

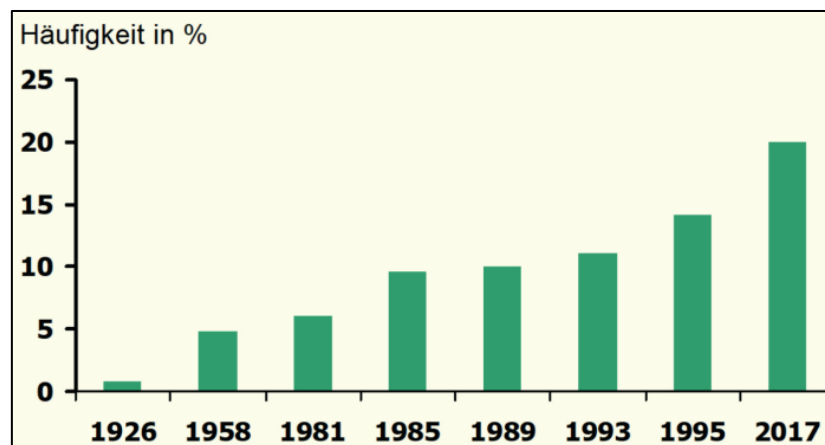


Abbildung 22 Häufigkeit des Heuschnupfens in der Schweiz nach [46]

Die Wissenschaft benennt für den generellen Anstieg von Allergien unterschiedlichste Gründe, so können beispielsweise veränderte Lebens- und Ernährungsgewohnheiten Ursache sein. Selbst der Klimawandel kann unter Umständen dazu beitragen, da er den Pollenflug verstärkt und länger anhält. [47]

3.2.6 Radioaktive Strahlenbelastungen

Der Mensch ist nahezu immer radioaktiver Strahlenbelastung ausgesetzt (gemessen in der Einheit Sievert), da Radionuklide überall auf der Erde vorhanden sind. Dabei unterscheidet man zwischen natürlicher und künstlicher Strahlenbelastung. Die natürliche Strahlenbelastung ist hauptsächlich durch das Einatmen von Radon charakterisiert, so ist der Mensch durchschnittlich pro Jahr einer Belastung von 1,1 Millisievert infolge des Einatmens von Radon ausgesetzt. [48] Künstliche Strahlenbelastungen entstehen dagegen infolge nuklearer Katastrophen wie die Reaktorkatastrophen in Tschernobyl und Fukushima, aber auch durch den Einsatz von Kernwaffen. In den folgenden Betrachtungen wird lediglich die ionisierende Belastung durch Radon berücksichtigt, da diese am relevantesten für die Innenraumlufthygiene ist.

Radon ist ein geruchloses radioaktives Edelgas, welches hauptsächlich durch radioaktiven Zerfall aus natürlichem Uran bzw. Radium entsteht. Die vorrangige Quelle für eine Anreicherung von Radon ist demnach der geologische Untergrund.

Allerdings können auch gewisse Baustoffe (Schlacke, Phosphatgips u.a.) geringfügige Mengen an Radon ausstoßen, diese werden allerdings heutzutage selten verwendet. In erhöhten Konzentrationen ist Radon sehr gesundheitsschädlich, dies hat die Wissenschaft in den letzten Jahren durch mehrere Studien belegt. Einheitliche Grenzwerte sind allerdings noch nicht gegeben, auch hier geben verschiedenste Institutionen und Ämter unterschiedliche Referenz- und Richtwerte vor. So geht die Deutsche Strahlenschutzkommission (SSK) von 250 Bq/m³ als Maximalwert des Normalbereichs aus, die WHO gibt einen Referenzwert von 100 Bq/m³ als Empfehlung vor. Auf europäischer Ebene wurde mit der Richtlinie 2013/59/Euratom vom 05.12.2013 für alle Mitgliedsstaaten ein Richtwert von 300 Bq/m³ als Jahresmittelwert in Innenräumen eingeführt. Die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) vom 29.11.2018 stellt nun die Umsetzung dieser Richtlinie in nationales Recht dar, sie schreibt einen oberen Grenzwert von ebenfalls 300 Bq/m³ vor und schafft eine eigenständige gesetzliche Grundlage in Bezug auf schädliche Wirkungen ionisierender Strahlungen. [49]

Wie bereits erwähnt, ist das Edelgas Radon gesundheitsschädlich, es wird zwar nach der Aufnahme wieder schnell ausgeatmet, jedoch haften seine radioaktiven Folgeprodukte in den Atemwegen des Menschen und strahlen Alphateilchen aus, welche u.a. Zellschäden und Krebs verursachen können. [5] So zählt Radon nach dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) neben Rauchen zu den häufigsten Ursachen für Lungenkrebskrankungen. [50] Eine Analyse von 13 Studien über Radonbelastungen in Innenräumen zeigte zudem, dass bereits eine Erhöhung der Radonkonzentration um 100 Bq/m³ das Lungenkrebsrisiko um 16 % ansteigen lässt. [51] Im Anhang 16 ist dieser Zusammenhang ausführlich in Bezug auf einzelne Länder dargestellt, hierbei weist Österreich den höchsten Anstieg mit 46 % auf. Dies kann man auf die geologische Beschaffenheit des Landes zurückführen. Die Landschaft Österreichs ist geprägt von Mittel- und Hochgebirgen, welche höhere Vorkommen an Uran und Radium besitzen. Des Weiteren weist der Boden an diesen Stellen eine höhere Durchlässigkeit auf, wodurch gasförmige Bestandteile leichter aufsteigen können. In Deutschland schwankt die Radonkonzentration dagegen, da die Landschaft unterschiedlicher geprägt ist. So ist der Norden nur schwach belastet, da sich hier die norddeutsche Tiefebene erstreckt. Erzgebirge, Harz oder Schwarzwald weisen höhere Radonkonzentrationen auf. Im Anhang 17 ist dieses Verhältnis graphisch dargestellt. Man sieht, dass der Norden durchschnittlich weniger als 20.000 Bq/m³ Radonkonzentration in der Bodenluft aufweist, die Küstenregionen besitzen allerdings im Vergleich leicht höhere Radonbelastungen. Ab Mitteldeutschland sind Belastungen höher als 100.000 Bq/m³ keine Seltenheit mehr,

da vermehrt Gebirgslandschaften auftreten. Deutschlandweit ist die Grenze zu Tschechien am stärksten von Radonkonzentrationen betroffen.

Die Radonkonzentration in der Bodenluft hat maßgeblichen Anteil auf die Radonbelastungen in Innenräumen. So sind auch hier besonders Gebäude in Mittel- und Hochgebirgen stark belastet, Wohnungen im Norden Deutschlands sind dagegen weniger stark belastet (siehe Abbildung 23), das Jahresmittel beläuft sich nach [52] auf ungefähr 50 Bq/m^3 für Aufenthaltsräume in Deutschland, was dem Grenzwert von 300 Bq/m^3 der StrlSchV deutlich unterschreitet.

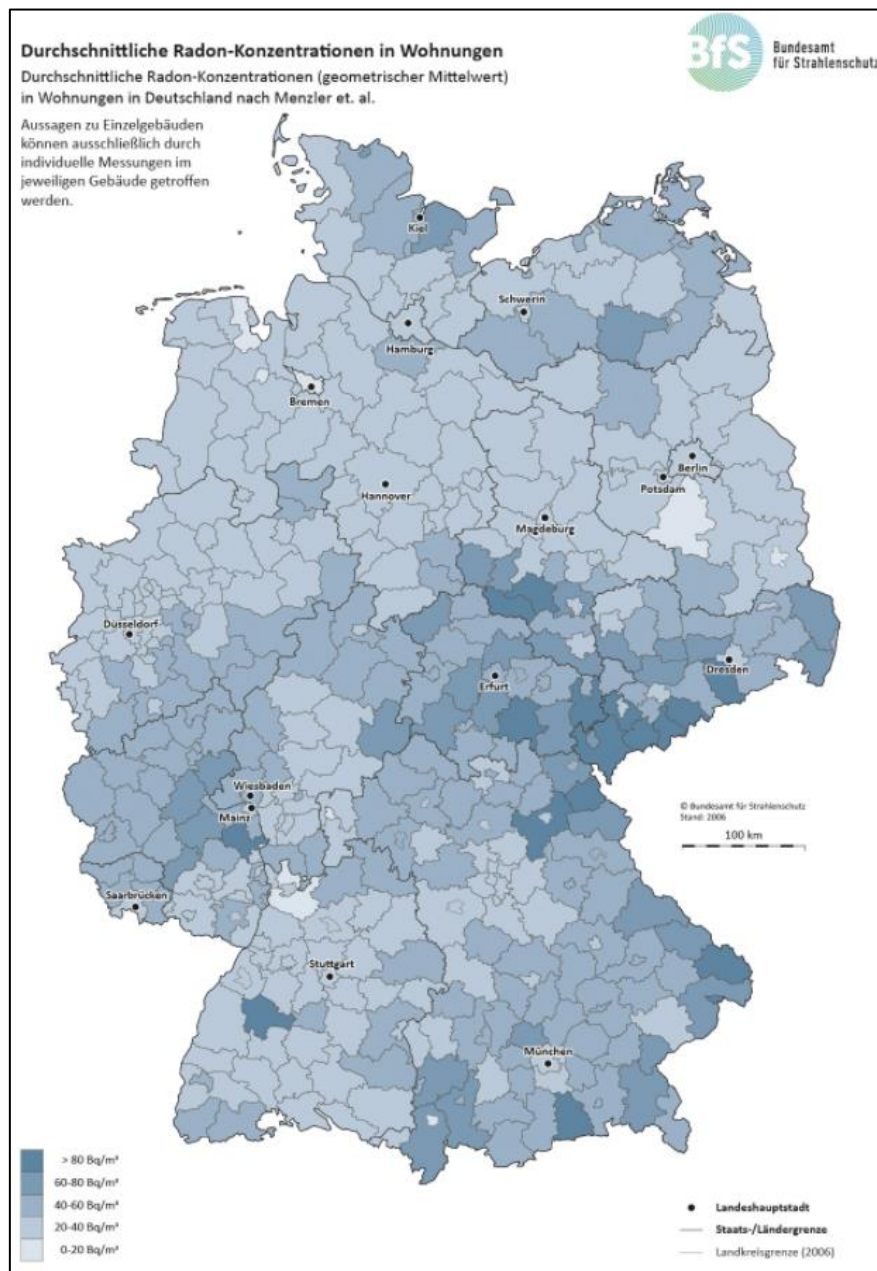


Abbildung 23 Geographische Übersicht der durchschnittlichen Radonkonzentration in Wohnungen nach [52]

Neben der Beschaffenheit des Bodens hat vor allem die Bauweise des Gebäudes einen Einfluss auf die Radonbelastung, so sind Neubauten aufgrund ihrer dichten Gebäudehülle durchschnittlich weniger stark betroffen als alte Gebäude. Entscheidend ist auch ob ein Unterdruck im Gebäude vorliegt, da dieser Gase und Stoffe aus dem Untergrund anzieht. Besonders bei höhergelegenen Häusern entsteht dieser wesentlich leichter (Mittel- und Hochgebirge). Im Gebäude selbst sind die Radonbelastungen in den Räumen am stärksten, welche sehr nah an der Erdoberfläche liegen, i. d. R. Kellerräume. Grundsätzlich kann man sagen, je weiter ein Raum von der Erdoberfläche entfernt ist, desto geringer sind die Radonkonzentrationen. Die Abbildung 24 zeigt diesen Zusammenhang für ein ausgewähltes Gebäude, so betragen die Radonmittelwerte in dessen Keller durchschnittlich über 250 Bq/m³, im Erdgeschoss bzw. 1. Obergeschoss pendeln diese zwischen 100 und 250 Bq/m³. Dabei ist zu erkennen, dass die Radonbelastungen je nach Jahreszeit stark schwanken können, was u.a. durch zeitliche Temperatur- und Druckunterschiede zustande kommt.

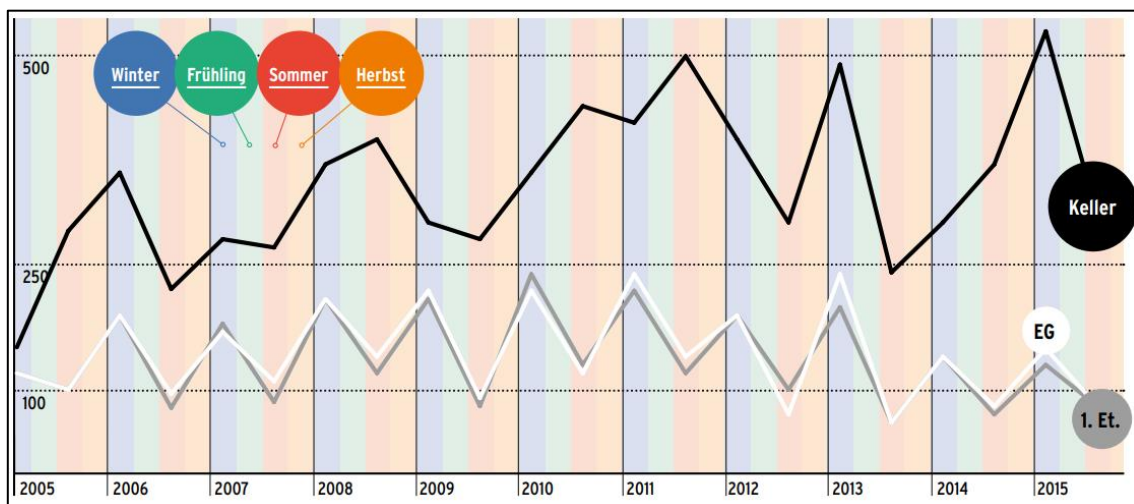


Abbildung 24 Radonmittelwerte für Keller-, Erd- und 1. Obergeschoss für ein betrachtetes Gebäude nach [53]

Des Weiteren hat die Lüftung des Gebäudes einen hohen Einfluss auf die Radonbelastung, denn mit höherem Luftaustausch sinkt die Radonbelastung maßgeblich. Vor allem Lüftungsanlagen sind hier vorteilhaft, da die natürliche Lüftung in den unteren Etagen (Kellergeschoss oder Untergeschoss) nur geringe Luftwechsel ermöglicht (Querlüftung oftmals nicht durchführbar). [52] Die Abbildung 25 zeigt jedoch, welche Auswirkungen schon eine einfache Fensterlüftung auf die Radonkonzentration im Raum bewirken kann. So beträgt sie für den betrachteten Raum bei geöffnetem Fenster weniger als 25 Bq/m³, wird das Fenster nun geschlossen, steigt die Konzentration innerhalb weniger Tage auf über das dreifache an. Wird das Fenster anschließend wieder geöffnet, so sinkt die Radonbelastung in wenigen Stunden in den ursprünglichen Bereich von weniger als 25 Bq/m³.

Anschließend erfolgt eine Lüftung mit gekipptem Fenster, wodurch die Konzentration wieder stark ansteigt, jedoch nicht so stark wie bei geschlossenem Fenster. In Kellerräumen ist allerdings oft nur eine Lüftung mittels gekippten Fenstern möglich, hier wäre eine Lüftungsanlage besser. Dabei ist darauf zu achten, dass kein höherer Unterdruck entsteht, da sonst der Zustrom radonhaltiger Bodenluft vergrößert wird.

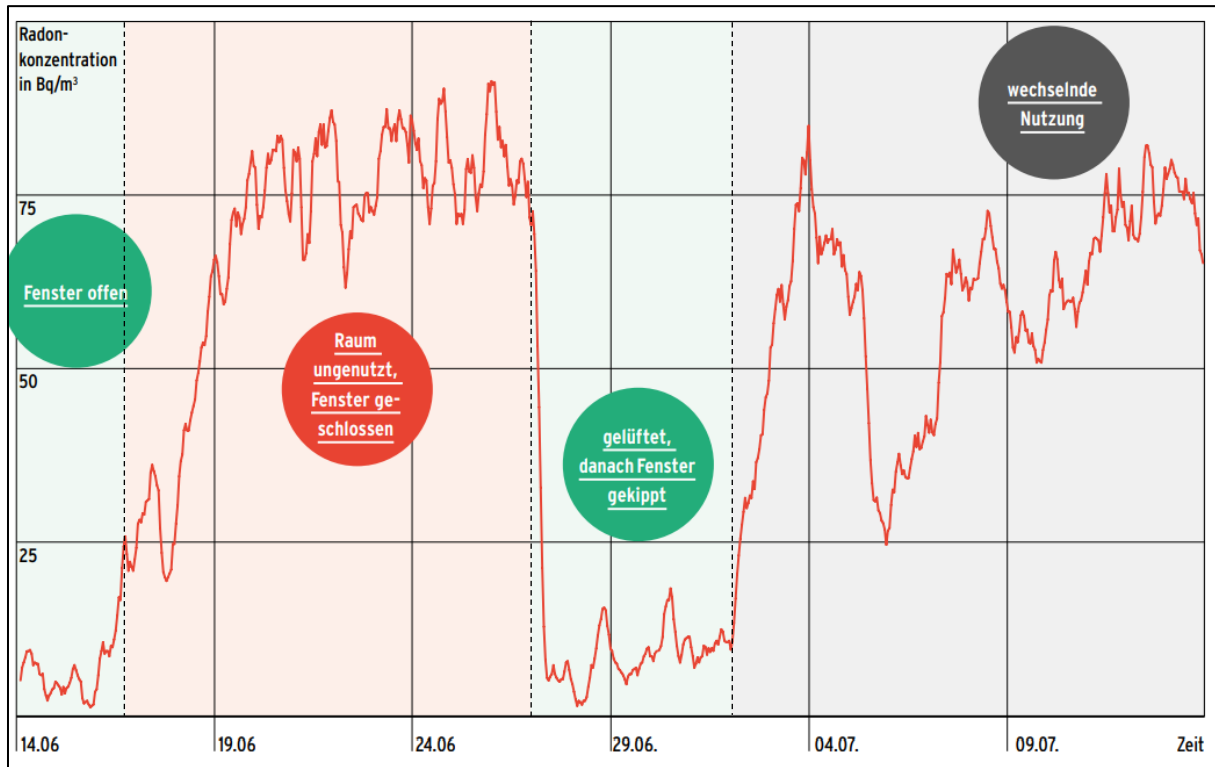


Abbildung 25 Auswirkungen der Fensterlüftung auf die Radonkonzentration für einen ausgewählten Raum nach [53]

Eine weitere Möglichkeit wäre, einen Unterdruck unter dem Gebäude zu erzeugen, indem man beispielsweise Luft unterhalb des Gebäudes absaugt. So würde anstatt ins Gebäude eindringender Bodenluft die Raumluft aus den unteren Etagen nach außen in Richtung Erdoberfläche strömen. Außerdem könnten Hohlräume unterhalb des Gebäudes mit Frischluft versorgt werden, wodurch aufsteigende radonhaltige Bodenluft zunächst verdünnt wird. [53]

4. Technische Umsetzung

4.1 Projektstand

Die SLV (Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt) Halle plant den Aufbau eines „Europäischen Berufsbildungszentrums Schienenfahrzeugbau“ am Standort Halle. Das Projekt besteht aus mehreren Teilobjekten, hier soll es um den „Neubau Zentrum für Zerstörungsfreie Prüfungen und Korrosionsschutzausbildung“ gehen.

In der Studienarbeit wurde ein zu planender Büro- und Seminarraum lüftungstechnisch unter dem Aspekt der thermischen und akustischen Behaglichkeit betrachtet. Die Grundrisse und Anforderungen haben sich teilweise verändert, das Projekt befindet sich derzeit in der Entwurfsplanung. Auch die Luftbilanzen haben sich geändert, es werden nun weniger Räume be- und entlüftet. Die Anlagen sind in den Anhängen 18 bis 20 zu finden.

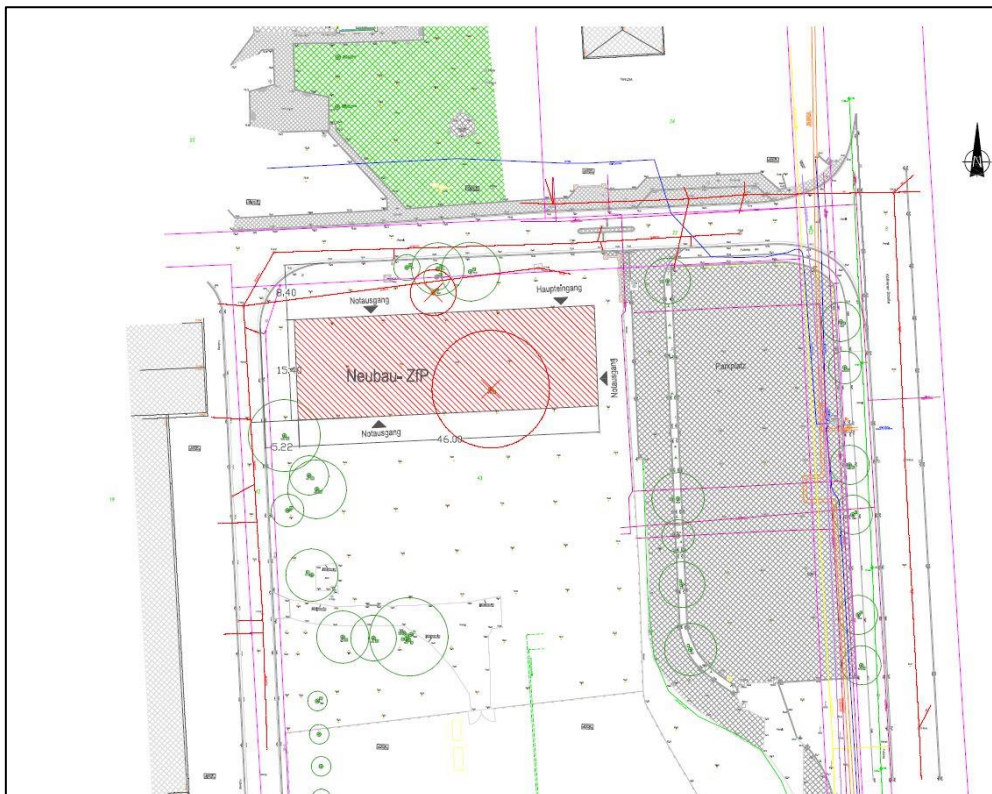


Abbildung 26 Aktueller Lageplan des Bauvorhabens

Unter dem Aspekt der Innenraumlufthygiene wird in den folgenden Erläuterungen ein Laborraum (00.13 Praxis Labor (ZfP Oberfläche)) betrachtet. Dieser befindet sich im Erdgeschoss auf der Nordseite und hat die Abmessungen 10,61 m x 5,97 m, er verfügt somit über eine Fläche von 63,39 m². Insgesamt sind sechs Fensterflächen angeordnet, welche zusammen eine Fläche von ungefähr 14,00 m² aufweisen. Vor den Fensterflächen sind Schreibflächen mit acht Sitzmöglichkeiten angeordnet. Der

Gedanke dahinter ist, dass die Hälfte der Teilnehmer Werkstoffprüfungen an der Werkbank in der Raummitte durchführen, während die anderen Teilnehmer die entstandenen Erkenntnisse am Schreibtisch dokumentieren. In der nachfolgenden Abbildung sieht man den Grundriss des Laborraums sowie einen vertikalen und horizontalen Schnitt:

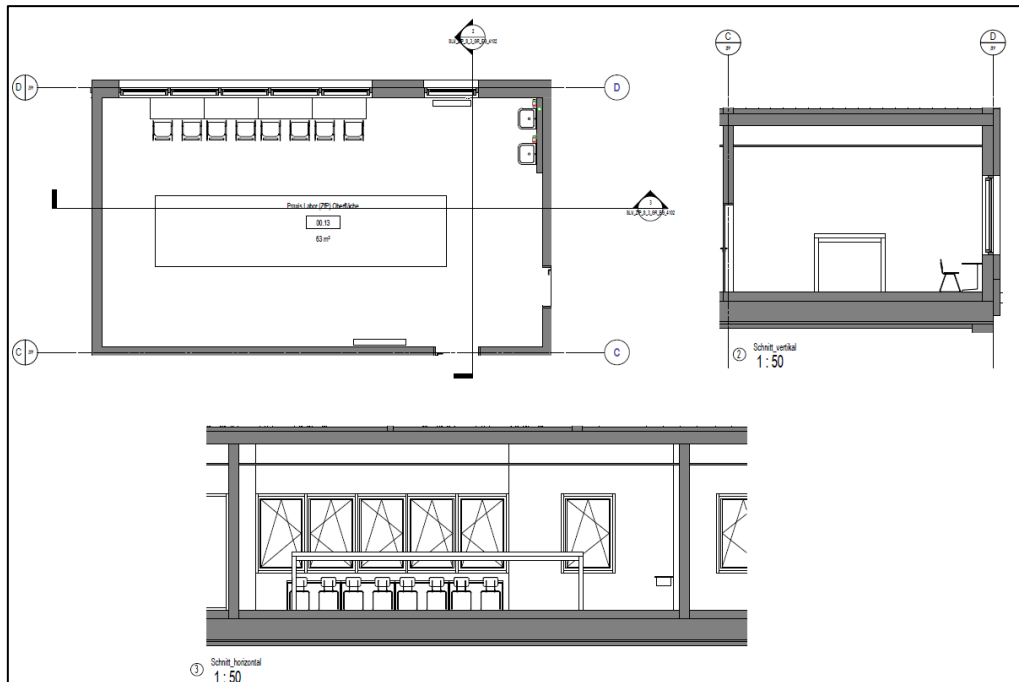


Abbildung 27 Grundriss und Schnitte des zu betrachtenden Laborraums

Hier sollen die Auszubildenden ihre theoretischen Erkenntnisse, die in den Seminarräumen vermittelt werden, anhand von Werkstoffprüfungen mit besonderer Hinsicht auf Korrosionsschutz praktisch anwenden und vertiefen. Bei den hier durchgeführten zerstörungsfreien Prüfungen wird die Qualität des Prüfgegenstandes (oftmals „sicherheitskritische“ Bauteile) geprüft, ohne diesen selbst zu beschädigen. Es werden mehrere Verfahren angewendet, welche mögliche Fehler im Material des Bauteils erkennen sollen, wobei vorrangig Folgende durchgeführt werden:

- Sichtprüfung
- Eindringprüfung
- Magnetpulverprüfung
- Ultraschallprüfung
- Durchstrahlungsprüfung
- Thermografie

Bei diesen Prüfungen können vermehrt Luftverunreinigungen in die Raumluft gelangen. Um die Verbreitung dieser Verunreinigungen zu verhindern, sollen zwei Lüftungsvarianten untersucht werden. Im Zuge der Untersuchung wird sich eine Variante durchsetzen, für diese erfolgt dann eine Auslegung der wichtigsten Bauteile.

Bei beiden Varianten wird ein Luftvolumenstrom von 6.300 m³/h beaufschlagt (siehe Luftbilanzen, Anhang 19), dieser erhält nach Wunsch des Bauherrn keine Klimatisierung. Wird der Laborraum nicht genutzt, so ist dennoch eine Grundlüftung vorgesehen.

4.2 Variantenbetrachtung für das Laboratorium

4.2.1 Variante 1: Turbulente Mischlüftung

Die Variante 1 sieht eine turbulente Mischlüftung für den Laborraum vor. Es werden für jeweils Zu- und Abluft drei Drallauslässe im Deckenbereich vorgesehen. Die Zuluft wird an der Fensterseite über den Schreibflächen in den Raum gebracht, während die Abluft an der Südseite abgesaugt wird. Die nachfolgende Abbildung zeigt eine Draufsicht der Anordnung der Luftdurchlässe sowie der Kanalführung, das Zuluftsystem wird dabei rot dargestellt, Abluftsystem ist in gelber Farbe zu sehen:

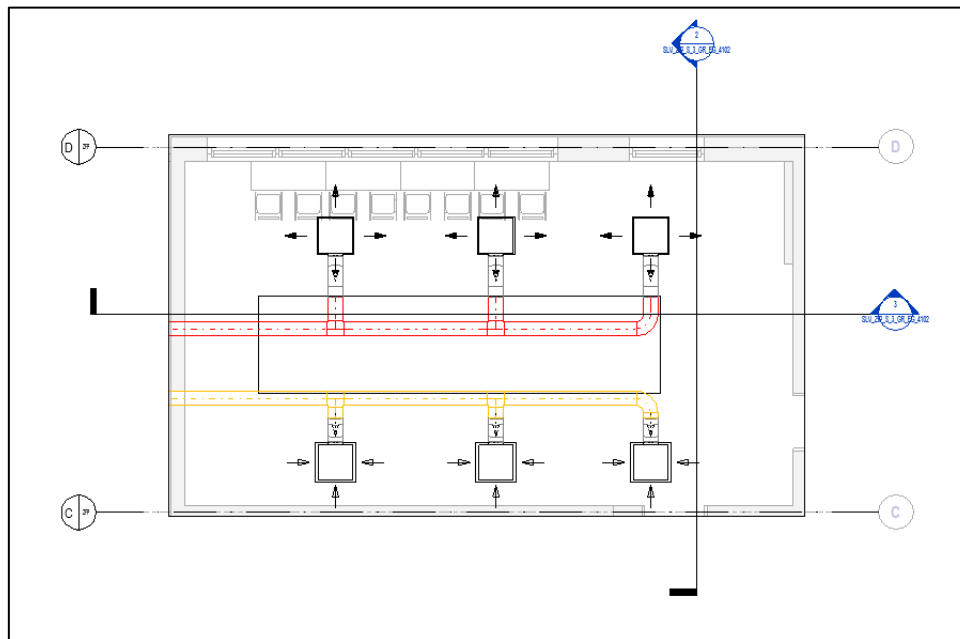


Abbildung 28 Draufsicht des Laborraums inklusive Luftdurchlässe und Kanalführung

Durch diese Anordnung entsteht eine starke Luftdurchmischung über den Arbeitsflächen in der Raummitte. Da dort wie bereits erwähnt durch Werkstoffprüfungen höhere Schadstoffkonzentrationen herrschen können, werden diese infolge der Durchmischung zunächst verdünnt und zu den Abluftdurchlässen transportiert. Das Strömungsbild bei isothermer Lufteinbringung ist in Abbildung 29 dargestellt, hierbei sieht man, dass es im gesamten Raum zu einer gleichmäßigen Mischung von Zu- und Raumluft kommt.

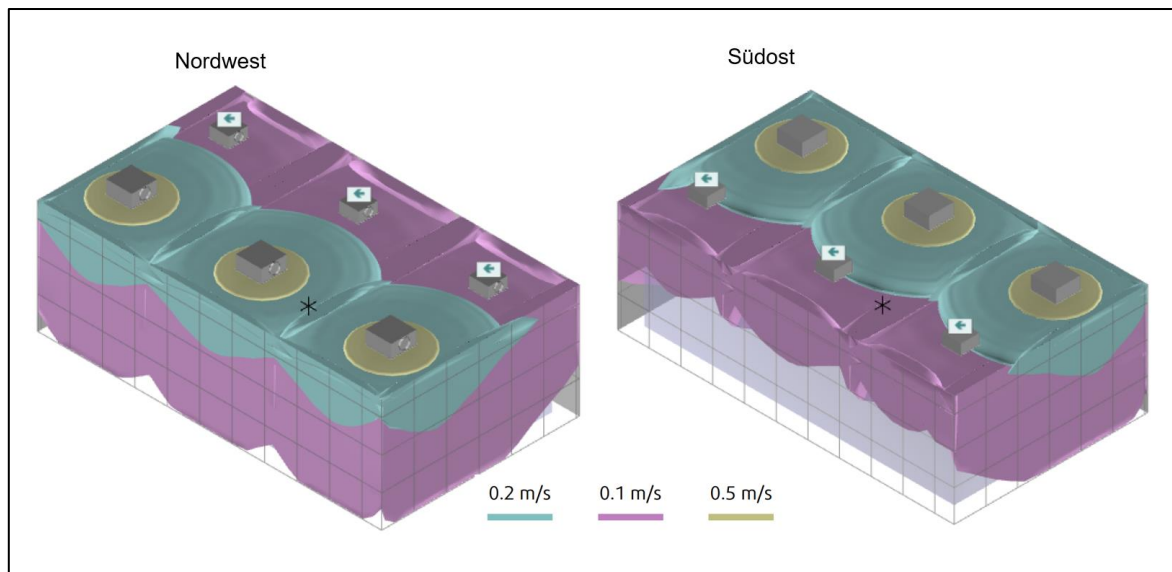


Abbildung 29 Strömungsbild bei turbulenter Mischlüftung im Laborraum (isotherme Luftstrahlen) [54]

Eine umgekehrte Anordnung, also Zuluftauslässe an der Südseite und Abluftdurchlässe an der Nordseite über den Schreibflächen ist nicht zu empfehlen. Eine solche Anordnung würde bewirken, dass die durchmischte Zuluft in Richtung Schreibflächen strömt und abgesaugt wird. Dadurch wären die sich dort befindenden Personen dauerhaft erhöhten Schadstoffkonzentrationen ausgesetzt.

Charakteristisch für die Mischlüftung sind, wie im Punkt 3.1 *Raumströmungen* bereits erwähnt, turbulente Luftstrahlen, welche mit hohen Luftgeschwindigkeiten in den Raum eintreten. Es könnte dementsprechend zu auftretender lokaler Zugerscheinung über den Schreibflächen kommen. Diesen Sachverhalt kann man in der Abbildung 30 erkennen, hier ist die Seitenansicht von rechts auf verschiedene Strömungsbilder des Laborraums zu sehen. Im Kühlbetrieb (links im Bild), welcher nicht vorgesehen ist, aber trotzdem betrachtet werden muss, würden an den Wandflächen durch den Coanda-Effekt höhere Luftgeschwindigkeiten auftreten. Diese befinden sich mit 0,2 m/s in der Aufenthaltszone an einer kritischen Grenze, bei der unter Umständen schon Zugluft auftreten kann. Für den Laborraum wäre dies allerdings zunächst unkritisch, da an den Wandflächen zurzeit keine Arbeitsplätze vorgesehen sind (siehe Abbildung 27). In der Mitte ist das Strömungsbild für den Heizfall dargestellt, hier ist zu sehen, dass sich die Zuluft wesentlich stärker horizontal im Deckenbereich ausbreitet. Dadurch würde ein gewisser Anteil sehr schnell wieder durch die Abluftvorrichtung abgesaugt werden, ohne sich mit der Raumluft zu vermischen. Des Weiteren erfolgt eine Durchmischung der Raumluft im Aufenthaltsbereich nur bedingt bzw. sehr langsam, wodurch vor allem größere Partikel länger in Bodennähe verbleiben können. Man sieht, dass im Heizfall nicht Zugluft, sondern die Schadstoffkonzentration Probleme darstellt, da die Mischung und somit Verdünnung von Schadstoffen schlechter erfolgt.

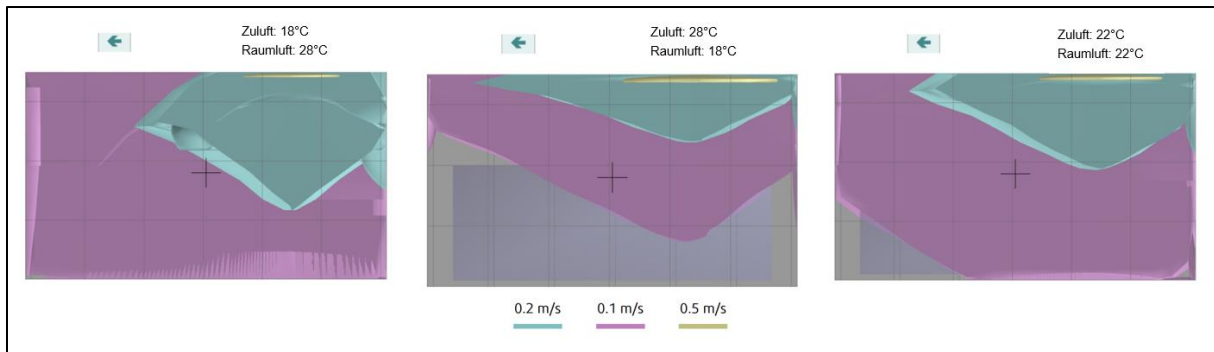


Abbildung 30 Seitenansicht von rechts auf das Strömungsbild [54]

Bezüglich auftretender Zugluft und Durchmischung der Raumluft bietet die isotherme Lufteinbringung (rechts im Bild) die beste Lösung. Wie man bereits in Abbildung 29 gesehen hat, wird hier die Raumluft sehr gut mit der Zuluft durchmischt, wobei keine höheren Luftgeschwindigkeiten in der Aufenthaltszone auftreten. Dadurch werden entstehende Schadstoffkonzentrationen schnell verdünnt und anschließend abgesaugt.

Anhand dieser Erkenntnisse lässt sich aus Sicht der Raumluftströmung eine turbulente Mischströmung nur bedingt für das Laboratorium empfehlen. Bezüglich der Innenraumlufthygiene sind besonders im Heizbetrieb langanhaltende höhere Schadstoffkonzentrationen nicht vollumfänglich zu vermeiden. Folglich wird ein weiteres Lüftungskonzept betrachtet, welches eine turbulenzarme Verdrängungsströmung in Form von Quelllüftung vorsieht.

4.2.2 Variante 2: Quelllüftung

Bei der Quelllüftung werden mittels Quellluftauslässe turbulenzarme Verdrängungsströmungen im Raum erzeugt. Dadurch soll verhindert werden, dass sich höhere Schadstoffkonzentrationen im Raum, insbesondere bei den Schreibflächen, einstellen. Die Zuluft soll diese zu den Abluftvorrichtungen drängen. Die Abluftvorrichtungen sind bei dieser Variante in Form von Absaugtischen vorgesehen. Diese befinden sich jeweils oberhalb eines Arbeitsplatzes in der Mitte des Raumes, dadurch sind Arbeitsflächen zwar strikt vorgegeben, jedoch können durch diese Vorgehensweise entstandene Schadstoffe schnell abgesaugt werden. Die charakteristische Auftriebsströmung an Wärmequellen bei Quelllüftung bewirkt zudem, dass bei den Werkstoffprüfungen entstandene Schadstoffe in Richtung Absaugöffnung strömen.

Anhand der vorgegebenen Anordnung der Absaugtische müssen nun die Quellluftauslässe platziert werden. Nach aktueller Planung werden sechs Auslässe in der Mitte des Raumes im Deckenbereich platziert. Sie werden, in einer Reihe

angeordnet, über einen Luftkanal angeschlossen und erhalten jeweils einen Volumenstrom von 1050 m^3 , wenn das Labor genutzt wird. Dabei befinden sich die Auslässe direkt unterhalb der Abhangdecke in einer Höhe von 3,00m. Die Abbildung 31 zeigt die aktuelle Luftkanalführung im Laborraum.

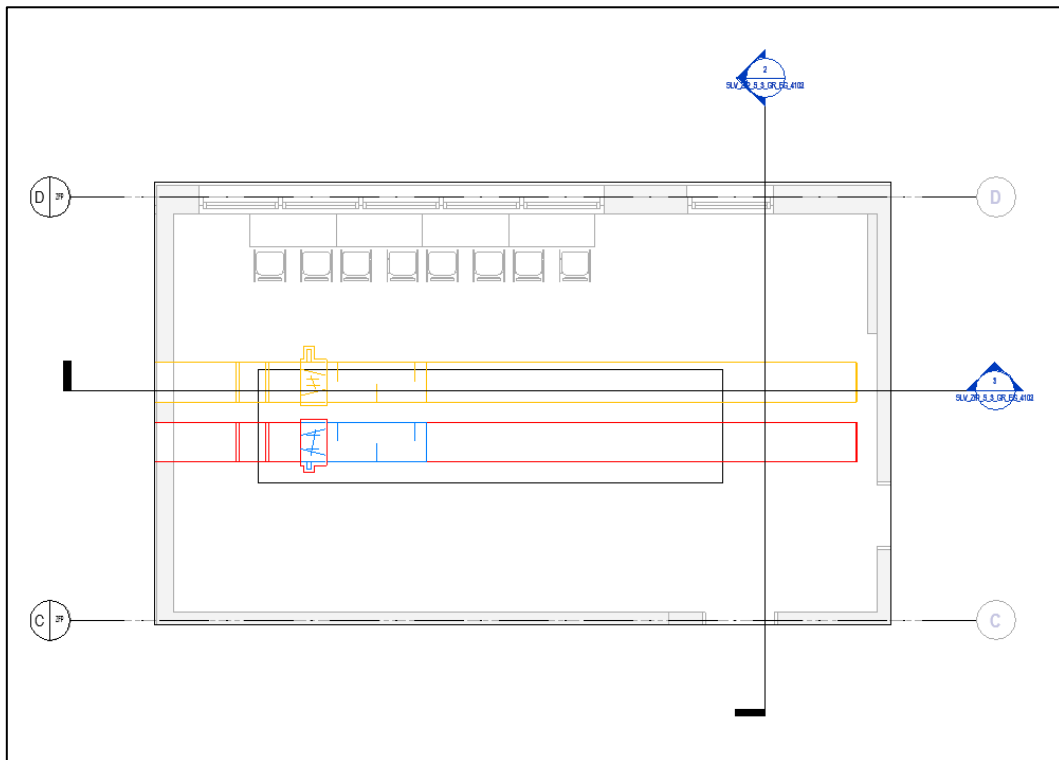


Abbildung 31 Übersicht der aktuellen Kanalführung (Zuluft: rot; Abluft: gelb)

Bei dieser Anordnung in 3,00m Höhe würde sich folgendes Strömungsbild im Raum ergeben:

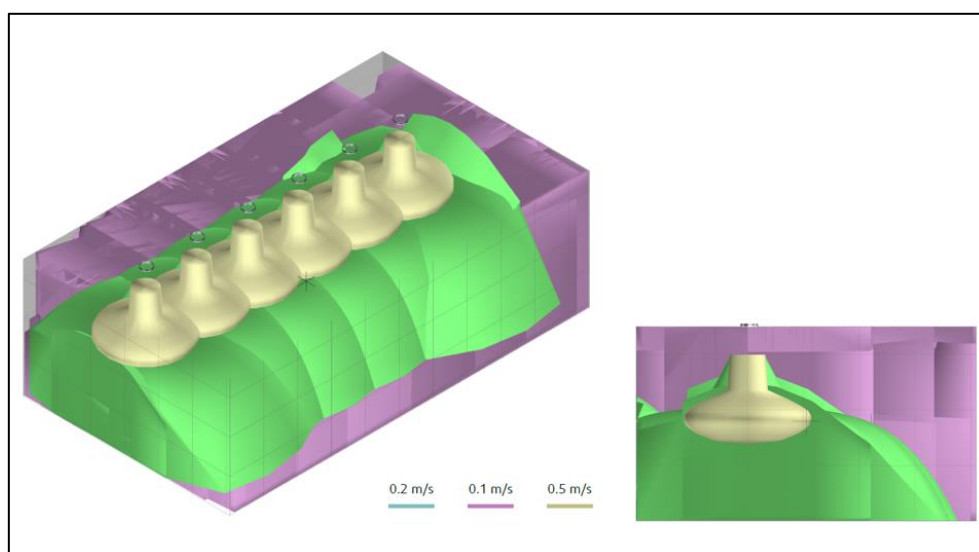


Abbildung 32 Strömungsbild bei Anordnung der Quellluftauslässe im Deckenbereich [54]

Es könnte dementsprechend zu Luftgeschwindigkeiten von 0,5 m/s im oberen Aufenthaltsbereich kommen, wodurch ein hohes Zugrisiko entstehen würde. Des Weiteren ist eine charakteristische Quelllüftung nur schwer möglich, da hier teilweise eine Durchmischung der Zuluft mit der Raumluft erfolgt. Aufgrund dessen kommt es auch hier zur Verdünnung von Schadstoffkonzentrationen, eine zielgerichtete Verdrängung in Richtung Abluftvorrichtung kommt nicht zustande.

Wie bereits in Punkt 3.1 *Raumströmungen* erläutert, ist es bei einer Quelllüftung vorteilhaft, wenn die Zuluft in Bodennähe eingebracht wird. Im Laborraum ist eine solche Einbringung nur an der südlichen Wandseite möglich (Strömungsbild siehe Abbildung 33), da auf der nördlichen Seite die Schreibflächen vorgesehen sind. Hier würde es bei den Teilnehmern im Knöchelbereich zu Zugserscheinungen kommen.

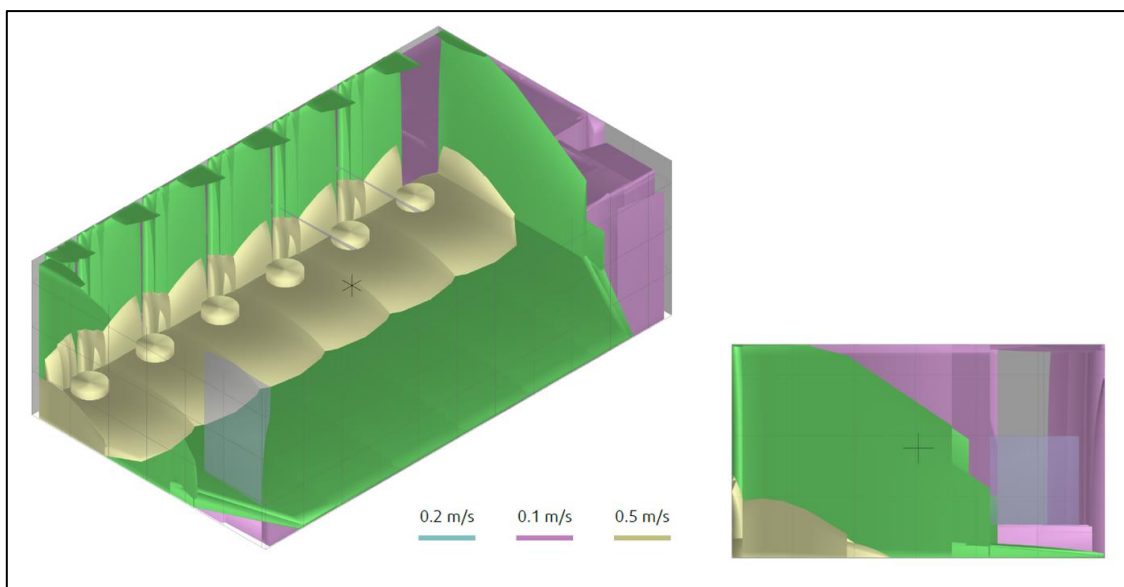


Abbildung 33 Strömungsbild bei Anordnung der Quellluftauslässe an der südlichen Wandseite in Bodennähe [54]

Man erkennt, dass die Zuluft sich über die Bodenfläche im Raum ausbreitet und die Raumluft dort verdrängt. Die sich in der Raummitte befindenden Teilnehmer erzeugen eine Luftströmung entlang ihrer Körperoberfläche, welche schlussendlich zur Abluftöffnung strömt. Schadstoffe werden bei diesem Strömungsbild zunächst in Bodennähe verdrängt und gelangen durch lokale Auftriebsströmungen an Wärmequellen in den Deckenbereich, wo sich die Abluftvorrichtungen befinden. Es herrschen lediglich an der südlichen Wandfläche höhere Luftgeschwindigkeiten von 0,5 m/s. In diesem Bereich sind allerdings keine Arbeitsplätze zurzeit geplant, wodurch die höheren Luftgeschwindigkeiten an dieser Stelle aus „Behaglichkeitssicht“ akzeptabel sind. Bezüglich auftretender Schadstoffkonzentrationen ist diese Anordnung der Quellauslässe zu favorisieren, da

hier eine durchgehende Verdrängung der Raumluft erfolgt und die Schadstoffkonzentration somit besser abtransportiert wird.

Führt man eine Simulation dieser Lüftungsvariante durch, so sieht man, dass bereits nach 20 Sekunden die gesamte Raumluft in Bodennähe verdrängt wurde, wie in Abbildung 34 zu sehen ist.

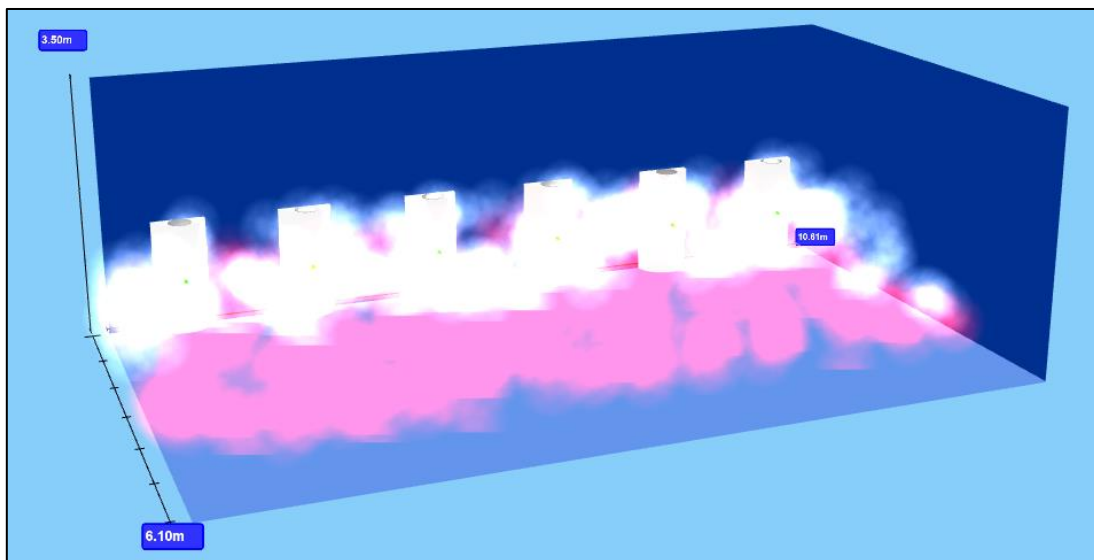


Abbildung 34 Simulation bei Anordnung der Quellauslässe in Bodennähe [55]

Hinsichtlich erhöhter Luftgeschwindigkeiten zeigt Abbildung 35, dass lediglich in naher Entfernung von 1,5 m Geschwindigkeiten von 0,5 m/s herrschen, in der Aufenthaltszone und besonders im Bereich der Schreibflächen sind die Luftgeschwindigkeiten kleiner als 0,2 m/s:

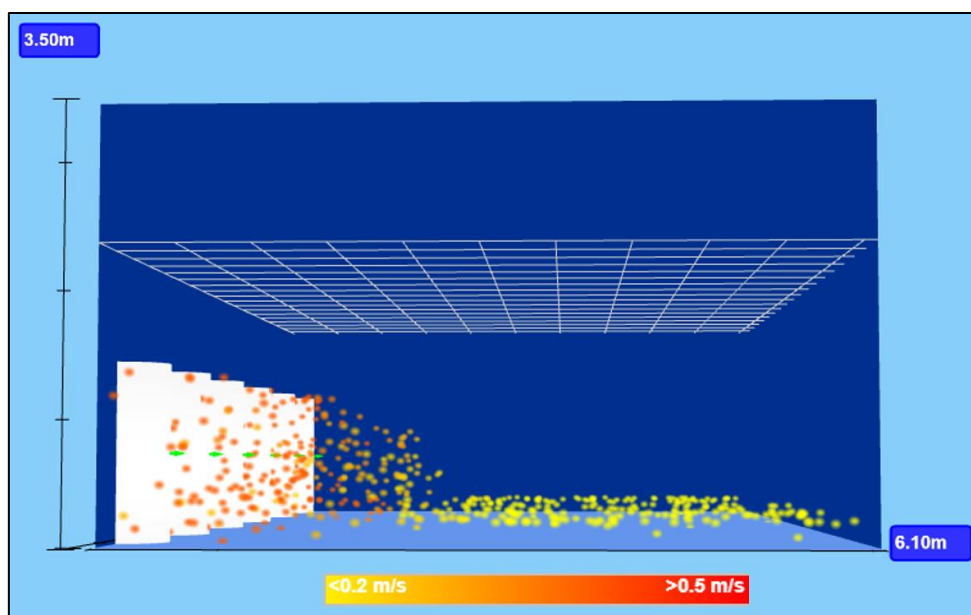


Abbildung 35 Simulation hinsichtlich auftretender Luftgeschwindigkeiten [55]

Das Datenblatt der ausgelegten Quellauslässe ist im Anhang 21 dargestellt, demnach wird ein Schalldruckpegel von 27 dB(A) in 1,5m Entfernung erzeugt, wodurch die Anforderungen der ASR A3.7 für industrielle Laboratorien erfüllt sind.

In Abbildung 36 ist die Luftführung im Laborraum dargestellt, weiterhin ist die Anordnung der Lüftungsrohre für die Zuluft in einem vertikalen und horizontalen Schnitt zu sehen:

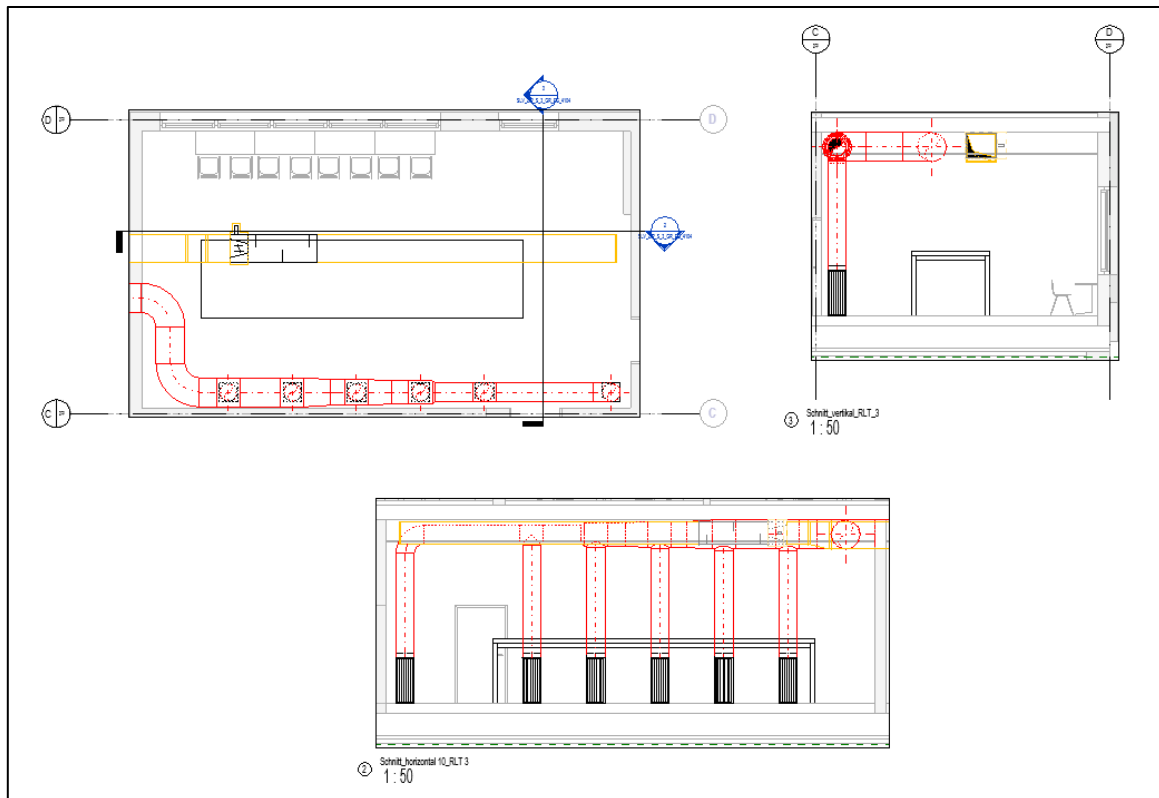


Abbildung 36 Darstellung der Luftführung im Labor bei anderer Anordnung der Quellauslässe

Neben dem Strömungsbild hat auch die Luftfilterung maßgeblichen Einfluss auf die Höhe der Partikelkonzentration in der Raumluft. Dabei ist sowohl die Abluft als auch insbesondere die Zuluft des Laboratoriums zu filtern. Die Außenluft weist i.d.R. keine höheren Staubbelastungen am Standort auf, da keine größeren Emissionen infolge technischer Prozesse oder stark befahrener Straßen in nächster Nähe herrschen, siehe hierzu Abbildung 26. Dies unterstreichen die aktuellen Luftdaten des Umweltbundesamtes für das Gebiet Halle/Nord, so liegen die Schadstoffkonzentrationen für Feinstaub, Ozon und Stickstoffdioxid seit dem 1. Januar 2021 hauptsächlich im guten (61,1 %) bis sehr guten (34,2 %) Bereich:

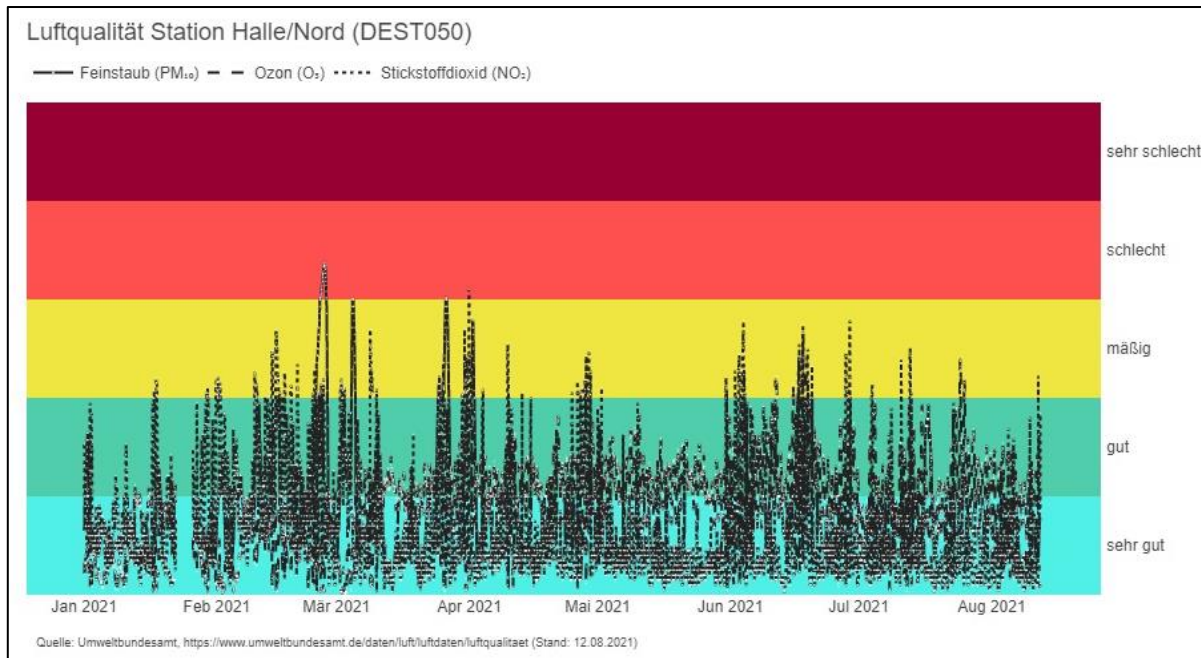


Abbildung 37 Aktuelle Luftqualität in Halle/Nord bezüglich Feinstaub-, Ozon- und Stickstoffdioxidkonzentrationen nach [56]

Die exakten Konzentrationen der jeweiligen Schadstoffe sind im Anhang 22 dargestellt. Demnach kann die Außenluftqualität nach DIN EN 13779 der Kategorie ODA 1 zugeordnet werden (Tabelle 5).

Die Innenraumluft stellt dagegen erhöhte Anforderungen an die Luftqualität, da besonders bei den durchgeführten Werkstoffprüfungen Schadstoffe entstehen können. Die Zuluftqualität sollte bereits eine hohe Qualität aufweisen, was nach VDI 6022 der Kategorie ZUL 2 entspricht.

Außenluftqualität nach VDI 6022 Blatt 3 ^{a)}	ZUL 1 (sehr hoch)	ZUL 2 (hoch)	ZUL 3 (mittel)
AUL 1 (sauber)	ISO ePM10 50 % + ISO ePM1 50 %	ISO ePM1 50 %	ISO ePM1 50 %
AUL 2 (belastet)	ISO ePM2,5 65 % + ISO ePM1 50 %	ISO ePM10 50 % + ISO ePM1 50 %	ISO ePM10 50 % + ISO ePM1 50 %
AUL 3 (hoch belastet)	ISO ePM1 50 % + ISO ePM1 80 %	ISO ePM2,5 65 % + ISO ePM1 50 %	ISO ePM10 50 % + ISO ePM1 50 %

Tabelle 11 Empfohlene Luftfilterklassen in Abhängigkeit von der Außenluftqualität und der gewünschten Zuluftqualität nach VDI 6022 Blatt 1

Demnach sollte sie mit mindestens einem Filter der Klasse ISO ePM₁50% gefiltert werden, dies entspricht einer Abscheideleistung von nahezu 50 % gegenüber Partikeln ab einer Größe von 1 µm. Nach DIN EN 13779 müsste somit mindestens ein Feinstaubfilter der Klasse F7 eingesetzt werden, wie in Tabelle 12 zu sehen ist:

DIN EN 13779	DIN EN ISO 16890			
	Coarse	ePM ₁₀	ePM _{2,5}	ePM ₁
F7	> 95 %	80 % - 90 %	50 % - 75 %	40 % - 65 %
F8	> 95 %	90 % - 100 %	75 % - 95 %	65 % - 90 %
F9	> 95 %	90 % - 100 %	85 % - 95 %	80 % - 90 %

Tabelle 12 Überblick der Feinstaubfilterklassen nach DIN EN 13779 und DIN EN ISO 16890 nach [57]

Die Abluft ist wie bereits erwähnt mit höheren Schadstoffkonzentrationen belastet, auch hier sollte ein Abscheidegrad von 50 % gegenüber Feinstaubpartikeln der Größe 1 µm erzielt werden.

Schlussendlich ist der Ventilator für Zu- und Abluftsystem auszulegen. Da sich der Leistungsbedarf grundsätzlich aus Volumenstrom und Druckverlust ergibt, müssen zunächst die Druckverluste der einzelnen Bauteile ermittelt werden:

Bauteil	Druckverlust in Pa	
	Zuluft (6.300 m ³ /h)	Abluft (6.400 m ³ /h)
Kanalnetz	400	500
Filter	244, max. 450*	
Wärmerückgewinnung	75	
Luftherhitzer	10	-
Schalldämpfer im RLT-Gerät	50	
Summe	985	1075

* aus Anhang 23 entnommen

Tabelle 13 Entstehende Druckverluste im Lüftungsggerät und Kanalnetz

Nach den Herstellerangaben ist beim Einsatz der Filterklassen F7 bis F9 von einer Enddruckdifferenz von 450 Pa auszugehen. Bei der ausgewählten Filterklasse ISO ePM₁₀60% liegt die Anfangsdruckdifferenz bei 38 Pa, somit würde sich ein durchschnittlicher Druckverlust des Luftfilters von 244 Pa einstellen (siehe Anhang 24). Für die Vorauswahl der Ventilatoren wird der maximal auftretende Druckverlust berücksichtigt, hier werden 450 Pa Druckverlust durch eingesetzte Luftfilter angesetzt.

Damit lässt sich nun eine Vorauswahl des Laufradtypen treffen, indem man zunächst die Laufzahl nach Formel 6 berechnet:

$$\sigma = \frac{n \cdot \sqrt{\dot{V}}}{157,8 \cdot \left(\frac{\Delta p_t}{\rho \cdot 9,81}\right)^{\frac{3}{4}}}$$

Formel 6 Berechnung der Ventilatorlaufzahl σ

$n = \text{Drehzahl, hier max. } 2000 \text{ U/min}$

$\dot{V} = \text{Volumenstrom, hier } 6300 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \text{ (Zuluft) bzw. } 6400 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \text{ (Abluft)}$

$\Delta p_t = \text{Totaldruckerhöhung des Ventilators, } 985 \text{ Pa (Zuluft) bzw. } 1075 \text{ Pa (Abluft)}$

$\rho = \text{Dichte von Luft, hier } 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Demnach ergeben sich folgende Werte:

- Laufzahl Ventilator Zuluft: 0,6
- Laufzahl Ventilator Abluft: 0,57

Mit den berechneten Laufzahlen kann man nun mit Hilfe des Cordier-Diagramms die Durchmesserzahl ermitteln und eine Vorauswahl des Laufradtypen treffen, siehe Abbildung 38.

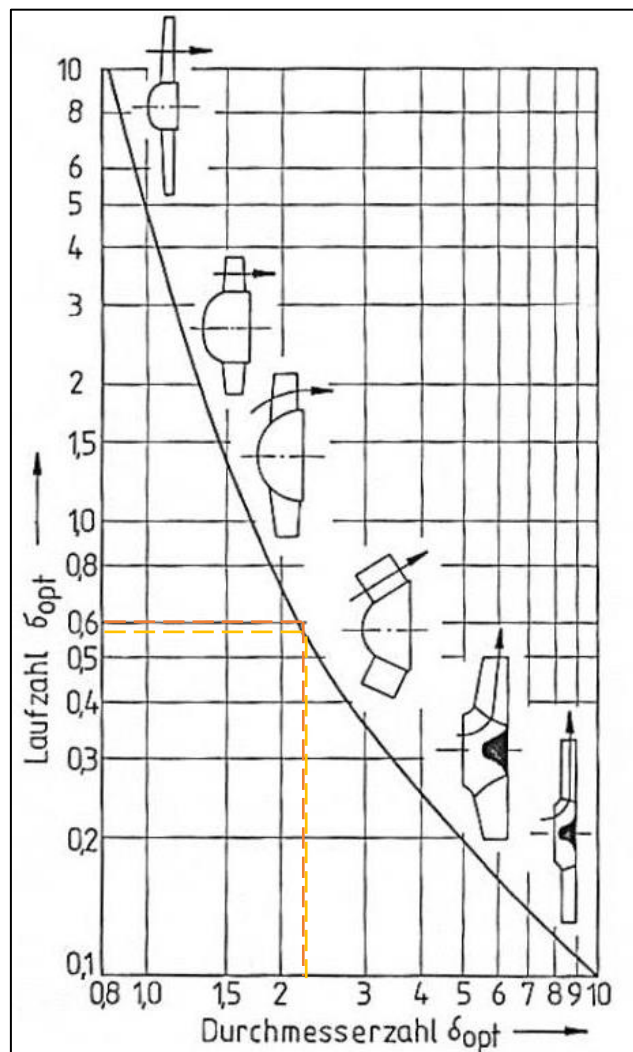


Abbildung 38 Vorauswahl des Laufradtypen im Cordier-Diagramm aus [18]

Anhand des Cordier-Diagramms sieht man, dass radiale Laufradtypen grundsätzlich kleine Laufzahlen aufweisen, im Bereich von ca. 0,1-0,6, axiale Laufradtypen

hingegen besitzen höhere Laufzahlen, i.d.R. sind diese größer als 0,6. Die errechneten Werte liegen gerade noch im Bereich von radialen Laufradtypen. Aufgrund dessen wird für Zu- und Abluftsystem ein Radialventilator ausgewählt mit einer Durchmesserzahl δ von jeweils 2,3. Mit dieser kann man durch Einsatz in Formel 7 den Laufradaußendurchmesser der Ventilatoren ermitteln:

$$D = \frac{2 \cdot \delta}{\sqrt[4]{\frac{2 \cdot \Delta p_t}{\rho \cdot \dot{V}^2} \cdot \sqrt{\pi}}}$$

Formel 7 Berechnung des Laufradaußendurchmessers des Ventilators

Somit ergeben sich folgende Laufradaußendurchmesser:

- Ventilator Zuluft: 0,539
- Ventilator Abluft: 0,532

Des Weiteren lässt sich durch Multiplikation von Druckverlust und Volumenstrom der hydraulische Leistungsbedarf P_{hyd} ermitteln, welcher beim Zuluftventilator 1363,25 W beträgt und beim Abluftventilator 1544,89 W. Mit Hilfe der hydraulischen Leistung kann man nun durch Formel 8 den Leistungsbedarf der Ventilatorwelle berechnen:

$$P_W = \frac{P_{hyd}}{\eta_{Ventilator}}$$

Formel 8 Berechnung des Leistungsbedarfs der Ventilatorwelle

$\eta_{Ventilator}$ = Wirkungsgrad des Ventilators, hier 60 % gewählt

Somit ergeben sich folgende Wellenleistungen:

- Ventilator Zuluft: 2272,10 W
- Ventilator Abluft: 2574,81 W

Mit den berechneten Werten werden nun die Ventilatoren für Zuluft und Abluft ausgelegt. Die Datenblätter sind in den Anhängen 26 und 27 zu finden.

Bei ungefähr 230 Arbeitstagen mit jeweils 8 Stunden Betriebszeit pro Tag ergeben sich für die Ventilatoren 1840 Betriebsstunden pro Jahr, wodurch für den Zuluftventilator 4180 kWh/a und für den Abluftventilator 4738 kWh/a anfallen. Geht man nun von einem Strompreis von 0,28 €/kWh aus, so ergeben sich für den Zuluftventilator 1170,40 €/a und für den Abluftventilator 1326,64 €/a.

Wird das Labor nicht genutzt, so ist eine im Unterdruck betriebene Grundlüftung von ca. 40 % der Vollastleistung vorgesehen. Der Zuluftventilator fördert dann 2520 m³/h

und der Abluftventilator 2620 m³/h. Mit Hilfe der Ähnlichkeitsgesetze, siehe Formel 9 lässt sich nun der Druckverlust der Anlage bei diesen Volumenströmen ermitteln.

$$\frac{\Delta p_2}{\Delta p_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 = \left(\frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1}\right)^2$$

Formel 9 Berechnung der Druckverluste bei Grundlüftung mit Hilfe der Ähnlichkeitsgesetze

$$\Delta p_2 = 779 \text{ Pa (Zuluft)}, 869 \text{ Pa (Abluft)}$$

$$\dot{V}_2 = 6300 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \text{ (Zuluft) bzw. } 6400 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \text{ (Abluft)}$$

$$\dot{V}_1 = 2520 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \text{ (Zuluft) bzw. } 2620 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \text{ (Abluft)}$$

Für die Zuluftanlage ergibt sich demnach ein Druckverlust von 125 Pa, im Abluftsystem 146 Pa. Bei 60 % Ventilatorwirkungsgrad fallen die Wellenleistungen der Ventilatoren bei Grundlüftung wie folgt aus:

- Ventilator Zuluft: 145,84 W
- Ventilator Abluft: 177,09 W

Für 6920 Betriebsstunden (8760 h/a – 1840 h/a = 6920 h/a) im Jahr betragen die Betriebskosten bei gleichbleibendem Strompreis 282,30 €/a für Zuluftventilator und 344,96 €/a.

Die Ergebnisse der durchgeführten Berechnungen sind in Tabelle 14 zusammengefasst. Weiterhin wurde für die Zuluftbehandlung eine zweistufige Filterung betrachtet. Hierbei wird ein zusätzlicher Filter der Klasse ISO ePM₁85% eingesetzt, welcher die Qualität der Zuluft erhöhen soll und mehr Feinstaubpartikel aus der Außenluft zurückhält. Das Datenblatt ist im Anhang 25 dargestellt.

Volllast	Zuluft (einstufig)	Zuluft (zweistufig)	Abluft
Filterklassen nach DIN EN ISO 16890	ISO ePM ₁ 60%	1 x ISO ePM ₁ 60% 1 x ISO ePM ₁ 85%	ISO ePM ₁ 60%
Druckverlust Filter [Pa] (im Durchschnitt)	244	495	244
Volumenstrom [m³/h]	6300		6400
Gesamtdruckverlust [Pa]	779	1030	869
Wirkungsgrad Ventilator [%]	60		
Wellenleistung [W]	2272	3004	2575
Kilowattstunden[kWh] (bei 1840 Betriebsstunden)	4180	5527	4738
Betriebskosten [€/a] (0,28 €/kWh)	1170,40	1547,67	1326,64
Grundlüftung			
Volumenstrom [m³/h]	2520		2620
Gesamtdruckverlust [Pa]	125	165	146
Wirkungsgrad Ventilator [%]	60		
Wellenleistung [W]	146	193	178
Kilowattstunden[kWh] (bei 6920 Betriebsstunden)	1010	1336	1232
Betriebskosten [€/a] (0,28 €/kWh)	282,30	374,08	344,96
Summe	1452,70	1921,75	1671,60

Tabelle 14 Tabellarischer Vergleich der entstehenden Betriebskosten für die Ventilatoren in Abhängigkeit der verwendeten Filterklasse

Der zweite Filter hat einen durchschnittlichen Druckverlust von 251 Pa, insgesamt ergibt sich dadurch ein durch die Luftfilterung entstehender Druckverlust von 495 Pa. Aufgrund dessen wird die zu erbringende Wellenleistung des Zuluftventilators 700 W größer, was bei gleichbleibenden Betriebsstunden und Strompreis zu einer Steigerung der Betriebskosten von 1452,70€ auf 1921,75€ führt. Will der Bauherr dementsprechend eine höhere Zuluftqualität für das Laboratorium, so muss er mit ungefähr 470,00 € Mehrkosten pro Jahr rechnen. Wie sich bereits in der Studienarbeit gezeigt hat, erfordert auch die Luftqualität bei höheren Ansprüchen durchaus höhere Kosten.

Schlussendlich lässt sich noch ein positiver Nebeneffekt des hohen Luftwechsels verzeichnen, da sich eine gleichbleibend geringe CO₂-Belastung in der Raumluft verteilt. So stellt sich bei maximaler Personenbelegung von 17 Teilnehmern am Tag

und einer CO₂-Konzentration in der Außenluft von 400 ppm eine CO₂-Konzentration in der Raumlufte von ca. 440 ppm ein. In der Abbildung 39 sieht man, dass während der Grundlüftung sogar annähernd Außenluftqualität im Laborraum erreicht wird, da hier keine Nutzung durch die Teilnehmer erfolgt, aber aufgrund höherer Konzentrationen von Luftverunreinigungen bereits ein 11-facher Luftwechsel erzielt wird.

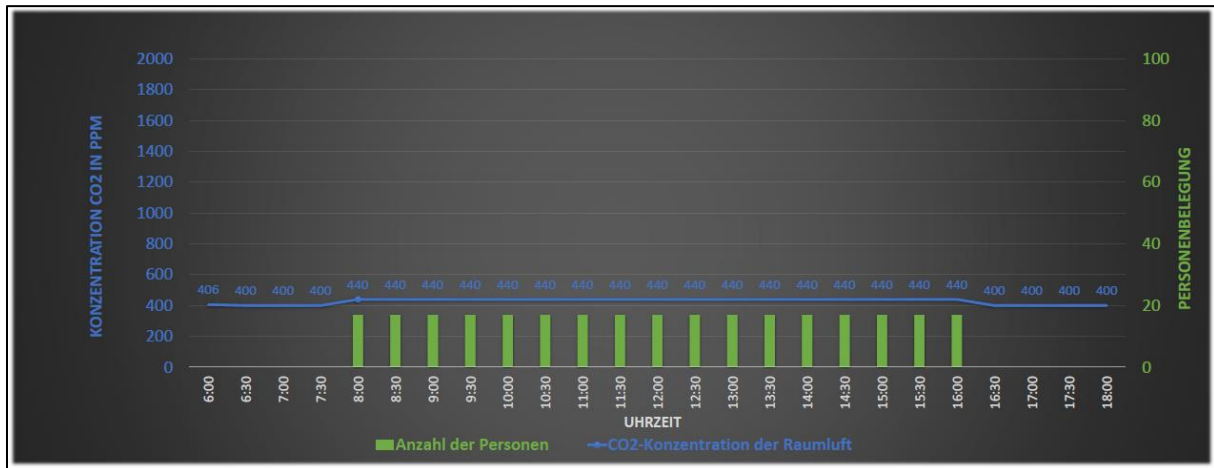


Abbildung 39 Entwicklung der CO₂-Konzentration im Laborraum

5. Zusammenfassung

Am Ende dieser Betrachtung ist festzuhalten, dass die Innenraumlufthygiene als Teil der Behaglichkeit des Menschen einen hohen Stellenwert verzeichnet. Wie in der Studienarbeit bereits erläutert, wird die Luftqualität genau wie das thermische und akustische Empfinden subjektiv wahrgenommen. Hier liegt die Herausforderung bei der Planung gebäudetechnischer Anlagen, um für die Allgemeinheit akzeptable Raumlufzustände zu schaffen.

Dabei hat sich gezeigt, dass die Luftqualität, wie wir sie heute kennen, noch keine lange Vergangenheit aufweist. Der Grund dafür ist, dass der Mensch die Qualität an sich nur schwer wahrnehmen kann. Erst mit zunehmenden wissenschaftlichen Fortschritten, wie die Erfindung von hinreichend genauen Messgeräten, erkannte man, dass die Luftqualität im Innenraum einen sehr großen Einfluss auf das Wohlbefinden des Menschen, aber auch auf seine Gesundheit hat. Wissenschaftler wie Max von Pettenkofer haben festgestellt, dass bereits ein einzelner Stoff in erhöhter Konzentration größere Auswirkungen auf den Menschen haben kann. Aufgrund dieser Erkenntnisse wurden erste Grenz- und Richtwerte für die Stoffe eingeführt, welche der Gesundheit schädigen. So wurde suggeriert, dass bei Einhaltung dieser Werte keine ernstzunehmenden Gefahren für den Menschen ausgehen. Allerdings sind sich bis heutzutage verschiedenste Institutionen und Wissenschaftler über die Höhe einzelner Grenzwerte uneinig, hier wäre eine zukünftig einheitliche Strategie wünschenswert.

Auch bei der technischen Umsetzung ist die Einhaltung der Luftqualität im Raum ein wichtiges Thema, da diese durch gebäudetechnische Anlagen maßgeblich beeinflusst werden kann. In der vorangegangenen Studienarbeit stellte sich heraus, dass höhere Komfortansprüche an Luftzustände eine Steigerung der Betriebskosten nach sich ziehen. Auch bei dieser Betrachtung verhält es sich ähnlich. So sind für eine bessere Luftqualität mehrere Komponenten in der RLT-Anlage einzusetzen oder eine Erhöhung des Luftaustausches zu vollziehen, bei beiden Möglichkeiten erhöht sich der Druckverlust der Anlage. Dadurch steigt der Leistungsbedarf des Ventilators und somit dessen Betriebskosten.

Das Thema Innenraumlufthygiene wird vor allem durch die aktuelle „Covid-19-Krise“ eine zunehmend wichtige Rolle im Alltag spielen, auch wenn davon auszugehen ist, dass eine Abschwächung von Verhaltens- und Lüftungsregeln nach der Krise erfolgt. Dennoch haben die stattgefundenen Betrachtungen dieser Arbeit gezeigt, dass die Luftqualität der Raumluf nicht zu unterschätzen ist, so verbringt der Mensch im Durchschnitt doch die meiste Zeit in Innenräumen.

Literaturverzeichnis

- [1] Ausschus für Innenraumrichtwerte, „Richtwerte für die Innenraumluft,“ Umweltbundesamt, 2021.
- [2] G. d. Bundes, *Hygiene*, Gesundheitsberichterstattung des Bundes, 2021.
- [3] S. N. S. (SNS), *Lufthygiene*, Umweltbundesamt (UBA), 2021.
- [4] D. Wetterdienst, „Luftqualität unter der Lupe,“ 2021.
- [5] ÄGU, IMB, ÖÖL, „Auswirkungen energiesparender Maßnahmen im Wohnbau auf die Innenraumluftqualität und Gesundheit,“ Juni 2005.
- [6] Y. Herbst, *Bewertung der Kriterien der Behaglichkeit von RLT-Anlagen und deren Auswirkung auf die Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit*, Halle (Saale), 2021.
- [7] M. v. Pettenkofer, Über den Luftwechsel in Wohngebäuden, München: Literarisch-Artistische Anstalt der J.G. Cotta´schen Buchhandlung, 1858.
- [8] C. Yaglou, E. Riley und D. Coggins, Ventilation Requirements (Part 1), ASHVE Transactions Vol. 42, 133-162, 1936.
- [9] C. Yaglou und W. Witheridge, Ventilation Requirements (Part 2), ASHVE Transactions, Vol 43, 423-436, 1937.
- [10] P. O. Fanger, Introduction of the olf and the decipol Units to Quantify Air Pollution Perceived by Humans Indoors and Outdoors, Energy and Buildings, 12, S. 1-6, 1988.
- [11] World Health Organization (WHO), „WHO Leitlinien für Innenraumluftqualität Zusammenfassung,“ Kopenhagen, 2011.
- [12] H. Recknagel, E. Sprenger und K.-J. Albers, Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 78.Auflage, Band 1, München: Deutscher Industrieverlag GmbH, 2017/ 2018.
- [13] P. D.-I. K. Fitzner, „Luftströmung in belüfteten Räumen,“ in *Raumklimatechnik, Band 2: Raumluft- und Raumkühltechnik*, Berlin - Heidelberg, Springer-Verlag, 2008, pp. 117 - 121.
- [14] N. Fritzsche, „6.2 Lüftungsarten - Lüftungssysteme,“ in *Lüftungshandbuch 2020*, Berlin - Offenbach, VDE Verlag GmbH, 2020, pp. 82 - 96.
- [15] D. C. Paul Yanisko, „Use Nitrogen Safely,“ Chemical Engineering Progress, 2012, p. 45.
- [16] T. Lahrz, D. W. Bischof und D. H. Sagunski, „Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der innenraumluft,“ Springer Medizin Verlag, 2008.
- [17] Umweltbundesamt, „Jahresmittel Kohlendioxid (CO₂) / ppm (Excel-Tabelle),“

- 15 März 2021. [Online]. [Zugriff am 13 Juli 2021].
- [18] D.-I. A. Kremonke, *Vorlesungsinhalt Ermittlung des erforderlichen Außenluftbedarfes*, Glauchau, 2019.
- [19] R. S. R. H. W. K. J.A. Sayers, „Effects of carbon dioxide on mental performance,“ *Journal of Applied Physiology*, 1987, pp. 25 - 30.
- [20] WOLF GmbH, TU Berlin, „Covid-19: Studie zur Partikelverbreitung,“ 2021. [Online]. Available: <https://www.wolf.eu/ueberwolf/presse/pressemitteilungen/covid-19-studie/>. [Zugriff am 8 August 2021].
- [21] Umweltbundesamt, „Luftschadstoff-Emissionen in Deutschland,“ 3 Juni 2021. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschaedstoff-emissionen-in-deutschland#entwicklung-der-luftschaedstoffbelastung->. [Zugriff am 25 Juli 2021].
- [22] Umweltbundesamt, „Ammoniak,“ 23 Juni 2020. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschaedstoffe-im-ueberblick/ammoniak#emittenten-quellen-fur-ammoniak-in-der-landwirtschaft>. [Zugriff am 15 Juli 2021].
- [23] Wikipedia, „Ammoniak,“ [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Ammoniak#Vorkommen>. [Zugriff am 15 Juli 2021].
- [24] Umweltbundesamt, „Stickstoffoxide,“ 25 Mai 2021. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschaedstoffe-im-ueberblick/stickstoffoxide#undefined>. [Zugriff am 16 Juli 2021].
- [25] Umweltbundesamt, „Kohlenmonoxid,“ 25 Mai 2021. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschaedstoffe-im-ueberblick/kohlenmonoxid>. [Zugriff am 16 Juli 2021].
- [26] D. S. Reinberger, Wort & Bild Verlag Konradshöhe GmbH & Co. KG, 7 Januar 2019. [Online]. Available: <https://www.apotheken-umschau.de/mein-koerper/lunge-und-atemwege/kohlenmonoxid-vorsicht-erstickungsgefahr-720879.html>. [Zugriff am 16 Juli 2021].
- [27] Umweltbundesamt, „Schwefeldioxid,“ 25 Mai 2021. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschaedstoffe-im-ueberblick/schwefeldioxid>. [Zugriff am 16 Juli 2021].
- [28] Wetterlexikon, Deutscher Wetterdienst, „Ozon,“ [Online]. Available: <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=101946&lv3=101994>. [Zugriff am 4 August 2021].
- [29] Deutscher Wetterdienst, „Gesamtstaub,“ [Online]. Available: https://www.dwd.de/DE/forschung/atmosphaerenbeob/zusammensetzung_atmosphaere/aerosol/inh_nav/gesamtstaub_node.html;jsessionid=9B2ECB5AF7D3

- AE272E26DA43B7E29367.live11043#Start. [Zugriff am 12 Juli 2021].
- [30] ESTA Apparatebau GmbH & Co. KG, „Was ist Staub und wie gefährlich ist Staub am Arbeitsplatz?“, [Online]. Available: <https://www.esta.com/de/wissen/wissen-absauganlagen/was-ist-staub/>. [Zugriff am 12 Juli 2021].
- [31] Umweltbundesamt, „Wirkungen auf die Gesundheit“, 21 Januar 2019. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/wirkungen-von-luftschadstoffen/wirkungen-auf-die-gesundheit#aussenluft>. [Zugriff am 12 Juli 2021].
- [32] Umweltbundesamt, „Emission von Feinstaub der Partikelgröße PM10“, 3 Juni 2021. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland/emission-von-feinstaub-der-partikelgroesse-pm10#emissionsentwicklung>. [Zugriff am 7 Juli 2021].
- [33] Umweltbundesamt, „Feinstaub“, 18 Juni 2021. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe-im-ueberblick/feinstaub#undefined>. [Zugriff am 12 Juli 2021].
- [34] STIHL Vertriebszentrale AG & Co. KG, „Staubklassen: Stäube richtig erkennen für mehr Schutz am Arbeitsplatz“, [Online]. Available: <https://www.stihl.de/de/ratgeber-projekte/arbeits-technik-geraetepflege/arbeitssicherheit/staubklassen#zusammenfassung>. [Zugriff am 12 Juli 2021].
- [35] W. Redaktion, „Schutzmaßnahmen bei Staub am Arbeitsplatz“, 12 November 2020. [Online]. Available: <https://www.weka.de/arbeitsschutz-gefahrstoffe/auf-die-staubklasse-kommt-es-an/>. [Zugriff am 12 Juli 2021].
- [36] Umweltbundesamt, „Flüchtige organische Verbindungen“, 21 November 2016. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/umwelteinfluesse-auf-den-menschen/chemische-stoffe/fluechtige-organische-verbindungen#fluechtige-organische-verbindungen-voc->. [Zugriff am 14 Juli 2021].
- [37] M. M. L. V. A. K. C. Bushdid, „Humans Can Discriminate More than 1 Trillion Olfactory Stimuli“, *Science* 21, 2014.
- [38] Umweltbundesamt, „Raum für Raum renovieren“, 14 September 2016. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/raum-fuer-raum-renovieren>. [Zugriff am 14 Juli 2021].
- [39] Umweltbundesamt, „Gerüche aus Bauprodukten“, 5 September 2019. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft->

- konsum/produkte/bauprodukte/gerueche-aus-bauprodukten#wie-riechts-bei-
ihnen. [Zugriff am 14 Juli 2021].
- [40] Umweltbundesamt, „Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten,“ Springer Medizin Verlag, 2007.
- [41] Umweltbundesamt, „Viren,“ 5 März 2019. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/viren#aussehen>. [Zugriff am 19 Juli 2021].
- [42] Umweltbundesamt, „Bakterien,“ 28 Februar 2019. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/bakterien#aussehen>. [Zugriff am 19 Juli 2021].
- [43] „SARS-CoV-2 Steckbrief zur Coronavirus-Krankheit-2019 (COVID-19),“ 14 Juli 2021. [Online]. Available: https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Steckbrief.html. [Zugriff am 19 Juli 2021].
- [44] Umweltbundesamt, „Infektiöse Aerosole in Innenräume,“ 29 März 2021. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/umwelteinfluesse-auf-den-menschen/innenraumluft/infektioese-aerosole-in-innenraeumen#was-sind-aerosole->. [Zugriff am 20 Juli 2021].
- [45] IRK, „Das Risiko einer Übertragung von SARS-CoV-2 in Innenräumen lässt sich durch geeignete Lüftungsmaßnahmen reduzieren,“ 12. August 2020.
- [46] D. m. P. Hannemann, „Gut leben mit Asthma und Allergien,“ Cuvillier Verlag, Göttingen, 2018.
- [47] Norddeutscher Rundfunk, „Warum Allergien zunehmen,“ 7 Mai 2018. [Online]. Available: <https://www.ndr.de/ratgeber/gesundheit/Warum-nehmen-Allergien-zu,allergien148.html>. [Zugriff am 8 August 2021].
- [48] Bundesamt für Strahlenschutz, „Wo kommt Radioaktivität in der Umwelt vor?,“ 2021.
- [49] Wissenschaftliche Dienste Deutscher Bundestag, „Rechtliche Grundlagen im Umgang mit Radon,“ 2019.
- [50] Bundesamt für Strahlenschutz, „Verordnungen zum Strahlenschutz,“ 2021.
- [51] D. e. al., „Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies,“ British Medical Journal, 2004.
- [52] Bundesamt für Strahlenschutz, „Radon in Gebäuden,“ 2021.
- [53] Bundesamt für Strahlenschutz, Radon-Handbuch Deutschland, Salzgitter, 2019.

- [54] Systemair GmbH, „Erzeugung von Strömungsbildern im Systemair Design,“ 2021.
- [55] Lindab GmbH, „Auslegung der Luftauslässe im Lindab lindQST,“ 2021.
- [56] Umweltbundesamt, „Aktuelle Luftdaten,“ 12 August 2021. [Online]. Available: https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftdaten/luftqualitaet/eJzrWJSSuMrIwMhQ18BC19BoUUnmQstFeakLFhWXLDE0NzVanOJWBjUHocUpIfnlynOreBfIJctzkksOe3gubf41YV9rYtz8tJPO6i_2tnAwMAIAKEJL8=. [Zugriff am 12 August 2021].
- [57] Verein Deutscher Maschinen- und Anlagenbau, „VDMA Luftfilterinformation: Filterklassen der Raumluft- und Entstaubungstechnik im Überblick,“ Frankfurt am Main, 2019.
- [58] Wikimedia Commons, „Stickstoffkreislauf,“ 27 August 2009. [Online]. Available: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cicle_del_nitrogen_de.svg. [Zugriff am 13 Juli 2021].
- [59] TROX GmbH, „Produktübersicht Filterelemente: Technische daten und Produktübersicht,“ 17 Januar 2019. [Online]. Available: <https://www.trox.de/downloads/f5346f7cbb06f967/20190117-Produkt-bersicht-ISO16890-EN779.pdf>. [Zugriff am 12 August 2021].
- [60] Wetterdienst, Deutscher, „Gesamtstaub,“ [Online]. Available: https://www.dwd.de/DE/forschung/atmosphaerenbeob/zusammensetzung_atmosphaere/aerosol/inh_nav/gesamtstaub_node.html;jsessionid=9B2ECB5AF7D3AE272E26DA43B7E29367.live11043#Start. [Zugriff am 7 Juli 2021].

Gesetze, Verordnungen, Richtlinien:

Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung - ArbStättV)

"Arbeitsstättenverordnung vom 12. August 2004 (BGBl. I S. 2179), die zuletzt durch Artikel 4 des Gesetzes vom 22. Dezember 2020 (BGBl. I S. 3334) geändert worden ist"

BAuA Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin; ASTA Ausschuss für Arbeitsstätten: ASR A3.5 - Raumtemperatur; Ausgabe: Juni 2010

BAuA Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin; ASTA Ausschuss für Arbeitsstätten: ASR A3.6 - Lüftung; Ausgabe: Januar 2012

BAuA Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin; ASTA Ausschuss für Arbeitsstätten: ASR A3.7 – Lärm; Ausgabe: Mai 2018

BAuA Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: TRGS 900 – Arbeitsplatzgrenzwerte; Ausgabe: Januar 2006

BAuA Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: TRGS 903 –Biologische Grenzwerte (BGW); Ausgabe: Februar 2013

BAuA Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: TRGS 905 – Verzeichnis krebserzeugender, keimzellmutagener oder reproduktionstoxischer Stoffe; Ausgabe: März 2016

Normen:

DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 1946 - 2 Raumluftechnik – Teil 2: Gesundheitstechnische Anforderungen (VDI-Lüftungsregeln); Ausgabe: 1994

DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 1946 - 7 Raumluftechnik – Teil 7: Raumluftechnische Anlagen in Laboratorien; Ausgabe: 2009

DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 13779 Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlageanlagen und Raumkühlsysteme; Ausgabe: September 2007

DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 15251 Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumlufqualität, Temperatur, Licht und Akustik; Ausgabe: Dezember 2012

DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 16798 – 1 Energetische Bewertung von Gebäuden – Lüftung von Gebäuden – Teil 1: Eingangsparameter für das Innenraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Raumlufqualität, Temperatur, Licht und Akustik – Modul M1-6; Deutsche Fassung EN 16798-1:2019, April 2021

DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN ISO 7730 Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit (ISO 7730:2005); Deutsche Fassung EN ISO 7730:2005, Mai 2006

VDI 6022 Blatt 1: Raumlufttechnik, Raumluftqualität Hygieneanforderungen an raumlufttechnische Anlagen und Geräte (VDI-Lüftungsregeln); Ausgabe: Januar 2018

Anhangsverzeichnis

Anhang 1	Verunreinigungslasten von Personen bei verschiedenen Aktivitäten nach DIN 1946-2	78
Anhang 2	Klassifizierung der Luftarten nach DIN EN 13779.....	79
Anhang 3	Standardwerte für die indirekte Klassifizierung in Bezug auf den Personenanteil und CO ₂ -Konzentration im Raum nach DIN EN 13779.....	80
Anhang 4	Standardwerte für die indirekte Klassifizierung durch den Luftvolumenstrom je Bodenfläche nach DIN EN 13779	81
Anhang 5	Wiederverwendungsmöglichkeiten von verschiedenen Kategorien der Abluft nach DIN EN 13779.....	82
Anhang 6	Kategorien zur Bewertung des Innenraumklimas nach DIN EN 15251	83
Anhang 7	Differenz der CO ₂ -Konzentration zwischen Raum- und Außenluft nach DIN EN 15251	84
Anhang 8	Kategorien zur Bewertung des Innenraumklimas nach DIN EN 16798-1.....	85
Anhang 9	Standardauslegungswerte für die Differenz der CO ₂ -Konzentration zwischen Innen- und Außenluft nach DIN EN 16798-1.....	86
Anhang 10	WHO-Richtwerte für Verunreinigungen in der Raum- und Außenluft nach DIN EN 16798-1.....	87
Anhang 11	Klassifizierung der Zuluftqualität nach DIN EN 16798-3	88
Anhang 12	Beispielhafte Darstellung des Stickstoffkreislaufs [58].....	89
Anhang 13	Tabellarische Übersicht der CO ₂ -Konzentration der Außenluft für verschiedene Standorte in Deutschland	90
Anhang 14	Ausführliche Berechnung der CO ₂ -Konzentrationen bei verschiedenen Lüftungsvarianten	91
Anhang 15	Einteilung der Gefahrstoffe in Gefahrenklassen nach GefStoffV	95
Anhang 16	Anstieg des Lungenkrebsrisikos infolge erhöhter Radonbelastungen nach [51]	96
Anhang 17	Geographische Übersicht der Radonbelastungen in der Bodenluft für Deutschland.....	97
Anhang 18	Allgemeine Projektbeschreibung.....	98
Anhang 19	Luftbilanzen nach DIN EN 15251	100
Anhang 20	Planungsunterlagen	101
Anhang 21	Datenblatt Quellauslass	104
Anhang 22	Schadstoffkonzentrationen für den Standort Halle/Nord seit 01. Januar 2021 nach [56]	105

Anhang 23	Enddruckdifferenz, Mittlerer Abscheide- und Wirkungsgrad für verschiedene Filterklassen nach [59].....	107
Anhang 24	Datenblatt Filter (ISO ePM ₁ 60%)	108
Anhang 25	Datenblatt Filter (ISO ePM ₁ 85%)	109
Anhang 26	Datenblatt Ventilator Zuluft.....	110
Anhang 27	Datenblatt Ventilator Abluft	111

Anhang 1 Verunreinigungslasten von Personen bei verschiedenen Aktivitäten nach DIN 1946-2⁹

Tätigkeit	Verunreinigungslast olf
Aktivitätsstufe ²¹⁾ I	1
Aktivitätsstufe ²¹⁾ II	1,5
Aktivitätsstufe ²¹⁾ III	2
Aktivitätsstufe ²¹⁾ IV	2,5
Raucher beim Rauchen	25
Raucher im Durchschnitt	6

²¹⁾ Siehe Tabelle 1.

⁹ DIN 1946 Teil 2, Januar 1994: Anhang A Raumluftqualitätsbezogener Außenluftstrom, S.9

Anhang 2 Klassifizierung der Luftarten nach DIN EN 13779¹⁰

Kategorie	Beschreibung
ETA 1 EHA 1	Abluft mit geringem Verunreinigungsgrad
	Luft aus Räumen, deren Hauptemissionsquellen Baustoffe und das Bauwerk sind; ebenso Luft aus Aufenthaltsräumen, deren Hauptemissionsquellen der menschliche Stoffwechsel, Baustoffe und das Bauwerk sind. Räume, in denen Rauchen gestattet ist, sind nicht eingeschlossen.
ETA 2 EHA 2	Abluft mit mäßigem Verunreinigungsgrad
	Luft aus Aufenthaltsräumen mit den gleichen Verunreinigungsquellen wie bei Kategorie 1 und/oder durch menschliche Aktivitäten, jedoch mit mehr Verunreinigungen als bei Kategorie 1. Räume der Kategorie ETA 1, in denen Rauchen gestattet ist
ETA 3 EHA 3	Abluft mit hohem Verunreinigungsgrad
	Luft aus Räumen, in denen emittierende Feuchte, Arbeitsverfahren, Chemikalien usw. die Luftqualität wesentlich beeinträchtigen
	Abluft mit sehr hohem Verunreinigungsgrad
ETA 4 EHA 4	Luft, die Gerüche und Verunreinigungen enthält, deren Konzentrationen höher liegen, als für die Raumluft in Aufenthaltsbereichen erlaubt ist

Kategorie	Beschreibung
ODA 1	Saubere Luft, die nur zeitweise staubbelastet sein darf (z. B. Pollen)
ODA 2	Außenluft mit hoher Konzentration an Staub oder Feinstaub und/oder gasförmigen Verunreinigungen
ODA 3	Außenluft mit sehr hoher Konzentration an gasförmigen Verunreinigungen und/oder Staub oder Feinstaub

Kategorie	Beschreibung
IDA 1	Hohe Raumluftqualität
IDA 2	Mittlere Raumluftqualität
IDA 3	Mäßige Raumluftqualität
IDA 4	Niedrige Raumluftqualität

¹⁰ DIN EN 13779, September 2007: 6.2 Klassifizierung von Luft, S.17 ff.

Anhang 3 Standardwerte für die indirekte Klassifizierung in Bezug auf den Personenanteil und CO₂-Konzentration im Raum nach DIN EN 13779¹¹

Kategorie	CO ₂ -Gehalt über dem Gehalt in der Außenluft, in ppm	
	Üblicher Bereich	Standardwert
IDA 1	≤ 400	350
IDA 2	400 – 600	500
IDA 3	600 – 1 000	800
IDA 4	> 1 000	1 200

¹¹ DIN EN 13779, September 2007: Anhang A; Tabelle A.10, S.59

Anhang 4 Standardwerte für die indirekte Klassifizierung durch den Luftvolumenstrom je Bodenfläche nach DIN EN 13779¹²

Kategorie	Einheit	Außenluftvolumenstrom je Person			
		Nichtraucherbereich		Raucherbereich	
		Üblicher Bereich	Standardwert	Üblicher Bereich	Standardwert
IDA 1	$\text{l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Person}^{-1}$	> 15	20	> 30	40
IDA 2	$\text{l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Person}^{-1}$	10 – 15	12,5	20 – 30	25
IDA 3	$\text{l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Person}^{-1}$	6 – 10	8	12 – 20	16
IDA 4	$\text{l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Person}^{-1}$	< 6	5	< 12	10

¹² DIN EN 13779, September 2007: Anhang A; Tabelle A.11, S.59

Anhang 5 Wiederverwendungsmöglichkeiten von verschiedenen Kategorien der Abluft nach DIN EN 13779¹³

Kategorie^a	Bemerkung zur möglichen Wiederverwendung der Luft
ETA 1	geeignet als Umluft und Überströmluft
ETA 2	nicht geeignet als Umluft, kann jedoch als Überströmluft in Toiletten, Waschräumen, Garagen und ähnlichen Bereichen verwendet werden
ETA 3	nicht als Umluft oder Überströmluft geeignet
ETA 4	nicht als Umluft oder Überströmluft geeignet
^a Siehe Tabelle 4.	

¹³ DIN EN 13779, September 2007: Anhang A; Tabelle A.7, S.48

Anhang 6 Kategorien zur Bewertung des Innenraumklimas nach DIN EN 15251¹⁴

Kategorie	Beschreibung
I	hohes Maß an Erwartungen; empfohlen für Räume, in denen sich sehr empfindliche und anfällige Personen mit besonderen Bedürfnissen aufhalten, z. B. Personen mit Behinderungen, kranke Personen, sehr kleine Kinder und ältere Personen
II	normales Maß an Erwartungen; empfohlen für neue und renovierte Gebäude
III	annehmbares, moderates Maß an Erwartungen; kann bei bestehenden Gebäuden angewendet werden
IV	Werte außerhalb der oben genannten Kategorien. Diese Kategorie sollte nur für einen begrenzten Teil des Jahres angewendet werden
ANMERKUNG Auch in anderen Normen wie z. B. EN 13779 und EN ISO 7730 wird eine Einteilung in Kategorien vorgenommen; diese können jedoch unterschiedlich benannt sein (A, B, C oder 1, 2, 3 usw.)	

¹⁴ DIN EN 15251, Dezember 2012: Tabelle 1, S.12

Anhang 7 Differenz der CO₂-Konzentration zwischen Raum- und Außenluft nach DIN EN 15251¹⁵

Kategorie	Entsprechende CO₂-Konzentration oberhalb der Außenluftkonzentration für Energieberechnungen; in PPM
I	350
II	500
III	800
IV	< 800

¹⁵ DIN EN 15251, Dezember 2012: Anhang B, Tabelle B.4; S.33

Anhang 8 Kategorien zur Bewertung des Innenraumklimas nach DIN EN 16798-
1¹⁶

Kategorie	Maß an Erwartungen
IEQ _I	hoch
IEQ _{II}	mittel
IEQ _{III}	moderat
IEQ _{IV}	niedrig

ANMERKUNG In den Tabellen werden nur die Ziffern der Kategorien angegeben, ohne das IEQ_x-Symbol.

¹⁶ DIN EN 16798 – 1, April 2021: Tabelle 4, S.18

Anhang 9 Standardauslegungswerte für die Differenz der CO₂-Konzentration zwischen Innen- und Außenluft nach DIN EN 16798-1¹⁷

Kategorie	Entsprechende CO ₂ -Konzentration oberhalb der Konzentration in Außenluft, in ppm, für unangepasste Personen
I	550 (10)
II	800 (7)
III	1 350 (4)
IV	1 350 (4)

Kategorie	Auslegungswert der ΔCO ₂ -Konzentration in Wohnzimmern (ppm oberhalb des Wertes in Außenluft)	Auslegungswert der ΔCO ₂ -Konzentration in Schlafzimmern (ppm oberhalb des Wertes in Außenluft)
I	550	380
II	800	550
III	1 350	950
IV	1 350	950

ANMERKUNG 1 Die in vorstehender Tabelle B.12 angegebenen Werte entsprechen der Gleichgewichtskonzentration, wenn der Luftvolumenstrom je Person 4, 7, 10 l/s für Kategorie I, II, bzw. III und die CO₂-Emission je Person 20 l/h und 13,6 l/h für Wohnzimmer bzw. Schlafzimmer beträgt.

ANMERKUNG 2 Bei einem Raum von 10 m² (Raumhöhe 2,5 m, 25 m³) entsprechen 4, 7 und 10 l/s je Person bei zwei Personen im Raum einer Luftwechselrate von 1,2, 2,0 und 2,9 h⁻¹.

¹⁷ DIN EN 16798 – 1, April 2021: Anhang B, S.55ff.

Anhang 10 WHO-Richtwerte für Verunreinigungen in der Raum- und Außenluft nach DIN EN 16798-1¹⁸

Verunreinigung	WHO-Leitlinien zur Raumluftqualität 2010	WHO-Leitlinien zur Luftqualität 2005
Benzen	kein sicherer Wert bestimmbar	-
Kohlenstoffmonoxid	15-min-Mittelwert: 100 mg/m ³ 1-h-Mittelwert: 35 mg/m ³ 8-h-Mittelwert: 10 mg/m ³ 24-h-Mittelwert: 7 mg/m ³	-
Formaldehyd	30-min-Mittelwert: 100 µg/m ³	-
Naphthalen	Jahresmittelwert: 10 µg/m ³	-
Stickstoffdioxid	1-h-Mittelwert: 200 µg/m ³ Jahresmittelwert: 20 µg/m ³	-
Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (z. B. Benzopyren A B[a]P)	kein sicherer Wert bestimmbar	-
Radon	100 Bq/m ³ (mitunter 300 mg/m ³ , länderspezifisch)	-
Trichlorethylen	kein sicherer Wert bestimmbar	-
Tetrachlorethylen	Jahresmittelwert: 250 µg/m ³	
Schwefeldioxid	-	10-min-Mittelwert: 500 µg/m ³ 24-h-Mittelwert: 20 µg/m ³
Ozon	-	8-h-Mittelwert: 100 µg/m ³
Feinstaub PM 2,5	-	24-h-Mittelwert: 25 µg/m ³ Jahresmittelwert: 10 µg/m ³
Feinstaub PM 10	-	24-h-Mittelwert: 50 µg/m ³ Jahresmittelwert: 20 µg/m ³

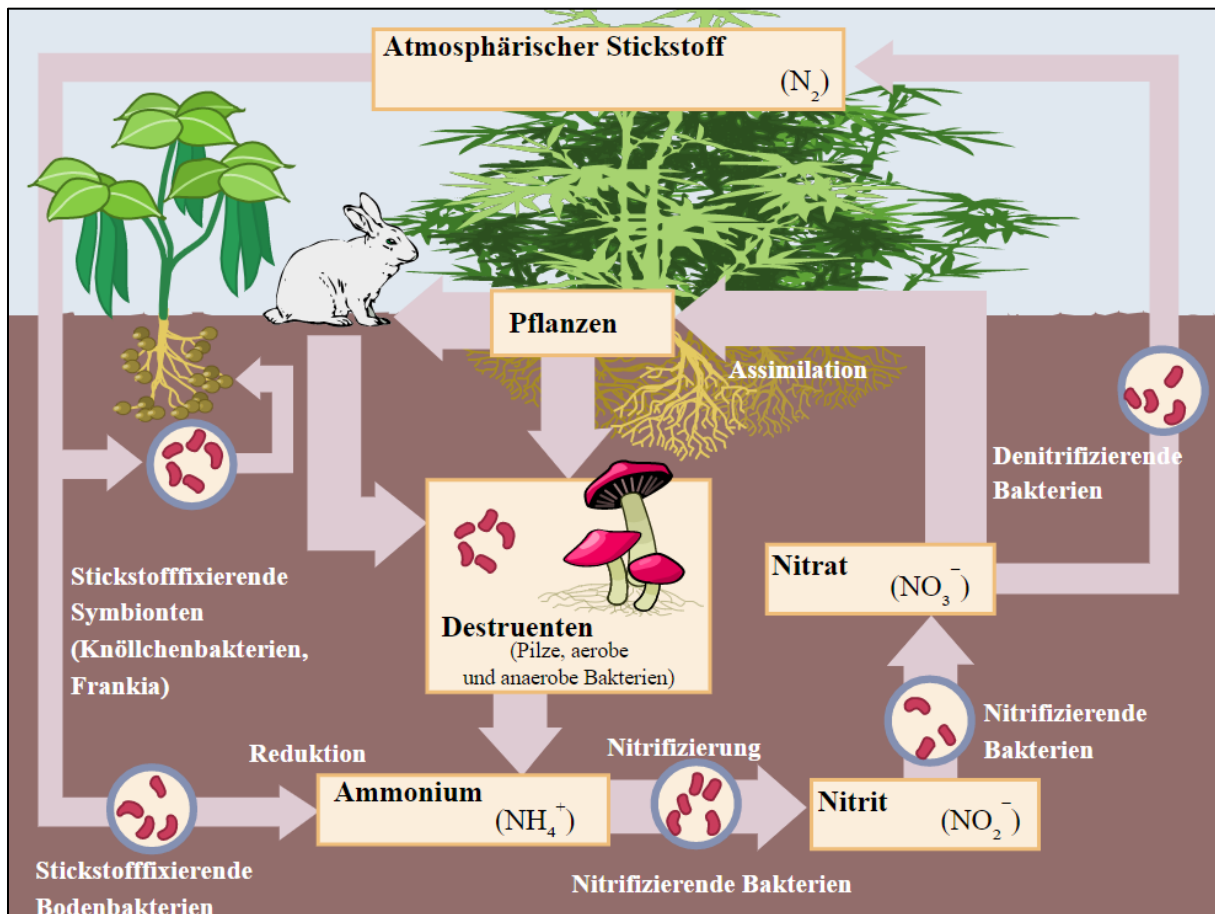
¹⁸ DIN EN 16798 – 1, April 2021: Anhang B, Tabelle B.21; S.62

Anhang 11 Klassifizierung der Zuluftqualität nach DIN EN 16798-3¹⁹

Kategorie	Beschreibung
SUP 1	Zuluft mit sehr geringer Konzentration an Staub oder Feinstaub und/oder gasförmigen Verunreinigungen
SUP 2	Zuluft mit geringer Konzentration an Staub oder Feinstaub und/oder gasförmigen Verunreinigungen
SUP 3	Zuluft mit mäßiger Konzentration an Staub oder Feinstaub und/oder gasförmigen Verunreinigungen
SUP 4	Zuluft mit hoher Konzentration an Staub oder Feinstaub und/oder gasförmigen Verunreinigungen
SUP 5	Zuluft mit sehr hoher Konzentration an Staub oder Feinstaub und/oder gasförmigen Verunreinigungen

¹⁹ DIN EN 16798 – 3, November 2017: 9.2 Klassifizierung von Luft, Tabelle 9; S. 32

Anhang 12 Beispielhafte Darstellung des Stickstoffkreislaufs [58]



Anhang 13 Tabellarische Übersicht der CO₂-Konzentration der Außenluft für verschiedene Standorte in DeutschlandFür Mensch
und UmweltStand: 17. Februar
2021

Jahresmittel Kohlendioxid [ppm]

	Westerland	Zingst	Neuglob- sow	Waldhof	Schmücke	Deuselbach	Brotjackl- riegel	Schauins- land	Zugspitze	
1972				347		341	332	330		
1973	334			346		340	334	331		
1974	338			343		340	335	332		
1975	338			343		340	336	333		
1976	337			346		342	337	334		
1977	343			348		344	336	334		
1978	342			350		344	339	337		
1979	343			351		346	339	337		
1980	349			355		347	341	340		
1981				353		347	342	342		
1982	349			355		348	345	343		
1983	347			358		350	347	345		
1984	352			360		353	352	347		
1985	352			361		351	352	348		
1986	352			361		356	354	349		
1987	354			365		361	357	352		
1988	357			368		360	353	353		
1989	361			368		364	358	354		
1990	359			368		363	357	355		
1991	364			373				358		
1992				369				357		
1993				372				359		
1994			374	372			359	360		
1995	369		377	375			363	362	360	
1996	371		380	377			365	366	361	
1997	371		380	379			365	365	362	
1998	372	375	382	379		374	370	368	368	
1999	375	378	384	383	371	376	368	370	369	
2000	376	381	391	382	373	376	373	371	370	
2001	378	381	389	383	376	374	375	372	371	
2002	380	382	390			382		375	374	
2003	381		391			386		378	377	
2004	381		394	Messungen eingestellt					380	378
2005	385		396					382	381	
2006	389		400					384	382	
2007	388		400					385	384	
2008			401					387	387	
2009			405					390	388	
2010	395		407					393	390	
2011	399		411					394	391	
2012	403		411					396		
2013	402		414					399		
2014	406		412					400		
2015	406		403					403	401	
2016	410		415					406	404	
2017	412		419					408	407	
2018	416		421					411	409	
2019	418		421					412	411	

Quelle: Luftmessnetz des Umweltbundesamtes

Umweltbundesamt
 Fachgebiet II 4.2/II 4.5
 Wörlitzer Platz 1
 06844 Dessau-Roßlau
www.umweltbundesamt.de

Anhang 14 Ausführliche Berechnung der CO2-Konznetrationen bei verschiedenen Lüftungsvarianten

Berechnung der Schadstoffkonzentration																											
Raumgröße		Länge: 8 m					Breite: 7 m					Höhe: 3 m															
Fugenlüftung																											
Anzahl der Personen	-	0	0			28	28	28	28	0	28	28	28	28	28	0	28	28	28	28	28						
Außenluftfrate	m³/h	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51		
Rauminhalt	m³	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168		
Anfangskonzentration	ppm	450	447	447	447	447	1607	2604	3460	4196	3668	4374	4981	5502	5950	6334	5504	5951	6335	6665	6949	7193	6242	5425	4723	4120	
Uhrzeit		6:00	6:30	7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	
Zeitintervall	h	6,00	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
CO2-Konzentration der Zuluft	ppm	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	
CO2-Zufuhr:	ppm/Pers.	15000	0	0	0	420000	420000	420000	420000	0	420000	420000	420000	420000	420000	0	420000	420000	420000	420000	420000	420000	0	0	0	0	0
Luftwechselrate	1/h	1	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	
MAK-Wert CO2	ppm	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
Ergebnisse:																											
Ausgangskonzentration	ppm	450	447	447	447	447	1607	2604	3460	4196	3668	4374	4981	5502	5950	6334	5504	5951	6335	6665	6949	7193	6242	5425	4723	4120	
Abgeführter Schadstoffanteil	ppm	0	0	0	0	0	-163	-304	-424	-528	-454	-553	-639	-712	-776	-830	-713	-776	-830	-876	-916	-951	-817	-702	-603	-518	
Zugeführter Schadstoffanteil	ppm	89	0	0	0	1160	1160	1160	1160	0	1160	1160	1160	1160	1160	0	1160	1160	1160	1160	1160	1160	0	0	0	0	0
Schadstoffkonzentration der Raumluft	ppm	539	447	447	447	1607	2604	3460	4196	3668	4374	4981	5502	5950	6334	5504	5951	6335	6665	6949	7193	6242	5425	4723	4120	3602	

Berechnung der Schadstoffkonzentration

Raumgröße Länge: 8 m Breite: 7 m Höhe: 3 m

Dauerhaft gekippte Fenster

Anzahl der Personen	-	0	0	28	28	28	28	0	28	28	28	28	28	28	0	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	
Außenluftfrate	m³/h	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	
Rauminhalt	m³	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	
Anfangskonzentration	ppm	450	447	448	449	449	1629	2345	2779	3043	2023	2584	2924	3131	3256	3332	2198	2690	2989	3170	3280	3346	2207	1516	1097	842
Uhrzeit		6:00	6:30	7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00
Zeitintervall	h	6,00	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
CO2-Konzentration der Zuluft	ppm	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450
CO2-Zufuhr:	ppm/Pers.	15000	0	0	0	504000	504000	504000	504000	0	504000	504000	504000	504000	504000	0	504000	504000	504000	504000	504000	0	0	0	0	0
Luftwechselrate	1/h	1,13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
MAK-Wert CO2	ppm	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
Ergebnisse:																										
Ausgangskonzentration	ppm	450	447	448	449	449	1629	2345	2779	3043	2023	2584	2924	3131	3256	3332	2198	2690	2989	3170	3280	3346	2207	1516	1097	842
Abgeführter Schadstoffanteil	ppm	0	1	1	0	0	-464	-746	-916	-1020	-619	-840	-973	-1055	-1104	-1134	-688	-881	-999	-1070	-1114	-1139	-691	-419	-255	-154
Zugeführter Schadstoffanteil	ppm	95	0	0	0	1180	1180	1180	1180	0	1180	1180	1180	1180	1180	0	1180	1180	1180	1180	1180	0	0	0	0	0
Schadstoffkonzentration der Raumluft	ppm	545	448	449	449	1629	2345	2779	3043	2023	2584	2924	3131	3256	3332	2198	2690	2989	3170	3280	3346	2207	1516	1097	842	688

Berechnung der Schadstoffkonzentration																										
Raumgröße		Länge: 8 m								Breite: 7 m								Höhe: 3 m								
Stoßlüftung in den Pausen																										
Anzahl der Personen	-	0	0			28	28	28	28	0	28	28	28	28	28	0	28	28	28	28	28					
Außenluftfrate	m³/h	51	51	51	51	51	51	51	51	672	51	51	51	51	51	672	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
Rauminhalt	m³	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168
Anfangskonzentration	ppm	450	447	447	447	447	1607	2604	3460	4196	957	2046	2981	3784	4474	5067	1075	2147	3068	3859	4538	5122	4463	3897	3411	2993
Uhrzeit		6:00	6:30	7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00
Zeitintervall	h	6,00	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
CO2-Konzentration der Zuluft	ppm	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450
CO2-Zufuhr:	ppm/Pers.	15000	0	0	0	420000	420000	420000	420000	0	420000	420000	420000	420000	420000	0	420000	420000	420000	420000	420000	420000	0	0	0	0
Luftwechselrate	1/h	1	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	4	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	4	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304	0,304
MAK-Wert CO2	ppm	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
Ergebnisse:																										
Ausgangskonzentration	ppm	450	447	447	447	447	1607	2604	3460	4196	957	2046	2981	3784	4474	5067	1075	2147	3068	3859	4538	5122	4463	3897	3411	2993
Abgeführter Schadstoffanteil	ppm	0	0	0	0	0	-163	-304	-424	3239	-71	-225	-357	-470	-567	3992	-88	-239	-369	-481	-576	-659	-566	-486	-418	-359
Zugeführter Schadstoffanteil	ppm	89	0	0	0	1160	1160	1160	1160	0	1160	1160	1160	1160	1160	0	1160	1160	1160	1160	1160	0	0	0	0	0
Schadstoffkonzentration der Raumluft	ppm	539	447	447	447	1607	2604	3460	4196	957	2046	2981	3784	4474	5067	1075	2147	3068	3859	4538	5122	4463	3897	3411	2993	2634

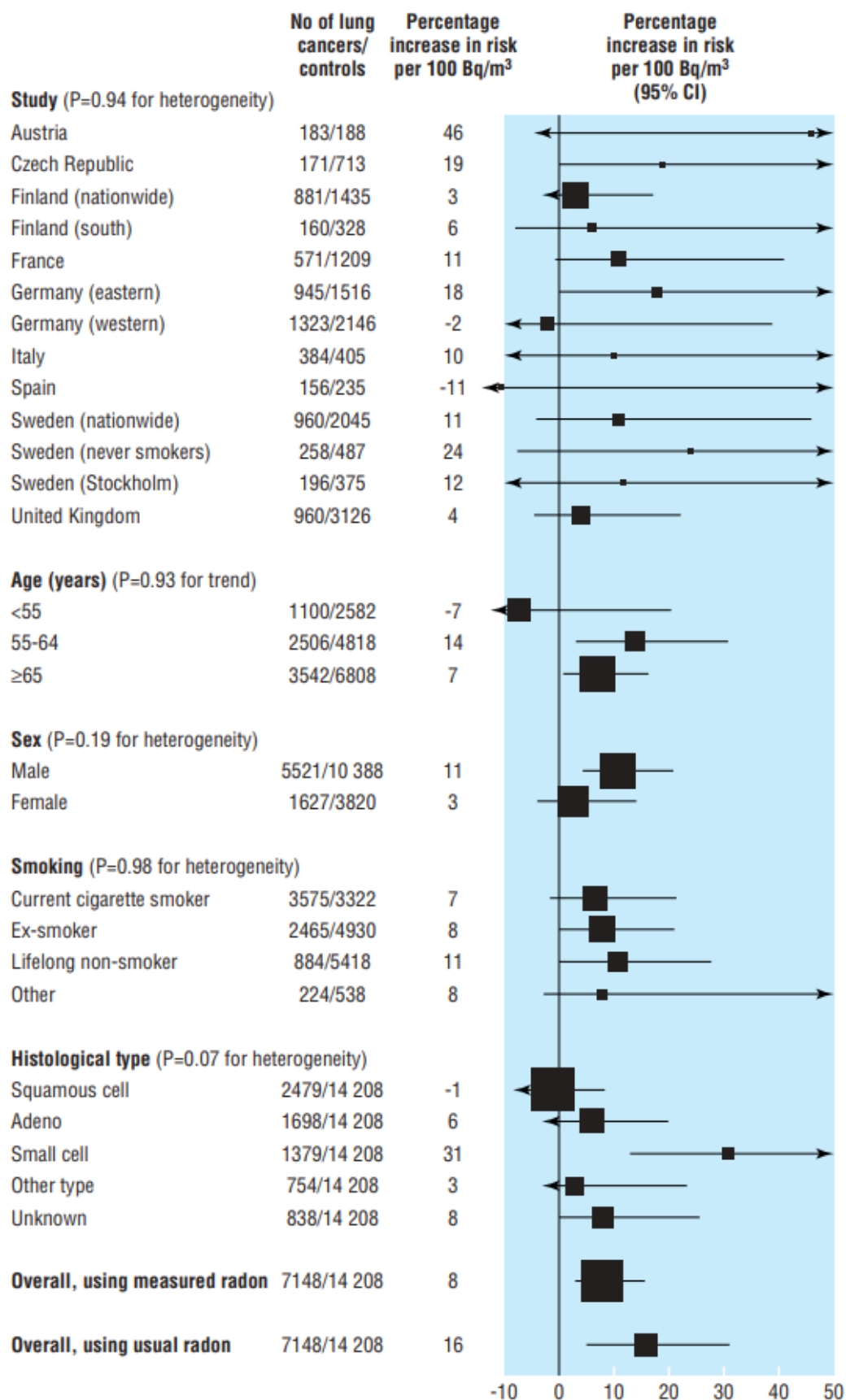
Berechnung der Schadstoffkonzentration																										
Raumgröße		Länge: 8 m				Breite: 7 m				Höhe: 3 m																
RLT-Anlage im Dauerbetrieb																										
Anzahl der Personen	-	0	0			28	28	28	28	0	28	28	28	28	28	0	28	28	28	28	28					
Außenluftfrate	m³/h	340	340	340	340	340	340	340	340	340	340	340	340	340	340	340	340	340	340	340	340	340	340	340	340	
Rauminhalt	m³	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	
Anfangskonzentration	ppm	450	447	449	450	450	1236	1522	1626	1663	891	1396	1580	1647	1671	1680	897	1398	1581	1647	1671	1680	897	612	509	471
Uhrzeit		6:00	6:30	7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00
Zeitintervall	h	6,00	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
CO2-Konzentration der Zuluft	ppm	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450
CO2-Zufuhr:	ppm/Pers.	15000	0	0	0	420000	420000	420000	420000	0	420000	420000	420000	420000	420000	0	420000	420000	420000	420000	420000	420000	0	0	0	0
Luftwechselrate	1/h	1	2,024	2,024	2,024	2,024	2,024	2,024	2,024	2,024	2,024	2,024	2,024	2,024	2,024	2,024	2,024	2,024	2,024	2,024	2,024	2,024	2,024	2,024	2,024	2,024
MAK-Wert CO2	ppm	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
Ergebnisse:																										
Ausgangskonzentration	ppm	450	447	449	450	450	1236	1522	1626	1663	891	1396	1580	1647	1671	1680	897	1398	1581	1647	1671	1680	897	612	509	471
Abgeführter Schadstoffanteil	ppm	0	2	1	0	0	-500	-682	-749	-772	-281	-602	-719	-762	-777	-783	-285	-603	-720	-762	-777	-783	-285	-103	-38	-13
Zugeführter Schadstoffanteil	ppm	89	0	0	0	786	786	786	786	0	786	786	786	786	786	0	786	786	786	786	786	786	0	0	0	0
Schadstoffkonzentration der Raumluft	ppm	539	449	450	450	1236	1522	1626	1663	891	1396	1580	1647	1671	1680	897	1398	1581	1647	1671	1680	897	612	509	471	458

Anhang 15 Einteilung der Gefahrstoffe in Gefahrenklassen nach GefStoffV²⁰

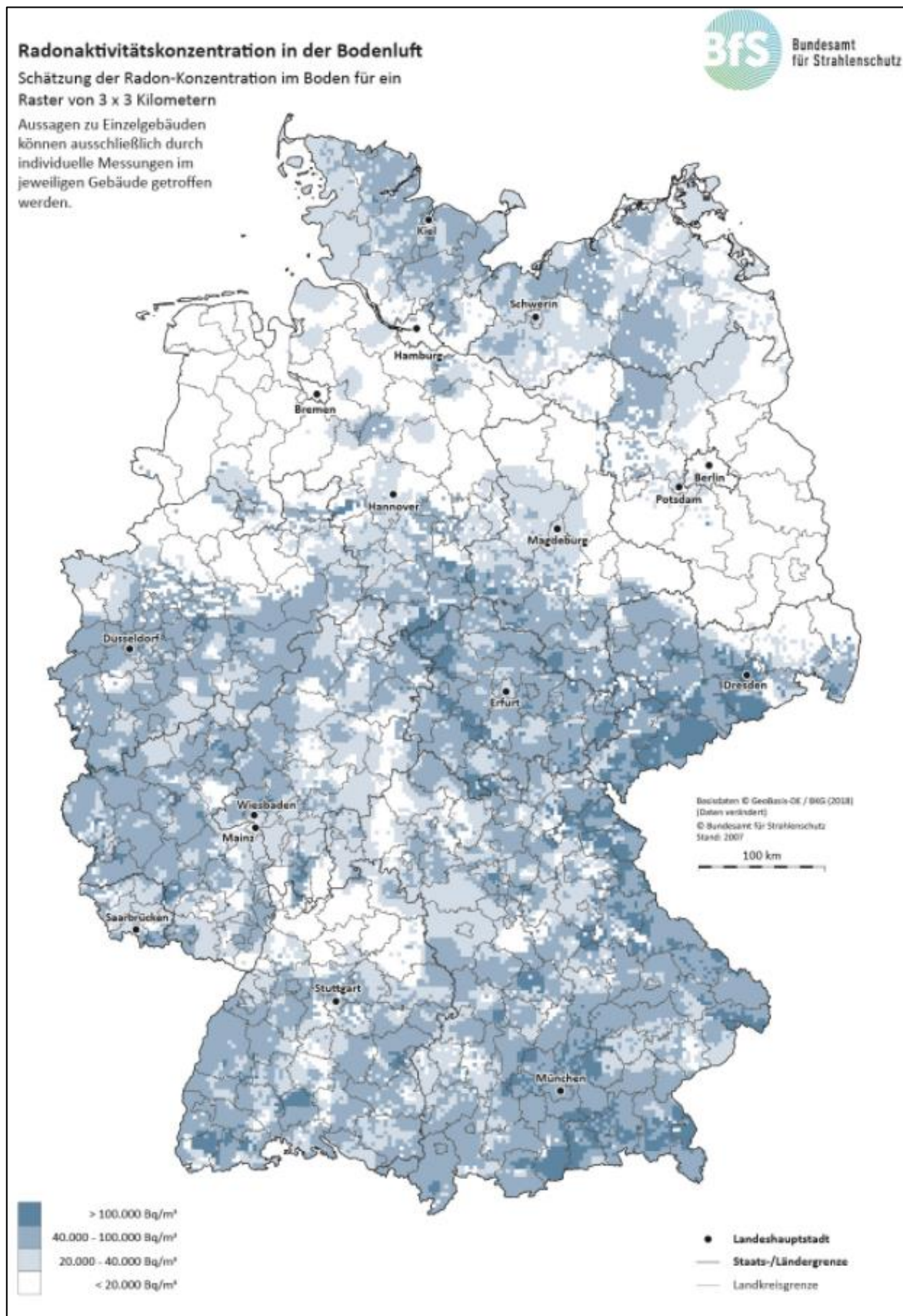
		Nummerierung nach Anhang I der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008
1.	Physikalische Gefahren	2
	a) Explosive Stoffe/Gemische und Erzeugnisse mit Explosivstoff	2.1
	b) Entzündbare Gase	2.2
	c) Aerosole	2.3
	d) Oxidierende Gase	2.4
	e) Gase unter Druck	2.5
	f) Entzündbare Flüssigkeiten	2.6
	g) Entzündbare Feststoffe	2.7
	h) Selbstzersetzliche Stoffe und Gemische	2.8
	i) Pyrophore Flüssigkeiten	2.9
	j) Pyrophore Feststoffe	2.10
	k) Selbsterhitzungsfähige Stoffe und Gemische	2.11
	l) Stoffe und Gemische, die in Berührung mit Wasser entzündbare Gase entwickeln	2.12
	m) Oxidierende Flüssigkeiten	2.13
	n) Oxidierende Feststoffe	2.14
	o) Organische Peroxide	2.15
	p) Korrosiv gegenüber Metallen	2.16
2.	Gesundheitsgefahren	3
	a) Akute Toxizität (oral, dermal und inhalativ)	3.1
	b) Ätz-/Reizwirkung auf die Haut	3.2
	c) Schwere Augenschädigung/Augenreizung	3.3
	d) Sensibilisierung der Atemwege oder der Haut	3.4
	e) Keimzellmutagenität	3.5
	f) Karzinogenität	3.6
	g) Reproduktionstoxizität	3.7
	h) Spezifische Zielorgan-Toxizität, einmalige Exposition (STOT SE)	3.8
	i) Spezifische Zielorgan-Toxizität, wiederholte Exposition (STOT RE)	3.9
	j) Aspirationsgefahr	3.10
3.	Umweltgefahren	4
	Gewässergefährdend (akut und langfristig)	4.1
4.	Weitere Gefahren	5
	Die Ozonschicht schädigend	5.1

²⁰ Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (GefStoffV), November 2010: § 3 Gefahrenklassen, S.7 f.

Anhang 16 Anstieg des Lungenkrebsrisikos infolge erhöhter Radonbelastungen nach [51]



Anhang 17 Geographische Übersicht der Radonbelastungen in der Bodenluft für Deutschland



Anhang 18 Allgemeine Projektbeschreibung

**Konzeption Grundrisse**

Das Lernzentrum ZfP und Korrosionsschutzausbildung bietet 3 Lehrgänge an, somit ergibt sich eine max. Gesamtbelegung mit **58 Personen** (52 Teilnehmern + 6 Mitarbeitern, 90% männlich und 10% weiblich). Durchschnittlich kann man von 40 Personen ausgehen.

Im Erdgeschoss befinden sich, neben einem Empfangsbereich im Eingangsbereich, wo sich die Teilnehmer über die bevorstehenden Lehrgänge informieren können, ein Foyer, die Technikräume für die technische Gebäudeausstattung, die erforderlichen Labor- und Seminarräume, ein Büro für 2 Mitarbeiter sowie die Lagerhalle für Bauteilproben.

Hier sind die Räumlichkeiten für den 1.Lehrgang mit 16 Teilnehmer + Dozent und 2.Lehrgang mit 24 Teilnehmer + Dozent vorgesehen.

Der 1.Lehrgang nutzt, für den theoretischen Teil der Ausbildung, den Raum 00.06 Seminar ZfP (Oberfläche) oder für den praktischen Teil die Praxis-Räume gegenüber (00.13, 00.14, 00.15).

Der 2.Lehrgang nutzt den Raum 00.11 Praktische Ausbildung Korrosion+ Schrauben Eigenspannung oder das darüber liegende Seminarraum im OG.

Im westlichen Bereich des Gebäudes befindet sich die Lagerhalle für Bauteilproben. In einem Hochregal, welches sich über die gesamte Breite des Gebäudes erstreckt, werden die Proben gelagert. Zudem ist hier Gabelstaplerverkehr vorgesehen. Über 2 notwendigen Treppen, welche im inneren kleine Lager-Räume und ein Raum für die BMA beinhalten, wird das Obergeschoss erschlossen.

Im Obergeschoss befinden sich 2 weitere Büroräume für 4 Mitarbeiter, Raum 01.05 ZfP Volumen Theorie+ Praxis, welcher für den Lehrgang Nr. 3 vorgesehen ist. Dieser Raum ist für 12 Teilnehmer zzgl. Dozent ausgelegt. Durch den Raum 01.09 Seminar Korrosion + Schrauben Werkstoffprüfer, welcher zu dem 2. Lehrgang gehört, gelangt man über eine Treppe in den Technikraum wo sich das Lüftungsgerät befindet. Über einen Dachausstieg im Technikraum gelangt man zu Wartungszwecken auf das Dach.

Weiterhin befinden sich hier die Sanitärbereiche mit Umkleiden für Damen und Herren, 2 Pausenräume für max. 40 Personen im östlichen Bereich des Gebäudes. Im Pausenraum sind eine Küchenzeile mit Getränkeautomaten und Kühlschränken vorgesehen.

Die Trassenführung der Lüftungstechnik von der Lüftungszentrale zu den einzelnen Räumen und Arbeitsplätzen steht in Abhängigkeit zur bewegenden Luftmenge. Als Vorgabe wird eine Abluftmenge von 20m³ für das gesamte Gebäude vom AG benannt. Die daraus resultierenden unterschiedlichen Abhanghöhen der Unterhangdecken werden entsprechend berücksichtigt.

Seminar- und Praxisräume erhalten grundsätzlich eine mechanische Be- und Entlüftung. Zusätzlich benötigte Arbeitsplatzabsaugungen sind vom AG im Zuge der weiteren Planung zu definieren.

Konzeption Gestaltung Fassade

Der Neubau ZfP fungiert gemeinsam mit dem Neubau Theorie in Lage und Gestaltung als sinnbildliches Tor zur SLV. Gelangt man auf das Gelände passiert man das Gebäude zwangsläufig. Gestaltungsprämisse ist hier das Herausstellen als repräsentatives Eingangsgebäude unter Berücksichtigung der gestalterischen Vorgaben durch die SLV.

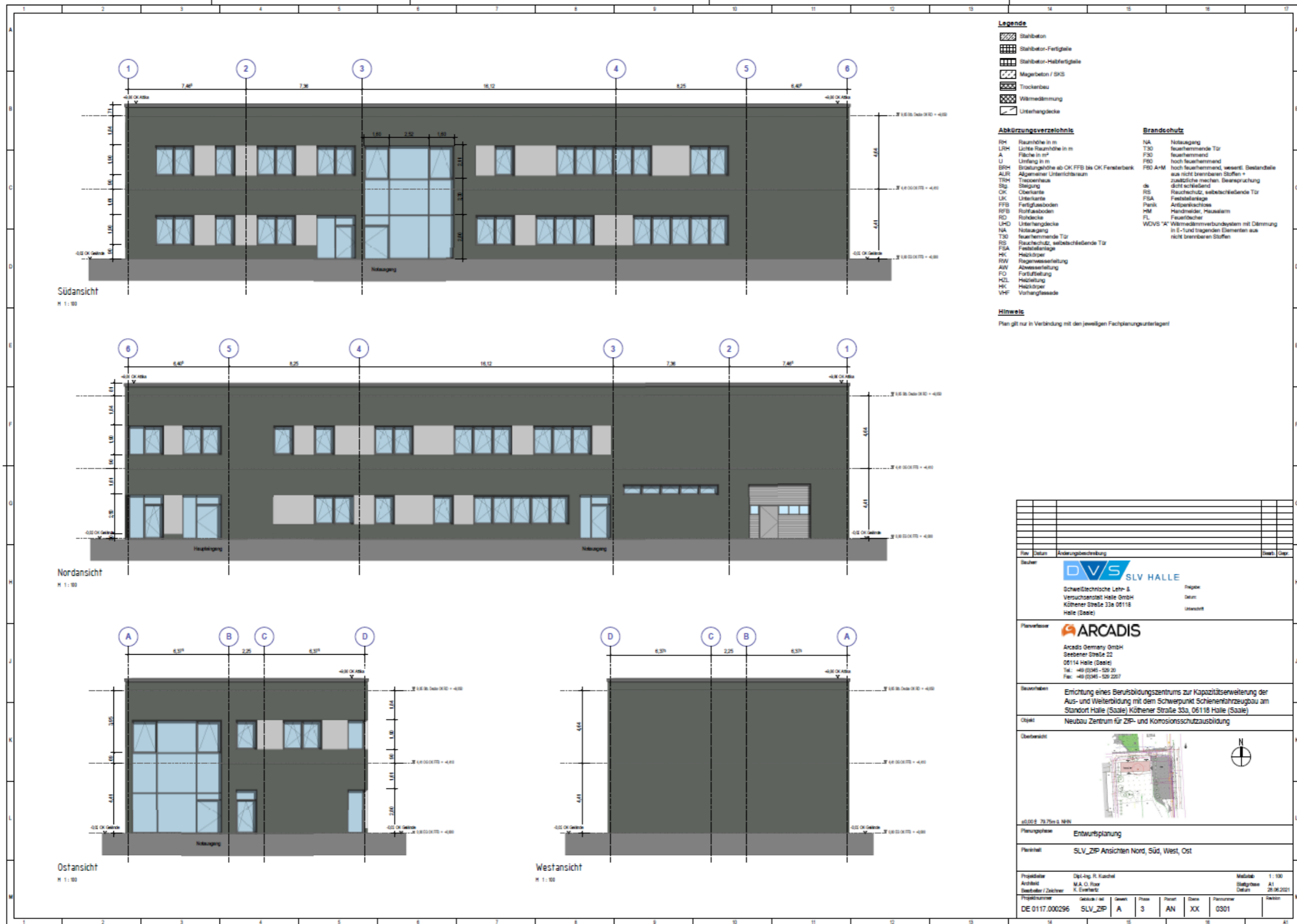
Eine zurückhaltende, elegante und zeitlose aber trotzdem als Alleinstellungsmerkmal fungierende Fassade war Ziel der Gestaltung.

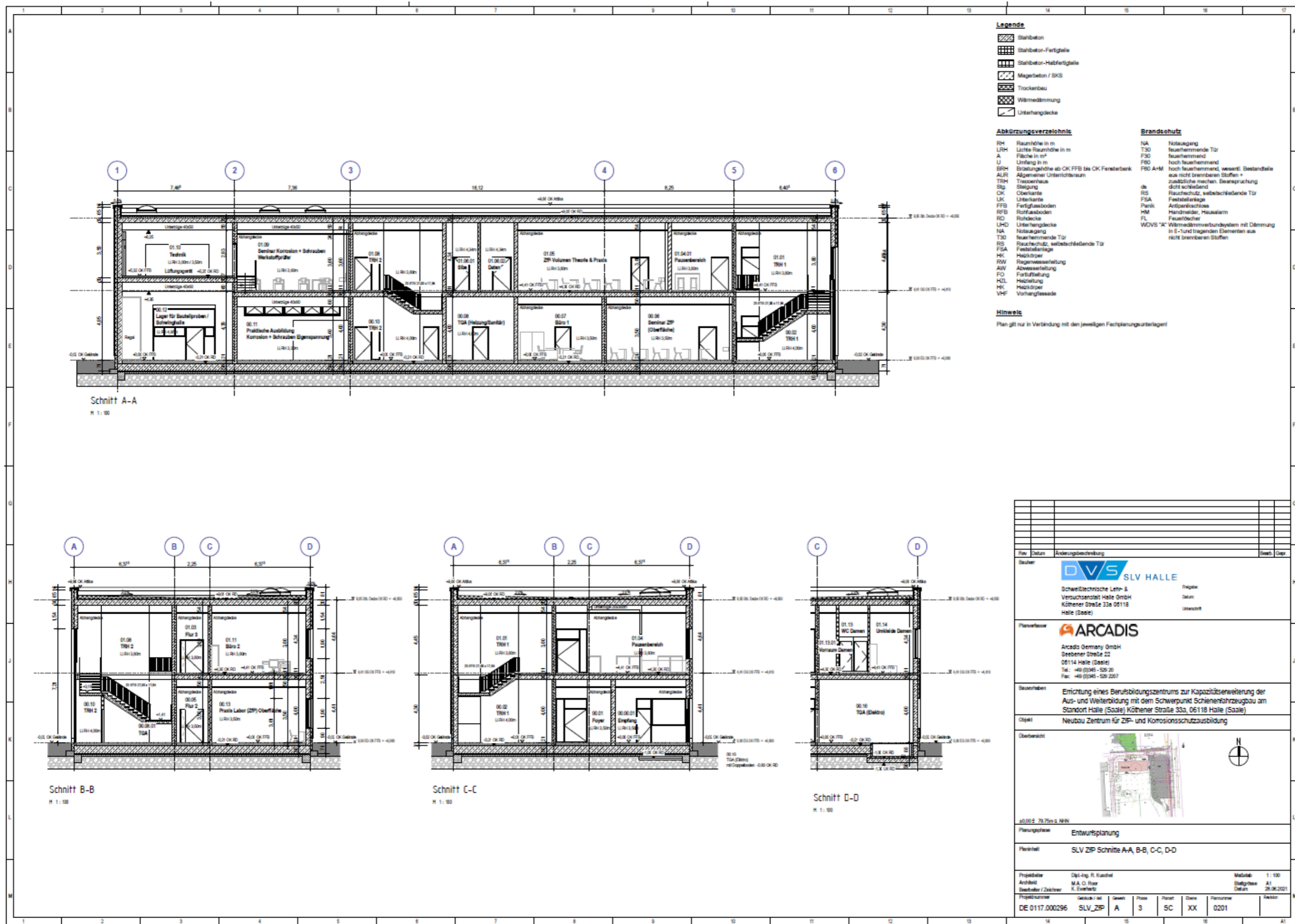
Gelungen ist dies in der Umsetzung durch die Entwicklung einer locker geteilten Vorhangfassade aus Wellblech. Diese verspringt je nach Nutzung und Geschoss zueinander und verdeutlicht so die Aufteilung im Inneren. Grundsätzlich orientiert sich die Ausbildung der Fassade am Neubau Theorie. Es ist eine feinkörnige Kratzputzfassade als WDVS geplant. Im Kontrast zu den Bestandsgebäuden, die vornehmlich hell gestaltet sind, wird der Neubau in einer gedeckten dunklen Farbigkeit vorgeschlagen. Ergänzt und akzentuiert wird die Fassade durch Bereiche mit einem Vorhangfassadenmaterial aus Aluminium- Wellblech. Dies wird als Visualisierung des Kerngeschäfts des SLV (Schweißen und Bearbeiten von Metallen) verstanden und bildet das wichtigste Gestaltungsmerkmal.

Anhang 19 Luftbilanzen nach DIN EN 15251

SLV Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt Halle GmbH			Raumplan Gewerk Lüftungstechnik																							Proj.-Nr.	DE0117.000296								
			Vorhaben : EBS (Europäisches Berufsbildungszentrum Schienenfahrzeugbau)											Ort : 06118 Halle Köthener Str. 33a											Blatt-Nr.										
			Objekt : Neubau ZFP											RLT-Anlage: Z01											Datum	10.08.2021									
Bereich/Raum			Raumparameter														Per-sonen	Wärmelasten max.			Luftvolumenstrom							Zwischensummen Teilstränge			Bemerkung				
Nr.	Benennung	Lage	Fläche (BGF)	Höhe	Volumen	Teilklima		Temperatur	Temperatur	relative Feuchte	relative Feuchte	Luftwechsel SOLL	Luftm. pro. m² Grundfl.	Luftm. pro. Zelle	Luftm. pro. m Fuge	Fugenlänge	Anzahl	Luftm. pro. Person	Technologisch	Kühllast. pro. m² Grundfl.	Last aus Bel.	Gesamtlast	aus Wärmelast	aus Personen	aus Spalte 14	aus Sp. 13, 14, 15 o. 16 bzw. 25+26	Zuluft (ZUL) gewählt	Abluft (ABL) gewählt	Ist-Luftwechsel ZUL	Ist-Luftwechsel ABL	Anzahl	Bezeichnung VR	Zuluft Vmin	Abluft Vmin	
		Etage	A m²	h m	V m³	min	max	min	max	min	max	min	min	min	min	l m	min	min	Qm kW	Qi W/m²	Qb W/m²	Qges. kW	V m³/h	V m³/h	V m³/h	V m³/h	V m³/h	V m³/h	LW	LW	Stck		V m³/h	V m³/h	
1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
RLTA Labor und Prüfen																																			
00.11	Korrosion+Schrauben Eigenspannung	EG	101,90	3,50	356,7		20	26				5,0					13	50,0		13	2,4	717	650	510	1.160	1.100	1.000	3,1	2,8			250	250		
00.13	Praxis Labor (ZFP) Oberfläche	EG	63,70	3,50	223,0		-	-				25,0	800				17	36,0		10	2,0	605	612	1.593	6.400	6.300	6.400	28,3	28,7			1.000	1.000	8 Absaugtische	
00.14	Lager Kleinproben	EG	16,70	3,50	58,5		15					5,0												292	292	200	200	3,4	3,4			50	50	24h-120 dezentral	
00.15	Praxis Dunkelkammer ZFP (Oberfläche)	EG	23,50	3,50	82,3		20	26				25,0					3	36,0		10	0,5	144	108	588		500	600	6,1	7,3			300	300	DIN 1946 T7	
SUMMEN:			388,90		1535,1							Ist: 20,8													8.717	8.100	8.200	5,3	5,3			1.600	1.600		
00.17	WC Beh/ Unisex	EG	6,20	3,50	21,7		20					5,0	11,0				1	60					60	68	109		100		4,6		100	100			
01.13	WC Damen mit Vorraum	OG	4,90	3,80	18,6		20					5,0	11,0				2	60					120	54	93		200		10,7		50	50			
01.14	Umkleide Damen	OG	13,80	3,80	52,4		24					4,0	11,0				2	60					120	152	210	200		3,8			100	100			
01.15	WC Herren mit Vorraum	OG	16,80	3,80	63,8		20					5,0	11,0				5	60					300	185	319		300		4,7		150	150			
01.16	Umkleide Herren	OG	31,80	3,80	120,8		24					4,0	11,0				4	60					240	350	483	500	200	4,1	1,7		200	200			
SUMMEN:			73,50		277,4							Ist: 9,5											840	809	1.214	700	800	2,5	2,9		600	600			

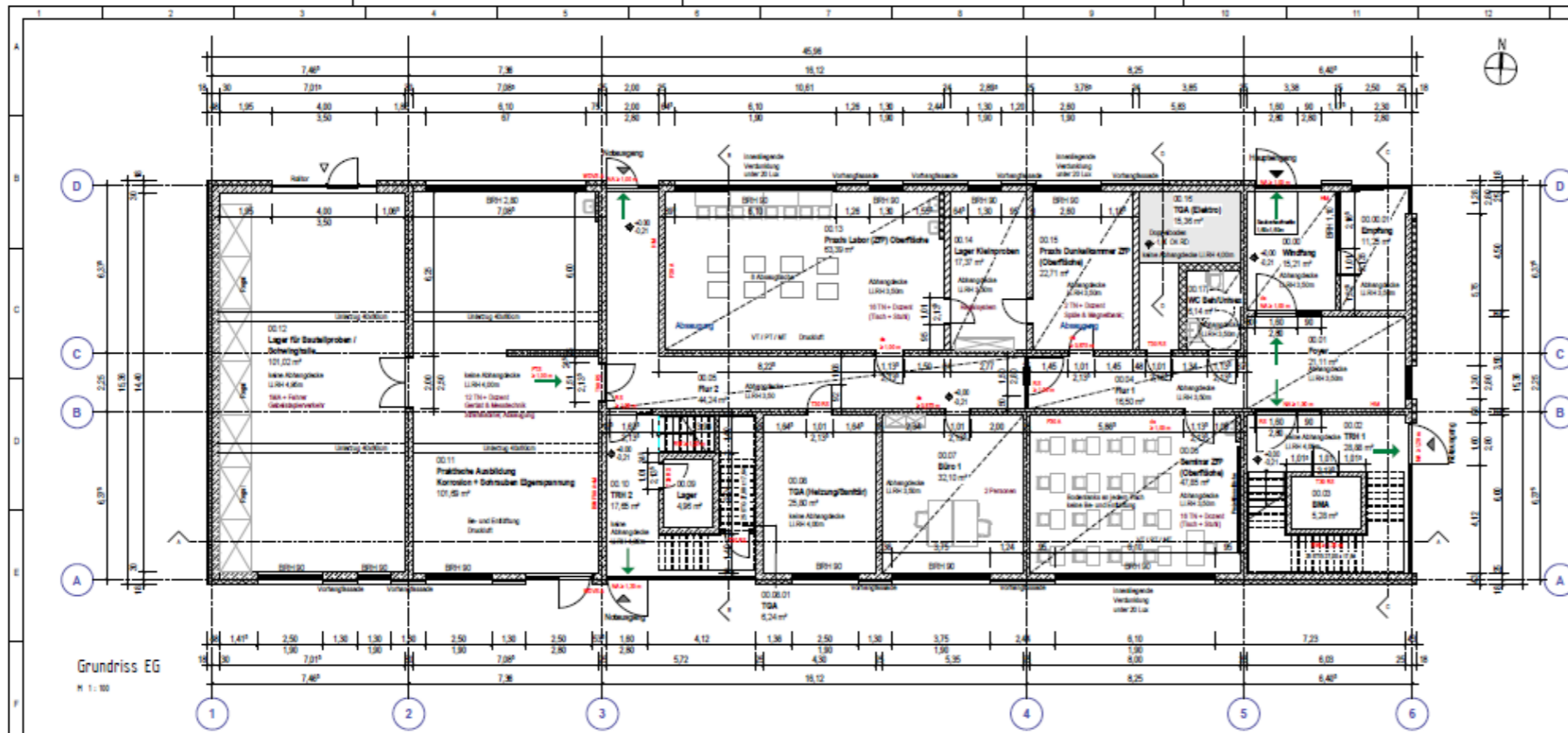
Anhang 20 Planungsunterlagen



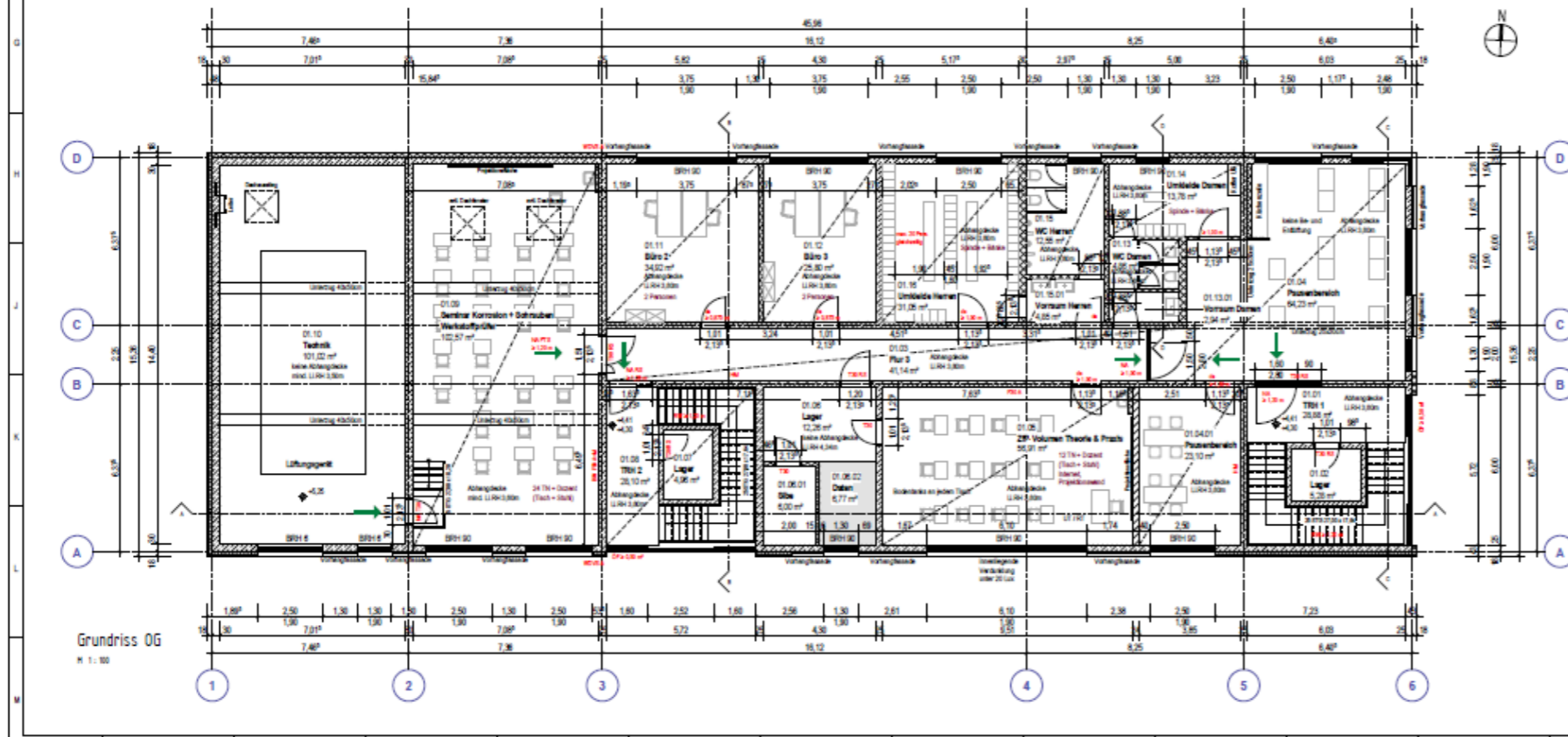


- Legende**
- Stahlbeton
 - Stahlbeton-Fertigteile
 - Stahlbeton-Halb Fertigteile
 - Magerbeton / SKS
 - Trockenbau
 - Wärmedämmung
 - Unterhangdecke
- Abkürzungsverzeichnis**
- RH Raumhöhe in m
 - LRH Lichte Raumhöhe in m
 - A Fläche in m²
 - U Umfang in m
 - BRH Brüstungshöhe ab OK FFB bis OK Fensterbank
 - ALR Allgemeiner Unterrichtsraum
 - TRH Treppenhause
 - Stg Stiege
 - OK Oberkante
 - UK Unterkante
 - FFB Fertigfußboden
 - RFB Rohfußboden
 - RD Rohdecke
 - UHD Unterhangdecke
 - NA Notausgang
 - T30 feuerhemmende Tür
 - RS Rauchschutze, selbstschließende Tür
 - FSA Feststellanlage
 - HK Hochdrücker
 - RWW Regenwasserleitung
 - AW Abwasserleitung
 - FO Fortleitung
 - HZL Heizung
 - HLK Hochdrücker
 - VHF Vorhangfassade
- Brandschutz**
- NA Notausgang
 - T30 feuerhemmende Tür
 - F30 hochfeuerhemmend
 - FBD hochfeuerhemmend, wesentl. Bestandteile aus nicht brennbaren Stoffen + zusätzliche machen, Beanspruchung dicht schließend
 - FBD A+M Feuerschutz, selbstschließende Tür
 - dk Feststellanlage
 - RS Rauchschutze, selbstschließende Tür
 - FSA Feststellanlage
 - Pank Antipanklösches
 - HM Handmelder, Hausalarm
 - FL Feuerlöcher
 - WDVS "A" Wärmedämmverbundsystem mit Dämmung in E-Turd tragenden Elementen aus nicht brennbaren Stoffen
- Hinweis**
- Plan gilt nur in Verbindung mit den jeweiligen Fachplanunterlagen!

Flur	Datum	Änderungsbeschreibung	Beinh.	Gepr.
<p>Bauherr</p> <p>DVS SLV HALLE</p> <p>Schweißtechnische Lehr- & Versuchsanstalt Halle GmbH Köhner Straße 33a 06118 Halle (Saale)</p>				
<p>Planverfasser</p> <p>ARCADIS</p> <p>Arcadis Germany GmbH Seebener Straße 22 06114 Halle (Saale) Tel.: +49 (0)345 - 559 20 Fax: +49 (0)345 - 529 2257</p>				
<p>Beschreibung</p> <p>Errichtung eines Berufsbildungszentrums zur Kapazitätserweiterung der Aus- und Weiterbildung mit dem Schwerpunkt Schienenfahrzeugbau am Standort Halle (Saale) Köhner Straße 33a, 06118 Halle (Saale)</p>				
<p>Objekt</p> <p>Neubau Zentrum für ZP- und Korrosionsschutzausbildung</p>				
<p>Übersicht</p>				
<p>±0.00 ± 79.75m ü. NN</p>				
<p>Planungsphase Entwurfsplanung</p>				
<p>Planinhalt SLV ZP Schnitte A-A, B-B, C-C, D-D</p>				
<p>Projektleiter Dipl.-Ing. R. Karchel</p>				
<p>Architekt M.A. O. Rose</p>				
<p>Geotechnik / Statik K. Ewert</p>				
<p>Projektname Gebäude Nr. Gewert. Phase Planart Datum Plannummer Revision</p>				
<p>DE 0117.000296 SLV_ZIP A 3 SC XX 0201 </p>				
<p>Maßstab 1:100</p> <p>Statistisches Datum 28.06.2021</p>				



Grundriss EG
M 1:100



Grundriss OG
M 1:100

- Legende**
- Stahlbeton
 - Stahlbeton-Fertigteile
 - Stahlbeton-Halb-Fertigteile
 - Mauerwerk / SKS
 - Trockenbau
 - Wärmedämmung
 - Unterhangdecke
- Abkürzungsverzeichnis**
- RH Raumhöhe in m
 - LRH Lichte Raumhöhe in m
 - A Fläche in m²
 - LI Umfang in m
 - BRH Brüstungshöhe ab OK FFB bis OK Fensterbank
 - AUR Allgemeiner Unterrichtsraum
 - TRH Treppenhalle
 - Stg Stiege
 - FFB Fertighausboden
 - RFB Rohfußboden
 - RD Rohdecke
 - UHD Unterhangdecke
 - NA Notausgang
 - T3D Feuerhemmende Tür
 - RS Rauchschutz, selbstschließende Tür
 - FSA Feststellanlage
 - HS Hochschräp
 - RW Regenwasserleitung
 - AW Abwasserleitung
 - FO Fortführung
 - HCL Heizleitung
 - HK Hochschräp
 - VHF Vorthangfassade
- Brandschutz**
- NA Notausgang
 - T3D Feuerhemmende Tür
 - FSD hochfeuerhemmend
 - FSD-HM hochfeuerhemmend, esswert, Bestandteile aus nicht brennbaren Stoffen + zusätzliche mechan. Beanspruchung dichtschließend
 - RS Rauchschutz, selbstschließende Tür
 - FSA Feststellanlage
 - HS Hochschräp
 - RW Regenwasserleitung
 - AW Abwasserleitung
 - FO Fortführung
 - HCL Heizleitung
 - HK Hochschräp
 - VHF Vorthangfassade
 - WDVS "A" Wärmedämmverbundsystem mit Dämmung in S-Tund tragenden Elementen aus nicht brennbaren Stoffen

Hinweis
Plan gilt nur in Verbindung mit den jeweiligen Fachplanunterlagen!

Plan Datum	Änderungsbeschreibung	Geht	Geht
<p>DVS SLV HALLE Schweißtechnische Lehr- & Versuchsanstalt Halle GmbH Köhner Straße 33a 06118 Halle (Saale)</p>			
<p>ARCADIS Arcadis Germany GmbH Seebener Straße 22 06114 Halle (Saale) Tel: +49 (0)340 - 539 20 Fax: +49 (0)340 - 539 2207</p>		<p>Haller Datum Umschalt</p>	
<p>Bearbeiter Erichtung eines Berufsbildungszentrums zur Kapazitätsvergrößerung der Aus- und Weiterbildung mit dem Schwerpunkt Schienenfahrzeugbau am Standort Halle (Saale) Köhner Straße 33a, 06118 Halle (Saale)</p>			
<p>Objekt Neubau Zentrum für ZP- und Korrosionsschulungsbildung</p>			
<p>Überwacht</p>			
<p>06100 ± 70.75m ü. NN</p>			
<p>Planungsphase Entwurfsplanung</p>			
<p>Projekt SLV ZP Grundrisse EG und OG</p>			
Projektziele	Dipl.-Ing. R. Kuschel	Maststab	1:100
Architekt	M.A. D. Flor	Blattgröße	A1
Bauherr / Zeichner	K. Evertz	Datum	28.08.2021
Projektnummer	0101	Blatt	3
DE 0117.000296	SLV_ZP	Plan	GR
		Blatt	XX
		Blatt	0101

Anhang 21 Datenblatt Quellauslass



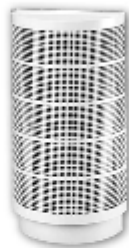
Lindab | we simplify construction

CBA - Verdrängungsluftauslass

Projektverwaltung: Projektverwaltung 1

12-08-2021

Kunde: ,



Anforderungen:

Volumenstrom	qv	1050 m ³ /h
Raumdämpfung	Dr	4 dB

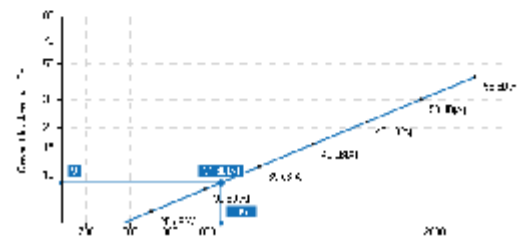
Ergebnisse::

Geschwindigkeit Anströmfläche	v	0,5 m/s
Gesamtdruckverlust	Δpt	9 Pa
Schalleistung	LwA	31 dB(A)
Schalldruckpegel	LpA	27 dB(A)
Nahe Zone, A	a0.2	1,5 m
Nahe Zone, B	b0.2	1,5 m

CBA - Verdrängungsluftauslass

Comdif CBA ist ein halbrunder, perforierter Verdrängungsluftauslass zur Installation an einer Wand oder Säule. Hinter der perforierten Frontplatte verfügt der CBA über einzeln einstellbare Düsen, mit denen die Geometrie des Nahbereichs angepasst werden kann. Der Auslass ist drehbar und verfügt über einen runden Kanalanschluss (MF-Maß), deshalb kann er von oben oder von unten angeschlossen werden. Der CBA eignet sich für die Zufuhr großer Luftmengen bei geringer Temperaturdifferenz.

- Der Auslass eignet sich für die Zufuhr großer Luftmengen.
- Die Geometrie des Nahbereichs kann über einstellbare Düsen angepasst werden.
- Rohrverkleidung, Sockel und Konsolen zur Wandmontage sind als Zubehör lieferbar.

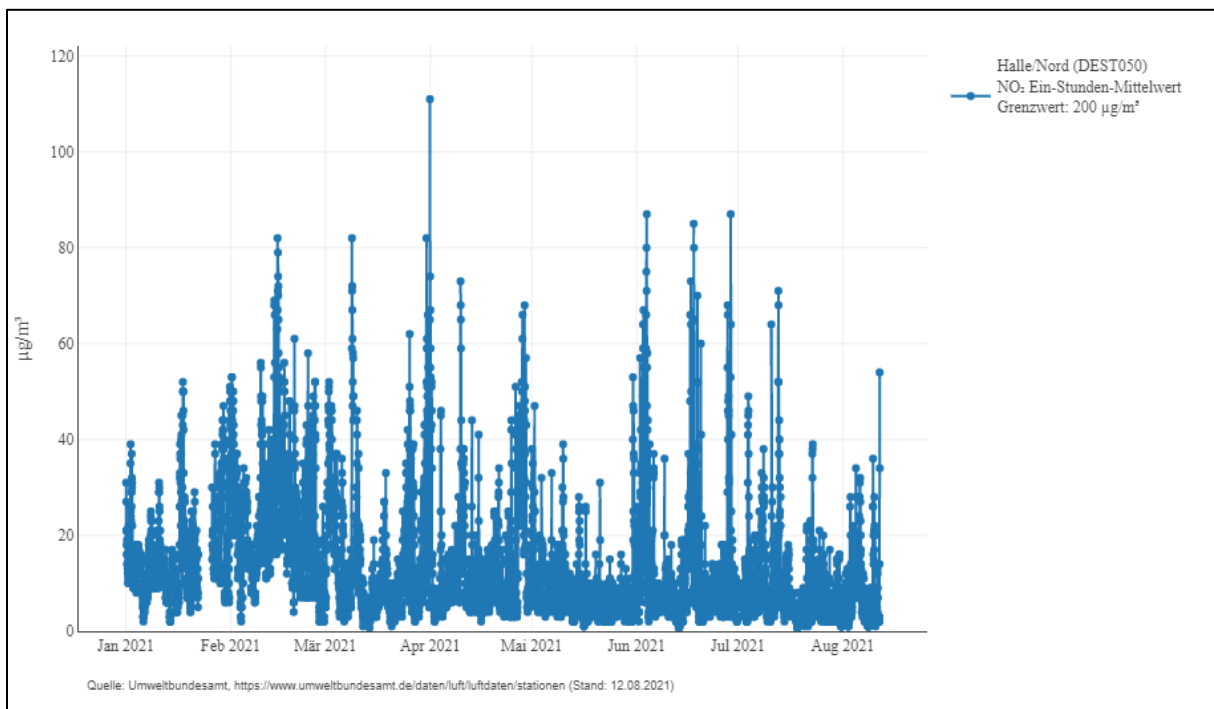
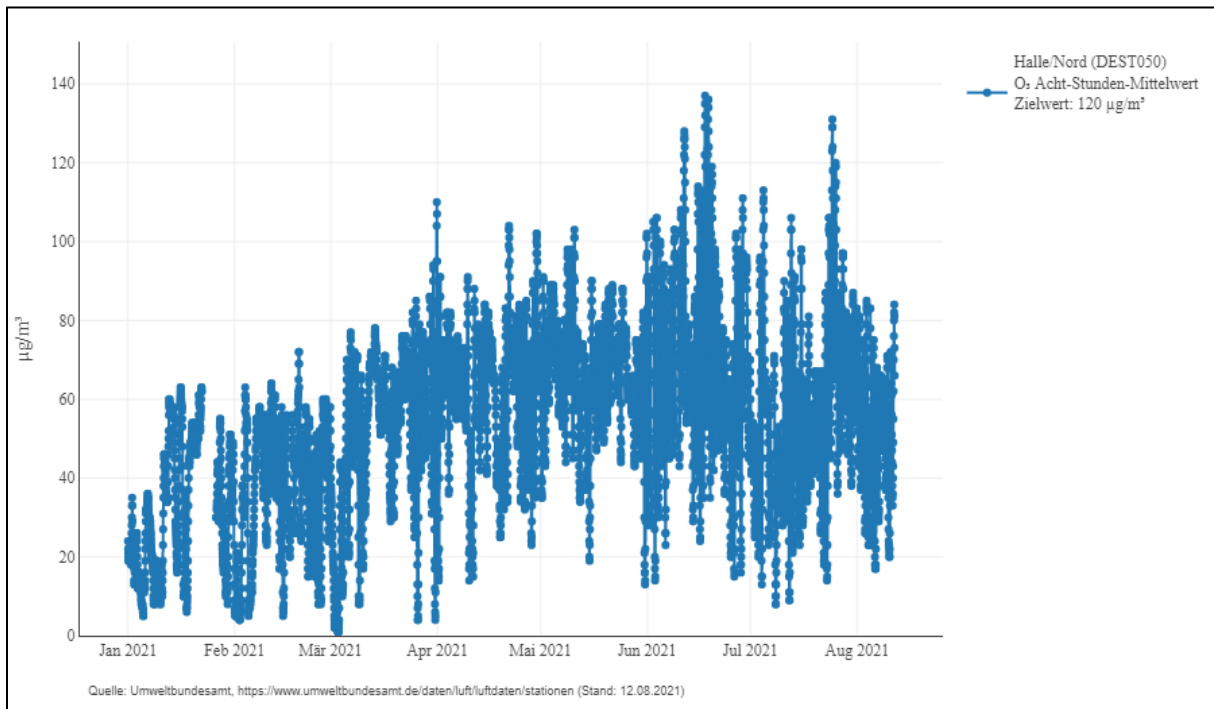


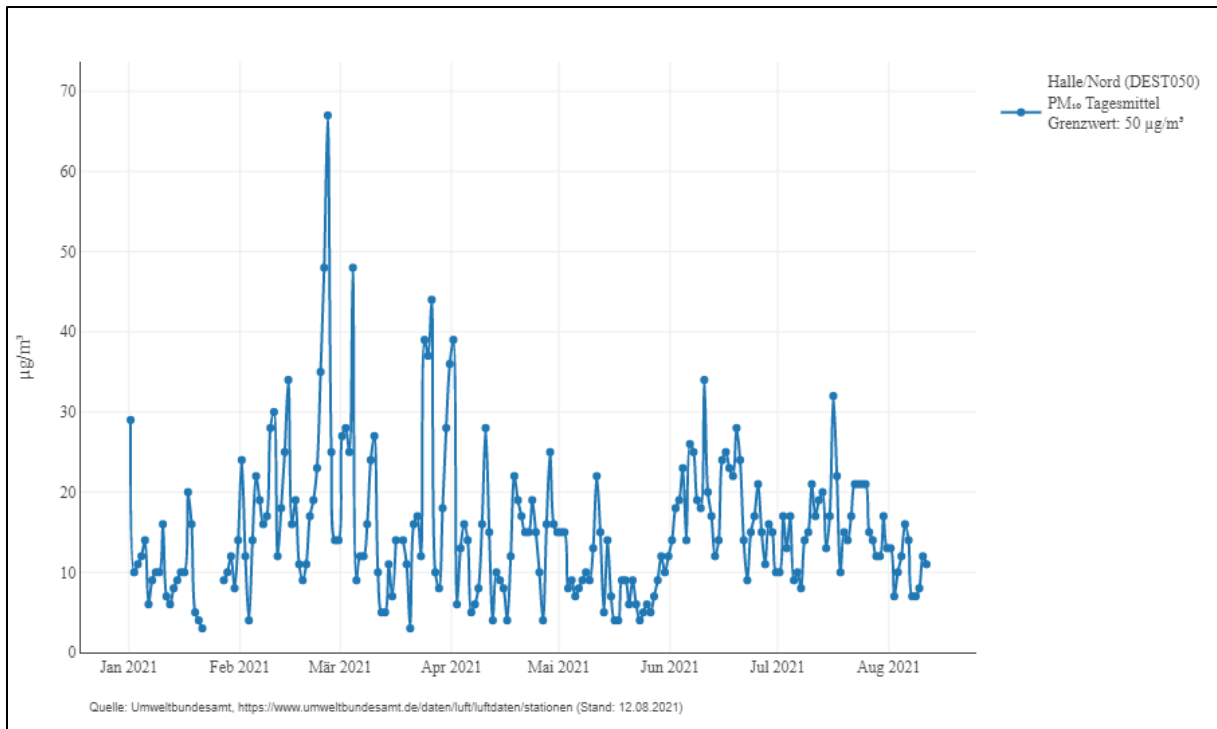
Hz	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
Coef	11	1	4	-1	-8	-17	-30	-42
ΔL	11	8	3	2	1	1	2	2

Bestellcode

CBA-3115	
Funktion	Zuluft
Strahlbild	kleine Spreizung

Anhang 22 Schadstoffkonzentrationen für den Standort Halle/Nord seit 01. Januar 2021 nach [56]





Anhang 23 Enddruckdifferenz, Mittlerer Abscheide- und Wirkungsgrad für verschiedene Filterklassen nach [59]

Anforderung					
Gruppe	Filterklasse	Enddruck-Differenz	Mittl. Abscheidegrad	Mittl. Wirkungsgrad	Mind. Wirkungsgrad
Grob	G1	250 Pa	$50 \leq A_m < 65$		
	G2		$65 \leq A_m < 80$		
	G3		$80 \leq A_m < 90$		
	G4		$90 \leq A_m$		
Medium	M5	450 Pa		$40\% \leq E_m < 60\%$	
	M6			$60\% \leq E_m < 80\%$	
Fein	F7	450 Pa		$80\% \leq E_m < 90\%$	35%
	F8			$90\% \leq E_m < 95\%$	55%
	F9			$95\% \leq E_m$	70%

Anhang 24 Datenblatt Filter (ISO ePM₁60%)

TROX® TECHNIK The art of handling air	Easy Product Finder	Datum: 12.08.2021 / DE Projekt 1 Position.01
---	----------------------------	--

MFI-ePM1-60%-PLA/592x592x292x6

Filterklasse	ePM1	Einstufung nach ISO 16890
Wirkungsgrad	60%	
Ausführung	PLA	Rahmen aus Kunststoff
Breite	592	
Höhe	592	
Tiefe	292	
Anzahl Filterpakete	6	
Gesamtanzahl	1	
Stückpreis (Brutto)	236,00	EUR (Preisliste DE 2022 - Preisgruppe 8G - ohne MwSt)

Eingabedaten	Druckdifferenz in Abhängigkeit des Volumenstroms	
Strategie: Feinstaubfilter		
Volumenstrom q_v		2.100 m³/h
Ergebnisse		
Anfangsdruckdifferenz Δp_i		39 Pa
Filterbreite B_f		592 mm
Filterhöhe H_f		592 mm
Filtertiefe T_f		292 mm
Filterfläche A_{em}		17,5 m²
Nenn-Volumenstrom $q_{v,nom}$		4.250 m³/h
Anfangsdruckdifferenz bei Nennvolumenstrom $\Delta p_{i,nom}$		110 Pa
ePM ₁ E _i	60	
ePM _{2,5} E _i	70	
ePM ₁₀ E _i	90	

Beschreibung

Mini Pleat Filtereinsätze MFI für die Abscheidung von Feinstaub und von Schwebstoffen wie Aerosolen, toxischen Stäuben, Viren und Bakterien aus der Zu- und Abluft in raumlufttechnischen Anlagen.

Einsatz erfolgt als Feinstaubfilter bzw. Vor- oder Endfilter in raumlufttechnischen Anlagen oder als Schwebstofffilter bzw. Haupt- oder Endfilter für höchste Anforderungen an die Luftreinheit und Keimfreiheit in den Bereichen Industrie, Forschung, Medizin, Pharmazie und Nukleartechnik.

Geringe Einbautiefe durch kompakte Bauform für Anlagen mit großen Volumenströmen und langen Filterstandzeiten.

Filtermedien aus hochwertigen, nassfesten Glasfaserpapieren mit Abstandhaltern.

Optimale Faltenstellung und größtmögliche Filterfläche ermöglichen geringe Anfangs-Druckdifferenzen.

Mini Pleat Filtereinsätze lieferbar in den marktüblichen Größen, Filtergruppen ISO ePM10, ISO ePM1 (Feinstaubfilter) und EPA, HEPA (Schwebstofffilter).

Als Feinstaubfilter (Filtergruppen nach ISO 16890) serienmäßig ohne Dichtung, optional lieferbar mit Flachprofil-Dichtung, als Schwebstofffilter sind Mini Pleat Filtereinsätze mit Flachprofil-Dichtung ausgestattet.

Filterklassen E11, H13 und H14 serienmäßig mit Griffschutz auf der Abströmseite.

Mini Pleat Filtereinsätze als Feinstaubfilter sind nach Eurovent zertifiziert.

Mini Pleat Filtereinsätze MFI sind hygienekonform nach VDI 6022.

Der Filtereinsatz MFI mit optionalem EX-Schutz MFI-EX darf in explosionsgefährdeten Bereichen der Zonen 1 und 2 sowie Zonen 21 und 22 eingesetzt werden (EX II 2G Ex h IIC Gb und EX II 2D Ex h IIIB Db).

Der Filter muss zwingend mit dem Erdpotential verbunden sein.

Alle leitfähigen und ableitfähigen Teile müssen miteinander verbunden und geerdet werden.


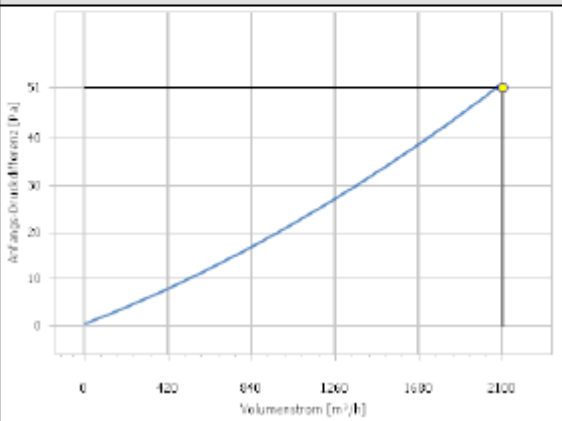
Leitfähige Stäube sind von der Anwendung auszuschließen.

Metallische Fremdmaterialien dürfen unter keinen Umständen in den Filter gelangen.


Umgebungstemperaturbereich: -40 °C = Ta = +60 °C.

Version: 2.13.6 (12.07.2021)	Seite: 1/1
------------------------------	------------



Anhang 25 Datenblatt Filter (ISO ePM₁85%)

TROX® TECHNIK The art of handling air	Easy Product Finder	Datum: 12.08.2021 / DE Projekt 1 Position.01
	MFI-ePM1-85%-PLA/592x592x292x6	
Filterklasse Wirkungsgrad Ausführung Breite Höhe Tiefe Anzahl Filterpakete Gesamtanzahl Stückpreis (Brutto)	ePM1 85% PLA 592 592 292 6 1 246,00	Einstufung nach ISO 16890 Rahmen aus Kunststoff EUR (Preisliste DE 2022 - Preisgruppe 8G - ohne MwSt)
Eingabedaten	Druckdifferenz in Abhängigkeit des Volumenstroms	
Strategie: Feinstaubfilter Volumenstrom q_v 2.100 m ³ /h		
Ergebnisse		
Anfangsdruckdifferenz Δp_i 52 Pa Filterbreite B_f 592 mm Filterhöhe H_f 592 mm Filtertiefe T_f 292 mm Filterfläche A_{fm} 17,5 m ² Nenn-Volumenstrom $q_{v, \text{nom}}$ 4.250 m ³ /h Anfangsdruckdifferenz bei Nennvolumenstrom $\Delta p_{i, \text{nom}}$ 140 Pa ePM ₁ E ₁ 85 ePM _{2,5} E ₁ 90 ePM ₁₀ E ₁ 95		
Beschreibung		
<p>Mini Pleat Filtereinsätze MFI für die Abscheidung von Feinstaub und von Schwebstoffen wie Aerosolen, toxischen Stäuben, Viren und Bakterien aus der Zu- und Abluft in raumlufttechnischen Anlagen. Einsatz erfolgt als Feinstaubfilter bzw. Vor- oder Endfilter in raumlufttechnischen Anlagen oder als Schwebstofffilter bzw. Haupt- oder Endfilter für höchste Anforderungen an die Luftreinheit und Keimfreiheit in den Bereichen Industrie, Forschung, Medizin, Pharmazie und Nukleartechnik.</p> <p>Geringe Einbautiefe durch kompakte Bauform für Anlagen mit großen Volumenströmen und langen Filterstandzeiten.</p> <p>Filtermedien aus hochwertigen, nassfesten Glasfaserpapieren mit Abstandhaltern.</p> <p>Optimale Faltenstellung und größtmögliche Filterfläche ermöglichen geringe Anfangs-Druckdifferenzen.</p> <p>Mini Pleat Filtereinsätze lieferbar in den marktüblichen Größen, Filtergruppen ISO ePM₁₀, ISO ePM₁ (Feinstaubfilter) und EPA, HEPA (Schwebstofffilter).</p> <p>Als Feinstaubfilter (Filtergruppen nach ISO 16890) serienmäßig ohne Dichtung, optional lieferbar mit Flachprofil-Dichtung, als Schwebstofffilter sind Mini Pleat Filtereinsätze mit Flachprofil-Dichtung ausgestattet.</p> <p>Filterklassen E11, H13 und H14 serienmäßig mit Griffschutz auf der Abströmseite.</p> <p>Mini Pleat Filtereinsätze als Feinstaubfilter sind nach Eurovent zertifiziert.</p> <p>Mini Pleat Filtereinsätze MFI sind hygienekonform nach VDI 6022.</p> <p>Der Filtereinsatz MFI mit optionalem EX-Schutz MFI-EX darf in explosionsgefährdeten Bereichen der Zonen 1 und 2 sowie Zonen 21 und 22 eingesetzt werden (EX II 2G Ex h IIC Gb und EX II 2D Ex h IIIB Db).</p> <p>Der Filter muss zwingend mit dem Erdpotential verbunden sein.</p> <p>Alle leitfähigen und ableitfähigen Teile müssen miteinander verbunden und geerdet werden.</p> <p>Leitfähige Stäube sind von der Anwendung auszuschließen.</p> <p>Metallische Fremdmaterialien dürfen unter keinen Umständen in den Filter gelangen.</p> <p>Umgebungstemperaturbereich: -40 °C - Ta - +80 °C.</p>		
Version: 2.13.6 (12.07.2021)	Seite: 1/1	

Anhang 26 Datenblatt Ventilator Zuluft

Internet Konfiguration		 <p>The art of handling air</p>																																									
Spezifikation																																											
Datum	13.08.2021	TROX X-FANS GmbH Heinz Trox Straße 1, D-36251 Bad Hersfeld Tel.: +49 (0)6621 950-0 Fax: +49 (0)6621.950-100 E-Mail: trox-xfans@troxgroup.com Website: www.trox-xfans.de																																									
Bearbeiter	Yven Herbst																																										
Telefon																																											
E-Mail	yven.herbst@arcadis.com																																										
Projekt-Nr.	17082021																																										
Projektname	Diplomarbeit																																										
Projektort																																											
Positions-Nr.	2																																										
LV- / Anlagen-Nr.																																											
Preisliste	2022																																										
Freilaufender Radialventilator Typ ERV 1.0 630		Preisgruppe: TL51																																									
Freilaufendes Radialrad zum Einbau in RLT-Geräte																																											
Auslegungsdaten:																																											
Volumenstrom:	6300 m³/h																																										
Totaldruck Ventilator:	791 Pa																																										
externer Bauteilverlust:	791 Pa																																										
Auslegungstemperatur:	20 °C																																										
Dichte:	1,2 kg/m³																																										
max. zulässige Drehzahl:	2980 1/min																																										
Ventilator Drehzahl:	1435 1/min																																										
Umfangsgeschwindigkeit:	48 m/s																																										
Drehfrequenz:	50 Hz																																										
Gesamtschallleistungspegel*:	99.2 dB																																										
aerodynamischer Gesamtwirkungsgrad:	56 %																																										
Leistungsbedarf an der Welle:	2.5 kW																																										
SFP:	1634 Ws/m³																																										
Energieeffizienzklasse:	SFP 4																																										
Schalldaten, saugseitig:																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Frequenz [Hz]:</th> <th>63</th> <th>125</th> <th>250</th> <th>500</th> <th>1000</th> <th>2000</th> <th>4000</th> <th>8000</th> <th>Gesamt</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LW3:</td> <td>95</td> <td>94</td> <td>92</td> <td>88</td> <td>84</td> <td>79</td> <td>73</td> <td>67</td> <td>99</td> </tr> <tr> <td>A-Bewertung:</td> <td>-26,1</td> <td>-16,1</td> <td>-8,6</td> <td>-3,2</td> <td>0</td> <td>1,2</td> <td>1</td> <td>-1,1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>LW(A)3:</td> <td>69</td> <td>78</td> <td>83</td> <td>85</td> <td>84</td> <td>80</td> <td>74</td> <td>66</td> <td>90</td> </tr> </tbody> </table>	Frequenz [Hz]:	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Gesamt	LW3:	95	94	92	88	84	79	73	67	99	A-Bewertung:	-26,1	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1		LW(A)3:	69	78	83	85	84	80	74	66	90			
Frequenz [Hz]:	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Gesamt																																		
LW3:	95	94	92	88	84	79	73	67	99																																		
A-Bewertung:	-26,1	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1																																			
LW(A)3:	69	78	83	85	84	80	74	66	90																																		
ErP-Konformität (RL 2009/125/EG):																																											
Gesamtenergieeffizienz:	63,4 %																																										
Messkategorie:	C																																										
Effizienzklasse:	statisch																																										
Zielenergieeffizienz ErP 2015:	36.1 %																																										
Motordaten:																																											
<u>Motorausführung (ID6580):</u>		<u>Weitere Informationen:</u>																																									
Einschaltart: direkt	Effizienzklasse: IE3	Schaltbild-Nr.:																																									
Baugröße: 100	ISO-Klasse: ISO-F	Bestellmotor																																									
Bauform: B3	Flanschdurchmesser: - mm																																										
Schutzart: IP 55																																											
Elektrische Daten:																																											
Leistung:	3,0 kW	Motor-Nenn Drehzahl:	1500 1/min																																								
Nennstrom:	6,02 A	Betriebsspannung:	400 V																																								
IA/IN:	7.6	Frequenz:	50 Hz																																								
Motorwirkungsgrad:	87.7 %	Cos φ:	0.78																																								
Abmessungen:																																											

Anhang 27 Datenblatt Ventilator Abluft

Internet Konfiguration		 The art of handling air							
Spezifikation									
Datum	16.08.2021	TROX X-FANS GmbH Heinz Trox Straße 1, D-36251 Bad Hersfeld Tel.: +49 (0)6621 950-0 Fax: +49 (0)6621.950-100 E-Mail: trox-xfans@troxgroup.com Website: www.trox-xfans.de							
Bearbeiter	Yven Herbst								
Telefon									
E-Mail	yven.herbst@arcadis.com								
Projekt-Nr.	17082021								
Projektname	Diplomarbeit								
Projektort									
Positions-Nr.	4								
LV- / Anlagen-Nr.									
Preisliste	2022								
Freilaufender Radialventilator Typ ERV 1.2 630			Preisgruppe: TL51						
Freilaufendes Radialrad zum Einbau in RLT-Geräte									
Auslegungsdaten:									
Volumenstrom:	6400 m³/h								
Totaldruck Ventilator:	878 Pa								
externer Bauteilverlust:	878 Pa								
Auslegungstemperatur:	20 °C								
Dichte:	1,2 kg/m³								
max. zulässige Drehzahl:	2500 1/min								
Ventilator-drehzahl:	1440 1/min								
Umfangsgeschwindigkeit:	48 m/s								
Drehfrequenz:	50 Hz								
Gesamtschalleistungspegel*:	100.6 dB								
aerodynamischer Gesamtwirkungsgrad:	54 %								
Leistungsbedarf an der Welle:	2.9 kW								
SFP:	1827 Ws/m³								
Energieeffizienzklasse:	SFP 4								
Schalldaten, saugseitig:									
Frequenz [Hz]:	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Gesamt
LW3:	97	95	93	90	86	81	75	68	101
A-Bewertung:	-26,1	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1	
LW(A)3:	71	79	84	87	86	82	76	67	91
ErP-Konformität (RL 2009/125/EG):									
Gesamtenergieeffizienz:	65,1 %								
Messkategorie:	C								
Effizienzklasse:	statisch								
Zielenergieeffizienz ErP 2015:	37 %								
Motordaten:									
<u>Motorausführung (ID6581):</u>				<u>Weitere Informationen:</u>					
Einschaltart:	Stern/Dreieck	Effizienzklasse:	IE3	Schaltbild-Nr.:					
Baugröße:	112	ISO-Klasse:	ISO-F	Bestellmotor					
Bauform:	B3	Flanschdurchmesser:	- mm						
Schutzart:	IP 55								
<u>Elektrische Daten:</u>									
Leistung:	4,0 kW	Motor-Nenn-drehzahl:	1500 1/min						
Nennstrom:	7,95 A	Betriebsspannung:	400 V						
IA/IN:	7.7	Frequenz:	50 Hz						
Motorwirkungsgrad:	88.6 %	Cos φ:	0.8						
Abmessungen:									

Ehrenwörtliche Erklärung

"Ich erkläre hiermit ehrenwörtlich",

1. dass ich meine Diplomarbeit mit dem Thema:
„Bewertung der Kriterien der Lufthygiene von RLT-Anlagen und deren
Auswirkung auf die Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit“
ohne fremde Hilfe angefertigt habe,
2. dass ich die Übernahme wörtlicher Zitate aus der Literatur sowie die Verwen-
dung der Gedanken anderer Autoren an den entsprechenden Stellen innerhalb
der Arbeit gekennzeichnet habe und
3. dass ich meine Studienarbeit bei keiner anderen Prüfung vorgelegt habe.

Ich bin mir bewusst, dass eine falsche Erklärung rechtliche Folgen haben wird.

Ort, Datum

Unterschrift

Erklärung zur Prüfung wissenschaftlicher Arbeiten

Die Bewertung wissenschaftlicher Arbeiten erfordert die Prüfung auf Plagiate. Die hierzu von der Staatlichen Studienakademie Glauchau eingesetzte Prüfungskommission nutzt sowohl eigene Software als auch diesbezügliche Leistungen von Drittanbietern. Dies erfolgt gemäß § 7 des Gesetzes zum Schutz der informationellen Selbstbestimmung im Freistaat Sachsen (Sächsisches Datenschutzgesetz – SächsDSG) vom 25. August 2003 (Rechtsbereinigt mit Stand vom 31. Juli 2011) im Sinne einer Datenverarbeitung im Auftrag.

Der Studierende bevollmächtigt die Mitglieder der Prüfungskommission hiermit zur Inanspruchnahme o.g. Dienste. In begründeten Ausnahmefällen kann der Datenschutzbeauftragte der Staatlichen Studienakademie Glauchau sowohl vom Verfasser der wissenschaftlichen Arbeit als auch von der Prüfungskommission in den Entscheidungsprozess einbezogen werden.

Name:	Herbst
Vorname:	Yven
Matrikelnummer:	4003274
Studiengang:	Versorgungs- und Umwelttechnik
Titel der Arbeit:	Bewertung der Kriterien der Lufthygiene von RLT-Anlagen und deren Auswirkung auf die Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit
Datum:	17.08.2021
Unterschrift:	