

Studie zur Mindestanforderung für den Außenluftstrom in Nichtwohn- gebäuden

Verfasser:

Forschungsgesellschaft

Heizung-Lüftung-Klimatechnik Stuttgart mbH

Michael Müller, M.Sc.

Benjamin Walz, M.Sc.

Lukas Siebler, M.Sc.

Dr.-Ing. Tobias Henzler

Dipl.-Ing. Armin Ruppert

Forschungsvorhaben

gefördert von der

Heinz-Trox-Stiftung



**HEINZ TROX
STIFTUNG**

Forschungsgesellschaft

Heizung
Lüftung
Klimatechnik 
Stuttgart mbH

The HLK logo is a blue square with the letters 'HLK' in white, bold, sans-serif font. Below the square, the word 'STUTTGART' is written in a smaller, blue, sans-serif font.

November 2023

Vorwort und Danksagung

An dieser Stelle möchten wir uns recht herzlich bei der Heinz Trox-Stiftung für die Förderung dieser Studie bedanken. Dank gebührt ebenso dem Fachverband Gebäude-Klima e. V. (FGK), der uns bei der Literaturrecherche unterstützt hat.

Kurzfassung

In allen EU27-Staaten gilt mit EN 16798 eine Richtlinie zur Auslegung energetischer und hygienischer Aspekte von Gebäuden. Darunter fällt auch die Lüftung von Wohn- und Nichtwohngebäuden und damit verbunden die Definition oder Empfehlung eines Mindest-Außenluftvolumenstroms.

In dieser Studie wird eine Literaturrecherche durchgeführt, in der Vorgaben aus nationalen Normen, Gesetzen und Verordnungen im europäischen Raum zusammengetragen werden. Damit werden Unterschiede und Gemeinsamkeiten in der Auslegung des Mindestaußenluftvolumenstroms in Nichtwohngebäuden aufgezeigt.

Mit den recherchierten Daten und Sollwerten wird eine vergleichende Auswertung vorgenommen. Einerseits erfolgt eine Gegenüberstellung der einzelnen Berechnungsverfahren und deren Auslegungswerte. Andererseits wird eine Bewertung der nationalen Vorgehensweisen anhand einer exemplarischen Auslegung von vier verschiedenen Typräumen und jeweils drei Außenluftzuständen durchgeführt. Als Typräume werden ein Einzelbüro, ein Klassenzimmer, ein Theatersaal und ein Patientenzimmer eines Krankenhauses herangezogen. Die drei Außenluftzustände beschreiben einen typischen Sommertag, einen feuchten Sommertag und einen typischen Wintertag. Die Bewertung erfolgt anhand einer stationären CO₂-Bilanz und einer Bilanz der Raumlufffeuchte.

Anschließend wird, basierend auf der Datenlage und den Erkenntnissen aus den durchgeführten Berechnungen, abgewogen, welche Kriterien ein geeignetes Berechnungsverfahren für den Mindestaußenluftvolumenstrom in Nichtwohngebäude erfüllen muss und ob ein einheitlicher personenbezogener Wert ausreichend sein könnte.

Die Untersuchungen im Rahmen dieser Studie ergeben, dass es durchaus möglich ist, einen pauschalen Mindestaußenluftvolumenstrom für Nichtwohngebäude zu definieren, solange dieser in Abhängigkeit der vorgesehenen Gebäudenutzung angegeben wird. Des Weiteren hängt die Höhe eines solchen pauschalen Wertes von den Anforderungen an die Luftqualität ab.

Abstract

In all EU27-states, EN 16798 is a guideline for the design of energy-related and hygienic aspects of buildings. This also includes the ventilation of residential and non-residential buildings and, associated with this, the definition or recommendation of a minimum outdoor air volume flow.

In this study, a literature research is carried out in which specifications from national standards, laws and regulations in the European area are collected and evaluated. Thus, differences and similarities in the design of the minimum outdoor air volume flow in non-residential buildings are identified.

With the researched data and target values, a comparative evaluation is carried out. On the one hand, a comparison of the individual calculation methods and their design values is made. On the other hand, an evaluation of the national approaches is carried out using an exemplary design of four different type spaces and three outdoor air scenarios each. A single office, a classroom, a theater hall and a patient room of a hospital are used as type rooms. The three outdoor air scenarios describe a typical summer day, a humid summer day and a typical winter day. The main components of the assessment are a steady-state CO₂-balance and an indoor humidity balance.

Subsequently, based on the collected data and the findings from the calculations performed, it is weighed which criteria a suitable calculation method for the minimum outdoor air volume flow in non-residential buildings must fulfill and whether a uniform person-related value (for example $25 \frac{m^3}{h}$ per person) could be sufficient.

The investigations within the scope of this study show that it is quite possible to define a constant minimum outdoor air volume flow for non-residential buildings, as long as it is specified in relation to the intended building use. Furthermore, the level of such a uniform value depends on the air quality requirements.

Inhaltsverzeichnis

Bildverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis.....	IV
Abkürzungen	VII
Formelzeichen.....	VIII
1 Einleitung	1
2 Grundlagen	4
2.1 Definition von Luftqualität in Innenräumen	4
2.2 Standardauslegungskriterien in DIN EN 16798 für die Lüftung von NWG	7
2.3 Bilanzrechnungen für CO ₂ und Feuchte	10
3 Methodisches Vorgehen	14
3.1 Literaturrecherche	14
3.2 Relevante Gebäude- und Nutzungstypen.....	14
3.3 Festlegung relevanter Größen und Kennwerte der Recherche.....	17
3.4 Übersichtsmatrix Literaturrecherche und Datenlage.....	17
4 Vorgaben für die Belüftung von Nichtwohngebäuden in europäischen Ländern ..	19
4.1 Mindestaußenluftvolumenstrom	19
4.2 Nationale Grenzwerte für weitere Schadstoffe	70
5 Ergebnisse der Bilanzrechnungen.....	71
5.1 Auswahl einzelner Länder	71
5.2 Mögliche Fehlerquellen	71
5.3 Sensitivitätsanalyse der Bilanzierung	71
5.4 Gegenüberstellung der Ergebnisse nach Typräumen.....	77
6 Auswertung und Diskussion	85
6.1 Betrachtung der CO ₂ -Grenzwerte der Länder.....	85
6.2 Abweichung vom nationalen Grenzwert	86
6.3 Diskussion empfohlener Auslegungswerte	89
6.4 Bewertung personenbezogener Auslegungswerte	90
6.5 Bewertung des Vorgehens in Deutschland.....	91
6.6 Erkenntnisse aus der Feuchte-Bilanz	92
7 Empfehlungen aus der Datenrecherche	93
8 Zusammenfassung.....	96
9 Ausblick	98
10 Literaturverzeichnis	99
11 Anhang	105

Bildverzeichnis

Abbildung 2-1: Stationäre Berechnung der CO ₂ -Konzentration	11
Abbildung 2-2: Bilanzierung über die nötige Ent-/Befeuchtung zum Erreichen der normativ geforderten Feuchte in Innenräumen.....	12
Abbildung 5-1: Prinzip der Parametervariation für die Sensitivitätsanalyse.....	72
Abbildung 5-2: Minimale und maximale Abweichung der CO ₂ -Konzentration bei Parametervariation und Anwendung der EN 16798	73
Abbildung 5-3: Minimale und maximale Abweichung der Raumlufffeuchte bei Parametervariation und Anwendung der EN 16798 für einen typischen Sommertag	74
Abbildung 5-4: Minimale und maximale Abweichung der Raumlufffeuchte bei Parametervariation und Anwendung der EN 16798 für einen typischen Wintertag	75
Abbildung 5-5: Stationäre relative Feuchte bei Raumtemperatur ohne Entfeuchtung der Außenluft mit und ohne innere Feuchtelasten für das Einzelbüro	76
Abbildung 5-6: Berechnete CO ₂ -Konzentration und nationaler Grenzwert für den Typraum Einzelbüro	78
Abbildung 5-7: Be- und Entfeuchtelast für den Typraum Einzelbüro	79
Abbildung 5-8: Berechnete CO ₂ -Konzentration und nationaler Grenzwert für den Typraum Klassenzimmer	80
Abbildung 5-9: Be- und Entfeuchtelast für den Typraum Klassenzimmer.....	81
Abbildung 5-10: Berechnete CO ₂ -Konzentration und nationaler Grenzwert für den Typraum Theatersaal	82
Abbildung 5-11: Be- und Entfeuchtelast für den Typraum Theatersaal.....	83
Abbildung 5-12: Berechnete CO ₂ -Konzentration und nationaler CO ₂ -Grenzwert für den Typraum Patientenzimmer.....	84
Abbildung 5-13: Be- und Entfeuchtelast für den Typraum Patientenzimmer	84
Abbildung 6-1: Nationale CO ₂ -Grenzwerte der betrachteten Länder für den Typraum Einzelbüro	86
Abbildung 6-2: Unterschied zwischen jeweiligem nationalen CO ₂ -Grenzwert und sich einstellender CO ₂ -Konzentration im Typraum Einzelbüro	87
Abbildung 6-3: Unterschied zwischen jeweiligem nationalen CO ₂ -Grenzwert und sich einstellender CO ₂ -Konzentration im Typraum Klassenzimmer	87

Abbildung 6-4: Unterschied zwischen jeweiligem nationalen CO ₂ -Grenzwert und sich einstellender CO ₂ -Konzentration im Typraum Theatersaal	88
Abbildung 6-5: Variation der personenbezogenen Volumenströme je nach angewendetem Berechnungsverfahren	89
Abbildung 6-6: Abweichung vom CO ₂ -Grenzwert von 1.000 ppm bei Variation des pauschalen personenbezogenen Außenluftvolumenstroms	90
Abbildung 11-1: Feuchter Sommertag (entsprechendes Vorgehen zu Abbildung 5-3 und Abbildung 5-4)	124
Abbildung 11-2: Stationäre rel. Feuchte bei Raumtemperatur ohne Entfeuchtung der Außenluft mit und ohne innere Feuchtelasten für den Theatersaal (selbes Vorgehen wie für Abbildung 5-5)	124
Abbildung 11-3: Stationäre rel. Feuchte bei Raumtemperatur ohne Entfeuchtung der Außenluft mit und ohne innere Feuchtelasten für das Klassenzimmer (selbes Vorgehen wie für Abbildung 5-5)	125
Abbildung 11-4: Stationäre rel. Feuchte bei Raumtemperatur ohne Entfeuchtung der Außenluft mit und ohne innere Feuchtelasten für das Patientenzimmer (selbes Vorgehen wie für Abbildung 5-5)	125

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1: Übersicht der Arbeitspakete.....	3
Tabelle 2-1: Auszug aus EN 16798 zur Definition der Innenraumqualität	5
Tabelle 2-2: Empfohlene Auslegungskriterien für die relative Luftfeuchte in Räumen, wenn Be- oder Entfeuchtungsanlagen eingebaut sind, nach EN 16798 Anhang B [8].....	6
Tabelle 2-3: Empfohlene personenbezogene Werte nach Tabelle B.3. aus EN 16798 [8]	8
Tabelle 2-4: Flächenbezogene Empfehlung für Gebäudeemissionen nach Tabelle B.8 aus EN 16798 [8].....	8
Tabelle 2-5: Standardauslegungswerte für die CO ₂ -Konzentration nach Tabelle B.9 aus EN 16798 [8]	9
Tabelle 3-1: Definition Aktivitätsgrad nach VDI 2078 [63]	15
Tabelle 3-2: Eigenschaften und Randbedingungen der Typräume	16
Tabelle 3-3: Festlegung der Szenarien.....	16
Tabelle 3-4: Übersicht über den Stand der Literaturrecherche.....	18
Tabelle 4-1: Recherchierte Auslegungswerte für Belgien	22
Tabelle 4-2: CO ₂ -Grenzwerte in EN 16798 (europäisch und nationaler Anhang).....	24
Tabelle 4-3: Feuchte-Grenzwerte in EN 16798 (europäisch und nationaler Anhang).....	24
Tabelle 4-4: Recherchierte Auslegungswerte für Deutschland.....	26
Tabelle 4-5: Gebäudekategorien nach dem estnischen nationalen Anhang zu EN 16798-1.....	27
Tabelle 4-6: Recherchierte Auslegungswerte für den Mindestaußenluftvolumenstrom in NWG für Estland	28
Tabelle 4-7: Recherchierte Auslegungswerte für Finnland.....	30
Tabelle 4-8: Recherchierte Auslegungswerte für Frankreich.....	32
Tabelle 4-9: Recherchierte Auslegungswerte für Griechenland	34
Tabelle 4-10: Recherchierte Auslegungswerte für Großbritannien.....	37
Tabelle 4-11: Bestimmung des Korrekturfaktors C ₁	39
Tabelle 4-12: Für Methode A angenommener minimaler Außenluftvolumenstrom.....	39
Tabelle 4-13: Bestimmung des Korrekturfaktors C ₃	40

Tabelle 4-14: Recherchierte Auslegungswerte für Italien.....	40
Tabelle 4-15: Zur Verfügung stehender Auszug aus Tabelle 3.46.1 [33, 39].....	42
Tabelle 4-16: Recherchierte Auslegungswerte für die Niederlande.....	42
Tabelle 4-17: Recherchierte Auslegungswerte für Norwegen	44
Tabelle 4-18: Personenbezogene Außenluftvolumenströme nach ÖNORM H 6039 Ausgabe 2008-11-01	46
Tabelle 4-19: Erforderliche Außenluftvolumenströme in Schulen.....	46
Tabelle 4-20: Recherchierte Auslegungswerte für Österreich	47
Tabelle 4-21: Recherchierte Auslegungswerte für Polen	49
Tabelle 4-22: Außenluftvolumenstrom je nach Stoffwechselrate.....	51
Tabelle 4-23: Mindestaußenluftstrom in Abhängigkeit der Schadstoffbelastung durch das Gebäude.....	51
Tabelle 4-24: Recherchierte Auslegungswerte für Portugal	52
Tabelle 4-25: Tabelle A.6.3 (NA)– Auslegungs-Volumenströme für die Verdünnung von Emissionen durch den Menschen	53
Tabelle 4-26: Tabelle A7 (NA) – Auslegungs-Ventilationsströme für die Verdünnung von Gebäudeemissionen.....	53
Tabelle 4-27: CO ₂ -Standardwerte für verschiedene Innenraumluftkategorien (IDA) im NA Rumänien	54
Tabelle 4-28: Festlegung der CO ₂ -Konzentration über der Außenluft für nicht angepasste Personen.....	54
Tabelle 4-29: Recherchierte Auslegungswerte für Rumänien	56
Tabelle 4-30: Recherchierte Auslegungswerte für Schweden.....	58
Tabelle 4-31: Recherchierte Auslegungswerte für die Schweiz	59
Tabelle 4-32: Recherchierte Auslegungswerte für Slowenien	61
Tabelle 4-33: Personenbezogene Volumenströme je Innenraumluftkategorie in Decreto 1027	62
Tabelle 4-34: Wahrgenommene Raumlufthqualität je Innenraumluftkategorie in Decreto 1027	63
Tabelle 4-35: CO ₂ Konzentration je Innenraumluftkategorie in Decreto 1027	63

Tabelle 4-36: Flächenbezogener Volumenstrom je Innenraumluftkategorie in Decreto 102763	
Tabelle 4-37: Recherchierte Auslegungswerte für Spanien	64
Tabelle 4-38: Recherchierte Auslegungswerte für Tschechien	66
Tabelle 4-39: Recherchierte Auslegungswerte für Ungarn.....	68
Tabelle 4-40: Recherchierte Auslegungswerte für Zypern	69
Tabelle 4-41: Grenzwerte für weitere Luftschadstoffe in verschiedenen europäischen Ländern	70
Tabelle 11-1: WHO-Richtwerte für Verunreinigungen aus der DIN EN 16798-1:2022-03 ...	105

Abkürzungen

Symbol	Beschreibung
Abs.	Absolut
ACH	Luftwechsel (engl. air change rate)
AG	Aktivitätsgrad
Bez.	Bezogen (z.B. Personenbezogen)
DIN	Deutsches Institut für Normung
EFH	Einfamilienhaus
EN	Europäische Norm
EU	Europäische Union
IAQ	Innenraumluftqualität
IDA	Indoor Air Quality
IEQ	Innenraumqualität
Max.	Maximum
MFH	Mehrfamilienhaus
Min.	Minimum
NA	Nationaler Anhang
NWG	Nichtwohngebäude
ODA	Outdoor Air (Quality)
OP	Operationssaal
Rel.	Relativ
RLT-Anlagen	Raumlufttechnische Anlagen
Pers.	Person
WHO	World Health Organisation

Formelzeichen

Symbol	Beschreibung	Einheit
A_R	Fußbodenfläche des Raumes	m^2
C_1	Korrekturkoeffizient für Luftdiffusion	
C_2	Korrekturkoeffizient für hohe Räume	
C_3	Korrekturkoeffizient für die Luftdichte aufgrund der Höhe des Standorts	
C_{Au}	CO ₂ -Konzentration der Außenluft	ppm
$C_{h,i}$	Grenzwert für den Stoff h	$\frac{\mu g}{s}$
$C_{h,o}$	Konzentration des Stoffs h in der Zuluft	$\frac{\mu g}{s}$
c_{Au}	CO ₂ -Konzentration in der Außenluft	ppm
c_p	Wärmekapazität der Luft	$\frac{J}{kg \cdot K}$
c_{RA}	Stationäre CO ₂ -Konzentration im Raum	ppm
$c_{RA}(t)$	CO ₂ -Konzentration im Raum am Ende des betrachteten Zeitraums t	ppm
G_h	Emissionen des Stoffs h	$\frac{\mu g}{s}$
\dot{m}_h	Luftfeuchtelast	$\frac{kg}{s}$
N	Personenzahl	
n	Auslegungswert für die Anzahl an Personen im Raum	
\dot{n}_{Au}	Außenluft-Stoffstrom	$\frac{mol}{s}$
$\dot{n}_{CO_2,Q}$	Stoffstrom CO ₂ aus Quellen im Raum	$\frac{mol}{s}$
M	Stoffwechselrate	met
q_B	Außenluftvolumenstrom für Gebäudeemissionen	$\frac{l}{s \cdot m^2}$

Q_h	Für die Einhaltung des Grenzwertes erforderlicher Außenluftvolumenstrom	$\frac{m^3}{s}$
q_P	Personenbezogener Mindestaußenluftstrom pro Person	$\frac{l}{s}$
q_S	Flächenbezogener Mindestaußenluftstrom pro m^2	$\frac{l}{s}$
$Q_{Tabelle}$	Minimaler Außenluftstrom pro Person	$\frac{l}{s}$
$Q_{Tabelle,min}$	Minimal zulässiger Außenluftstrom pro Person	$\frac{l}{s}$
Q_{tot}	Minimaler Außenluftstrom pro Person	$\frac{l}{s}$
q_{tot}	Gesamter Außenluftvolumenstrom für den Atembereich	$\frac{l}{s}$
Q_v	Zuluftvolumenstrom	$\frac{m^3}{s}$
t	Ende des betrachteten Zeitraums	s
t_0	Anfang des betrachteten Zeitraums	s
V	Raumvolumen	m^3
\dot{V}_{Au}	Außenluftvolumenstrom	$\frac{m^3}{h}$
\dot{V}_{AZ}	Hygienisch erforderlicher Außenluftvolumenstrom der Anforderungszone	$\frac{m^3}{s}$
\dot{V}_{m,CO_2}	Personenbezogener CO_2 -Volumenstrom	$\frac{m^3}{h \cdot Person}$
V_R	Raumvolumen	m^3
v_{SUP}	Spezifisches Volumen der Zuluft in Trockenluft	$\frac{m^3}{kg}$
ε_V	Lüftungseffektivität	
θ_{SUP}	Temperatur der Zuluft	$^\circ C$
$\theta_{a,IDA}$	Temperatur der Raumluft	$^\circ C$
ρ	Luftdichte	$\frac{kg}{m^3}$
Φ	Thermische Last	W

X

ϑ	Temperatur	$^{\circ}\text{C}$
x_{IDA}	Spezifische Feuchte der Raumluft in Trockenluft	$\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$
x_{SUP}	Spezifische Feuchte der Zuluft in Trockenluft	$\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$

1 Einleitung

Im Hinblick auf die in der Entwurfsfassung der EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) [58] adressierten Themen Innenraumluftqualität (IAQ) und Innenraumqualität (IEQ) wird intensiv diskutiert, wie diese definiert werden können. Derzeit legt bspw. DIN EN 16798 Zielgrößen für den Luftqualitätsindikator CO₂-Konzentration fest, ohne einen konkreten Mindestaußenluftvolumenstrom vorzugeben. Mit welchem Außenluftvolumenstrom dieser Zielwert erreicht wird, ist der Fachplanung überlassen, die hierbei u.a. die lokalen Gegebenheiten und die Luftführung im Raum berücksichtigen muss. Dies kann in der Kommunikation zwischen den in der Praxis Beteiligten und insbesondere im Hinblick auf den Betrieb zu Schwierigkeiten führen, da sowohl eine Orientierung für die einfache Handhabung von lufttechnischen Anlagen als auch ein einfaches Kriterium für die Abnahme fehlt.

Mit der Norm EN 16798 gibt es europaweit einen normativen Standard für die energetische Auslegung von Gebäuden und deren Belüftung. Unter anderem wird dort ein Verfahren aufgezeigt, wie ein gebäudespezifischer Mindestaußenluftvolumenstrom berechnet werden kann. [8]

Im Rahmen dieser Studie wird recherchiert, welche nationalen Normen und gesetzlichen Richtlinien in Bezug auf den jeweils einzuhaltenden Mindestaußenluftvolumenstrom für Nichtwohngebäude in Europa existieren. Die in den einzelnen Ländern vorliegenden Berechnungsverfahren und empfohlenen bzw. vorgeschriebenen Werte werden anschließend anhand von Bilanzrechnungen verglichen.

Der Mindestaußenluftvolumenstrom spielt eine wichtige Rolle für die Lüftung von Gebäuden, weil dieser ausschlaggebend für ein behagliches und gesundes Innenraumluftklima ist. Allerdings steigt mit hohem Außenluftvolumenstrom der Energiebedarf des Gebäudes, sodass für die Belüftung des Gebäudes beide Aspekte berücksichtigt werden müssen.

Ist der Außenluftvolumenstrom zu gering, besteht die Gefahr eines unbehaglichen Raumklimas aufgrund verunreinigter und feuchter Luft und damit gegebenenfalls eines gesundheitlich bedenklichen sowie Schimmelbildung fördernden Zustands im Gebäudeinneren. Ist der Außenluftvolumenstrom zu hoch, wird die Luft im Innenraum zwar häufig ausgetauscht, die Konditionierung des übermäßigen Luftstroms bedingt jedoch einen höheren Energiebedarf. Außerdem können zu hohe Zuluftvolumenströme auf Grund höherer Luftgeschwindigkeiten zu thermischer Unbehaglichkeit in Folge von Zuglufterscheinungen führen.

Eine korrekte Auslegung des nötigen Außenluftvolumenstroms ist demnach entscheidend für eine hohe Energieeffizienz des Gebäudes bei gleichzeitiger Einhaltung der Anforderungen an die Lufthygiene.

Auf der normativen Seite stellt sich die Herausforderung, die empfohlenen Werte ohne exakte Kenntnis der auszulegenden Gebäude und des örtlichen Umgebungsklimas einheitlich festzulegen. Dabei soll das Berechnungsverfahren möglichst einfach aufgebaut sein sowie geeignete Grenz- und Richtwerte enthalten.

Gerade das Thema Luftqualität ist in der EN 16798 nicht vollumfänglich beschrieben. Eine einfache Definition des Begriffs „Schadstoff“ stellt eine Herausforderung dar, denn die Einschätzung der Wirkung einzelner Stoffe auf die menschliche Gesundheit kann nicht ohne Kenntnisse über medizinische Aspekte, wie Expositionszeiten (Kurzzeit- vs. Langzeitwirkung) oder den Einfluss der Konzentration des Stoffes in der Luft getroffen werden [59]. Eine gängige

Methode in der Gebäudetechnik ist es, den Außenluftvolumenstrom hinsichtlich eines CO₂-Grenzwerts (bei Wohngebäuden auch Feuchte-Grenzwert) als Leitindikator auszulegen [8]. Hierfür wird anhand der sich im Raum befindlichen CO₂-Quellen und den Luftvolumenströmen in oder aus der Gebäudeeinheit eine CO₂-Bilanz gebildet und der geltende CO₂-Grenzwert als Auslegungsgröße festgelegt. Da dieses Verfahren aufwendig ist, werden häufig personen- oder flächenbezogene Standardwerte für den Mindestaußenluftvolumenstrom definiert, die je nach (nationalem) Auslegungsverfahren zu einem gesamten Auslegungsvolumenstrom für einen bestimmten Typraum oder allgemein für ein Gebäude führen.

In dieser Studie sollen die je nach europäischem Land unterschiedlichen Empfehlungen für pauschale, personen- oder flächenbezogene Außenluftvolumenströme, sowie Berechnungs- und Auslegungsverfahren recherchiert und darauffolgend verglichen werden. Der Vergleich der einzelnen Herangehensweisen erfolgt anhand bilanzieller Berechnungen, mithilfe derer die sich für die jeweiligen Vorgaben einstellende CO₂-Konzentration und Raumfeuchte bestimmt werden. Die Randbedingungen der Berechnungen werden durch in Kapitel 3.2.1 definierte Typräume und Außenluftszenerarien festgelegt. Damit lassen sich die jeweiligen nationalen Vorgaben hinsichtlich des Mindestaußenluftvolumenstroms für NWG vergleichen.

Hierzu werden die in Tabelle 1-1 dargestellten Arbeitspakete bearbeitet. Es soll abgeschätzt werden, ob sich ein vorgegebener konstanter personenbezogener Mindestaußenluftvolumenstrom in Nichtwohngebäuden für die Erreichung akzeptabler Raumlufthqualität eignet.

Tabelle 1-1: Übersicht der Arbeitspakete

AP#	Beschreibung des AP	Kapitel
AP 1	Festlegung des Untersuchungsgegenstands	
1.1	Festlegung der relevanten Gebäude-/Nutzungstypen (z.B. Büro-/ Verwaltungsgebäude, Lehrstätten und Versammlungshallen)	3.2
	Zusammenstellung relevanter Anforderungen (Zielvorgaben zur CO ₂ -Konzentration, Mindestaußenluftströme etc.)	2.1 & 2.2
	Darstellung des Vorgehens zur Ermittlung der Mindestanforderungen in Deutschland als Referenz	4.1.3
1.2	Recherche mit geringer Detaillierung hinsichtlich der Lüftungstechnischen Vorgaben in den EU-27-Staaten	4
	Ableitung repräsentativer Staaten für die weitere detaillierte Untersuchung auf Basis der Rechercheergebnisse	5.1
AP 2	Datenrecherche und Zusammenführen der Informationen	
2.1	Datenrecherche mit hoher Detaillierung für die in 1.2 festgelegten repräsentativen Staaten	4
	Darstellung der jeweiligen Anforderungen und des Vorgehens zur Ermittlung der Mindestaußenluftvolumenströme	
	Darstellung der Mindestaußenluftvolumenströme (ggf. abhängig von Personen und Gebäudeflächen) in Nichtwohngebäuden für die in 1.1 definierten relevanten Nutzungen (sofern Daten im jeweiligen Staat verfügbar)	
2.2	Auswertung der länderspezifischen Informationen hinsichtlich Zielvorgaben und Vorgehensweisen bei der Ermittlung	4
	Zusammenführen der Einzelinformationen in eine Übersichtsmatrix und Gegenüberstellen der Vorgehensweise bzw. Anforderungen	
2.3	Aufstellung bilanzieller Berechnungen des stofflichen Haushalts (CO ₂ und Wasserdampf) für die unterschiedlichen Raumnutzungen	5.4
	Einordnung der in 2.2 zusammengeführten Zielvorgaben anhand der Raumbilanzen und Bewertung in der Übersichtsmatrix	6
AP 3	Ableitung von Handlungsempfehlungen für Deutschland	
3.1	Bewertung des Vorgehens in Deutschland im internationalen Vergleich	6.5
	Ableitung eines Vorgehens anhand des internationalen Vorgehens	6.6
	Abschätzung, ob ein konstanter personenbezogener Wert von z.B. 25 m ³ /h für den Außenluftstrom trotz verschiedener Nutzungen zielführend ist	

2 Grundlagen

2.1 Definition von Luftqualität in Innenräumen

Um das Raumklima inklusive der Luftqualität adäquat zu erfassen, sind eine Vielzahl von Parametern zu berücksichtigen. Neben Einflussgrößen auf die thermische Behaglichkeit, wie z.B. Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftgeschwindigkeit und Strahlungstemperatur, müssen auch luft-hygienische Kriterien bspw. maximal zulässige Schadstoffgrenzwerte berücksichtigt werden, da diese zusätzlich zum Wohlbefinden auch für die Gesundheit der Raumnutzer essentiell sind [8, 23, 48, 65]. Schadstoffe werden in der 39. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchV) als in der Luft vorhandene Stoffe definiert, die schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit oder die Umwelt insgesamt haben können [65]. Davon abzugrenzen sind Luftverunreinigungen, die innerhalb des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) als Veränderungen der natürlichen Zusammensetzung der Luft, insbesondere durch Rauch, Ruß, Staub, Gase, Aerosole, Dämpfe oder Geruchsstoffe bezeichnet werden [23]. Demnach sind durch Menschen freigesetzte Geruchsstoffe keine Schadstoffe im eigentlichen Sinne, sondern werden als Luftverunreinigung klassifiziert. Der Einfachheit wegen sollen die im Folgenden betrachteten Emissionen jedoch allgemein als Schadstoff bezeichnet werden.

Schadstoffe und ihre Emission können sowohl durch die Raumbelastung (nach [8] biologische Ausdünstungen z.B.: CO₂, Gerüche, etc.), durch den Raum selbst (Bausubstanz, Wandbeläge, etc.) als auch durch Mobiliar freigesetzt werden. Die übliche Methode zur Abfuhr dieser Schadstofflasten aus Räumen ist die Verdünnung und der Abtransport dieser Schadstoffe durch das Aufrechterhalten eines Mindestaußenluftwechsels. Dies kann maschinell durch eine Lüftungsanlage oder durch eine Fensterlüftung erreicht werden.

Neben Emissionen, die im Gebäudeinneren freigesetzt werden, können Emissionen auch aus der Außenluft ins Gebäudeinnere transportiert werden. In Lüftungsanlagen ist daher der Einbau von Filtersystemen nötig, im Falle der Fensterlüftung ist dies nicht möglich.

Ziel einer Belüftung ist es, im Rauminneren alle als schädlich definierten Stoffe unterhalb ihrer jeweiligen Grenzwerte zu halten. Dies soll unter möglichst geringem Energieaufwand erfolgen. Das bedeutet beispielsweise, dass Gebäude mit möglichst schadstoffarmen Baumaterialien gebaut werden sollten, anstatt im Betrieb den Luftwechsel zu erhöhen.

Wenn das Vermeiden der Schadstoff-Quellen (z.B. Emissionen durch Personenbelastung) nicht möglich ist, muss der Mindestaußenluftvolumenstrom so ausgelegt sein, dass alle bekannten Schadstoffe, für die ein Grenzwert definiert ist, so verdünnt und abtransportiert werden, dass die Konzentration des Schadstoffs im Raum unterhalb des entsprechenden Grenzwerts bleibt. Demnach muss die Auslegung des Mindestaußenluftvolumenstroms stets nach dem Schadstoff erfolgen, der am ehesten seinen entsprechenden Grenzwert übersteigt.

In Wohn- und Nichtwohngebäuden ohne weitere bekannte Schadstoffquellen wird der Außenluftvolumenstrom üblicherweise nach der CO₂-Konzentration ausgelegt [8, 44, 64]. Diese verhält sich proportional zur Personenanzahl, also der Anzahl an Schadstoff-Emissionsquellen. Es wird demnach die Annahme getroffen, dass sich alle Schadstoffkonzentrationen (deren

Emittenten die Personen sind) unterhalb der jeweiligen Grenzwerte befinden, sofern der definierte CO₂-Grenzwert nicht überschritten wird. Die CO₂-Konzentration wird hierbei als Indikator herangezogen, um indirekt die Raumluftqualität zu beurteilen.

Laut EN 16798 werden vier Kategorien für das Innenraumklima definiert, die ein unterschiedliches Maß an Erwartungen der Nutzer an ein Gebäude voraussetzen. Die Anforderungen an die thermische Behaglichkeit und die Innenraumluftqualität sind für Kategorie I am höchsten. Die einzelnen Kategorien sind in Tabelle 2-1 dargestellt. Kategorie II wird als Basis für die Auslegung von Räumen empfohlen.

Tabelle 2-1: Auszug aus EN 16798 zur Definition der Innenraumqualität

Kategorie	Maß an Erwartungen
IEQ I	Hoch
IEQ II	Mittel
IEQ III	Moderat
IEQ IV	Niedrig

2.1.1 CO₂-Grenzwert

CO₂ wird vom menschlichen Körper selbst freigesetzt und kommt natürlicherweise in der Erdatmosphäre in geringen Konzentrationen vor. Die CO₂-Konzentration in der Außenluft beträgt ca. 400 ppm [9].

In Deutschland werden vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales die Technischen Regeln für Gefahrstoffe herausgegeben. Diese legen maximale Konzentrationen von Gefahrstoffen in der Luft an Arbeitsplätzen fest. Der Arbeitsplatzgrenzwert für CO₂ liegt bei 5.000 ppm [5]. Vergiftungserscheinungen bei CO₂ sind unter anderem Kopfschmerzen, Schwindel und Reflexverlangsamung. Erstickungserscheinungen treten ab 100.000 ppm auf, bei noch höheren CO₂-Konzentrationen tritt vollständige Bewusstlosigkeit ein. [51]

Für die hygienische Bewertung der CO₂-Konzentration in Innenräumen wird seit über 150 Jahren die nach Max Pettenkofer benannte Pettenkofer-Zahl von 1.000 ppm verwendet [32].

Nationale CO₂-Grenzwerte in Europa

Die in nationalen Normen und den nationalen Anhängen der EN 16798 angegebenen Grenzwerte für die maximal zulässige CO₂-Konzentration in Innenräumen variieren teilweise deutlich. Beispielsweise definiert EN 16798 für Kategorie II des Innenraumklimas einen CO₂-Grenzwert von 800 ppm oberhalb der Außenluftkonzentration. Der nationale Anhang der deutschen Norm DIN EN 16798 dagegen legt für dieselbe Kategorie einen CO₂-Grenzwert von 550 ppm oberhalb der Außenluftkonzentration fest. Es werden für unterschiedliche Kategorien des Innenraumklimas, welche unterschiedliche Anforderungen an die Innenraumluftqualität stellen, unterschiedliche CO₂-Grenzwerte festgelegt. Bestimmte Raumnutzungstypen werden dann einzelnen Kategorien zugeordnet. Allerdings unterscheiden sich von Norm zu Norm die Raumnutzungstypen bzw. die dort vorgesehenen Aktivitäten, die den Kategorien zugeordnet sind. Die CO₂-Grenzwerte, die im Zuge dieser Studie aus den nationalen Normen, Normen-Anhängen und Gesetzen recherchiert werden, sind in Kapitel 4 aufgelistet und zusammenfassend dargestellt.

Energetisch betrachtet führt ein niedrigerer CO₂-Grenzwert zu einem höheren Lüftungsbedarf und damit zu einem höheren Energieaufwand für den Lufttransport und die Luftkonditionierung. Dementsprechend muss stets ein Kompromiss zwischen dem geforderten Raumzustand und dem mit sinkenden CO₂-Grenzwerten steigenden Energieaufwand angestrebt werden.

2.1.2 Feuchte-Grenzwerte

Die Luftfeuchte in definierten Grenzen zu halten, hat verschiedene Gründe. Zum einen beeinflusst die relative Luftfeuchte zusammen mit der Lufttemperatur die subjektive Bewertung der Luftqualität und der thermischen Behaglichkeit der Menschen [8]. Zum anderen kann eine zu hohe Feuchte zu Schimmelbildung im Gebäude führen.

Ist eine Be- bzw. Entfeuchtung notwendig, sollte ein gewisser Bereich der Luftfeuchte eingehalten werden. Als Grenzen werden in der Norm sowohl relative, als auch absolute Werte angegeben. Generell wird empfohlen, die absolute Luftfeuchte auf 12 g/kg zu begrenzen. Die in EN 16798 vorgeschlagenen Grenzwerte für die relative Feuchte sind in Tabelle 2-2 dargestellt.

Tabelle 2-2: Empfohlene Auslegungskriterien für die relative Luftfeuchte in Räumen, wenn Be- oder Entfeuchtungsanlagen eingebaut sind, nach EN 16798 Anhang B [8]

Gebäude-/Raumtyp	Kategorie	Auslegungswert der relativen Luftfeuchte für Be- feuchtung in %	Auslegungswert der relativen Luftfeuchte für Ent- feuchtung in %
Räume, deren Feuchtekriterien durch menschliche Nutzung bestimmt werden. Spezielle Räume (Museen, Kirchen usw.) können andere Grenzwerte erfordern.	I	30	50
	II	25	60
	III	20	70

2.1.3 Grenzwerte für Luftschadstoffe

Sind weitere Emissionsquellen anderer Schadstoffe in einem Raum bekannt, kann der Außenluftvolumenstrom nach den für diese Schadstoffe festgelegten Grenzwerten dimensioniert werden. In DIN EN 16798-1 werden Richtwerte der WHO für Verunreinigungen der Raum- und Außenluft mit Schadstoffen gegeben. Diese sind in Anhang 1 dieser Studie in Tabellenform dargestellt. Diese Leitwerte dürfen als Bezugswerte für die Raumluftqualität angesehen werden, wenn keine anderen Richtlinien oder nationalen Bestimmungen existieren [8]. Nationale Bestimmungen zu Grenzwerten von Luftschadstoffen in NWG, sofern vorhanden, werden explizit für die betrachteten Länder in Kapitel 4 präsentiert.

2.2 Standardauslegungskriterien in DIN EN 16798 für die Lüftung von NWG

2.2.1 Auslegung nach Luftqualität

DIN EN 16798 behandelt die energetische Bewertung sowie die Belüftung von Gebäuden. Teil 1 enthält „Eingangsparameter für das Innenraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Raumlufthqualität, Temperatur, Licht und Akustik“ [8].

Damit regeln diese Norm und ihre jeweiligen Nationalen Anhänge sowohl energetische, die thermische Behaglichkeit betreffende als auch gesundheitliche Aspekte der Gebäudenutzung in Europa.

Neben dieser europäischen Norm können Länder eigene Normen (u.U. in Bezugnahme auf EN 16798) erarbeiten und/oder in den nationalen Anhängen zur europäischen Norm abweichende Verfahren oder Werte definieren.

Zur Berechnung des Außenluftvolumenstroms schlägt die europäische Norm drei mögliche Berechnungsverfahren vor, die im Folgenden erläutert werden. Dabei erfolgt kein Hinweis, welches Verfahren für welchen Gebäudetyp angewendet werden soll. Allerdings ist zu beachten, dass aus gesundheitlichen Gründen während der Nutzung ein Mindest-Außenluftvolumenstrom von $4 \frac{l}{s}$ je Person und die in Anhang 1 angegebenen Schadstoffgrenzwerte der WHO eingehalten werden.

1. Verfahren auf der Grundlage der wahrgenommenen Luftqualität

Als „wahrgenommene Luftqualität“ sind die in Tabelle 2-1 definierten Erwartungen der Gebäudenutzer zu verstehen. Für das Berechnungsverfahren wird der erforderliche Außenluftstrom für Personen und für das Gebäude mittels Gleichung (2-1) bestimmt:

$$q_{tot} = n \cdot q_p + A_R \cdot q_B \quad (2-1)$$

q_{tot}	Gesamt-Außenluftvolumenstrom für den Atembereich, in $\frac{l}{s}$
n	Auslegungswert für die Anzahl von Personen im Raum
q_p	Außenluftvolumenstrom für die Nutzung je Person, in $\frac{l}{s \cdot Person}$
A_R	Fußbodenfläche, in m^2
q_B	Außenluftvolumenstrom für Gebäudeemissionen, in $\frac{l}{s \cdot m^2}$

Dieses Verfahren gilt unter der Voraussetzung, dass die Konzentrationen der im Raum identifizierten, gesundheitlich kritischen Schadstoffquellen unterhalb der geltenden Grenzwerte (in EN 16798 Kapitel 6.3.2.3) bleiben.

Die Standardwerte gelten für unangepasste Personen¹ im Gebäude. Die Standardwerte, die die Norm vorschlägt, sind in Tabelle 2-3 und Tabelle 2-4 dargestellt. Für jede Kategorie des Innenraumklimas werden unterschiedliche personenbezogene und flächenbezogene

¹ Unangepasste Personen sind solche, bei denen die „sensorische Anpassung an die wahrgenommene Luftqualität (Gerüche), die während der ersten 15 Minuten der Einwirkung von biologischen Ausdünstungen eintritt“ [8], noch nicht abgeschlossen ist.

Luftvolumenströme zugeordnet. Sind die Erwartungen an das Innenraumklima höher, werden dementsprechend höhere Werte für den Luftvolumenstrom veranschlagt.

Tabelle 2-3: Empfohlene personenbezogene Werte nach Tabelle B.3. aus EN 16798 [8]

Kategorie	Vorausgesagter Prozentsatz Unzufriedener (PPD)	Luftvolumenstrom je unangepasster Person in $\frac{l}{s}$
I	15	10
II	20	7
III	30	4
IV	40	2,5

Neben den empfohlenen personenbezogenen Werten werden auch flächenbezogene Empfehlungen ausgesprochen.

Tabelle 2-4: Flächenbezogene Empfehlung für Gebäudeemissionen nach Tabelle B.8 aus EN 16798 [8]

Kategorie	Sehr schadstoffarmes Gebäude	Schadstoffarmes Gebäude	Nicht schadstoffarmes Gebäude
	$\frac{l}{s \cdot m^2}$	$\frac{l}{s \cdot m^2}$	$\frac{l}{s \cdot m^2}$
I	0,5	1,0	2,0
II	0,35	0,7	1,4
III	0,2	0,4	0,8
IV	0,15	0,3	0,6

2. Verfahren unter Einhaltung von Grenzwerten der Stoffkonzentration

Hierbei wird anhand der Massenbilanz für Stoffkonzentrationen und dem entsprechenden Auslegungsgrenzwert der nötige Außenluftvolumenstrom bestimmt.

Diese Berechnung wird mit folgender Gleichung durchgeführt:

$$Q_h = \frac{G_h}{C_{h,i} - C_{h,o}} \cdot \frac{1}{\varepsilon_v} \quad (2-2)$$

Q_h	Für die Einhaltung des Grenzwertes erforderlicher Außenluftvolumenstrom, in $\frac{m^3}{s}$
G_h	Emissionen des Stoffs, in $\frac{\mu g}{s}$
$C_{h,i}$	Grenzwert für den Stoff, in $\frac{\mu g}{s}$
$C_{h,o}$	Konzentration des Stoffs in der Zuluft, in $\frac{\mu g}{s}$
ε_v	Lüftungseffektivität

Wenn CO₂ als Leitgas für die menschliche Belegung (z.B. wenn keine anderen signifikanten Schadstoffquellen identifiziert werden) verwendet wird, werden in EN 16798 Standardauslegungswerte definiert, welche in Tabelle 2-5 dargestellt sind.

Tabelle 2-5: Standardauslegungswerte für die CO₂-Konzentration nach Tabelle B.9 aus EN 16798 [8]

Kategorie	Entsprechende CO ₂ -Konzentration oberhalb der Konzentration der Außenluft in ppm, für unangepasste Personen
I	550 (10)
II	800 (7)
III	1.350 (4)
IV	1.350 (4)
1. CO ₂ -Konzentration in der Außenluft kann üblicherweise mit 400 ppm angenommen werden 2. Annahme von Standard-CO ₂ -Emission von 20 l/h je Person 3. In Klammern sind die entsprechenden Volumenströme je Person ergänzt (4 l/s als Minimum)	

3. Verfahren auf der Grundlage vorgegebener Außenluftvolumenströme

Bei diesem Verfahren werden Mindest-Außenluftvolumenströme vorgegeben, „die die Anforderungen für die wahrgenommene Luftqualität als auch für die Gesundheit im Aufenthaltsbereich erfüllen“ [8].

Dabei können laut DIN EN 16798 folgende Auslegungswerte vorgegeben werden [8]:

1. Auslegungswert des Gesamt-Außenluftvolumenstromes für Personen und Gebäudeteile (q_{tot})
2. Auslegungswert des Außenluftvolumenstroms je Einheit der Fußbodenfläche (q_{m^2})
3. Auslegungswert des Außenluftvolumenstroms je Person (q_p)
4. Auslegungswerte des Luftwechsels (ACH)
5. Auslegungsluftvolumenströme in Abhängigkeit vom Raum- und Gebäudetyp (q_{room})

In DIN EN 16798 wird die Auslegung eines Einzelbüros nach Verfahren 3 als Beispiel gegeben. In diesem Beispiel wird außerdem spezifiziert, dass bei Angabe mehrerer Auslegungswerte (aus obiger Liste) jener verwendet werden soll, der zum höheren Außenluftvolumenstrom führt. In dem Beispiel für das Einzelbüro sind die Werte so gewählt, dass dieselben Werte wie nach Verfahren 1 errechnet werden. Für weitere Beispiele wird auf FprCEN/TR 16798-2 verwiesen. Dieses Dokument liegt für diese Studie jedoch nicht vor. In der Norm werden keine weiteren Werte für Verfahren 3 angegeben [8].

Ein Berechnungsverfahren, bei dem mehrere Werte addiert werden, um den Gesamtaußenluftvolumenstrom zu erhalten, wird in dieser Studie als additives Verfahren bezeichnet. Ein Beispiel dafür ist das Verfahren auf Grundlage der wahrgenommenen Luftqualität (Verfahren 1) in EN 16798, denn es werden personenbezogene und flächenbezogene Volumenströme addiert. Bei dem Verfahren auf Grundlage vorgegebener Luftvolumenströme (Verfahren 2) dagegen wird verglichen, welche der definierten Anforderungen zum maximalen Außenluftvolumenstrom führt. Sind beispielsweise jeweils eine Anforderung an den personenbezogenen und den flächenbezogenen Mindestaußenluftvolumenstrom vorhanden, wird nach derjenigen ausgelegt, die zu einem höheren Außenluftvolumenstrom führt. Ein solches Verfahren wird in dieser Studie Maximalwertverfahren genannt. Wird lediglich eine einzige Anforderung wie beispielsweise ein personenbezogener Außenluftvolumenstrom spezifiziert ohne weitere Bedingungen, wird dies als Pauschalwertverfahren beschrieben.

2.2.2 Auslegung nach Heiz- und Kühllasten sowie Be- und Entfeuchtung

Werden mit der Zuluft thermische Lasten abgeführt, kann der Außenluftvolumenstrom nach der Heiz- bzw. Kühllast ausgelegt werden. Wird der Luftvolumenstrom aus diesem Grund deutlich größer als für die Raumluftqualität erforderlich, könnte eine Alternativlösung zur Abfuhr thermischer Lasten, wie z.B. Raumheiz- oder Raumkühleinrichtungen, energieeffizienter sein.

Der erforderliche Luftvolumenstrom für Heizen oder Kühlen wird laut EN 16798-3 nach Gleichung (2-3) bestimmt:

$$Q_v = \frac{\Phi}{\rho \cdot c_p \cdot (|\theta_{a,IDA} - \theta_{SUP}|)} \quad (2-3)$$

Q_v	Zuluftvolumenstrom, in $\frac{m^3}{s}$
Φ	thermische Last, in W
ρ	Luftdichte, in $\frac{kg}{m^3}$
c_p	Wärmekapazität der Luft, in $\frac{J}{kg \cdot K}$
$\theta_{a,IDA}$	Temperatur der Raumluft, in °C
θ_{SUP}	Temperatur der Zuluft, in °C

Die Werte für die Dichte und Wärmekapazität sind abhängig der Lufttemperatur einzusetzen. Der erforderliche Luftvolumenstrom für Be- oder Entfeuchtung wird laut EN 16798-3 nach Gleichung (2-4) bestimmt:

$$Q_v = \frac{\dot{m}_h \cdot v_{SUP}}{x_{IDA} - x_{SUP}} \quad (2-4)$$

Q_v	Zuluftvolumenstrom, in $\frac{m^3}{s}$
\dot{m}_h	Be- oder Entfeuchtelast, in $\frac{kg}{s}$
v_{SUP}	Spezifisches Volumen der Zuluft, in $\frac{m^3}{kg}$ Trockenluft
x_{IDA}	Spezifische Feuchte der Raumluft, in $\frac{kg}{kg}$ Trockenluft
x_{SUP}	Spezifische Feuchte der Zuluft, in $\frac{kg}{kg}$ Trockenluft

2.3 Bilanzrechnungen für CO₂ und Feuchte

Um die in dieser Studie recherchierten Außenluftvolumenströme und deren Auswirkung auf den Raumluftzustand einordnen zu können, werden für ausgewählte Länder, bei denen die Datenlage als hinreichend eingeschätzt wird, Bilanzrechnungen für CO₂ und die Raumfeuchte durchgeführt. Als Randbedingungen dienen vier verschiedene Typräume und je drei klimatische Bedingungen. Die Randbedingungen und Annahmen der Berechnungen werden in Kapitel 3.2 im Detail erläutert.

2.3.1 CO₂-Bilanz

In diesem Kapitel soll das Vorgehen bei der stationären und instationären Berechnung der CO₂-Bilanz erläutert werden. Dabei wird jeweils über den Außenluftvolumenstrom, den Abluftvolumenstrom und die internen CO₂-Quellen (Personen) bilanziert, wie in Abbildung 2-1 dargestellt.

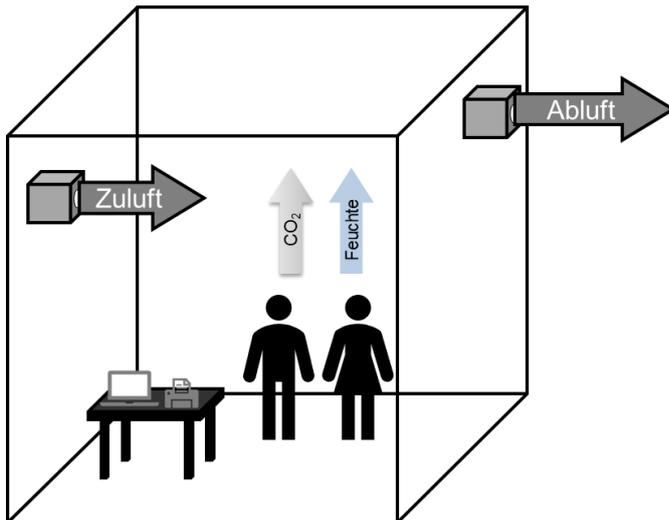


Abbildung 2-1: Stationäre Berechnung der CO₂-Konzentration

Stationäre CO₂-Bilanz

Bei der stationären Betrachtung wird eine sich nach einer gewissen Zeit einstellende Gleichgewichtskonzentration bestimmt. Der zeitliche Verlauf der CO₂-Konzentration spielt dabei keine Rolle. Die stationäre Gleichgewichtskonzentration eines Raumes berechnet sich wie folgt:

$$c_{RA} = \frac{\sum \dot{n}_{CO_2,Q}}{\dot{n}_{Au} \cdot \varepsilon_V} \cdot 10^6 \text{ ppm} + c_{Au} \quad (2-5)$$

c_{RA}	stationäre CO ₂ -Konzentration im Raum in ppm
$\dot{n}_{CO_2,Q}$	Stoffstrom CO ₂ aus Quellen im Raum in $\frac{mol}{s}$
\dot{n}_{Au}	Außenluft-Stoffstrom in $\frac{mol}{s}$
c_{Au}	CO ₂ -Konzentration in der Außenluft in ppm
ε_V	Lüftungseffektivität

Instationäre CO₂-Bilanz

Bei der instationären Betrachtung wird die zeitliche Veränderung der CO₂-Konzentration berücksichtigt. Anders als bei der stationären Betrachtung, aus der eine Gleichgewichtskonzentration berechnet wird, resultiert bei der instationären Betrachtung ein zeitlicher Verlauf der CO₂-Konzentration in einem Raum. Dieser berechnet sich aus folgender Gleichung nach VDI 6040 [11]:

$$c_{Ra}(t) = c_{Au} + \frac{N \cdot \dot{V}_{m,CO_2}}{\dot{V}_{Au}} \cdot 10^{-6} - \left(\frac{N \cdot \dot{V}_{m,E}}{\dot{V}_{Au}} \cdot 10^{-6} \right) \cdot e^z; \quad (2-6)$$

$$z = \left(-\frac{\dot{V}_{Au}(t-t_0)}{V_R \cdot 3600} \right); \quad c_{Ra}(t_0) = c_{Au}$$

$c_{RA}(t)$	CO ₂ -Konzentration im Raum am Ende des betrachteten Zeitraums t in ppm
c_{Au}	CO ₂ -Konzentration in der Außenluft in ppm
N	Personenzahl
\dot{V}_{m,CO_2}	Personenbezogener CO ₂ -Volumenstrom, in $\frac{m^3}{h \cdot Person}$
\dot{V}_{Au}	Außenluftvolumenstrom, in $\frac{m^3}{h}$
V_R	Raumvolumen
t	Ende des betrachteten Zeitraums in s
t_0	Anfang des betrachteten Zeitraums in s

2.3.2 Feuchtebilanz

In der Praxis wird der Außenluftvolumenstrom in Nichtwohngebäude nach den Anforderungen an den CO₂-Grenzwert ausgelegt, da dieser gegenüber der Feuchte entscheidend ist. Dennoch bestehen Grenzwerte für die Feuchte, die in Innenräumen eingehalten werden sollten. Die Bilanzrechnung zur Kalkulation der sich einstellenden Raumlufffeuchte kann auf zwei Wegen erfolgen. Erstens kann die sich einstellende Innenraumfeuchte bei Belüftung mit dem erforderlichen Außenluftvolumenstrom ohne Be-/Entfeuchtung berechnet werden. Zweitens kann die Be- und Entfeuchtelast bestimmt werden, die zum Erreichen des minimalen oder maximalen Grenzwertes der Raumlufffeuchte nötig ist.

Berechnung ohne Entfeuchtung

Zur Berechnung ohne Entfeuchtung muss die relative Feuchte der einströmenden Außenluft auf die Raumtemperatur umgerechnet werden. Dazu wird die Feuchtelast addiert, die abhängig von den anwesenden Personen, ihrem Aktivitätsgrad, sich im Raum befindlichen Pflanzen usw. ist. Gerechnet wird dabei in absoluten Werten, die Einheit der Luftfeuchte ist also kg Wasser pro kg trockener Luft.

Berechnung mit Be-/Entfeuchtung

Zur Berechnung der Be-/Entfeuchtelast zum Erreichen des Sollwertes für die relative Luftfeuchte wird wie in Abbildung 2-2 gezeigt vorgegangen.

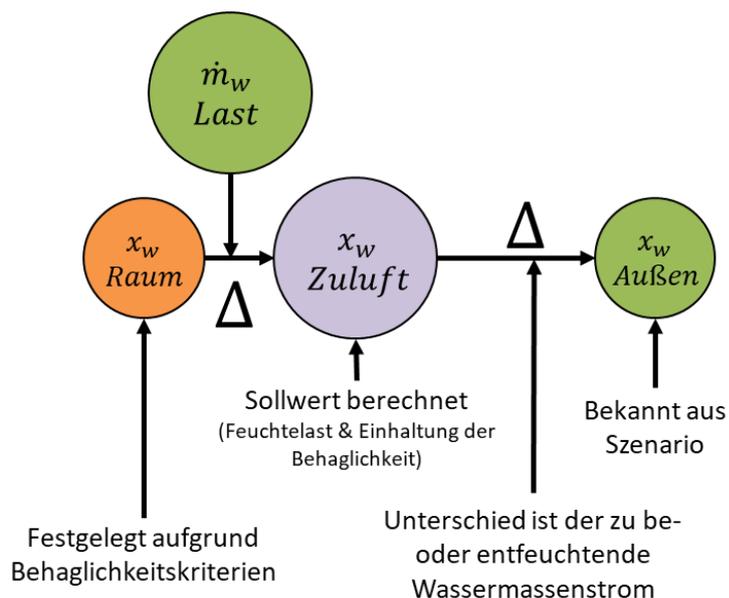


Abbildung 2-2: Bilanzierung über die nötige Ent-/Befeuchtung zum Erreichen der normativ geforderten Feuchte in Innenräumen

Entsprechend der Prinzipdarstellung in Abbildung 2-2 wird als Ausgangspunkt der Bilanzierung die Annahme getroffen, dass die Luftfeuchte im gesamten Raum homogen ist und der Auslegungswert der Norm erfüllt wird (DIN EN 16798: Befeuchtung: 30 % relative Luftfeuchte, Entfeuchtung: 60 % relative Luftfeuchte). Um die Feuchtelast aufnehmen zu können, muss die Zuluftfeuchte um eine bestimmte Differenz unter dem Auslegungswert nach der Norm liegen. Aus dem Unterschied zwischen Zuluftfeuchte und Außenluftfeuchte ergibt sich dann die nötige Be-/Entfeuchtelast, ausgedrückt durch den anfallenden Wassermassenstrom. Ein negativer Wert wird in diesem Kontext als erforderliche Befeuchtelast interpretiert.

2.3.3 Lüftungseffektivität

Die Lüftungseffektivität ist eine Kennzahl, die die Güte einer Raumbelüftung beschreibt. Je nach Anordnung der Luftdurchlässe im Raum und somit der Luftführung, stellt sich eine unterschiedliche Lüftungseffektivität ein. Je höher die Lüftungseffektivität, desto besser werden Schadstoffe aus der Anforderungszone des Raumes abtransportiert. Die Anforderungszone stellt dabei den Teil eines Raumes dar, in dem die Anforderungen an die thermische Behaglichkeit erfüllt sein müssen [64].

Die Lüftungseffektivität geht direkt in die Berechnung des Außenluftvolumenstroms eines Gebäudes bzw. Raumes und damit in die Bilanzrechnungen ein. Der nötige Außenluftvolumenstrom berechnet sich wie folgt [7]:

$$\dot{V}_{Au} = \frac{\dot{V}_{AZ}}{\varepsilon_v} \quad (2-7)$$

\dot{V}_{Au} Außenluftvolumenstrom, in $\frac{m^3}{s}$

\dot{V}_{AZ} Hygienisch erforderlicher Außenluftvolumenstrom der Anforderungszone, in $\frac{m^3}{s}$

ε_v Lüftungseffektivität

Für eine ideale Mischlüftung liegt die Lüftungseffektivität bei $\varepsilon_v = 1$. Für ein Quelllüftungssystem kann $\varepsilon_v > 1$ angenommen werden. Bei Kurzschlussströmungen in einem Raum resultiert $\varepsilon_v < 1$ [67]. Für die im Rahmen dieser Studie durchgeführten Berechnungen des Mindest-Außenluftvolumenstroms für NWG wird für alle Szenarien eine Lüftungseffektivität von $\varepsilon_v = 1$ angenommen.

3 Methodisches Vorgehen

In diesem Kapitel wird das Vorgehen beschrieben, mit dem die Literaturrecherche und der Vergleich der einzelnen Länder durchgeführt wird.

Dokumente, die nicht in deutscher, englischer oder französischer Sprache vorliegen, werden mittels eines auf neuronalen Netzen basierenden Onlinediensts für maschinelle Übersetzung ins Deutsche übersetzt.

3.1 Literaturrecherche

3.1.1 Primäre Literatur

Als primäre Literatur werden Gesetzestexte, nationale Verordnungen und offizielle nationale Normen bezeichnet. Sie zeichnen sich durch eine hohe Verlässlichkeit aus, insbesondere was die tatsächliche Anwendung und Umsetzung der Vorgaben in den jeweiligen nationalen Gebäudeauslegungen betrifft.

In Ausnahmefällen sind diese und ähnliche Dokumente im Internet frei zugänglich. In Gesetzestexten wird zum Teil ausschließlich ein Grenzwert für den Mindestaußenluftvolumenstrom genannt, aber nicht weiter auf die Berechnungsmethode oder das Vorgehen der Auslegung eingegangen. Ziel ist es in diesem Fall, die in den Ländern tatsächlich angewandten Normen zu identifizieren. Eine Herausforderung bei der Kategorisierung der vorliegenden Dokumente ist es, herauszufinden, ob die Vorgaben in einem Land rechtlich bindend oder lediglich als Hinweise zu verstehen sind. Außerdem kann nicht garantiert werden, dass die vorliegende Literatur vollständig ist bzw. alle Vorgaben und Hinweise eines Landes hinsichtlich der Auslegung von NWG abgedeckt werden.

3.1.2 Sekundäre Literatur

Sekundäre Literatur sind Unterlagen, die auf Normen und Gesetzestexten referenzieren, wie es bei Dissertationen oder Abschlussarbeiten, aber auch Studien oder Forschungsberichten der Fall ist.

Sofern diese aus belastbarer Quelle stammen und eindeutig auf entsprechende Normen, Gesetzestexte bzw. die darin beschriebenen Auslegungsverfahren verweisen, finden sie im Rahmen dieser Studie Anwendung. Diese Dokumente sind zum Großteil öffentlich im Internet verfügbar.

3.2 Relevante Gebäude- und Nutzungstypen

Für die Literaturrecherche wird zunächst nach nationalen Dokumenten, die sich mit Lüftungstechnik auseinandersetzen, gesucht. Insbesondere werden nationale Anhänge der EN 16798-1 recherchiert. Der Fokus der Recherche und insbesondere der Auswertung liegt auf Nichtwohngebäuden. Dabei werden Nichtwohngebäude mit besonderen Schadstoffquellen (industrielle Nutzung etc.) vernachlässigt, da für diese i.d.R. spezielle Verordnungen und Auslegungsverfahren vorgeschrieben sind. Beispielsweise sind in der chemischen Industrie schadstoffquellenspezifische Absaugungen vorgesehen.

In den untersuchten Dokumenten wird speziell nach Angaben zu den Typräumen Einzelbüro, Klassenzimmer, Theatersaal und Krankenzimmer gesucht, da diese Raumnutzungsformen sehr unterschiedliche Anforderungen an die Lüftungstechnik stellen und damit einen großen Anwendungsbereich abdecken. Die unterschiedlichen Raumgrößen, Deckenhöhen, Personenbelegungen, Belegungsdichten und Anforderungen an die Reinheit und die Raumnutzung der Typräume sollen es ermöglichen, Schwächen von Berechnungsverfahren oder Parameterwahl aufzudecken.

Dazu werden die im Zuge der Literaturrecherche erhobenen Daten und recherchierten Berechnungsverfahren auf diese vier Typräume angewandt und die stationäre CO₂- und Feuchtebilanz berechnet. Diese Bilanzierung wird wiederum für drei Szenarien (typischer Sommertag, feuchter bzw. schwüler Sommertag und typischer Wintertag) durchgeführt. Die Auswertung der Daten wird dann dafür verwendet, geeignete Verfahren zur Bestimmung des Mindestaußenluftvolumenstroms zu identifizieren.

3.2.1 Festlegung der Typräume

In diesem Abschnitt werden die vier betrachteten Typräume definiert. Eine Bewertung der Vorgehensweisen der einzelnen Länder hinsichtlich der Auslegung des Luftvolumenstroms in NWG kann nur anhand konkreter Randbedingungen durchgeführt werden. Die vier Typräume sind so ausgewählt, dass sie ein breites Spektrum an unterschiedlichen Anforderungen an die maschinelle Lüftung stellen.

Eine zu definierende Randbedingung ist der Aktivitätsgrad. Der Aktivitätsgrad beschreibt die Tätigkeit, die in dem jeweiligen Raum stattfindet. Für ein Klassenzimmer beispielsweise wird eine konzentriert sitzende Tätigkeit angenommen. Nach VDI 2078 wird der Aktivitätsgrad in vier Kategorien eingeteilt. Jedem Aktivitätsgrad sind bestimmte Gesamtwärmeabgaben und Feuchtigkeitsabgaben zugeordnet. Tabelle 3-1 spezifiziert die einzelnen Aktivitätsgrade.

Tabelle 3-1: Definition Aktivitätsgrad nach VDI 2078 [63]

	Beschreibung der Tätigkeit	Wärmeabgabe	Feuchteabgabe in $\frac{g}{h \cdot Person}$
Aktivitätsgrad I	Entspannt sitzend	$100 \frac{W}{Person}$	$\dot{m}_{Pers,W} = -86 + 5,4 \cdot \vartheta_{P,D}$
Aktivitätsgrad II	Sitzende Tätigkeit (Büro, Schule, Labor)	$125 \frac{W}{Person}$	$\dot{m}_{Pers,W} = -58 + 5,4 \cdot \vartheta_{P,D}$
Aktivitätsgrad III	Stehend, leichte Tätigkeit (Laden, Labor, Leichtindustrie)	$170 \frac{W}{Person}$	$\dot{m}_{Pers,W} = -18 + 5,8 \cdot \vartheta_{P,D}$
Aktivitätsgrad IV	Stehend, mittelschwere Tätigkeit (Laborgehilfe, Maschinenarbeit)	$210 \frac{W}{Person}$	$\dot{m}_{Pers,W} = -75 + 9,4 \cdot \vartheta_{P,D}$ wenn $\dot{m}_{Pers,W} < 35$, dann $\dot{m}_{Pers,W} = 35$

Die Annahmen für Raumgeometrie und Belegungsdichten sind für Klassenzimmer an folgende Quellen angelehnt: einem Bericht über Richtlinien zum Schulbau [1, 35] und der Zusammenstellung „Leitlinien für leistungsfähige Schulbauten in Deutschland“ [1, 35][1, 35]. Die Werte für

den Theatersaal entstammen einer Studie zu Theaterstätten in Deutschland [15] und beziffern den bundesweiten Durchschnitt aus 132 ausgewerteten Gebäuden. Tabelle 3-2 zeigt die Annahmen und Randbedingungen für die einzelnen Typräume.

Tabelle 3-2: Eigenschaften und Randbedingungen der Typräume

Phys. Größe	Einzelbüro	Klassenzimmer	Theatersaal	Patientenzimmer
Fläche A	10 m ²	60 m ²	700 m ²	16 m ²
Höhe H	3 m	3 m	15 m	3 m
Anzahl Personen	1	30	637	2
Belegungsdichte	0,1 Personen pro m ²	0,5 Personen pro m ²	0,91 Personen pro m ²	0,125 Personen pro m ²
Aktivitätsgrad (AG)	II	II	I	I
Anzahl Pflanzen (15 g/h Wasser)	1	5	0	1

3.2.2 Festlegung der Szenarien

Um den Einfluss unterschiedlicher Umgebungsbedingungen zu untersuchen, werden drei verschiedene Außenluftzustände definiert. Diese sind in Tabelle 3-3 dargestellt.

Die CO₂-Emissionen pro Person werden nach [48] für jeden Aktivitätsgrad bestimmt. Die Feuchte-Emission einer Person hängt ebenfalls vom Aktivitätsgrad und gleichzeitig von der Temperatur ab [63]. Die verwendeten Werte können Tabelle 3-3 entnommen werden.

Tabelle 3-3: Festlegung der Szenarien

Phys. Größen	Sommer (typisch)	Sommer (feucht)	Winter	Quelle
Außenbedingungen				
ϑ_{Au}	25 °C	30 °C	-5 °C	
φ_{Au}	60 %	70 %	80 %	
c_{CO2}	400 ppm	400 ppm	400 ppm	DIN EN 16798-1:2022-03 Tabelle NA.9
Raumluft				
ϑ_{Ra}	26 °C	26 °C	19 °C	DIN EN 16798-1:2022-03 Tabelle NA.3, Raumtemperatur: Winter I bis IV: 21 bis 18 °C. Sommer: 25,5 bis 28 °C
φ_{Ra} Auslegungswert Entfeuchtung Kategorie II	60 %	60 %	60 %	DIN EN 16798-1:2022-03 Tabelle NA.10, Entfeuchtung: Kategorie I: 50% Kategorie II: 60% Kategorie III: 70 %
φ_{Ra} Auslegungswert Befeuchtung Kategorie II	30 %	30 %	30 %	

Person				
CO_2 -Abgabe Person	I/(h*Pers) AG I: 17 AG II: 20,4 AG III: 27,2 AG IV: 47,6	I/(h*Pers) AG I: 17 AG II: 20,4 AG III: 27,2 AG IV: 47,6	I/(h*Pers) AG I: 17 AG II: 20,4 AG III: 27,2 AG IV: 47,6	DIN EN 16798-1:2022-03 Anhang B.3.1.3 Laut Rietschel, Grundlagen [48]: $\dot{V}_{CO_2} = 17 \cdot M, \text{ in } \frac{l}{h}$
Feuchteabgabe Person	g/(h*Pers) AG I: 54,4 AG II: 57,8 AG III: 93,6 AG IV: 118,6	g/(h*Pers) AG I: 54,4 AG II: 57,8 AG III: 93,6 AG IV: 118,6	g/(h*Pers) AG I: 35 AG II: 35 AG III: 64,9 AG IV: 72,4	VDI 2078-1, 2003-02 Je nach <u>Aktivitätsgrad (I bis IV)</u> hängt die Feuchteabgabe pro Person von der Temperatur ab.

3.3 Festlegung relevanter Größen und Kennwerte der Recherche

Bei der Literaturrecherche wird nach Dokumenten gesucht, die Informationen über folgende Größen und Kennwerte enthalten. Außerdem sollen die Dokumente den Status einer Norm, eines Gesetzes oder einer Verordnung haben.

Anforderungen an den Mindestaußenluftvolumenstrom für NWG

Es werden Standardwerte und Berechnungsverfahren für die Auslegung des Mindestaußenluftvolumenstroms für NWG gesucht. Dabei stehen standardisierte Werte für die zuvor definierten Typräume (angelehnt an Verfahren 3 der DIN EN 16798 (siehe Kapitel 2.2.1)) im Fokus.

Nationale CO_2 -Grenzwerte

Berechnungsverfahren und Auslegungswerte können nur im Kontext der geltenden Schadstoffgrenzwerte bewertet und ausgewertet werden. Daher müssen die nationalen Grenzwerte für CO_2 recherchiert werden. Dieser Wert kann dann mit dem Ergebnis der Bilanzrechnung verglichen werden.

Grenzwerte für andere Schadstoffe

Grenzwerte für weitere Schadstoffe außer CO_2 sind von Interesse, um einen internationalen Vergleich anzustellen. Die recherchierten Werte werden in der Auswertung mit den von der WHO empfohlenen Grenzwerten verglichen.

Richtlinien für Einrichtungen des Gesundheitswesens

Der Fokus der Recherche liegt auf Nichtwohngebäuden. Zunächst wird nicht weiter spezifiziert, welche Arten von NGW in Betracht gezogen werden, sondern Informationen zu allen Gebäudetypen gesammelt. Nichtwohngebäude mit höheren oder speziellen Anforderungen, wie beispielsweise Krankenhäuser, werden teilweise in zusätzlichen Normen thematisiert, die daher zusätzlich recherchiert werden. Beispielsweise sind in Deutschland Auslegungshinweise für die Belüftung von Gebäuden des Gesundheitswesens in DIN 1946-4 festgelegt.

3.4 Übersichtsmatrix Literaturrecherche und Datenlage

Tabelle 3-4 enthält eine Übersicht der dieser Studie zugrunde liegenden Literatur. Anhand der Tabelle kann abgelesen werden, wie gut die Qualität und der Umfang der Informationslage über die einzelnen Länder ist. Die Länder, die in der Spalte „Detailbetrachtung“ mit einem X

markiert sind, werden für die Bilanzrechnung ausgewählt, weil sie sich durch eine gute Datelage auszeichnen. Gleichzeitig nutzen diese Länder verschiedene Berechnungsverfahren sowie unterschiedliche Auslegungswerte und CO₂-Grenzwerte.

Tabelle 3-4: Übersicht über den Stand der Literaturrecherche

Länder	Literatur		Krankenhäuser	Detailbetrachtung	Infos zu weiteren Schadstoffgrenzwerten
	Primär	Sekundär			
Belgien	X	X			
Dänemark	X				
Estland	X		X	X	
Finnland	X		X	X	
Frankreich	X	X	X	X	
Griechenland	X		X		X
Großbritannien	X		X	X	X
Italien	X	X	X	X	X
Niederlande	X	X			
Norwegen		X		X	
Österreich	X				
Polen	X	X			
Portugal	X			X	X
Rumänien	X	X	X		
Schweden	X			X	
Schweiz	X		X		
Slowenien	X		X		X
Spanien	X	X	X	X	
Tschechien	X				
Ungarn	X			X	
Zypern	X				X
Deutschland	X		X	X	
EN 16798	X			X	

4 Vorgaben für die Belüftung von Nichtwohngebäuden in europäischen Ländern

4.1 Mindestaußenluftvolumenstrom

Im Folgenden werden die im Zuge der Literaturrecherche zusammengetragenen Dokumente für die aufgeführten Länder aufgezählt, in Kürze zusammengefasst und ausgewertet. Bei der Auswertung werden insbesondere die Qualität und Vollständigkeit der Literatur bewertet.

4.1.1	Belgien.....	20
4.1.2	Dänemark	23
4.1.3	Deutschland.....	24
4.1.4	Estland.....	27
4.1.5	Finnland	29
4.1.6	Frankreich.....	31
4.1.7	Griechenland.....	33
4.1.8	Großbritannien	35
4.1.9	Italien	38
4.1.10	Niederlande.....	41
4.1.11	Norwegen	43
4.1.12	Österreich	45
4.1.13	Polen.....	48
4.1.14	Portugal	50
4.1.15	Rumänien	53
4.1.16	Schweden	57
4.1.17	Schweiz	59
4.1.18	Slowenien	60
4.1.20	Tschechien	65
4.1.21	Ungarn.....	67
4.1.22	Zypern.....	69

4.1.1 Belgien

1. Literatur

Für Belgien liegen drei Dokumente vor, die sich mit der Belüftung von NWG befassen.

- a. Kodex der Praxis: "Luftqualität in Innenräumen am Arbeitsplatz"
- b. Energiedekret, Anhang X
- c. Guide-renovation.be: Quelles normes ventilation en Belgique en 2022

Kodex der Praxis: "Luftqualität in Innenräumen am Arbeitsplatz" [3]

Federale Overheidsdienst Werkgelegenheid, Arbeid en Sociaal Overleg (Kodex der Praxis: "Luftqualität in Innenräumen am Arbeitsplatz" vom föderalen öffentlichen Dienst; Beschäftigung, Arbeit und sozialer Dialog). Der königliche Erlass vom 2. Mai 2019 zur Änderung des Kodex über das Wohlbefinden am Arbeitsplatz in Bezug auf die Luftqualität in Innenräumen wurde im belgischen Staatsanzeiger vom 21. Mai 2019 veröffentlicht. Der Erlass trat am 31. Mai 2019 in Kraft.

Anmerkungen und Gültigkeitsbereich: *„Zweck dieses Leitfadens ist es, die Bestimmungen des Abschnitts "Belüftung" in Titel 1 "Grundlegende Anforderungen an Arbeitsstätten" des Kodex zum Wohlbefinden am Arbeitsplatz auszulegen und aufzuzeigen, wie sie in der Praxis umgesetzt werden können. [...] Neben den gesetzlichen Bestimmungen enthält die Richtlinie auch Empfehlungen aus Wissenschaft und Praxis.“* (Wörtliches Zitat aus obiger Quelle). Dieses Dokument beinhaltet vor allem Schadstoffgrenzwerte für die Außenluft.

Energiedekret, Anhang X [2]

Energiebesluit, bijlage X ventilatievoorzieningen in niet residentiële gebouwen Bepalingsmethode en eisen, Vlaanderen (Energiedekret Lüftung in Nichtwohngebäuden, Bestimmungsmethode und Anforderungen. Herausgegeben von einer flämischen Behörde, gültig für Bauanträge ab dem 1. Januar 2022).

Anmerkungen und Gültigkeitsbereich: *„Dieser Anhang gilt nur für Fälle, für die ab dem 1. Januar 2022 eine Meldung erfolgt oder ein Antrag auf eine Umweltgenehmigung für städtebauliche Maßnahmen gestellt wird. [...] Dieser Anhang enthält Mindestanforderungen für die Planung und Ausführung von Lüftungsanlagen zur Erreichung einer gesunden und angenehmen Luftqualität in Nichtwohngebäuden, die für den menschlichen Gebrauch bestimmt sind. Diese Bestimmungsmethode deckt weder den Einsatz dieser Lüftungssysteme ab, noch garantiert sie, dass die gewünschte Luftqualität immer und überall erreicht wird. [...] Dieser Anhang gilt für Nichtwohngebäude oder Teile davon, die für den Aufenthalt von Menschen bestimmt sind. [...] Die Belüftung von Sonderräumen (siehe Abschnitt 6.4) fällt nicht in den Anwendungsbereich dieses Anhangs.“* (Wörtliches Zitat aus obiger Quelle). Unter den in Abschnitt 6.4 genannten Sonderräumen sind auch medizinische Laboratorien; Krankenhäuser oder Behandlungszimmer werden in der Aufzählung nicht explizit erwähnt.

In diesem Dokument wird auf folgende belgische Normen referenziert, die für diese Studie nicht vorliegen und darum in der Auswertung nicht berücksichtigt werden können:

- NBN EN 12792:2003 *Lüftung von Gebäuden - Symbole und Terminologie*
- NBN EN 12599:2000 *Lüftung von Gebäuden - Prüfverfahren und Messverfahren für die Abnahme von installierten Lüftungs- und Klimatisierungssystemen*

- NBN EN 13779:2004 *Lüftung von Nichtwohngebäuden - Leistungsanforderungen an Lüftungs- und Klimatisierungssysteme*
- NBN EN 13141-1:2004 *Lüftung in Gebäuden - Leistungsprüfung von Bauteilen/Produkten für die Lüftung in Wohnräumen - Teil 1: Innen- und Außenluftdurchlässe*
- NBN EN 13141-2:2004 *Raumklimatisierung von Gebäuden - Leistungsprüfung von Bauteilen/Produkten für die Raumklimatisierung von Gebäuden - Teil 2: Zu- und Abluftgitter*
- NBN EN 1027:2000 *Fenster und Türen - Wasserdichtheit – Prüfverfahren*
- NBN EN 13829:2001 *Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden – Überdruckverfahren*

Guide-renovation.be: Quelles normes ventilation en Belgique en 2022 [4]

Welche Normen gelten 2022 in Belgien, Webseite guide-renovation.be.

Anmerkungen und Gültigkeitsbereich: „Die PEB-Regelungen (Energieeffizienz von Gebäuden), die sich auf die Norm NBN EN 1377 für den Nichtwohnbereich stützen, unterscheiden verschiedene Arten von Räumen: Räume mit menschlicher Interaktion (die Anwesenheit und die körperliche Aktivität von Personen ist hoch): Büros, Besprechungsräume, Unterrichtsräume.... Die "Transfer"-Räume: Archivräume, Flure, Toiletten..., Spezialräume wie Heizräume, Labore, "Reinräume", die nicht direkt von dieser Norm betroffen sind. Sie hängen von spezifischeren Richtlinien ab.“ (wörtliches Zitat aus obiger Quelle).

2. Einordnung der Literatur

Die Datenlage wird insgesamt als ungenügend, allerdings als ausreichend, um eine grobe Einschätzung der Anforderungen vorzunehmen, angesehen. Anhang X des Energiedekrets verweist auf nationale Normen, auf die nicht öffentlich zugegriffen werden kann. Dieser Umstand schränkt die Aussagekraft der erhobenen Daten für das Land Belgien ein.

3. Ergebnis der Recherche

Nach der vorliegenden Literatur zu urteilen, wird in Belgien der Außenluftvolumenstrom für NWG nach Tabelle 11 der Norm NBN EN 13779 ausgelegt. Diese wurde durch die NBN EN 16798-3:2017 ersetzt. Die Norm liegt nicht vor, die Zusammenfassung der oben genannten Webseite zeigt jedoch inhaltliche Nähe zur europäischen Norm EN 13779.

Demnach werden Räume nach vier ETA (Extract Air) Kategorien eingeteilt. Den ETA-Kategorien werden beispielhaft Typräume zugeordnet. Auffallend ist, dass sich die empfohlenen Mindestaußenluftvolumenströme für alle vier ETA-Kategorien nicht unterscheiden. Es werden jeweils $22 \frac{m^3}{h}$ pro Person in Aufenthaltsräumen empfohlen oder, für den Fall, dass Rauchen erlaubt ist, $43 \frac{m^3}{h}$ pro Person.

Es existieren personen- und flächenbezogene Angaben, je nachdem, ob es sich um einen Aufenthaltsraum handelt oder nicht. Auch die flächenbezogenen Außenluftvolumenströme unterscheiden sich nicht zwischen den vier ETA-Kategorien und belaufen sich auf $1,3 \frac{m^3}{h \cdot m^2}$.

Entsprechend dieser Informationen wird für alle Typräume ein Wert von $22 \frac{m^3}{h}$ pro Person angenommen, da es sich bei den einzelnen Typräumen um Aufenthaltsräume handelt, in denen nicht geraucht werden darf.

Im Kodex der Praxis zur Luftqualität in Innenräumen am Arbeitsplatz werden Richtwerte für die maximal zulässige CO₂-Konzentration genannt. Er schreibt vor, dass die CO₂-Konzentration „normalerweise“ unter 1.200 ppm liegen muss. Dieser Wert gilt für 95 % der Betriebszeit und unter der Annahme einer Außenluftkonzentration von 400 ppm.

Tabelle 4-1: Recherchierte Auslegungswerte für Belgien

	Anforderungen an Mindestaußenluftvolumenstrom	Berechnungsweise	Literatur
	$\frac{m^3}{h \cdot Person}$		
Einzelbüro	22	Pauschalwertverfahren	Guide-renovation.be
Klassenzimmer	22	Pauschalwertverfahren	
Theatersaal	22	Pauschalwertverfahren	
Patientenzimmer	Keine Information		

Für den CO₂-Grenzwert werden 1.200 ppm angesetzt.

4.1.2 Dänemark

1. Literatur

Für Dänemark liegt ein Dokument vor.

BR18 [6]

Bolig- og Planstyrelsen (Bauvorschriften der Behörde für Wohnungswesen und Planung).

Auf dieser Webseite sind dänische Gesetzesparagrafen veröffentlicht, die sich mit Bauvorhaben beschäftigen. Darin wird unter anderem auf die Lüftungstechnik eingegangen. Vorrangig geht es um Wohngebäude, allerdings wird in §446 auch auf Kindertagesstätten und Klassenräume eingegangen.

„Kindertagesstätten, Schulklassenräume und ähnliche Räume müssen mit einer Lüftungsanlage belüftet werden. Erfolgt die Belüftung durch ein maschinelles Belüftungssystem, so muss dieses sowohl Zu- als auch Abluft sowie eine Wärmerückgewinnung zum Vorwärmen der Zu- und Abluft umfassen. Wird ein anderes Lüftungssystem verwendet, so muss es die Anforderungen der Bauvorschriften in gleichwertiger Weise erfüllen können und außerdem sicherstellen, dass der Primärenergiebedarf nicht erhöht wird.

Absatz 2. In Kindertagesstätten und in Klassenräumen von Schulen und ähnlichen Einrichtungen, in denen Personen die Hauptverschmutzungsquelle darstellen, muss sichergestellt werden, dass der CO₂-Gehalt der Innenraumluft die Auslegungsbedingungen von 1.000 ppm nicht überschreitet.

Absatz 3. Bei einer bedarfsgesteuerten Lüftungsanlage kann bei geringerem Bedarf von den vorgegebenen Luftmengen abgewichen werden. Die Belüftung darf während der Nutzungszeit nicht weniger als $0,35 \frac{l}{s}$ pro m^2 Bodenfläche betragen.“ (Wörtliches Zitat aus obiger Quelle).

2. Einordnung der Literatur

Bei der einzigen vorliegenden Quelle handelt es sich um offizielle Bauvorschriften, also um Gesetzestexte und damit um eine belastbare Quelle. Die Werte für Außenluftvolumenströme, die direkt in den Gesetzestexten zu finden sind, stellen absolute Mindestgrenzen dar. Es ist fraglich, ob sie als Werte für die tatsächliche Auslegung herangezogen werden, da sie zu vergleichsweise sehr geringen Außenluftvolumenströmen führen. Das Dokument BR18 verweist unter anderem auf EN 16798-1. Ebenfalls wird auf nicht öffentlich zugängliche Dokumente wie z.B. DS 447 – Ventilation for buildings (Belüftung für Gebäude) verwiesen. Insgesamt wird die Datenlage als ungenügend bewertet, es kann im Rahmen dieser Arbeit keine fundierte Aussage über die Anforderungen an die Belüftung von NWG in Dänemark getroffen werden.

3. Ergebnis der Recherche

In vorliegendem Gesetzesdokument wird lediglich ein Wert von $0,35 \frac{l}{s \cdot m^2}$ als untere Grenze während der Nutzungszeit genannt. Die in §449 beschriebene einzige rechtlich bindende Anforderung ist, dass die Belüftung entsprechend der Raumgröße und der Nutzungsart dimensioniert werden muss.

4.1.3 Deutschland

1. Literatur

Für Deutschland werden folgende drei Dokumente betrachtet:

- a. DIN EN 16798
- b. VDI 6040
- c. DIN 1946-4

DIN EN 16798 [8]

Energetische Bewertung von Gebäuden – Lüftung von Gebäuden – Teil1: Eingangsparameter für das Innenraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik - Nationaler Anhang

Der nationale Anhang orientiert sich an der europäischen Vorlage. Daher werden hier nur entscheidende Unterschiede aufgelistet.

Die Werte für die Mindestaußenluftvolumenströme in Tabelle B.7 der europäischen Norm und die Tabelle NA.7 des Nationalen Anhangs sind identisch. Unterschiedlich sind hingegen die CO₂-Grenzwerte, die im nationalen Anhang der deutschen Norm strenger definiert sind als in der europäischen Norm. Die Werte aus Tabelle NA.7 sind in Tabelle 4-2 gezeigt.

Tabelle 4-2: CO₂-Grenzwerte in EN 16798 (europäisch und nationaler Anhang)

Kategorien	CO ₂ -Grenzwerte in ppm oberhalb der Außenluftkonzentration	
	Nationaler Anhang Deutschland	Europäische Norm
I	350	550
II	550	800
III	900	1.350
IV	1.350	1.350

Die Grenzwerte für die relative und absolute Feuchte unterscheiden sich ebenfalls. Die Grenzwerte des nationalen Anhangs und der EN 16798 sind in Tabelle 4-3 dargestellt.

Tabelle 4-3: Feuchte-Grenzwerte in EN 16798 (europäisch und nationaler Anhang)

Kategorie	Nationaler Anhang Deutschland		Europäische Norm	
	Relative Luftfeuchte in %			
	min	max	min	max
I	40	50	30	50
II	30	60	25	60
III	20	70	20	70
	Absolute Luftfeuchte max. 11,5 g/kg		Absolute Luftfeuchte max. 12 g/kg	

Für Nutzer mit besonderen Bedürfnissen kann ein höheres Maß an Erwartungen an die Innenraumqualität (IEQ, Indoor Environmental Quality) ausgewählt werden. Aus diesem Grund wird für den Typraum Patientenzimmer die höchste Kategorie IEQ_I angenommen, was einem CO₂-Grenzwert von 350 ppm oberhalb der Außenluftkonzentration entspricht.

VDI 6040 [11]

Raumluftechnik - Schulen - Anforderungen

Diese Richtlinie enthält Hinweise zur Planung und zum Betrieb von Lüftungsanlagen in Schulen. Sie beschreibt die freie Lüftung als auch die maschinelle Belüftung. Es wird erwähnt, dass die Planer und Betreiber in der Verantwortung stehen, eine optimale Lösung für den Einzelfall zu erarbeiten.

„Als kennzeichnenden physikalischen Parameter für die stoffliche Luftqualität wird die Kohlendioxidkonzentration (CO₂-Konzentration) angesetzt. Dieser Ansatz ist ausreichend, wenn die Schadstofffreisetzung primär durch die Nutzer erfolgt, also nicht durch Bau- und Einrichtungs-materialien. Damit wird hier ein schadstoffarmes Gebäude unterstellt (siehe EN 15251, Anhang C). Das Ziel ist erfüllt, wenn – während der Nutzungszeit des einzelnen Unterrichtsraums – in dessen Anforderungszone eine CO₂-Konzentration von 1.000 ppm nicht überschritten wird. Diese wird als lufthygienisch unbedenklich eingeschätzt. Werte der CO₂-Konzentration größer als 1.000 ppm und kleiner als 2.000 ppm sind als hygienisch bedenklich zu bewerten. Werte größer als 2.000 ppm gelten als nicht akzeptabel. Die Konzentrationen verstehen sich als zeitlich gewichtete durchschnittliche Konzentrationen über die Dauer einer Unterrichtsstunde (45 min). Dabei wird eine Außenluftkonzentration von 400 ppm CO₂ unterstellt.“ (wörtliches Zitat aus oben genannter Quelle).

DIN 1946-4 [10]

Raumluftechnische Anlagen in Gebäuden und Räumen des Gesundheitswesens

„Bei der Planung von RLT-Anlagen ist sicherzustellen, dass durch die Art und Lage der Außenluftansaugung die am wenigsten belastete Außenluft angesaugt wird und die Anforderungen der DIN EN 16798-3 eingehalten werden.“ (wörtliches Zitat aus obiger Quelle).

In der Norm werden Bereiche des Krankenhauses in 1a und 1b sowie 2 unterteilt. „Raumklasse 1a zeichnet sich durch einen Schutzbereich aus, der durch einen Turbulenzarme Verdrängungsströmung erzeugt wird. [...] Durch die Verdrängungsströmung werden partikuläre Belastungen (z.B. Mikroorganismen, [...]) innerhalb von 10 s aus dem Schutzbereich (z.B. Inhalationsbereich des Operateurs) entfernt bzw. in weniger als 1 min um mindestens das 1.000-Fache reduziert.“ (wörtliches Zitat aus obiger Quelle).

„Die Raumklasse 1b ist durch eine ungerichtete, turbulente Verdünnungsströmung mit einem Zuluftvolumenstrom $\geq 60 \frac{\text{m}^3}{\text{h} \cdot \text{m}^2}$ (etwa größer gleich einem 20-fachen Luftwechsel, $\frac{1}{h}$) definiert und weist keinen Schutzbereich auf.

Unter die Raumklasse 2 „fallen alle anderen Räume und Bereiche im Anwendungsbereich dieser Norm, die mechanisch be- und entlüftet werden und nicht der Raumklasse I zugeordnet werden.“ (wörtliches Zitat aus obiger Quelle).

In der Norm werden zahlreiche Auslegungshinweise für spezielle Räume wie z.B. OP-Räume gegeben, jedoch nicht für Patientenzimmer außerhalb der Isolierstation. Allerdings werden generelle Hinweise zur Auslegung von RLT-Anlagen gegeben, zum Beispiel, dass die Zuluft mindestens den Anforderungen ODA 1 nach DIN EN 16798-3 entsprechen muss.

2. Einordnung der Literatur

Um die Anforderungen an die Lüftung von NGW in Deutschland zusammenzutragen, liegen drei offizielle Normen vor. Die Qualität der Informationen ist also als gut einzustufen. Allerdings sind die in den jeweiligen Normen definierten Anforderungen nicht gesetzlich verpflichtend. Sie stellen lediglich Hinweise für die Planer dar.

3. Ergebnis der Recherche

Tabelle 4-4: Recherchierte Auslegungswerte für Deutschland

	Anforderungen an Mindestaußenluftvolumenstrom		Berechnungsweise	Literatur
	$\frac{l}{s \cdot Pers}$	$\frac{l}{s \cdot m^2}$		
Einzelbüro	7	0,7	Additives Verfahren	NA DIN EN 16798
Klassenzimmer	7	0,7	Additives Verfahren	NA DIN EN 16798
Theatersaal	7	0,7	Additives Verfahren	NA DIN EN 16798
Patientenzimmer		16,67	Pauschalwertverfahren	DIN 1946-4

Für den CO₂-Grenzwert wurden 550 ppm (Kategorie II) bzw. 350 ppm (Kategorie I) jeweils oberhalb der Außenluftkonzentration für das Patientenzimmer angesetzt.

4.1.4 Estland

1. Literatur

Für Estland liegen zwei Dokumente vor.

- a. Estnischer Anhang (EVS) EN 16798-1:2019
- b. Estnischer Standard EVS 906:2018 – Nationaler Anhang EVS-EN 16798-3:2017

Estnischer Anhang (EVS) EN 16798-1:2019 [13]

Das Vorgehen im nationalen Anhang Estlands der EN 16798 unterscheidet sich nicht maßgeblich von dem Hauptteil der europäischen Norm.

Es werden verschiedene Kategorien (I bis IV) definiert, die einen gewissen maximalen PPD fordern und diesen Kategorien werden wiederum Luftvolumenströme zugeordnet. Für Kategorie I $10 \frac{l}{s}$ pro Person, für Kategorie II $7 \frac{l}{s}$ pro Person und für Kategorie III $4 \frac{l}{s}$ pro Person. Kategorie IV bleibt ungenutzt. Entsprechend wird mit den Gebäudeschadstoffen verfahren. Hier erfolgt die Einteilung neben den Kategorien nach sehr schadstoffarmen Gebäuden (LPB1), schadstoffarmen Gebäuden (LPB 2) und nicht schadstoffarmen Gebäuden (LPB3). Entsprechend den Kategorien wird ein flächenbezogener Außenluftvolumenstrom vorgeschlagen, der in Tabelle 4-5 dargestellt ist.

Tabelle 4-5: Gebäudekategorien nach dem estnischen nationalen Anhang zu EN 16798-1

	LPB 1 in $\frac{l}{s \cdot m^2}$	LPB 2 in $\frac{l}{s \cdot m^2}$	LPB 3 in $\frac{l}{s \cdot m^2}$
Kategorie I	0,5	1	2
Kategorie II	0,35	0,7	1,4
Kategorie III	0,2	0,4	0,8
Kategorie IV			

Es wird im nationalen Anhang spezifiziert, dass Gebäude standardmäßig in die Kategorie LPB 2 einzuordnen sind. In Kategorie LPB 3 fallen Gebäude mit starken Verschmutzungsquellen z.B. durch Rauchen. Für eine Einstufung in Kategorie LPB 1 muss die Mehrzahl der Einrichtungsgegenstände nach nationalen oder internationalen Kriterien aus sehr schadstoffarmen Baumaterialien gefertigt sein.

Bezüglich der Berechnung des Gesamtaußenluftvolumenstroms wird auf Gleichung (2-1) verwiesen. Es wird also ein Additives Verfahren angewandt.

Für die jeweiligen Kategorien wird eine maximal zulässige CO₂-Konzentration oberhalb der Außenluftkonzentration definiert. Diese liegt für Kategorie I bei 550 ppm, für Kategorie II bei 800 ppm und für Kategorie III bei 1.350 ppm.

Die aus dem Hauptteil der europäischen Norm bekannten Auslegungsverfahren 1 und 3 (siehe Kapitel 2.2.1) besitzen in Estland Gültigkeit.

Estnischer Standard EVS 906:2018 – Nationaler Anhang EVS-EN 16798-3:2017 [14]

Mitteeluhoonete Ventilatsioon Üldnõuded ventilatsiooni- ja ruumiõhu konditsioneerimissüsteemidele Eesti rahvuslik lisa standardile EVS-EN 16798-3:2017 (Belüftung von Nichtwohngebäuden, Allgemeine Anforderungen an die Belüftung und Klimatisierung von Räumen Klimatisierungssysteme, Estnischer nationaler Anhang zu EVS-EN 16798-3:2017).

Zur Gültigkeit dieses estnischen Standards steht einleitend folgender Text:

„Die Ausarbeitung der Norm wurde vom technischen Komitee EVS/TK 27 ‚Heizung und Lüftung‘ vorgeschlagen, die Ausarbeitung der Norm wurde vom Estnischen Normungszentrum organisiert und vom Ministerium für Wirtschaft und Kommunikation finanziert.

Die Norm wurde von einer Arbeitsgruppe der Estnischen Gesellschaft der Heizungs- und Lüftungsingenieure ausgearbeitet und vom EVS/TK 27 genehmigt.

Diese Norm ergänzt die Norm EVS-EN 16798-3:2017 im Hinblick auf die estnischen Bedingungen, sowohl klimatisch als auch bautechnisch.“ (wörtliches Zitat aus oben genannter Quelle)

Besonders relevant, da spezifischer als EVS-EN 16798, ist Anhang A, in dem der Luftaustausch über personenbezogene und flächenbezogene Außenluftvolumenströme für eine Vielzahl verschiedener Räume definiert wird.

Diese speziell definierten Außenluftvolumenströme stehen demnach nicht im Widerspruch zu EVS-EN 16798, sondern stellen eine genauere Definition der Anforderungen dar.

Die Werte, die für die verschiedenen Raumnutzungsarten vorgeschlagen werden, sind in Anhang 2 zu finden. Für die folgenden Berechnungen werden die spezifischen Werte aus Anhang 2 für die jeweiligen Typräume verwendet. Diese werden jedoch stets mit denen aus der Berechnung nach dem estnischen Anhang der EN 16798-1 abgeglichen, welche nicht unterschritten werden dürfen.

2. Einordnung der Literatur

Die Literaturlage ist sehr gut, da die Dokumente offizielle Normen darstellen und die Angaben konsistent sind. Inwieweit die Vorgaben der estnischen Normen gesetzlich verankert sind, kann nicht abschließend geklärt werden.

3. Ergebnis der Recherche

Tabelle 4-6: Recherchierte Auslegungswerte für den Mindestaußenluftvolumenstrom in NWG für Estland

	Anforderungen an Mindestaußenluftvolumenstrom		Referenzwert, darf nicht unterschritten werden		Berechnungsweise
Literatur	EVS-EN 16798 2017		EVS-EN 16798 2019		Additives Verfahren
	$\frac{l}{s \cdot Pers}$	$\frac{l}{s \cdot m^2}$	$\frac{l}{s \cdot Pers}$	$\frac{l}{s \cdot m^2}$	
Einzelbüro	10	1,5	7	0,35	
Klassenzimmer	8	4	7	0,35	
Theatersaal	8	--	7	0,35	
Patientenzimmer	10	2	7	0,7	

Als maximal zulässige CO₂-Konzentration wird für die Auswertung des Einzelbüros, Klassenzimmers und Theatersaals ein Wert von 800 ppm oberhalb der Außenluftkonzentration angenommen, was Kategorie II nach EVS EN 16798-1:2019 entspricht. Für das Patientenzimmer wird ein CO₂-Grenzwert von 550 ppm oberhalb der Außenluftkonzentration angesetzt, was Kategorie I nach EVS EN 16798-1:2019 entspricht.

4.1.5 Finnland

1. Literatur

Für Finnland liegen zwei Dokumente vor.

- a. 1009/2017 Ympäristöministeriön asetus, Erlass des Umweltministeriums
- b. Opas ilmanvaihdon mitoituskeeseen muissa kuin asuinrakennuksissa

1009/2017 Ympäristöministeriön asetus, Erlass des Umweltministeriums [16]

Suomen Säädoskokoelma, Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta (Finnisches Rechtsgesetz, Verordnung des Umweltministeriums über das Innenraumklima und die Belüftung in neuen Gebäuden, veröffentlicht in Helsinki am 27. Dezember 2017).

Dieses Dokument stellt einen Gesetzestext dar. §9 thematisiert Außenluftvolumenströme wie folgt:

„Der Fachplaner muss die Lüftungsanlage so auslegen, dass der für eine gesunde, sichere und behagliche Raumluftqualität erforderliche Außenluftstrom in die Wohnräume geleitet werden kann. Der Außenluftdurchsatz für die belegten Räume muss während der geplanten Belegungszeit mindestens $6 \text{ dm}^3/\text{s}$ pro Person betragen, sofern für die beabsichtigte Nutzung des Raums kein zusätzlicher Luftdurchsatz erforderlich ist. Für das Gebäude als Ganzes muss der Außenluftdurchsatz jedoch mindestens $0,35 \text{ dm}^3/\text{s}$ pro m^2 Geschossfläche während des geplanten Nutzungszeitraums betragen, sofern die besondere Art der Nutzung des Gebäudes keinen zusätzlichen Luftdurchsatz erforderlich macht. Der Außenluftstrom für die Wohnräume muss jedoch mindestens $18 \text{ dm}^3/\text{s}$ betragen. [...]

Der Auslegungswert für die momentane Kohlendioxidkonzentration in Innenräumen während der geplanten Belegung eines Raumes darf die Außenkonzentration um nicht mehr als $1.450 \text{ mg}/\text{m}^3$ (800 ppm) überschreiten.“ (Zitat aus oben genanntem Dokument).

Spezifisch nach Räumen unterscheidet diese Verordnung nicht.

Opas ilmanvaihdon mitoituskeeseen muissa kuin asuinrakennuksissa [17]

Leitfaden zur Dimensionierung der Belüftung in Nichtwohngebäuden, November 2019 veröffentlicht vom FINVAC-Verband (The Finnish Association of HVAC Societies), berichtigt Dezember 2020.

Dieses Dokument wurde im Zuge eines vom finnischen Umweltministerium ins Leben gerufenen Projekts entwickelt und stellt eine Leitlinie für die Belüftung dar, die im Einklang mit EU-Normen, anderen CEN-Normen in Finnland und weiteren nordischen Leitlinien steht.

Das Dokument ist gegliedert in verschiedene Raumtypen, die jeweils durch einen einleitenden Text erklärt und dann mit einer Tabelle für verschiedene Nutzungsarten und entsprechenden Volumenströmen ergänzt wird.

Für manche Räume wird anstelle eines minimalen Zuluftvolumenstroms ein erforderlicher Abluftvolumenstrom angegeben. Die Tabellen verfügen außerdem über eine Spalte für Bemerkungen und Verweise auf weitere Leitlinien, in der teilweise das Berechnungsverfahren (Additives Verfahren oder Maximalwertverfahren) spezifiziert wird.

Als maximale CO₂-Konzentration für Innenräume werden im Leitfaden 800 ppm oberhalb der Außenluftkonzentration angegeben.

2. Einordnung der Literatur

Es liegen ein Gesetzestext und ein vom finnischen Umweltministerium in Auftrag gegebener Leitfaden vor, die den Außenluftvolumenstrom in NWG regeln. Die Datenlage wird darum als gut eingeschätzt. Beide Quellen werden bei der Berechnung verwendet, wobei der Gesetzestext aufgrund seiner Unschärfe als Mindestanforderung geprüft wird, sonst allerdings die Richtwerte aus der Leitlinie herangezogen werden.

3. Ergebnis der Recherche

Tabelle 4-7: Recherchierte Auslegungswerte für Finnland

	Anforderungen an Mindestaußenluftvolumenstrom		Mindestwerte nach Gesetzestext		Berechnungsweise
Literatur	Leitfaden zur Dimensionierung der Belüftung		1009/2017 Erlass des Umweltministeriums		
	$\frac{l}{s \cdot Pers}$	$\frac{l}{s \cdot m^2}$	$\frac{l}{s \cdot Pers}$	$\frac{l}{s \cdot m^2}$	
Einzelbüro	6	1	6	0,35	Maximalwertverfahren
Klassenzimmer	6	3	6	0,35	Maximalwertverfahren
Theatersaal	6	0,35	6	0,35	Additives Verfahren
Patientenzimmer	10	2,5	6	0,35	Maximalwertverfahren

Für den CO₂-Grenzwert werden 800 ppm oberhalb der Außenluftkonzentration angesetzt.

4.1.6 Frankreich

1. Literatur

Für Frankreich liegen vier Dokumente vor.

- a. Code du travail
- b. Le règlement sanitaire départemental type (RSDT)
- c. Arrête Prefectoral du 20 juin 1979 Portant Reglement Sanitaire Départemental
- d. Réglementation & Règles de l'Art, France Air

Code du travail [20]

Französisches Arbeitsgesetzbuch der französischen Regierung.

Das französische Arbeitsgesetzbuch umfasst eine umfangreiche Sammlung von Mindestaußenluftvolumenströmen für NWG. In einer Übersichtstabelle werden verschiedene Raumtypen in Überbegriffen zusammengefasst. Es werden ausschließlich personenbezogene Außenluftvolumenströme als Richtwerte angegeben. Das liegt unter anderem daran, dass die Tabelle nur für Räume mit unspezifischer Luftverschmutzung und Rauchverbot gilt.

Le règlement sanitaire départemental type (RSDT) [21]

Mustergesundheitsverordnung der Departements.

Die Departements in Frankreich können die nötigen Außenluftvolumenströme selbst regeln, orientieren sich dabei aber an der Mustergesundheitsverordnung, die vom Staat herausgegeben wird. Es werden wie im „Code du travail“ personenbezogene Außenluftvolumenströme als Richtwerte angegeben, die Werte gelten ebenfalls nur für Räume mit unspezifischer Luftverschmutzung und Rauchverbot.

Für die maximale CO₂-Konzentration in Innenräumen werden 1.300 ppm festgelegt. Dieser Wert wird im RSDT als Grenzwert für Räume, in denen nicht geraucht wird, genannt. In solchen, in denen geraucht werden darf, liegt der Grenzwert bei 1.000 ppm.

Arrête Prefectoral du 20 juin 1979 Portant Reglement Sanitaire Départemental [19]

Präfekturerlass des Departement Loire über das Gesundheitsreglement Departemental, geltend seit 31.05.2007

Dieses Dokument bezieht sich ausschließlich auf das Departement Loire und wird daher nicht für die Berechnung herangezogen. Die Vorgaben für die Mindestaußenluftstraten für spezifische Gebäudenutzungstypen aus der Mustergesundheitsverordnung werden in diesem Dokument übernommen.

Réglementation & Règles de l'Art, France Air [18]

Leitfaden der Air France.

Dieser Leitfaden der französischen Fluggesellschaft Air France stellt die Richtwerte aus dem Arbeitsschutzgesetz und der Musterverordnung der Departements RSDT einander gegenüber.

2. Einordnung der Literatur

Die Literaturlage für Frankreich ist gut, denn es liegen offizielle Dokumente und vertrauenswürdige Sekundärliteratur vor.

Verwendet wird für die folgenden Untersuchungen das Dokument von Air France, das den „Code du travail“ und die Mustergesundheitsverordnung der Departements RSDT einander gegenüberstellt. Die darin enthaltenen Werte werden zusätzlich mit den Originaldokumenten abgeglichen. Als zusätzliche Referenz wird der Präfekturerlass des Departement Loire mit dem der Musterverordnung abgeglichen.

3. Ergebnis der Recherche

Tabelle 4-8: Recherchierte Auslegungswerte für Frankreich

	Anforderungen an Mindestaußenluftvolumenstrom				Berechnungsweise	Literatur
	„Code du Travail“		Musterverordnung RSDT			
	$\frac{m^3}{h \cdot Pers}$	$\frac{l}{s \cdot m^2}$	$\frac{m^3}{h \cdot Pers}$	$\frac{l}{s \cdot m^2}$		
Einzelbüro	25		18		Pauschalwertverfahren	Réglementation & Règles de l'Art, France Air
Klassenzimmer			18			
Theatersaal			18			
Patientenzimmer (hier Arztpraxen)	25		25			

Es fällt ein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Quellen in den Werten für das Einzelbüro auf. In diesem Fall wird für die Bilanzrechnungen der höhere Wert aus dem „Code du travail“ verwendet.

Für die maximale CO₂-Konzentration wird der Wert von 1.300 ppm aus dem RSDT verwendet.

4.1.7 Griechenland

1. Literatur

Für Griechenland liegt ein Dokument vor.

T.O.T.E.E. 20701-1/2017 [25]

Technische Leitlinien der Technischen Kammer von Griechenland, Ministerium für Umwelt und Energie, Athen, September 2017.

Diese Richtlinie dient der Berechnung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und der Ausstellung von Energieausweisen. Jedoch enthält sie ebenso Empfehlungen für die Belüftung von Gebäuden. Es werden Mindestaußenluftvolumenströme genannt, die für ein angenehmes Innenraumklima erforderlich sind. Das vorliegende Dokument regelt die Umsetzung der europäischen Gemeinschaftsrichtlinie 2002/91/EG über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden in Griechenland.

Kapitel 3.4.3 thematisiert den Außenluftbedarf in Innenräumen, der für hygienische Bedingungen in Gebäuden notwendig ist. Die in einer Tabelle nach verschiedenen Typräumen gegliederten empfohlenen Außenluftvolumenströme sind Durchschnittswerte anderer gültiger Normen und Leitlinien. In dieser Richtlinie werden sie zur Erstellung der Gesamtenergieeffizienz und zur Durchführung eines Energieaudits verwendet. In der Planung von Lüftungsanlagen sind sie nicht verpflichtend.

Es ist nicht eindeutig, ob die angegebenen flächenbezogenen und personenbezogenen Auslegungswerte addiert werden sollen, oder ob der größere Wert der beiden verwendet werden soll. Wörtlich wird es wie folgt formuliert:

„Für die Berechnung der Belüftung im Rahmen von Studien zur Bewertung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden ist es am zweckmäßigsten, den Luftaustausch auf der Grundlage der nach den beiden folgenden Kriterien erforderlichen Mindestmengen zu berechnen:

- *Sicherstellung der Hygienebedingungen für die Benutzer; und*
- *die Mindesterneuerung in Abhängigkeit von der Größe und Nutzung des Gebäudes.“*

Es wird so interpretiert, dass der höhere der beiden Werte angewendet werden soll, also das Maximalwertverfahren angewandt wird.

Des Weiteren werden typische Belegungsdichten genannt, die für die Nutzungsarten der Räume gelten. Es ist davon auszugehen, dass die empfohlenen Außenluftvolumenströme auf diese Belegungsdichten angepasst sind. Darüber hinaus wird zwischen einem Sommer- und einem Winterfall unterschieden.

2. Einordnung der Literatur

Auch wenn die Richtlinie eigentlich zur Erstellung von Energieaudits und Energieeffizienzberechnungen verwendet wird, stammen die Werte aus anderen gültigen Normen und Leitlinien. Außerdem handelt es sich beim vorliegenden Dokument um ein offizielles Werk eines Organs der griechischen Regierung. Allerdings wird deutlich, dass weitere Regelungen in Griechenland existieren, auf die kein öffentlicher Zugriff besteht. Es ist zusammenfassend anzunehmen, dass die Informationslage unvollständig ist.

3. Ergebnis der Recherche

Tabelle 4-9: Recherchierte Auslegungswerte für Griechenland

	Anforderungen an Mindestaußenluftvolumenstrom		Belegungs- dichte	Berechnungsweise	Literatur
	$\frac{m^3}{h \cdot Pers}$	$\frac{l}{s \cdot m^2}$	Personen pro 100 m ²		
Einzelbüro	30	3	10	Maximalwertverfahren	T.O.T.E.E. 20701-1/2017
Klassenzimmer	22	11	50		
Theatersaal	25	25	100		
Patientenzimmer	25	5,5	22		

Das vorliegende Dokument erwähnt einen maximalen CO₂-Grenzwert in Innenräumen von 5.000 ppm.

4.1.8 Großbritannien

1. Literatur

Für die Anforderungen an die Belüftung von Nichtwohngebäuden liegen für Großbritannien Dokumente aus fünf verschiedenen Quellen vor.

- a. The Building Regulations 2010 – Ventilation
- b. Ventilation and air Conditioning, CIBSE Guide B2, Requirements
- c. Workplace health, safety and welfare, Workplace Regulations 1992
- d. Building Bulletin 101
- e. Health Technical Memorandum 03-01

The Building Regulations 2010 – Ventilation [28]

Approved document, Volume 2: buildings other than dwellings, 2021 edition – for use in England (Bauvorschriften der Britischen Regierung für Nichtwohngebäude, genehmigt vom Secretary of State, in Kraft seit dem 15.06.2022).

Das von offiziellen Stellen der britischen Regierung genehmigte Dokument gibt Hilfestellung, wie die Bestimmungen der Bauvorschriften eingehalten werden können. Es werden für Büros und Parkhäuser bestimmte Außenluftströme vorgeschrieben. Zum Beispiel wird in Punkt 1.32 der Außenluftvolumenstrom für belegbare Räume in Bürogebäude festgelegt. Dieser ergibt sich aus dem höheren der beiden folgenden Werte: $10 \frac{l}{s}$ pro Person oder $1 \frac{l}{s \cdot m^2}$. Für weitere Gebäudetypen wird auf die Verordnung verwiesen, welche die Anforderungen für die jeweilige Situation definiert. Hier ist insbesondere das Dokument Guide B2 Ventilation and ductwork (2016) der Chartered Institution of Building Services Engineers zu nennen.

Des Weiteren werden Richtwerte für die maximale Konzentrationen weiterer Schadstoffe wie Kohlenstoffmonoxid oder Feinstaub festgelegt. Es wird außerdem empfohlen, dass in Räumen, in denen gesungen, stets gesprochen wird oder körperliche Aktivitäten stattfinden, die CO₂-Konzentration unter 800 ppm liegen sollte. Des Weiteren wird gesagt, dass CO₂-Konzentrationen lediglich als allgemeine Richtwerte für die Belüftung angesehen werden sollten und nicht als absolute Sicherheitsschwelle.

Ventilation and air Conditioning, CIBSE Guide B2, Requirement [26]

Anforderungen an Lüftung und Klimatisierung, veröffentlicht von der Chartered Institution of Building Services Engineers, ein in London ansässiger Ingenieursverband, der unter anderem von der britischen Regierung zu Fragen des Baus von Gebäuden konsultiert wird.

Dieses Dokument gibt Empfehlungen für den Luftwechsel in verschiedenen Gebäudetypen. Außerdem werden generelle Hinweise zur Auslegung des gesamten Belüftungssystems gegeben. Es wird auf Büros, Versammlungshallen, Rundfunkstudios, Küchen, Reinräume, kommunale Wohngebäude, Computerräume, Wohnungen, Fabriken und Lagerhäuser, Krankenhäuser und Gebäude des Gesundheitswesens, Hotels, Laboratorien, Museen, Kunstgalerien, Gewächshäuser, Gebäude des Bildungswesens, Geschäfte, Sportzentren, Toiletten und Transporteinrichtungen eingegangen. Für den Unterpunkt 3.3 Versammlungshallen, zu denen auch Theater gezählt werden, werden Designanforderungen je nach Lüftungsstrategie angegeben. Für eine Quelläftung wird ein Luftaustausch von 3 bis $4 \frac{1}{h}$ angegeben, für Mischlüftungen 6 bis $10 \frac{1}{h}$. Die Außenluftzufuhr soll so dimensioniert werden, dass sie zur Belegung passt.

Es wird außerdem erwähnt, dass im Vereinten Königreich eine CO₂-Konzentration von 800 bis 1.000 ppm als Indikator für eine angemessene Belüftung herangezogen wird.

Workplace health, safety and welfare, Workplace Regulations 1992 [27]

Approved Code of Practice and guidance, HSE, second edition 2013 (Arbeitsstättenverordnung, anerkannter Verhaltenskodex und Leitlinien über Gesundheit, Sicherheit und Wohlbefinden am Arbeitsplatz).

Die Health and Safety Executive (HSE) wurde 1975 vom Parlament der Vereinten Königreiches gegründet und regelt in Großbritannien wesentliche Bereiche des Arbeitsschutzes.

Dieses Werk regelt die Anforderungen an Gesundheit, Sicherheit und Wohlergehen von Arbeitnehmern am Arbeitsplatz. Dort wird ein Mindestaußenluftvolumenstrom von 5 bis $8 \frac{l}{s}$ pro Person festgeschrieben. Bei der Belüftung des Arbeitsplatzes sollen diese drei Punkte berücksichtigt werden:

1. Die vorhandene Bodenfläche pro Person
2. Der Arbeitsprozess und die verwendete Ausrüstung
3. Ob die Arbeit anstrengend ist

Building Bulletin 101 [12]

Guidelines on ventilation, thermal comfort and indoor air quality in schools, Version 1, 2018, Education & Skills Funding Agency (Leitlinien zur Lüftung, thermischen Behaglichkeit und Innenraumluftqualität in Schulen, Version 1, veröffentlicht im August 2018).

Die Education and Skills Funding Agency ist eine Exekutivagentur, die vom Bildungsministerium der Regierung des Vereinigten Königreichs gefördert wird.

Dieses Dokument enthält Vorschriften, Normen und Leitlinien für die Belüftung, den thermischen Komfort und die Innenraumluftqualität in Schulgebäuden. Als Leistungsstandard für ein maschinelles Belüftungssystem wird ein täglicher Mittelwert der CO₂-Konzentration von 1.000 ppm festgelegt, der während der Belegungszeit nicht überschritten werden soll. Die maximale CO₂-Konzentration soll innerhalb von 20 Minuten einen Wert von 1.500 ppm nicht überschreiten. Es wird angegeben, dass für einen typischen Klassenraum mit 30 Schülern und zwei Lehrern ein Außenluftvolumenstrom zwischen 8 und $9 \frac{l}{s}$ pro Person benötigt wird, um bei stationären Bedingungen eine CO₂-Konzentration von 1.000 ppm zu erreichen (für die Berechnung wird auf CIBSE Guide A verwiesen).

Für Spezialräume wie Zimmer, in denen Chemie unterrichtet wird, oder eine höhere körperliche Aktivität zu Grunde gelegt wird, werden örtliche Abluftraten festgelegt. Beispielsweise für Laboratorien, die eine Fläche von mehr als 70 m² besitzen, muss der minimale Außenluftstrom $4 \frac{l}{s \cdot m^2}$ betragen.

Health Technical Memorandum 03-01 [29]

Specialised ventilation for healthcare premises; Part A: The concept, design, specification, installation and acceptance testing of healthcare ventilation systems; Part B: The management, operation, maintenance and routine testing of existing healthcare ventilation systems, National Health Service (Technisches Memorandum zum Thema Gesundheit, Speziallüftung für Ge-

sundheitseinrichtungen; Teil A: Konzept, Konstruktion, Spezifikation, Installation und Abnahmeprüfung von Lüftungssystemen für Gesundheitseinrichtungen; Teil B: Verwaltung, Betrieb, Wartung und Routineprüfung bestehender Lüftungssysteme für Gesundheitseinrichtungen, veröffentlicht am 22.06.2021).

Dieses Dokument gibt Hinweise zu den rechtlichen Anforderungen und Anleitungen für Auslegung, Installation und Betrieb von Lüftungsanlagen in Gebäuden des Gesundheitswesens. Beispielsweise werden Anforderungen an den minimalen Außenluftbedarf in verschiedenen Bereichen angegeben. In allgemeinen Bereichen und Stationen, in denen die Geruchsbeseitigung der Hauptgrund für die Belüftung ist, soll ein Wert von $10 \frac{l}{s}$ pro Person als Minimum gelten. In Appendix 2 sind die spezifischen Luftwechsel der einzelnen Räume in einem Krankenhaus angegeben. Es wird erwähnt, dass diese Werte luftgetragene Schadstoffe ausreichend verdünnen. Die Mindestanforderung in allen Räumen ist der höhere Wert der beiden folgenden Bedingungen: 20 % Außenluft im Zuluftvolumenstrom oder $10 \frac{l}{s}$ pro Person.

2. Einordnung der Literatur

Die vorliegenden Dokumente geben umfassend Auskunft über die Lüftungsanforderungen in Nichtwohngebäuden in Großbritannien. Alle fünf Dokumente stammen aus verifizierten Quellen der britischen Regierung. Die Qualität und der Umfang der betrachteten Literatur können als zufriedenstellend bewertet werden. Es liegen Informationen spezifisch für Arbeitsplätze, Schulen und Krankenhäuser vor.

3. Ergebnis der Recherche

Tabelle 4-10: Recherchierte Auslegungswerte für Großbritannien

	Anforderungen an Mindestaußenluftvolumenstrom	Berechnungsweise	Literatur
Einzelbüro	$10 \frac{l}{s}$ pro Person oder $1 \frac{l}{s \cdot m^2}$	Maximalwertverfahren	The Building Regulations 2010, Ventilation – approved document, Volume 2: buildings other than dwellings
Klassenzimmer	$8 \dots 9 \frac{l}{s}$ pro Person.		Guidelines on ventilation, thermal comfort and indoor air quality in schools
Theatersaal	$3 \dots 10 \frac{1}{h}$ (Luftwechsel), an die Belegung angepasst		Ventilation and air Conditioning, CIBSE Guide B2, Requirements
Patientenzimmer	$6 \frac{1}{h}$ (Luftwechsel)		Health Technical Memorandum 03-01 Specialised ventilation for healthcare premises Part A: The concept, design, specification, installation and acceptance testing of healthcare ventilation systems

Für Räume in Schulen wird explizit ein CO₂-Grenzwert von 1.000 ppm als täglicher Mittelwert festgelegt. Für andere Räume gilt ein CO₂-Konzentrationsbereich von 800 bis 1.000 ppm als ein Indikator für angemessene Belüftung. Für die Auswertung wird darum für die Typräume Einzelbüro, Klassenzimmer und Theatersaal ein CO₂-Grenzwert von 1.000 ppm verwendet. Für das Patientenzimmer wird ein CO₂-Grenzwert von 800 ppm angesetzt.

4.1.9 Italien

1. Literatur

Für Italien liegen zwei Dokumente vor.

- a. REV UNI 10339:2008
- b. Interpretazione Operativa, Prestazioni Minime per la Qualità dell'Aria (IAQ)

REV UNI 10339:2008 [31]

Impianti aeraulici per la climatizzazione - Classificazione, prescrizioni e requisiti prestazionali per la progettazione e la fornitura. Revision der nationalen Norm mit dem Titel „Klimatisierungssysteme - Klassifizierung, Vorschriften und Leistungsanforderungen für die Gestaltung und Versorgung“.

„Diese Norm ist eine Überarbeitung der UNI 10339:1995 [...]“

Diese Norm enthält die Klassifizierung der Anlagen, die Definition ihrer Mindestanforderungen und die Werte der Referenzgrößen für ihren Betrieb, die Identifizierung der Elemente, die der Auftraggeber in der Ausschreibung angeben muss, und der Elemente, die der Planer und/oder Lieferant der Anlagen im Projektbericht und/oder im Angebot angeben muss. Ziel der Norm ist die korrekte Bestimmung der Umwelanforderungen und der Anlagenmerkmale, die den gewünschten Komfort und den Schutz der Gesundheit der Menschen ermöglichen. [...] Sie bezieht sich daher auf die Normen UNI EN 15251 und UNI EN 13779 und stellt deren notwendige Umsetzung und Kontextualisierung auf nationaler Ebene dar. Die Norm gilt für alle lufttechnischen Anlagen, die für das Wohlbefinden von Menschen bestimmt sind und in Wohn- und Nichtwohngebäuden installiert werden, um die thermischen und hygrometrischen Bedingungen sowie die Luftqualität und die Bewegung in Innenräumen zu regeln.“ (Auszug aus oben genanntem Dokument).

Laut diesem Dokument wird die Außenluft in drei Kategorien klassifiziert: ODA (Outdoor Air) 1 bis 3. Die Innenraumluft wird in die Kategorien IDA 1 bis 3 eingeteilt. Die abgesaugte Luft wird ebenfalls in Klassen von 1 bis 4 kategorisiert.

Die Berechnung des notwendigen Außenluftvolumenstroms erfolgt nachfolgender Gleichung:

$$Q_{tot} = (n \cdot q_P + A_R \cdot q_s) \cdot \frac{0,8}{\varepsilon_v} \cdot (C_1 \cdot C_2 \cdot C_3) \quad (4-1)$$

Q_{tot}	Minimaler Außenluftstrom pro Person in $\frac{l}{s}$
n	Anzahl der Personen
q_P	Mindestaußenluftstrom pro Person in $\frac{l}{s}$
A_R	Bodenfläche des Raumes in m^2
q_s	Mindestaußenluftstrom in $\frac{l}{s \cdot m^2}$
ε_v	Konventioneller Lüftungswirkungsgrad
C_1	Korrekturkoeffizient für Luftdiffusion
C_2	Korrekturkoeffizient für hohe Räume
C_3	Korrekturkoeffizient für die Luftdichte aufgrund der Höhe des Standorts

Es erfolgt also eine Summation des personenbezogenen und des flächenbezogenen Außenluftvolumenstroms unter Berücksichtigung der Lüftungseffektivität. Außerdem werden zusätzlich die Korrekturfaktoren C_1 , C_2 und C_3 berücksichtigt. Dabei wird mit C_1 auf mögliche Luftdiffusion eingegangen, mit C_2 werden besonders hohe Räume betrachtet und mit C_3 die Höhe

des Standorts über Normalnull berücksichtigt. Für den Mindestaußenluftstrom pro Person und den Mindestaußenluftstrom pro m^2 existieren Tabellenwerte, die verschiedenen Raumnutzungstypen zugeordnet werden. Diese Tabelle ist in Anhang 3 zu finden. Die Werte sind für eine Lüftungswirksamkeit von 0,8 angegeben. Es wird darauf hingewiesen, dass eine den Standards entsprechende Belegungsdichte Voraussetzung für die Anwendung von Gleichung (4-1) ist. Außerdem ist die Auslegung mit gesetzlich festgeschriebenen Werten zu überprüfen.

Wie die Korrekturfaktoren C_1 und C_3 aus Gleichung (4-1) bestimmt werden, kann in Tabelle 4-11 und Tabelle 4-13 eingesehen werden.

Tabelle 4-11: Bestimmung des Korrekturfaktors C_1

Zuluftdiffusion getrennt durch Gebläsekonvektoren	Koeffizient C_1
Der Zuluftstrom stimmt nicht mit dem Zuluftstrom des Gebläsekonvektors überein	1,15
Zuluftstrom, stimmt mit dem Zuluftstrom des Gebläsekonvektors überein	0,95
Luftstrom vom Auslass in zentraler Deckenposition mit beliebiger Position des Gebläsekonvektors	1,05
Kombinierte Diffusion von Zuluft und behandelte Luft aus Gebläsekonvektoren	
Zuluftstrom geht nicht durch den Gebläsekonvektor des Konvektors	1,00

Bestimmung des Korrekturfaktors C_2 aus Gleichung (4-1):

Für Räume, die als Versammlungshallen, für religiöse oder sportliche Aktivitäten genutzt werden, wird der effektive Außenluftvolumenstrom in Abhängigkeit des Verhältnisses zwischen Raumvolumen und Belegung berechnet. Es wird folgende Berechnungsweise angegeben:

$$\text{für } \frac{V}{n} \leq 15: Q_{tot} = Q_{Tabelle} \quad (4-2)$$

$$\text{für } \frac{V}{n} \geq 45: \text{Methode A}$$

$$\text{für } 15 < \frac{V}{n} < 45: \text{Methode B}$$

Q_{tot} Minimaler Außenluftstrom pro Person in $\frac{l}{s}$

n Anzahl der Personen

V Raumvolumen in m^3

$Q_{Tabelle}$ Minimaler Außenluftstrom pro Person laut Anhang 3 in $\frac{l}{s}$

Methode A:

Der effektive Außenluftvolumenstrom wird wie in Tabelle 4-12 dargestellt angenommen.

Tabelle 4-12: Für Methode A angenommener minimaler Außenluftvolumenstrom

Minimaler Außenluftvolumenstrom laut Anhang 3 in $\frac{l}{s}$ pro Person	Für Methode A angenommener minimal zulässiger Außenluftvolumenstrom in $\frac{l}{s}$ pro Person
Bis zu 7	4
7 bis 10	5,5
Von 10 bis 12,5	7
Über 12,5	8,5

Methode B:

$$Q_{tot} = Q_{Tabelle} + m \cdot \left(\frac{V}{n} - 15 \right) \text{ mit } m = \frac{Q_{Tabelle,min} - Q_{Tabelle}}{45 - 15} \quad (4-3)$$

Q_{tot}	Minimaler Außenluftstrom pro Person in $\frac{l}{s}$
n	Anzahl der Personen
V	Raumvolumen in m^3
$Q_{Tabelle}$	Minimaler Außenluftstrom pro Person laut Anhang 3 in $\frac{l}{s}$
$Q_{Tabelle,min}$	Minimal zulässiger Außenluftstrom pro Person in $\frac{l}{s}$

Tabelle 4-13: Bestimmung des Korrekturfaktors C_3

Höhenlage H [m]	0	500	1.000	1.500	2.000	2.500	3.000
Berichtigungsfaktor C_3	1	1,06	1,12	1,18	1,25	1,31	1,38

Interpretazione Operativa, Prestazioni Minime per la Qualità dell'Aria (IAQ) [22]

Operative Auslegung, Mindestanforderungen an die Luftqualität (IAQ).

Dieses Dokument ist von der italienischen Gesellschaft für historische Gebäude (GBC) formuliert. Darin wird zu Beginn definiert, dass zum Zeitpunkt der Veröffentlichung (2016) die UNI 10339 unter Revision steht.

Dieses Dokument unterscheidet sich zum vorigen bei der Bestimmung der Mindestluftvolumenströme in einem Punkt: In diesem Dokument fehlt der Korrekturfaktor C_2 aus der UNI10339:2008 (siehe Gleichung (4-1)). Dieser tritt weder in der Gleichung zur Verrechnung des personenbezogenen und flächenbezogenen Außenluftvolumenstroms, noch im Kapitel zur Berechnung der Korrekturfaktoren auf.

2. Einordnung der Literatur

Mit der Rev UNI 10339:2008 liegt eine sich in Revision befindende italienische Norm vor. Ein weiteres Dokument bezieht sich für die Auslegung der Belüftung von NWG auf die UNI 10339. Die recherchierten Daten werden als vertrauenswürdig und daher aussagekräftig eingestuft.

3. Ergebnis der Recherche**Tabelle 4-14: Recherchierte Auslegungswerte für Italien**

	Anforderungen an Mindestaußenluftvolumenstrom		C_1	C_2	C_3	Berechnungsweise	Literatur
Einheit	$\frac{l}{s \cdot Pers}$	$\frac{l}{s \cdot m^2}$					
Einzelbüro	7	0,4	1	1	1	Additives verfahren mit Korrekturfaktoren	REV UNI 10339:2008
Klassenzimmer	6	0,5	1	1	1		
Theatersaal	7	0,4	1	1	1		
Patientenzimmer	7	0,4	1	1	1		

Für den CO_2 -Grenzwert werden für Einzelbüro, Klassenzimmer und Theatersaal 500 ppm oberhalb der Außenluftkonzentration angesetzt. Das entspricht der mittleren Luftqualitätskategorie der REV UNI 10339:2008. Für das Patientenzimmer wird ein CO_2 -Grenzwert von 350 ppm oberhalb der Außenluftkonzentration verwendet, was der hohen Luftqualitätskategorie der REV UNI 10339:2008 entspricht.

4.1.10 Niederlande

1. Literatur

Für die Niederlande liegen vier Dokumente vor.

- a. 416 Besluit van 29 augustus 2011 (Bouwbesluit 2012)
- b. Ventilatie, achtergrond van de eisen
- c. Verslag werkconferentie Ventilatie en COVID-19
- d. NEN 1087:2001

416 Besluit van 29 augustus 2011 (Bouwbesluit 2012) [37]

Houdende vaststelling van voorschriften met betrekking tot het bouwen, gebruiken en slopen van bouwwerken, Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden (Erlass 416 vom 29. August 2011 zur Festlegung von Vorschriften für den Bau, die Nutzung und den Abriss von Bauwerken (Baudekret 2012), Amtsblatt des Königreichs der Niederlande).

Mit diesem Dekret sind Bauvorschriften in den Niederlanden niedergeschrieben und deren Umsetzung erläutert.

In Abschnitt 3.6 Lüftung werden sowohl für Wohngebäude als auch NWG einzuhaltende Außenluftvolumenströme angegeben. Die Angaben für NWG sind in Anhang 4 dargestellt.

Ventilatie, achtergrond van de eisen [39]

EOS-LT DP 2015 WP1.1, Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (Belüftung, Hintergrund zu den Anforderungen, im Februar 2011 herausgegeben von einer Agentur des niederländischen Ministeriums für Wirtschaft und Klimawandel und des Landwirtschaftsministeriums).

„Dieser Bericht wurde im Auftrag des Wirtschaftsministeriums erstellt. [...]

Ziel dieses Berichts ist es nicht nur, den Belüftungsbedarf und seine Hintergründe auf der Grundlage der verfügbaren Literatur zu untersuchen, sondern auch einen Einblick in die menschlichen Bioeffluenzen zu geben. Er beschreibt die Belüftungsanforderungen aus einer historischen Perspektive, analysiert die möglichen Hintergründe und versucht, Einblicke in die notwendige Forschung zu geben, um die Belüftungsanforderungen besser zu gestalten.“ (wörtliches Zitat aus oben genannter Quelle).

In diesem Dokument wird beim Thema Außenluftwechsel immer wieder Tabelle 3.46.1 aus der Bauverordnung zitiert und diese in Ausschnitten veröffentlicht.

Eine Internetrecherche nach der Tabelle 3.46.1 aus dem Baugesetz war erfolgreich [33]. Die darin enthaltenen Werte decken sich mit den Auszügen aus [39]. Die Kategorien B1 bis B5 berücksichtigen die Belegungsdichte wobei gilt:

$$B1 \leq 1,3 < B2 \leq 3,3 < B3 \leq 8,0 < B4 \leq 20,0 < B5 \left(\frac{m^2}{Pers} \right).$$

Tabelle 4-15: Zur Verfügung stehender Auszug aus Tabelle 3.46.1 [33, 39]

	Außenluftvolumenstrom											
	$\frac{l}{s \cdot m^2}$					$\frac{l}{s}$	$\frac{l}{s \cdot m^2}$					$\frac{l}{s}$
	B1	B2	B3	B4	B5		B1	B2	B3	B4	B5	
Belegungsdichte	B1	B2	B3	B4	B5		B1	B2	B3	B4	B5	
Raum für Alkoholkonsum	4,8	4,8	4,8	n.t.	n.t.	7	3,8	3,8	3,8	n.t.	n.t.	7
Raum für Aktivitäten, die die Raumluft belasten	15	6	2,4	n.t.	n.t.	7	12	4,8	1,9	n.t.	n.t.	7
Raum zum Sportschauen	4,8	4,8	4,8	n.t.	n.t.	7	3,8	3,8	3,8	n.t.	n.t.	7

Verslag werkconferentie Ventilatie en COVID-19 [36]

Gezondheidsraad (GR) (Bericht über die Arbeitskonferenz Lüftung und COVID-19 des Gesundheitsrat der Niederlande, einem unabhängigen wissenschaftlichen Beratungsgremium, November 2020).

In diesem Dokument geht es um die Lüftungssituation unter Pandemiebedingungen in Schulen und Wohnungen. Es werden keine spezifischen Empfehlungen für Außenluftvolumenströme genannt, es geht vielmehr um Hinweise zur Belüftung von Räumen, um eine Ausbreitung von Viren zu vermeiden.

NEN 1087:2001 [38]

Ventilatie van gebouwen – Bepalingsmethoden voor nieuwbouw (aktueller Niederländischer Standard, Lüftung von Gebäuden – Bestimmungsverfahren für Neubauten, Stand Dezember 2001).

In diesem Standard werden verschiedene in der Planung von RLT-Anlagen relevante Kriterien thematisiert, jedoch keine konkreten Außenluftvolumenströme empfohlen.

2. Einordnung der Literatur

Es liegen mehrere Dokumente aus offiziellen Stellen der niederländischen Gesetzgebung vor. Die Informationsquellen können darum als verlässlich klassifiziert werden. Allerdings bestehen erhebliche Probleme bei der Übersetzung der Dokumente. An vielen Stellen sind sprachliche Missverständnisse nicht auszuschließen. Beispielsweise kann nicht abschließend geklärt werden, welches Berechnungsverfahren für die Bestimmung des Gesamtaußenluftvolumenstroms angewendet werden soll.

3. Ergebnis der Recherche**Tabelle 4-16: Recherchierte Auslegungswerte für die Niederlande**

	Anforderungen an Mindestaußenluftvolumenstrom		Berechnungsweise	Literatur
	$\frac{m^3}{h \cdot Pers}$	$\frac{l}{s \cdot m^2}$		
Einzelbüro	10	1,3	Keine Information	Dekret 416 [37]
Klassenzimmer	7	3,5		
Theatersaal				
Patientenzimmer	10	2,4		

Laut Verslag werkconferentie Ventilatie en COVID-19 [36][36] wird eine maximale CO₂-Konzentration von 1.200 ppm in Innenräumen als oberer Grenzwert festgelegt.

4.1.11 Norwegen

1. Literatur

Für Norwegen liegen drei Dokumente vor.

- a. Indoor air quality and ventilation requirements
- b. Veiledning om Klima og luftkvalitet på arbeidsplassen
- c. Adapting REHVA COVID 19 guidelines to Norway

Indoor air quality and ventilation requirements [41]

NTNU – Trondheim (Norwegian University of Science and Technology), Guangyu Cao (Innenraumlufthqualität und Lüftungsanforderungen).

Diese Präsentation zitiert norwegische Empfehlungen und im Zuge dessen folgendes Vorgehen:

Es gibt folgende drei Auslegungskriterien a, b und c:

- a) Personenanzahl
- b) Gebäude und Einrichtung
- c) Arbeitsumfeld und Prozesse

Nach welcher Berechnungsweise der Außenluftvolumenstrom V bestimmt wird, legt folgende Fallunterscheidung fest:

$$V = \begin{cases} a + b & | a + b > c \\ c & | a + b < c \end{cases}$$

Des Weiteren werden für die Auslegung nach Kriterium a 7 bis $10 \frac{l}{s}$ pro Person und für die Auslegung nach Kriterium b 0,7 bis $2 \frac{l}{s}$ pro Quadratmeter angegeben.

Es wird weiterhin spezifiziert, dass für Standardgebäude $2 \frac{l}{s}$ pro Quadratmeter, während $0,7 \frac{l}{s}$ pro Quadratmeter nur für Emissionsarme Gebäude anzusetzen sind. Außerdem soll der sich aus der jeweiligen Berechnungsweise ergebende Außenluftvolumenstrom mit einem Sicherheitsfaktor von 1,3 multipliziert werden, wenn keine spezifischeren Bewertungen vorgenommen werden.

Veiledning om Klima og luftkvalitet på arbeidsplassen [40]

Arbeidstilsynet Veiledning, best.nr. 444 (Klima und Luftqualität am Arbeitsplatz, Mai 2006, Leitfaden der Arbeitsaufsichtsbehörde Norwegens, die Teil des Ministeriums für Arbeit und soziale Inklusion ist).

Dieses Dokument spezifiziert die nötigen Lüftungsvolumenströme am Arbeitsplatz. Dabei werden drei verschiedene Lüftungsparameter verwendet, die, sofern sie zur Anwendung kommen, addiert werden [40].

Luftbedarf für Menschen	$7,0 \frac{l}{s}$ pro Person
Entlüftung von Materialien	$0,7$ bis $2 \frac{l}{s}$ pro m^2 Bodenfläche
Luftvolumenstrom für Prozesse und Aktivitäten	$1 \frac{l}{s}$

Damit stehen die angegebenen Werte nicht im Widerspruch zur zusammenfassenden Präsentation von Guangyu Cao [41], werden jedoch um einen zusätzlichen Wert für Prozesse und Aktivitäten ergänzt. Dies ist hervorzuheben, da diese Methode in keinem der anderen betrachteten nationalen Dokumenten zur Anwendung kommt.

Der Grenzwert für die CO₂-Konzentration wird auf 1.000 ppm festgelegt.

Adapting REHVA COVID 19 guidelines to Norway [30]

NTNU – Trondheim (Norwegian University of Science and Technology), Guangyu Cao (SCAN-VAC Webinar am 28.04.2021 über die Anpassung von REHVA Covid-19 Leitlinien in Norwegen).

Diese Präsentation befasst sich mit Anpassungsmaßnahmen der Belüftung von Innenräumen in Zusammenhang mit der Covid-19 Pandemie. Außerdem wird auf die in Norwegen geltenden Anforderungen an die Belüftung von Gebäuden eingegangen. Demnach müssen öffentlichen und kommerziellen Gebäuden einen Mindestaußenluftstrom von $26 \frac{m^3}{h}$ pro Person zugeführt werden, unter der Annahme einer leichten Aktivität. Für eine detailliertere Betrachtung wird auf Veiledning om Klima og luftkvalitet på arbeidsplassen [40][40] verwiesen.

2. Einordnung der Literatur

Beide erwähnten Präsentationen stammen von der Norwegischen Universität NTNU, stellen also Sekundärliteratur dar und keine offiziellen Normen oder Gesetzestexte. Das zweite Dokument wurde allerdings von der Arbeitsaufsichtsbehörde Norwegens verfasst und stellt damit eine Quelle aus offiziellen Regierungsstellen dar. Insgesamt wird die Informationslage als zufriedenstellend bewertet.

3. Ergebnis der Recherche

Da in den Typräumen der Studie keine industriellen Prozesse oder besonderen Aktivitäten betrachtet werden, kommt der zusätzliche Wert der zweiten Literaturquelle [40] nicht zur Anwendung. Neben dem zusätzlichen Wert für Prozesse und besondere Aktivitäten, ist auch der Sicherheitsfaktor von 1,3 der laut Literaturquelle [41] angesetzt wird, eine Seltenheit im europäischen Vergleich.

Tabelle 4-17: Recherchierte Auslegungswerte für Norwegen

	Anforderungen an Mindestaußenluftvolumenstrom			Sicherheitsfaktor	Berechnungsweise	Literatur
	a	b	c			
Einheit:	$\frac{l}{s \cdot Pers}$	$\frac{l}{s \cdot m^2}$	$\frac{l}{s \cdot m^2}$	--	$\frac{l}{s}$	Indoor air quality and ventilation requirements
Einzelbüro	7	0,7	k.A.	1,3	$(a + b) \cdot s$	
Klassenzimmer	7	0,7	k.A.	1,3	$(a + b) \cdot s$	
Theatersaal	7	0,7	k.A.	1,3	$(a + b) \cdot s$	
Patientenzimmer						

Für den CO₂-Grenzwert werden 1.000 ppm angesetzt.

4.1.12 Österreich

1. Literatur

Für Österreich liegen zwei Dokumente vor.

- a. Bundes-Arbeitsstättenverordnung – B-ADtV
- b. ÖNORM H 6039:2008

Bundes-Arbeitsstättenverordnung – B-ADtV [43]

Gesamte Rechtsvorschrift für Bundes-Arbeitsstättenverordnung, Fassung vom 04.08.2022 (Stf: BGBl. II Nr. 352/2002)

Demnach gilt nach §26 abs.1 (3) wörtlich folgendes:

„(3) Wird ein Arbeitsraum ausschließlich mechanisch be- und entlüftet, gilt Folgendes:

1. Pro anwesender Person und Stunde ist mindestens folgendes Außenluftvolumen zuzuführen:

a) 35 m³, wenn in dem Raum nur Arbeiten mit geringer körperlicher Belastung durchgeführt werden;

b) 50 m³, wenn in dem Raum Arbeiten mit normaler körperlicher Belastung durchgeführt werden;

c) 70 m³, wenn in dem Raum Arbeiten mit hoher körperlicher Belastung durchgeführt werden.

2. Der dem Raum zugeführte Luftvolumenstrom muss dem Abluftstrom entsprechen, wenn die Nutzungsart des Raumes dem nicht entgegensteht.

3. Bei erschwerenden Bedingungen wie erhöhter Wärme-, Rauch- oder Dampfeinwirkung, sind die Werte nach Z1 mindestens um ein Drittel zu erhöhen.

4. Bei Umluftbetrieb darf der Anteil des in der Stunde zugeführten Außenluftvolumens bei Außentemperaturen zwischen 26 °C und 32 °C und zwischen 0 °C und -12 °C bis auf einen Wert von 50% linear verringert werden.“ (wörtliches Zitat aus obiger Quelle).

ÖNORM H 6039:2008 [42]

Aktuell in Überarbeitung mit Neuausgabe in Q1/2_2023.

Diese Norm soll die „Kontrollierte mechanische Be- und Entlüftung von Schul- Unterrichts- oder Gruppenräumen sowie Räumen mit ähnlicher Zweckbestimmung.“ (wörtliches Zitat) beschreiben.

Hier wird der nötige Außenluftvolumenstrom nach Tabelle 4-18 vom Alter der Schüler und der durchschnittlichen CO₂-Konzentrationserhöhung im Vergleich zu Außenluftkonzentration abhängig gemacht, die maximal vorherrschen soll.

Diese Tabelle aus der Norm liegt in der Version von 2008 und in einer aktuell noch in Überarbeitung befindlichen Version von 01.06.2022 vor.

Tabelle 4-18: Personenbezogene Außenluftvolumenströme nach ÖNORM H 6039 Ausgabe 2008-11-01

	IDA 3 mit durchschnittlicher CO ₂ -Konzentrationserhöhung 800 ppm	IDA 4 mit durchschnittlicher CO ₂ -Konzentrationserhöhung 1.200 ppm
	$\frac{m^3}{h \cdot Pers}$	$\frac{m^3}{h \cdot Pers}$
bis 6 Jahre	15	10
bis 10 Jahre	19	13
bis 14 Jahre	24	16
bis 19 Jahre	27	18
älter als 19 Jahre oder Lehrperson	32	21

Signifikante Änderungen gibt es in der Entwurfsfassung von 2022 insofern, als dass nicht mehr nach Alter, sondern nach Klassenstufe eingeteilt wird und die maximalen CO₂-Grenzwerte auf 1.000 ppm bzw. 1.400 ppm festgelegt werden. Dies bedeutet eine Verringerung der empfohlenen CO₂-Konzentration, wenn von einer Außenluftkonzentration von 400 ppm ausgegangen wird, weil die CO₂-Konzentrationserhöhung in Tabelle 3 von 2008 Grenzwerte von 1.200 ppm und 1.600 ppm vorgeschrieben hatte. Es wird außerdem spezifiziert, wann welcher CO₂-Grenzwert anzusetzen ist.

Tabelle 4-19: Erforderliche Außenluftvolumenströme in Schulen

	Erforderlicher Außenluft-Volumenstrom in m ³ /h pro Kind/Schüler/Studierende/Zuhörer/PädagogIn	
Kategorien nach Bildungsstufen (Alter der Personen)	Mittlere CO ₂ -Konzentration in der Raumluft von 1.000 ppm Werte für Funktionsbereiche mit Schwerpunkt Unterricht / Lernen / Arbeit (z.B. Unterrichtsräume, Kindergarten-Gruppenräume, Hörsäle, offene Lernzonen, Mehrzweckräume, Bibliotheken, Arbeitsbereiche für Lehrende etc.)	Mittlere CO ₂ -Konzentration in der Raumluft von 1.400 ppm Werte für Funktionsbereiche mit Schwerpunkt Freizeit / Erholung (z.B.: Speisebereich, Aula, Homebases, Sozialbereiche für Lehrende) und Erschließungsbereiche
Elementar- und Primarstufe (i.d.R. 0 bis 10-Jährige)	28	17
Sekundarstufe I und II (i.d.R. 11 bis 18-Jährige)	33	20
Tertiärbereich, Erwachsenenbildung, Lehrpersonen, Betreuer/innen (i.d.R über 19-Jährige)	36	21
<p>Anmerkung 1: Für Kinder des Elementarbereichs wird für das metabolische Äquivalent (met) der Wert von 2 angenommen, da diese in der Regel eine höhere Aktivität zeigen (Spielen, Krabbeln, etc.) Für die Berechnung wurden für Gewicht und Größe die Durchschnittswerte von 2 bis 6-Jährigen Kindern (φ 4-jährige) herangezogen.</p> <p>Anmerkung 2: Für Schüler/innen der Primarstufe wird für das metabolische Äquivalent ein Wert von 1,4, für Schüler/innen der Sekundarstufen I und II sowie Personen im Tertiärbereich wird ein Wert von 1,2 angesetzt.</p> <p>Anmerkung 3: Die CO₂-Außenkonzentration wird für die Berechnung mit 400 ppm angenommen.</p> <p>Anmerkung 4: Der informative Anhang A enthält das Berechnungsmodell zur Ermittlung des erforderlichen Außenluftvolumenstroms</p>		

2. Einordnung der Literatur

Beide Quellen werden als valide eingeschätzt, weil sie einen Gesetzestext bzw. eine österreichische Norm darstellen. Die Werte in der Arbeitsstättenverordnung sind allerdings sehr allgemein gehalten und gelten definitionsgemäß nicht für alle NWG. Es ist fraglich, in wie weit der Gesetzestext für die Planung tatsächlich relevant ist.

Die Norm für den schulischen Bereich schreibt spezifischere Werte für Außenluftvolumenströme vor, die mutmaßlich auch in der Planung Anwendung finden. Auch wenn diese noch im Entwurfsstatus ist, wird sie im Folgenden für den Typraum Klassenzimmer herangezogen.

3. Ergebnis der Recherche

Die österreichische Arbeitsstättenverordnung wird für das Einzelbüro, die ÖNORM H 6039 in der Version von 2022 für das Klassenzimmer herangezogen. Für Theatersaal und Patientenzimmer wird keine der vorliegenden Normen angewandt, da beide nicht eindeutig als Arbeitsplatz eingeschätzt werden können, sondern vermutlich andere Normen oder Auslegungskriterien ausschlaggebend sind.

Tabelle 4-20: Recherchierte Auslegungswerte für Österreich

	Anforderungen an Mindestaußenluftvolumenstrom	Berechnungsweise	Literatur
	$\frac{m^3}{h}$ pro Person		
Einzelbüro	35	Maximalwertverfahren	Arbeitsstättenverordnung 2022
Klassenzimmer	36	Maximalwertverfahren	ÖNORM H 6039 (2022 Entwurf)
Theatersaal	Keine Informationen		
Patientenzimmer	Keine Informationen		

Für den CO₂-Grenzwert werden 1.000 ppm angesetzt.

4.1.13 Polen

1. Literatur

Für Polen liegen zwei Dokumente vor.

- a. Poz. 1422 Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju
- b. PN-83/B-03430

Poz. 1422 Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju [45]

W sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Hinweis der Minister für Infrastruktur und Entwicklung über die Veröffentlichung des konsolidierten Textes der Verordnung des Ministers für Infrastruktur über die technischen Anforderungen an Gebäude und deren Standort, aus dem Amtsblatt der Europäischen Union der Republik Polen, 18.09.2015, Artikel 1422).

In §149 1. wird der Volumenstrom auf mindestens $20 \frac{m^3}{h}$ Außenluft für Räume mit ständigem Aufenthalt festgelegt. Es heißt im Wortlaut (übersetzt):

„Der Volumenstrom der Außenluft für Räume, die keine Arbeitsräume sind, soll den Anforderungen der Polnischen Norm für Lüftung entsprechen, in Wohnungen soll sich der Volumenstrom an der Größe des Abluftvolumenstroms orientieren, jedoch nicht weniger als $20 m^3/h$ pro Person betragen, die für den ständigen Aufenthalt im Bauvorhaben vorgesehen ist.“

In Absatz 2 wird festgehalten, dass der Außenluftvolumenstrom am Arbeitsplatz *„den Anforderungen der Gesundheits- und Sicherheitsvorschriften am Arbeitsplatz entsprechen“* (Wörtliches Zitat aus oben genannter Quelle) sollte.

Dieses Dokument stellt daher eine gesetzliche Mindestanforderung, allerdings keine Planungsempfehlung dar. Dafür wird auf die polnische Norm für Lüftung verwiesen, die allerdings im Text nicht näher spezifiziert wird. Es gibt jedoch ein Verzeichnis in Anhang 1 des Dokuments, das alle polnischen Normen auflistet, auf die in der Europäischen Norm verwiesen wird. Darin wird klargestellt, dass in §149 die PN-83/B-03430 gemeint ist.

PN-83/B-03430 [46]

Wentylacja w budynkach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego i uŜyteczności publicznej – Wymagania (Polnischer Standard mit dem Titel: Lüftung in Wohngebäuden für Gemeinschaftsunterkünfte und öffentliche Einrichtungen – Anforderungen).

Hier liegen von einer Webseite die *„wichtigsten Bestimmungen der Normen PN-83/B-03430 und PN-83/B-03430/Az3:2000“* vor. (wörtliches Zitat aus oben genannter Quelle)

Neben Wohngebäuden wird darin der Außenluftvolumenstrom für öffentliche Gebäude wie folgt definiert:

- $20 m^3/h$ für jeden Bewohner
- $30 m^3/h$ für jeden Bewohner, wenn das Rauchen erlaubt ist
- $15 m^3/h$ für jedes Kind (Kinderkrippen und Kindergärten)

„In klimatisierten und belüfteten Räumen mit nicht zu öffnenden Fenstern sollte die Lüftungsluftmenge 30 m³/h pro Bewohner und 50 m³/h betragen, wenn das Rauchen erlaubt ist.“ (wörtliches Zitat aus obiger Quelle)

2. Einordnung der Literatur

Auch wenn es sich teils um offizielle Dokumente handelt, so wird der Außenluftvolumenstrom darin sehr pauschal angegeben, weshalb es fraglich ist, ob dies die einzigen Dokumente für die Planung der Gebäudelüftung sind.

3. Ergebnis der Recherche

Für die Auslegung sind, sofern von einer vollständigen Literaturlage ausgegangen wird, die Werte der nationalen polnischen Norm zu verwenden.

Tabelle 4-21: Recherchierte Auslegungswerte für Polen

	Anforderungen an Mindestaußenluftvolumenstrom	Berechnungsweise	Literatur
Einheit:	m ³ /h		
Einzelbüro	20	Ausschließlich personenbezogene Empfehlungen	PN-83/B-03430
Klassenzimmer	20		
Theatersaal	20		
Patientenzimmer	20		

Es werden keine CO₂-Grenzwerte angegeben.

4.1.14 Portugal

1. Literatur

Für Portugal liegt ein Dokument vor.

Verordnung Nr. 353-A/2013 Portaria n.º 353-A/2013 [47]

Regulamento de desempenho energético dos edifícios de comércio e serviços (recs) requisitos de ventilação e qualidade do ar interior (Verordnung über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden; Dienstleistungen (recs) Anforderungen an die Belüftung und die Luftqualität in Innenräumen, erlassen vom Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Energie, Gesundheit und Solidarität, Beschäftigung und Soziale Sicherheit).

Diese Verordnung unterscheidet in natürliche und maschinelle Belüftung.

Im Kapitel 1.2 maschinelle Lüftung wird der Volumenstrom der neu zuzuführenden Luft (Außenluft) zunächst über einen Zusammenhang mit dem Schadstoffabscheidegrad angegeben. Dieser Schadstoffabscheidegrad wird tabellarisch für verschiedene Fälle angegeben. In dieser Studie wird er zum Zwecke der Vergleichbarkeit auf 1 gesetzt.

Zur Festlegung des Außenluftvolumenstroms gibt es die analytische und die präskriptive Methode. Bei der analytischen Methode wird die CO₂-Konzentration im Raum entsprechend des jeweiligen Belegungsprofils, des Lüftungsprofils und den physischen Eigenschaften der Bewohner ermittelt bzw. umgekehrt mit einem CO₂-Grenzwert (1.250 ppm) der notwendige Außenluftvolumenstrom bestimmt.

Bei der präskriptiven Methode werden personenbezogene und flächenbezogene Mindestwerte für den Außenluftstrom angegeben. Es werden empfohlene Volumenströme zur Beseitigung der Stofflasten sowohl durch die Belegung als auch durch den Raum selbst (Baumaterialien) gegeben.

„Der Mindestaußenluftdurchsatz, der bei der Anwendung dieser Methode zu berücksichtigen ist, ist der höhere der Werte, der für die beiden oben genannten Arten der Schadstoffbelastung und für den betreffenden Raum“ ermittelt wurden (wörtliches Zitat aus oben genannter Quelle).

Die empfohlenen Werte entstammen Berechnungen des stationären Zustands einer Raumbellegung mit durchschnittlich korpulenten Erwachsenen (70 kg Gewicht, 1,7 m Körpergröße und 1,81 m² Körperoberfläche).

In der Tabelle werden die Werte nach Tätigkeit, üblicher Stoffwechselrate (met) und Beispielen für Raumtypen geordnet.

Tabelle 4-22: Außenluftvolumenstrom je nach Stoffwechselrate

Art der Tätigkeit	Stoffwechselrate	Beispiel für Raumtypen	Außenluftvolumenstrom (m ³ /(h*Person))
Schlaf	0,8	Zimmer, Schlafsäle u.ä.	16
Ruhe	1,0	Ruheräume, Warteräume, Konferenzräume, Auditorien u.ä., Bibliotheken	20
Sitzend	1,2	Büroräume, Büros, Sekretariate, Klassenzimmer, Kinos, Aufführungssäle, Speisesäle, Geschäfte u.ä., Museen und Galerien, Wohnräume, Aufenthaltsräume von Altenheimen u.ä.	24
		Kindergarten, und Vorschulräume sowie Kinderkrippenräume	28
Moderat	1,75 (1,4 ... 2,0)	Labore, Werkstätten, Design- und Workshopräume, Cafés, Bars, Spielräume u.ä.	35
Geringfügig hoch	2,5 (2,0 ... 3,0)	Tanzböden, Säle in Turnhallen, Ballettsäle u.ä.	49
hoch	5 (3,0 ... 9,0)	Krafttrainingsräume, Räume in Fitnessstudios, Sporthallen u.ä.	98

Des Weiteren werden Werte für den Mindestaußenluftstrom in Abhängigkeit der Schadstoffbelastung durch das Gebäude (m³/(h*m²)) gegeben:

Tabelle 4-23: Mindestaußenluftstrom in Abhängigkeit der Schadstoffbelastung durch das Gebäude

Lage des Gebäudes	Außenluftvolumenstrom in m ³ /(h*m ²)
Keine Tätigkeiten, die mit der Emission bestimmter Schadstoffe verbunden sind	3
Bei Tätigkeit, die mit der Emission bestimmter Schadstoffe verbunden sind	5
Anmerkungen: 1 - Zu den Tätigkeiten, die mit der Emission spezifischer Schadstoffe verbunden sind, gehören: Wäschereien, Parfümerien, Apotheken, Schönheitssalons, Tierhandlungen, Kunstunterrichtsräume, Schullabors, Möbel- und Holzgeschäfte. 2 - Bei Schwimmbädern sollte der neue Mindestluftstrom auf der Grundlage eines Wertes von 20 m ³ /(Stunde*m ²) berechnet werden, wobei die Bezugsfläche die Wasseroberfläche ist. 3 - Für Räume, in denen die Art der Tätigkeit "Schlafen" ist, sollte der neue Mindestluftstrom nicht als Funktion der Fläche berechnet werden, und die Anforderung sollte nur in Abhängigkeit von der Belegung überprüft werden. 4 - Im Falle eines Raumes, in dem Materialien mit geringer Schadstoffemission vorherrschen (mehr als 75 %), sollte der Mindestwert für den neuen Luftstrom 2 m ³ /(h*m ²) betragen. 5 - Im Sinne der vorstehenden Nummer gelten als Materialien mit geringer Schadstoffemission Beläge und Verkleidungen, die mindestens eine der folgenden Bedingungen erfüllen: a) Sie emittieren naturgemäß keine Schadstoffe, nämlich keramische oder steinerne Werkstoffe ohne Beschichtungsprodukte wie Fliesen und ähnliche Materialien, mit Ausnahme von unversiegeltem Granit, metallische Werkstoffe wie Stahl, Aluminium und ähnliche sowie Glas; b) Sie verfügen über ein Zertifikat oder ein Etikett, das ihre geringen Schadstoffemissionen ausdrücklich nachweist und von in der Gemeinschaft anerkannten Systemen ausgestellt wird.	

2. Einordnung der Literatur

Laut Artikel 1 des Dokuments legt:

„1 – Die Verordnung [...] die Mindestwerte für den neuen Luftstrom pro Raum sowie die Schutzwelle und die Referenzbedingungen für Innenraumluftschadstoffe in neuen, weitgehend fertig gestellten und bestehenden Gewerbe- und Dienstleistungsgebäuden sowie die entsprechende Bewertungsmethode fest.“ (Zitat aus oben genannter Quelle)

Darüber hinaus wird der Anhang dieses Erlasses im Zuge des Gesetzesdekrets Nr. 118/2013 vom 20. August genehmigt, ist also verpflichtend in der Anwendung. Die Qualität der Literatur wird als ausreichend eingestuft.

3. Ergebnis der Recherche

Es fehlen spezielle Werte für das Krankenhausumfeld und auch in den Raumtypen werden zwar Labore und Apotheken, nicht aber Krankenzimmer als Beispiele genannt.

Tabelle 4-24: Recherchierte Auslegungswerte für Portugal

Einheit	Anforderungen an Mindestaußenluftvolumenstrom		Berechnungsweise	Literatur
	$\frac{m^3}{h \cdot Pers}$	$\frac{m^3}{h \cdot m^2}$		
Einzelbüro	24	3	Maximalwert	Verordnung Nr. 353-A/2013
Klassenzimmer	24	3		
Theatersaal	20	3		
Patientenzimmer	--	--		

Der CO₂-Grenzwert wird als eine Schutzwelle von 1.250 ppm angegeben [47][47].

4.1.15 Rumänien

1. Literatur

Für Rumänien liegen drei Dokumente vor.

- prSR EN 16798-1/NA, (2019)
- Normativ I5-2010
- Belüftung und Energieverbrauch – RECEPB 2014

prSR EN 16798-1/NA, (2019) [50]

Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Belüftung von Gebäuden, nationaler Anhang.

Da es sich bei diesem Dokument um einen Nationalen Anhang der EN 16798 handelt, sollen im Folgenden lediglich die Unterschiede zur europäischen Norm hervorgehoben werden.

Methode 1

Methode 1 beschreibt auch im Nationalen Anhang von Rumänien das additive Verfahren mit personenbezogenen und flächenbezogenen empfohlenen Werten.

Je nach Definition der Innenraumluftqualität werden folgende Werte vorgegeben:

Tabelle 4-25: Tabelle A.6.3 (NA)– Auslegungs-Volumenströme für die Verdünnung von Emissionen durch den Menschen

Kategorie	Prozentsatz der Unzufriedenheit %	Außenluftvolumenstrom für eine Person D_p $\frac{m^3}{h \cdot Person}$
I	15	36
II	20	25
III	30	15
IV	>30	<15

Tabelle 4-26: Tabelle A7 (NA) – Auslegungs-Ventilationsströme für die Verdünnung von Gebäudeemissionen

Kategorie	Luftstrom pro Fläche ($m^3/h \cdot m^2$)		
	Gebäude Sehr schadstoffarm	Gebäude schadstoffarm	Andere
I	1,8	3,6	7,2
II	1,26	2,52	5
III	1,1	1,44	2,9
IV	niedriger als die Werte für die Kategorie III		

Es wird darauf hingewiesen, dass in Raucherbereichen doppelte Volumenströme anzusetzen sind.

Werden zivile Gebäude mit diesen empfohlenen Werten ausgelegt, werden laut der Norm folgende CO₂-Werte erreicht:

Tabelle 4-27: CO₂-Standardwerte für verschiedene Innenraumluftkategorien (IDA) im NA Rumänien

Kategorie	Typischer Bereich in ppm	Standardmäßiger CO ₂ -Wert über Außenluft in ppm
IDA 1 (I)	≤ 400	350
IDA 2 (II)	400 ... 600	500
IDA 3 (III)	600 ... 1.000	800
IDA 4 (IV)	≥1.000	1.200

IDA steht für „Indoor Air Quality“ und klassifiziert die Innenraumluftqualität.

Methode 2

Hier erfolgt die Auslegung nach Grenzkonzentrationen von Schadstoffen. Wenn CO₂ als Leitgas verwendet wird, werden folgende Grenzwerte empfohlen:

Tabelle 4-28: Festlegung der CO₂-Konzentration über der Außenluft für nicht angepasste Personen

Kategorie	CO ₂ -Konzentration über der Außenluft, nicht angepasste Personen, in ppm
I	550
II	800
III	1.350
IV	1.350

Methode 3

In Methode 3 werden für einige wenige Typräume spezifische Werte angegeben [50]:

- a) $15 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{pers})$ für Kindergärten, Schulen oder Hochschulen;
- b) $18 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{pers})$ für Räume in Gymnasien, Seminaren, Unterkunftsräumen, Büros, Versammlungsräumen,
- c) $22 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{pers})$ für Speisesäle,
- d) $30 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{pers})$ für isolierte Sanitäreinheiten;
- e) von 10 bis $20 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{Tisch})$, für Gemeinschaftsküchen, je nach der Anzahl der gleichzeitig bedienten Tische.

Normativ I5-2010 [34]

Pentru proiectarea, executarea și exploatarea instalațiilor de ventilare și climatizare (Normative für die Planung, Ausführung und den Betrieb von Lüftungs- und Klimaanlage (nach I5-2010)).

In dieser Norm wird immer wieder auf die SR EN 13779:2007 verwiesen, die für die Studie nicht vorlag, aber der Vorgänger der Europäischen Norm EN 16798 ist.

Diese Norm definiert entsprechend der IDA 1 bis 4 Klassen den CO₂-Grenzwert über der Außenluft zu 350, 500, 800, 1.200 ppm.

Damit bestätigt diese Norm die im Nationalen Anhang der EN 16798 in Methode 1 angegebenen Werte.

In dieser Norm wird ein Verfahren zur Bestimmung des nötigen Außenluftvolumenstroms genannt, das auf dem maximalen CO₂-Grenzwert basiert (ähnlich Methode 2 der EN 16798). Darüber hinaus werden auch einige wenige personenbezogene Volumenströme nach Typräumen angegeben, die sich mit den Empfehlungen des Nationalen Anhangs der EN 16798 exakt decken.

Bemerkenswert ist Anhang 7, der in tabellarischer Form für verschiedene Typräume Mindest-Luftwechsel (1/h) angibt. Diese Tabelle ist in Anhang 5 dargestellt. In der Norm unter 5.4.19 wird auf diese Tabelle verwiesen und erläutert:

„5.4.19. Bei der Luftzirkulation nach dem "Durchmischungs"-Schema wird die empfohlene stündliche Verschiebungsmethode verwendet, um zu beurteilen, ob der Luftstrom angemessen ist. Diese stündlichen Änderungen können für die Auswahl von Gebläsekonvektoren verwendet werden. In Tabelle in Anhang 7 dieser technischen Vorschrift ist die Anzahl der Luftwechsel pro Stunde [1/h] für verschiedene Raumziele angegeben.“ [34]

Demnach werden die Werte nicht für die Auslegung der Lüftung zur Abfuhr von Schadstoffen aus dem Innenraum herangezogen, sondern zur Auswahl von Gebläsekonvektoren. Interessanterweise stehen diese Werte aber zumindest teilweise im Widerspruch zu den anderen Werten im Dokument. Möglicherweise liegt dies am zusammenfassenden Charakter der I5-2010 für Informationen aus verschiedenen anderen Normen.

Belüftung und Energieverbrauch – RECEPB 2014 [49]

Beitrag der Romanian Conference for Energy Performance of Buildings über Belüftung und Energieverbrauch.

In dieser Präsentation werden neben weiteren Normen auch die Norm I5 – 2010 und die SR EN 13779 zitiert. Das beschriebene Vorgehen deckt sich mit dem der EN 16798 Methode 1.

2. Einordnung der Literatur

Der Bestand der Literatur wird als gut eingeschätzt, da sowohl der Nationale Anhang der DIN 16798 als auch eine ältere nationale Norm sowie eine zusammenfassende Präsentation einer rumänischen Universität vorliegen, die sich in ihren Ausführungen und den empfohlenen Werten größtenteils gegenseitig bestätigen. Die I5-2010 zitiert verschiedene andere Normen, darunter den Vorgänger der EN 16798.

Die oben erwähnte Tabelle für Mindestluftwechsel aus der I5-2010 (siehe Anhang 5) steht zwar in gewisser Weise im Widerspruch, ist jedoch auch nicht für das Thema der Schadstoffabfuhr aus Innenräumen aufgestellt.

In weiteren Auswertungen dieser Studie wird daher im Allgemeinen auf den Nationalen Anhang der EN 16798 referenziert, da dieser die aktuellste (2019) und im europäischen Raum gültige Norm darstellt. Damit gleichen die Werte denen der europäischen Norm, wenn Methode 1 verwendet wird. Die wenigen in Methode 3 angegebenen Typräume können hier nur für das Klassenzimmer zur Anwendung kommen. Vergleichend fällt auf, dass der Wert erheblich geringer als der aus Methode 1 resultierende ist. Ebenso auffällig sind die bei Methode 1 und Methode 2 unterschiedlichen CO₂-Grenzwerte, die für die vier Innenraumklimakategorien angesetzt werden. So ergeben sich unterschiedliche Anforderungen je nachdem, ob der Außenluftvolumenstrom nach Methode 1 oder Methode 2 ausgelegt wird.

3. Ergebnis der Recherche

Tabelle 4-29: Recherchierte Auslegungswerte für Rumänien

	Anforderungen an Mindestaußenluftvolumenstrom Methode 1 (Kategorie II)		Anforderungen an Mindestaußenluftvolumenstrom Methode 3	Berechnungsweise	Literatur
	$\frac{m^3}{h \cdot Pers}$	$\frac{m^3}{h \cdot m^2}$	$\frac{m^3}{h \cdot Pers}$		
Einzelbüro	25	2,52		Additionsverfahren	prSR EN 16798-1/NA, (2019)
Klassenzimmer	25	2,52	18	Additionsverfahren, oder nach Methode 3 ausschließlich personenbezogen	
Theatersaal	25	2,52		Additionsverfahren	
Patientenzimmer	25	2,52		Additionsverfahren	

Für den CO₂-Grenzwert werden für Einzelbüro, Klassenzimmer und Theatersaal 800 ppm über der Außenluftkonzentration und 550 ppm über der Außenluftkonzentration für das Patientenzimmer angesetzt.

4.1.16 Schweden

1. Literatur

Für Schweden liegen zwei Dokumente vor.

- a. AFS 2020:1 Gestaltung von Arbeitsplätzen
- b. FoHMFS 2014:18

AFS 2020:1 Gestaltung von Arbeitsplätzen [53]

Dies ist eine „Sammlung von Vorschriften der schwedischen Behörde für Arbeitsumwelt.

Darin wird in §112 zunächst definiert, dass an einem Arbeitsplatz „normalerweise“ folgende Außenluftvolumenströme nötig sind:

- mindestens 7 Liter Außenluft pro Sekunde und Person und
- mit einem Zusatz von mindestens 0,35 Liter pro Sekunde und m² Bodenfläche.

Diese Werte werden jedoch mit dem Hinweis gegeben, dass der personenbezogene Außenluftvolumenstrom nur für sitzende Tätigkeit und der flächenbezogene nur für minimierte Emissionen von Luftschadstoffen gilt. Ist dies nicht der Fall, werden höhere Außenluftvolumenströme nötig.

Auf diese evtl. nötigen höheren Volumenströme wird jedoch nicht näher eingegangen.

FoHMFS 2014:18 [52]

Allgemeine Hinweise zur Belüftung von der Public Health Agency.

Dieses Dokument stellt eine Verordnungssammlung des Zentralamts für öffentliche Gesundheit und sind damit verbindliche Regeln, die jährlich erscheint.

Darin werden die Werte aus der AFS 2020:1 vom Arbeitsplatz auf Schulen und Kinderbetreuungseinrichtungen angewandt. Als Grenzwert für eine ausreichende Belüftung werden 1.000 ppm genannt.

2. Einordnung der Literatur

Bei der Literatur handelt es sich um Gesetzessammlungen, die von Regierungsbehörden/Ministerien herausgegeben werden, weshalb sie als valide und bindend eingeschätzt werden. Fraglich ist, in wie weit Arbeitsplatzgrenzwerte auch auf die Typräume Theatersaal und Patientenzimmer anwendbar sind. FoHMFS 2014:18 schafft zumindest für Schulräume Klarheit.

3. Ergebnis der Recherche

In Tabelle 4-30 sind die Empfehlungen für die Typräume dieser Studie aus den oben genannten Literaturquellen dargestellt. Zur Auslegung wird in Schweden ein additives Verfahren verwendet.

Tabelle 4-30: Recherchierte Auslegungswerte für Schweden

Einheit	Anforderungen an Mindestaußenluftvolumenstrom		Berechnungsweise	Literatur
	$\frac{l}{s \cdot Pers}$	$\frac{l}{s \cdot m^2}$		
Einzelbüro	7	0,35	Additives Verfahren	AFS 2020:1
Klassenzimmer	7	0,35		FoHMFS 2014:18
Theatersaal	7	0,35		AFS 2020:1 <i>(Nicht eindeutig anwendbar, da für Arbeitsplätze ohne ungewöhnliche Schadstoffemissionen)</i>
Patientenzimmer	7	0,35		

Für den CO₂-Grenzwert werden 1.000 ppm angesetzt.

4.1.17 Schweiz

1. Literatur

SNR 592024:2021 [54]

Auslegungswerte für Heizungs- Kälte und Lufttechnische Anlagen.

Aus SNR 592024:2021 steht Tabelle 11 mit empfohlenen Parametern wie den Auslegungstemperaturen im Heiz- und Kühlfall zur Verfügung. Sie enthält aber auch den empfohlenen „Hygienebedingten Außenluftvolumenstrom für Räume mit unterstützender Fensterlüftung in $m^3/(h \cdot Pers)$ “ und einen „prozessbedingten Außenluftvolumenstrom in $m^3/(h \cdot m^2)$ “. Die vorliegende Tabelle impliziert, dass je nach Raumnutzung ein bestimmter personenbezogener oder flächenbezogener Außenluftvolumenstrom empfohlen wird. Die Tabelle weist einen vergleichsweise hohen Detailgrad an Typräumen auf, jedoch werden diesen meist derselbe Außenluftvolumenstrom von $29 m^3/h$ pro Person zugewiesen. Lediglich für Küchen und für Produktionsstätten wird ein Außenluftvolumenstrom von $48 m^3/h$ pro Person empfohlen. Die Tabelle mit den einzelnen Werten für den Mindestaußenluftvolumenstrom ist in Anhang 6 dargestellt.

2. Einordnung der Literatur

Dadurch, dass lediglich ein Ausschnitt aus der Norm SNR 592024:2021 in Form von Tabelle 11 vorliegt, fällt die Einordnung der beschriebenen Werte des Dokuments schwer. Zumindest stammt der Ausschnitt aus einer aktuellen offiziellen Norm aus dem Jahr 2021.

3. Ergebnis der Recherche

Tabelle 4-31: Recherchierte Auslegungswerte für die Schweiz

Einheit:	Anforderungen an Mindestaußenluftvolumenstrom	Berechnungsweise	Literatur
	$\frac{m^3}{h \cdot Pers}$		
Einzelbüro	29	Nicht spezifiziert	SNR 592024:2021 Tabelle 11
Klassenzimmer	29		
Theatersaal	29		
Patientenzimmer	29		

Ein CO₂-Grenzwert ist nicht bekannt.

4.1.18 Slowenien

1. Literatur

Für Slowenien liegt ein Dokument vor.

Pravilnik o prežračevanju in klimatizaciji stavb [55, 56]

Inoffizielle konsolidierte Fassung der Verordnung über die Lüftung und Klimatisierung von Gebäuden, veröffentlicht im Amtsblatt der RS, Nr. 42/02 (2002), Nr. 105/02 (2002) und Nr. 61/17 von 2017.

Dieses Dokument gibt die Außenluftzufuhr in Nichtraucherräumen mit $15 \text{ m}^3/\text{h}$ und Person an, sofern andere Schadstoffquellen ausgeschlossen sind und der Lüftungswirkungsgrad 1 ist.

Im zweiten Absatz wird zusätzlich das Kriterium eines Luftwechsels von mindestens $n = 0,5 \text{ 1/h}$ angegeben. Während der Abwesenheit von Personen kann dieser Luftwechsel auf $n = 0,2 \text{ 1/h}$ verringert werden. In Räumen mit höheren Decken über 3,5 m ist ein Luftwechsel von $n < 0,5 \text{ 1/h}$ ausreichend. Wenn das Rauchen erlaubt ist, muss der Außenluftvolumenstrom auf $45 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{Person})$ erhöht werden.

Im Anhang des genannten Dokuments gibt es eine Tabelle mit weiteren Außenluftströmen für bestimmte Typräume.

Darin werden die Belegungsdichte sowie der personenbezogene und flächenbezogene bzw. raumbezogene Luftvolumenstrom angegeben. Darunter sind auch die Typräume dieser Studie aufgezählt. Die Tabelle wird in Anhang 7 dargestellt.

2. Einordnung der Literatur

Das Dokument stellt eine informative Arbeitshilfe dar, die im Amtsblatt der Republik Slowenien veröffentlicht wurde. Die Quelle wird als vertrauenswürdig eingestuft. Außerdem werden zulässige Konzentrationen für verschiedene Luftschadstoffe in Innenräumen definiert.

3. Ergebnis der Recherche

In Anhang 7 ist das Format der Tabelle 8 aus oben genannter Quelle dargestellt. Für die in dieser Studie ausgewählten Typräume werden darin nur personenbezogene Volumenströme angegeben. Für andere Typräume werden auch Empfehlungen pro Quadratmeter oder pro Raum verwendet. Es wird jedoch stets nur eine der Empfehlungen gegeben, die dann für die Auslegung verwendet werden soll. Die Belegungsdichte weicht teilweise von den in dieser Studie gewählten Szenarien ab, daher werden die Unterschiede in Tabelle 4-32 hervorgehoben. Auffallend ist dabei, dass flächenbezogene Volumenstromempfehlungen meist für Typräume wie Garagen, Lagerhallen, Garderoben, aber auch Tierhandlungen angegeben werden, die also einerseits nicht durch häufigen und langen Personenaufenthalt gekennzeichnet sind, oder und andererseits Emissionsquellen abgesehen von Personen (Gerüche von Tieren, Autoabgase etc.) auftreten. Über die flächenbezogenen Empfehlungen dieser Typräume kann die Lüftung auch ohne Personenbelegung bzw. bei unbekannter oder variierender Personenbelegung sichergestellt werden. Die raumbezogenen Volumenstromempfehlungen werden lediglich für Schlafräume, Wohnräume, Bäder und Toiletten in Hotels u.ä. empfohlen.

Der CO_2 -Grenzwert für Innenräume ist mit 3.000 ppm angegeben.

Tabelle 4-32: Recherchierte Auslegungswerte für Slowenien

	Belegungs- dichte		Anforderungen an Mindestaußenluft- volumenstrom		Berechnungs- weise	Literatur
	$\frac{1}{100 m^2}$ Richt-li- nie	$\frac{1}{100 m^2}$ Typ- raum	$\frac{m^3}{h \cdot Pers}$	$\frac{m^3}{h \cdot m^2}$		
Einzelbüro	7	10	35	--	Maximalwert- verfahren	Verordnung über die Lüftung und Klimati- sierung von Gebäu- den
Klassenzimmer	50	50	30	--		
Theatersaal	150	91	30	--		
Patientenzimmer	10	12,5	45	--		

4.1.19 Spanien

1. Literatur

Für Spanien liegt ein Dokument vor.

Legislación Consolidada, Real Decreto 1027 / 2007 [57]

De 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, (BOE-A-2007-15820) (Konsolidierte Gesetzgebung, Königlicher Erlass 1027 / 2007 vom 20. Juli zur Genehmigung der Verordnung über thermische Anlagen in Gebäuden, Boletín Oficial del Estado (BOE, „Staatliches Amtsbulletin“), Ministerio de la Presidencia, veröffentlicht am 29.08.2007, in Kraft seit dem 29.02.2008).

Der königliche Erlass definiert Innenraumluftqualitätskategorien (IDA) je nach Gebäudenutzung.

- IDA 1 (optimale Luftqualität): Krankenhäuser, Kliniken, Laboratorien und Kindergärten
- IDA 2 (gute Luftqualität): Büros, Wohnräume, Museen, Lesesäle, Klassenzimmer und Schwimmbäder
- IDA 3 (mittlere Luftqualität): Kinos, Theater, Versammlungsräume, Restaurants, Bars, Turnhallen, Sporthallen, und Computerräume
- IDA 4 (niedrige Luftqualität)

Der Mindestaußenluftvolumenstrom, der erforderlich ist, um die definierten Innenraumluftqualitätsklassen zu erreichen, kann nach fünf verschiedenen Methoden berechnet werden. Die Berechnungsmethoden stellen sich wie folgt dar:

Indirekte Methode, Außenluftstrom pro Person

Für die jeweilige Innenraumluftqualitätskategorie sind folgende personenbezogenen Volumenströme vorgeschrieben:

Tabelle 4-33: Personenbezogene Volumenströme je Innenraumluftkategorie in Decreto 1027

Innenraumluftqualitätskategorie	$\frac{dm^3}{s}$ pro Person
IDA 1	20
IDA 2	12,5
IDA 3	8
IDA 4	5

Die Werte sind für eine Stoffwechselaktivität, die etwa 1,2 met entspricht, gültig. Außerdem beschränkt sich die Gültigkeit auf Räume, in denen die Freisetzung von Schadstoffen durch andere Quellen als den Menschen gering und das Rauchen nicht erlaubt ist. In Räumen, in denen das Rauchen erlaubt ist, müssen die Außenluftvolumenströme mindestens doppelt so hoch sein.

Direkte Methode nach wahrgenommener Luftqualität

Nach dieser Methode werden den Innenraumluftqualitätskategorien empfundene Luftqualitäts-grenzwerte zugeordnet. Es wird auf die CR 1752: Lüftung von Gebäuden – Auslegungskriterien für Innenräume verwiesen, welche Gleichungen zur Berechnung der erforderlichen Außenluftvolumenströme enthält. Die wahrgenommene Raumlufqualität wird hierbei durch die

Einheit dezipol beschrieben. Ein dezipol beschreibt die beim Betreten eines Raumes empfundene Luftqualität, die durch eine Standartperson (1 olf) verursacht wird, unter der Annahme eines Raums, der mit 10 l/s belüftet wird [66]. Die Werte sind in folgender Tabelle dargestellt:

Tabelle 4-34: Wahrgenommene Raumluftqualität je Innenraumluftkategorie in Decreto 1027

Innenraumluftqualitätskategorie	Wahrgenommene Raumluftqualität in dezipol
IDA 1	0,8
IDA 2	1,2
IDA 3	2,0
IDA 4	3,0

Direkte Methode nach CO₂-Konzentration

Nach dieser Methode werden den Innenraumluftqualitätskategorien CO₂-Grenzwerte zugeordnet. Diese sind in Tabelle 4-35 dargestellt:

Tabelle 4-35: CO₂ Konzentration je Innenraumluftkategorie in Decreto 1027

Innenraumluftqualitätskategorie	CO ₂ -Konzentration über der Konzentration in der Außenluft in ppm
IDA 1	350
IDA 2	500
IDA 3	800
IDA 4	1.200

Laut dem vorliegenden Dokument kann die direkte Methode nach der CO₂-Konzentration für Räumlichkeiten mit hoher Stoffwechselaktivität (z.B. sportlich genutzte Räume) verwendet werden. Ebenso in Betrieben mit hohem Schadstoffanfall (Schwimmbäder, Bars, Geschäfte) kann diese Methode verwendet werden.

Indirekte Methode, Luftstrom pro Flächeneinheit

Diese Methode wird für Räume, die nicht zum ständigen Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, empfohlen. Es gelten folgende Werte:

Tabelle 4-36: Flächenbezogener Volumenstrom je Innenraumluftkategorie in Decreto 1027

Innenraumluftqualitätskategorie	Außenluftstrom in $\frac{dm^3}{s \cdot m^2}$
IDA 1	Nicht anwendbar
IDA 2	0,83
IDA 3	0,55
IDA 4	0,28

Verdünnungsmethode

Sind in einem Raum Emissionen bestimmter Schadstoffe bekannt, so ist die Verdünnungsmethode anzuwenden. Für die Berechnung wird auf EN 13779 verwiesen. Die für jeden Schadstoff ermittelte Konzentration muss unter Berücksichtigung der Konzentration in der Zuluft und den Emissionen in den Räumlichkeiten unter dem von den Gesundheitsbehörden festgelegten Grenzwert liegen. Für die Anforderungen in Krankenhäusern wird auf die UNE 100713 verwiesen.

Der Erlass gibt lediglich Empfehlungen, für welchen Anwendungsfall welche Methode verwendet werden soll. Für die im Rahmen dieser Untersuchungen ausgewählten Raumtypen sollen die Empfehlungen, soweit vorhanden, berücksichtigt werden.

2. Einordnung der Literatur

Die vorliegenden Informationen stammen aus einem Gesetzestext spanischer Behörden. Die Quelle ist als vertrauenswürdig einzustufen. Laut der Website des Gesetz- und Amtsblatts des spanischen Staates ist der Erlass aktuell gültig. Insgesamt sind die Vollständigkeit und Qualität als sehr gut einzuschätzen.

3. Ergebnis der Recherche

Tabelle 4-37: Recherchierte Auslegungswerte für Spanien

	Anforderungen an Mindestaußenluftvolumenstrom	Berechnungsweise	Literatur
Einzelbüro	$12,5 \frac{dm^3}{s}$ pro Person	Indirekte Methode, Außenluftstrom pro Person, IDA 2	Real Decreto 1027 / 2007
Klassenzimmer	$12,5 \frac{dm^3}{s}$ pro Person	Indirekte Methode, Außenluftstrom pro Person, IDA 2	
Theatersaal	$8 \frac{dm^3}{s}$ pro Person	Indirekte Methode, Außenluftstrom pro Person, IDA 3	
Patientenzimmer	$20 \frac{dm^3}{s}$ pro Person	Indirekte Methode, Außenluftstrom pro Person, IDA 1	

Für die CO₂-Grenzwerte werden für die beiden Typräume Einzelbüro und Klassenzimmer 500 ppm oberhalb der Außenluftkonzentration verwendet, was IDA 2 entspricht. Für den Theatersaal werden 800 ppm oberhalb der Außenluftkonzentration angesetzt, da er IDA 3 zugeordnet ist. Das Patientenzimmer wird IDA 1 zugewiesen, darum werden 350 ppm oberhalb der Außenluftkonzentration verwendet als CO₂-Grenzwert eingesetzt.

4.1.20 Tschechien

1. Literatur

Für Tschechien liegen zwei Dokumente vor.

- a. 361. Nařízení vlády – ze dne 12. Prosince 2007
- b. Vyhláška č. 410/2005

361. Nařízení vlády – ze dne 12. Prosince 2007 [61]

Kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci (361. Regierungsverordnung - vom 12. Dezember 2007 - zur Festlegung der Bedingungen für den Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz, Sammlung der Gesetze der Tschechischen Republik, veröffentlicht am 28. Dezember 2007, gültig ab 01.01.2008).

Bei diesem Schriftstück handelt es sich um einen Gesetzestext der tschechischen Regierung. Er beschreibt die Anforderungen an den Gesundheitsschutz an Arbeitsplätzen. *„Am Arbeitsplatz muss eine ausreichende Luftzufuhr durch natürliche oder erzwungene Belüftung gewährleistet sein, um die Gesundheit des Arbeitnehmers zu schützen. Der Luftaustausch ist unter Berücksichtigung der ausgeführten Arbeit und ihrer körperlichen Anforderungen so festzulegen, dass für den Arbeitnehmer möglichst von Beginn der Schicht an zufriedenstellende mikroklimatische Bedingungen gewährleistet sind.“* (wörtliches Zitat aus oben genannter Quelle).

Es werden verschiedene Arbeitsklassen definiert, die nach dem Gesamtenergieaufwand eingeteilt sind. Zum Beispiel beschreiben Arbeiten der Klasse I sitzende, mit minimaler Körperbewegung auszuführende Arbeiten (z.B. PC-Arbeiten). Für Arbeiten der Klasse I wird an einem Arbeitsplatz der frei von Chemikalien, Stäuben oder anderen Schadstoffquellen ist, eine Mindestmenge an Außenluft von $25 \frac{m^3}{h}$ pro Arbeitnehmer vorgeschrieben. Die Mindestmenge an Außenluft ist zu erhöhen, wenn der zu belüftende Bereich der Arbeitsstätte einer zusätzlichen Belastung, z. B. durch Hitze oder Gerüche, ausgesetzt ist. In diesem Fall ist die zugeführte Außenluftmenge entsprechend der Anzahl der anwesenden Arbeitnehmer um $10 \frac{m^3}{h}$ zu erhöhen. Außerdem ist bei Arbeitsplätzen mit Publikumsverkehr die Außenluftmenge entsprechend der zu erwartenden Belastung von 0,2 bis 0,3 Personen pro m^2 der unbebauten Grundfläche des Raumes zu erhöhen. Bei Außentemperaturen über 26°C und unter 0°C kann die Außenluftmenge reduziert werden, jedoch nicht um mehr als die Hälfte.

In diesem Dokument werden ebenfalls zulässige Expositionsgrenzwerte und Maximalgrenzwerte für Chemikalien an Arbeitsplätzen festgelegt.

Vyhláška č. 410/2005 [60]

Sb. Vyhláška o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých (Verordnung Nr. 410/2005 Slg. über die hygienischen Anforderungen an die Räumlichkeiten und den Betrieb von Einrichtungen und Anstalten für die Erziehung und Ausbildung von Kindern und Jugendlichen, Teil 141/2005, gültig ab 16.11.2005).

Zákonyprolidi.cz ist ein Internetprojekt der Firma AION CS. Es bietet ein kostenloses Archiv aller tschechischen und tschechoslowakischen Rechtsnormen aus der Gesetzessammlung von 1945 bis heute in der ursprünglichen und aktuellen Fassung.

Diese Verordnung vom Gesundheitsministerium der tschechischen Republik regelt die hygienischen Anforderungen an die räumlichen Verhältnisse, den Betrieb, die Heizung und die mikroklimatischen Verhältnisse in Bildungseinrichtungen. In Anhang 3 des Dekrets werden Anforderungen an die Belüftung, unter anderem die Außenluftzufuhr, definiert. Je nach Raumtyp, wie zum Beispiel Klassenräume oder Turnhallen, werden Bereiche von geforderten personenbezogenen Volumenströme festgelegt. Für Klassenzimmer beträgt dieser 20 bis $30 \frac{m^3}{h}$ pro Schüler.

2. Einordnung der Literatur

Es liegen zwei Dokumente aus offiziellen Regierungsstellen vor, beide Texte sind gesetzlich verankert. Damit ist die Qualität der Informationen sehr gut. Laut dem Archiv der tschechischen Gesetzessammlung sind die beiden Verordnungen Stand heute gültig.

Für die Anforderungen an die Belüftung von Krankenhäusern bzw. gesundheitliche Einrichtungen liegen keine Informationen vor.

3. Ergebnis der Recherche

Tabelle 4-38: Recherchierte Auslegungswerte für Tschechien

	Anforderungen an Außenluftvolumenstrom	Berechnungsweise	Literatur/ Quelle
Einzelbüro	$25 \frac{m^3}{h}$ pro Person	Pauschalwertverfahren	361. Nařízení vlády
Klassenzimmer	$20 \dots 30 \frac{m^3}{h}$ pro Person	Pauschalwertverfahren	Vyhláška č. 410/2005
Theatersaal	Keine Information		
Patientenzimmer	Keine Information		

Es konnten keine Angaben über CO₂-Grenzwerte gefunden werden.

4.1.21 Ungarn

1. Literatur

Für Ungarn liegt ein Dokument vor.

40/2012. (VIII. 13.) BM rendelet [62]

Az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról szóló 7/2006 (V. 24.) TNM rendelet módosításáról (13. Erlass des Innenministers - zur Änderung des Dekrets Nr. 7/2006 (V. 24.) TNM über die Bestimmung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, 2012).

In Anlage 1 dieses Dokuments des ungarischen Innenministeriums wird der Luftbedarf für die Belüftung von Nichtwohngebäude beschrieben: *„Für Lüftungsanlagen in Räumen, in denen sich ständig Personen aufhalten, kann die Mindestmenge an Außenluft, die in den Aufenthaltsbereich eingeleitet werden muss, unter Berücksichtigung eines schadstoffarmen Gebäudes anhand der folgenden Beziehung bestimmt werden. Alle anderen Anforderungen sind im Entwurfsprogramm anzugeben.“* (wörtliches Zitat aus oben genannter Quelle).

Es wird folgende Formel angegeben:

$$q_{tot} = n \times 25,2 \frac{m^3}{h \cdot Person} + A \times 2,52 \frac{m^3}{h \cdot m^2} \quad (4-4)$$

q_{tot}	gesamte Lüftungszufuhr in $\frac{m^3}{h}$
n	Anzahl der Personen
A	Nutzfläche des Gebäudes in m^2

Des Weiteren wird eine maximale CO₂-Konzentration von 500 ppm oberhalb der Außenluftkonzentration erwähnt.

2. Einordnung der Literatur

Da das Dokument von offiziellen Stellen der ungarischen Regierung stammt, sind die Informationen als vertrauenswürdig einzuschätzen. Allerdings ist der Erlass auf das Jahr 2012 datiert. Es ist nicht auszuschließen, dass er nicht mehr aktuell ist.

3. Ergebnis der Recherche

Die in der Literaturquelle angegebene Formel kann auf alle Nichtwohngebäude angewandt werden. Es wird nicht zwischen verschiedenen Gebäudetypen unterschieden.

Tabelle 4-39: Recherchierte Auslegungswerte für Ungarn

	Anforderungen an Außenluftvolumenstrom		Berechnungsweise	Quelle
	$\frac{m^3}{h \cdot Pers}$	$\frac{m^3}{h \cdot m^2}$		
Einzelbüro	25,2	2,52	Additives Verfahren	40/2012. (VIII. 13.) BM rendelet
Klassenzimmer	25,2	2,52		
Theatersaal	25,2	2,52		
Patientenzimmer	--	--		

Für den CO₂-Grenzwert in Innenräumen wird 900 ppm verwendet.

4.1.22 Zypern

1. Literatur

Für Zypern liegt ein Dokument vor.

Verhaltenskodex für die Luftqualität in Innenräumen (2014) [69]

Zypriotische Republik, Ministerium für Arbeit und Soziale Sicherheit.

Diese Quelle stammt von einem offiziellen Ministerium der zypriotischen Regierung und enthält einen Verhaltenskodex für die Luftqualität in Innenräumen. Der Verhaltenskodex wurde im Amtsblatt der Zypriotischen Republik Nr. 4833 am 21.11.2014 veröffentlicht.

Das Dokument zählt Spezifikationen für die Gebäudelüftung auf. Es wird darauf hingewiesen, dass die CO₂-Konzentration als Indikator für die Bestimmung weiterer Schadstoffkonzentrationen herangezogen wird. Laut dem Verhaltenskodex sollte die CO₂-Konzentration in der Innenraumluft die Konzentration in der Außenluft nicht um mehr als 700 ppm übersteigen.

Des Weiteren werden für sechs Gebäudekategorien (Büroräume, Industrie / Dienstleistungen, öffentliche Gebäude, Handel, Bildungseinrichtungen und Lebensmittelindustrie) personenbezogene Mindestwerte für die Luftströme an Arbeitsplätzen definiert.

Zusätzlich werden Expositionsgrenzwerte weiterer Schadstoffe empfohlen, um die Sicherheit und Gesundheit von Arbeitnehmern zu gewährleisten.

2. Einordnung der Literatur

Da die Quelle aus offiziellen Regierungsstellen stammt, ist die Verlässlichkeit der Informationen als gut einzustufen. Allerdings handelt es sich spezifisch um die Anforderungen an Arbeitsplätzen. Außerdem ist die Aufschlüsselung nach Gebäude- und Raumtypen nicht sehr detailliert. Zu Einrichtungen des Gesundheitswesens liegen keine Informationen vor.

3. Ergebnis der Recherche

Tabelle 4-40: Recherchierte Auslegungswerte für Zypern

	Anforderungen an Mindestaußenluftvolumenstrom	Berechnungsweise	Literatur/ Quelle
Einzelbüro	8...9 l/s pro Person	Personenbezogen	Verhaltenskodex für Luftqualität in Innenräumen
Klassenzimmer	6,5...8,5 l/s pro Person	Personenbezogen	
Theatersaal	Keine Information		
Patientenzimmer	Keine Information		

Der CO₂-Grenzwert beträgt 700 ppm oberhalb der Außenluftkonzentration.

4.2 Nationale Grenzwerte für weitere Schadstoffe

In Tabelle 4-41 sind Grenzwerte für Schadstoffe, die von einzelnen Ländern festgelegt werden, dargestellt. Die Grenzwerte sind in den Einheiten ppm und $\frac{mg}{m^3}$ angegeben. Die Zeitangabe in Klammern hinter dem Grenzwert beschreibt die Expositionszeit, auf die sich der Grenzwert bezieht.

Tabelle 4-41: Grenzwerte für weitere Luftschadstoffe in verschiedenen europäischen Ländern

Schadstoff	Einheit	Länder						
		Griechenland	Großbritannien	Portugal	Slowenien	Zypern	WHO	Italien
CO	ppm	50 (15 min)		9		9 (8 h)		
	$\frac{mg}{m^3}$	55 (15 min)	35 (8 h)	10	0,01		10 (8 h)	10 (8 h)
PM10	$\frac{\mu g}{m^3}$		40 (1 a)	50	100	75 (1 a), 260 (24 h)	15 (1 a), 45 (24 h)	50 (24 h)
PM2,5	$\frac{\mu g}{m^3}$		25 (1 a)	25			5 (1 a), 15 (24 h)	25 (24 h)
VOC	$\frac{mg}{m^3}$		0,3 (8 h)	0,6	0,6			0,4 (1 h)
Formaldehyd	ppm	2 (15 min)		0,08		0,1 (0,5 h)		
	$\frac{mg}{m^3}$	2,5 (15 min)	0,1 (30 min)	0,1	0,1		0,1 (30 min)	
Radon	$\frac{Bq}{m^3}$			400	400		100	100
SO ₂	ppm	2				0.025		
	$\frac{mg}{m^3}$	5	0,35 (24 h)				0,04 (24 h)	
NO ₂	ppm	5				3		
	$\frac{mg}{m^3}$	9	0,2 (1 h)			5,6	0,01 (1 a), 0,02 (24 h)	
Literaturquelle		[24]	[28]	[47]	[55]	[69]	[68]	[31][31]

5 Ergebnisse der Bilanzrechnungen

5.1 Auswahl einzelner Länder

Für die Bilanzrechnungen werden aus den in Kapitel 4 umfangreich beschriebenen Ländern diejenigen ausgewählt, bei denen fundierte Quellen und klar verständliche Richtlinien vorliegen.

Da bei einigen Ländern lediglich Hinweise oder Empfehlungen vorliegen, kann für diese nicht garantiert werden, dass die recherchierten Anforderungen in der Praxis umgesetzt werden. Dies ist nur dann der Fall, wenn die recherchierten Anforderungen an die Belüftung von NWG auch gesetzlich verankert sind und dazu Literaturnachweise vorliegen. Die detaillierte Auswertung soll zudem nur für diejenigen Länder erfolgen, bei denen die Qualität und der Umfang der Literatur als zufriedenstellend eingestuft werden. Bei diesen Ländern handelt es sich um Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Großbritannien, Italien, Norwegen, Portugal, Schweden, Spanien und Ungarn.

Zu diesen Ländern werden die empfohlenen Außenluftvolumenströme in ein Excel-Tool eingegeben, das die sich für den entsprechenden Typraum einstellende stationäre CO₂-Konzentration und die Feuchtelast berechnet. Die Ergebnisse werden in den folgenden Abschnitten des Kapitels 5 für jeweils ein Raumszenario in mehreren Diagrammen einander gegenübergestellt. In Kapitel 6 erfolgt die Auswertung der Ergebnisse.

5.2 Mögliche Fehlerquellen

Es muss bei den Berechnungen und deren Auswertung stets berücksichtigt werden, dass die Annahmen und Randbedingungen für die Typräume auf Werten aus Deutschland (z.B. typische Belegung eines Klassenzimmers in Deutschland) basieren, darauf aber Auslegungsverfahren verschiedener europäischer Länder angewandt werden. Beispielsweise ist es möglich, dass europäische Länder bei der Festlegung des Mindestaußenluftvolumenstroms bestimmte Randbedingungen berücksichtigen, die den hier angenommenen widersprechen. Ein damit einhergehender Fehler ist schwer zu quantifizieren, weil keine Daten für länderspezifische Typräume vorliegen. Für die folgende Auswertung wird dieser Aspekt daher vernachlässigt.

Fehler bei der Anwendung der nationalen Auslegungsverfahren im Zuge dieser Studie (z.B. durch Sprachbarrieren) können nicht ausgeschlossen werden. Dadurch, dass nur Länder mit guter und vertrauenswürdiger Datenlage für die Berechnung herangezogen werden, kann das Risiko dieses Fehlers allerdings verringert werden. Des Weiteren kann nicht garantiert werden, dass eine vollständige Auswertung der in einem Land geltenden Richtlinien vorliegt. Einige Dokumente sind nicht öffentlich zugänglich und werden gegebenenfalls für die Studie nicht berücksichtigt.

5.3 Sensitivitätsanalyse der Bilanzierung

Da es sich bei den Berechnungen der Studie um theoretische Betrachtungen mit mehreren Annahmen handelt, wird eine Sensitivitätsanalyse der wichtigsten Einflussgrößen durchge-

führt. Dabei werden die Randbedingungen der angenommenen Raumszenarien um einen gewissen Prozentsatz variiert, um zu quantifizieren, wie sich das Ergebnis der Berechnungen verändert. So kann abgeschätzt werden, wie aussagekräftig die Ergebnisse sind.

5.3.1 Sensitivitätsanalyse CO₂-Bilanz

Die für die Sensitivitätsanalyse der Bilanzierung der CO₂-Konzentration betrachteten Parameter der Typräume sind die folgenden Randbedingungen: Raumbelegung, Raumfläche und Aktivitätsgrad (AG) der Raumnutzer. Die Raumbelegung und die Raumfläche werden um ihren angenommenen Wert um -10 % und +10 % variiert. Anschließend wird bestimmt, wie sich die Veränderung der genannten Parameter auf das Ergebnis der CO₂-Bilanz auswirkt. Abbildung 5-1 stellt das Vorgehen bei der Sensitivitätsanalyse grafisch dar.

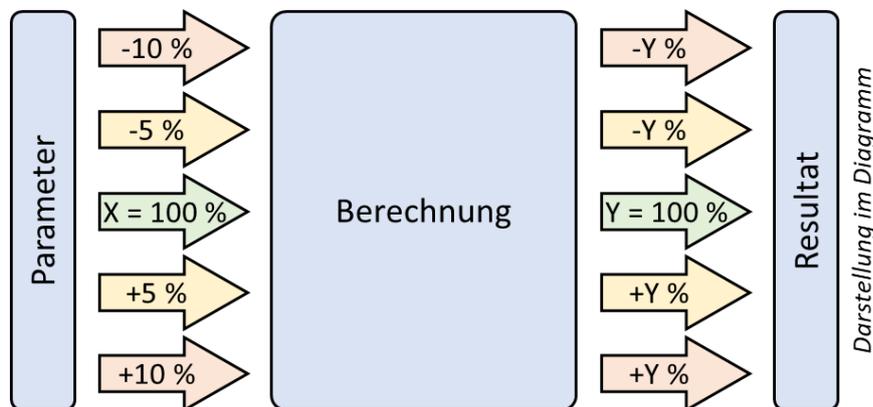


Abbildung 5-1: Prinzip der Parametervariation für die Sensitivitätsanalyse

Das jeweilige Resultat der CO₂-Bilanz nach der Änderung eines Eingangsparameters weicht um einen bestimmten Prozentsatz vom Ausgangswert ab. Diese Abweichung charakterisiert den Einfluss des Parameters auf die Berechnung. Auch wenn es sich bei der Raumbelegung um eine diskrete Größe handelt, wird bei der Variation mit Dezimalstellen gerechnet, da es sich hierbei um eine theoretische Betrachtung handelt. Zudem kann auf diesem Weg die Belegung des Einzelbüros (1 Person) und des Patientenzimmers (2 Personen) um 10 % variiert werden. Beispielhaft soll das Vorgehen für den Theatersaal und den Parameter Belegung erläutert werden: Anstelle von 637 Personen wird die Berechnung der stationären CO₂-Bilanz mit -10% → 573,3 und +10 % → 700,7 Personen durchgeführt. Die jeweiligen Ergebnisse für die sich einstellende CO₂-Konzentration werden anschließend zueinander ins Verhältnis gesetzt.

Der Aktivitätsgrad, für den in DIN EN 16798 vier Stufen definiert sind, wird um die Werte -1 und +1 variiert. Bei den beiden Raumtypen Theatersaal und Patientenzimmer beträgt der angenommene Aktivitätsgrad I, darum kann er für diese Fälle nicht um -1 variiert werden. Die Variation des Aktivitätsgrades bewirkt eine Veränderung der Feuchteabgabe und des CO₂-Ausstoßes.

Die Raumhöhe wird als Parameter in dieser Betrachtung nicht berücksichtigt, da sie nur dann einen Einfluss auf die stationäre CO₂-Konzentration hat, wenn Länder ihre Lüftungsvorgaben als Mindestluftwechsel definieren. Wie die Literaturrecherche zeigt, ist das nur selten der Fall. Zwar hat die Raumhöhe einen Einfluss darauf, nach welcher Zeitspanne die stationäre CO₂-Gleichgewichtskonzentration erreicht wird, allerdings ergibt die instationäre Berechnung, dass

die stationären Werte immer innerhalb einer üblichen Belegungszeit des Raumes erreicht werden. Daher wird eine Variation der Raumhöhe hier nicht weiter betrachtet.

In Abbildung 5-2 sind die Abweichungen des Ergebnisses der CO₂-Bilanz dargestellt, die sich aus der Variation der drei oben genannten Parameter für die einzelnen Typräume ergeben. Als Außenluftvolumenstrom sind die Werte, die nach Methode 1 in EN 16798 vorgegeben werden, angenommen.

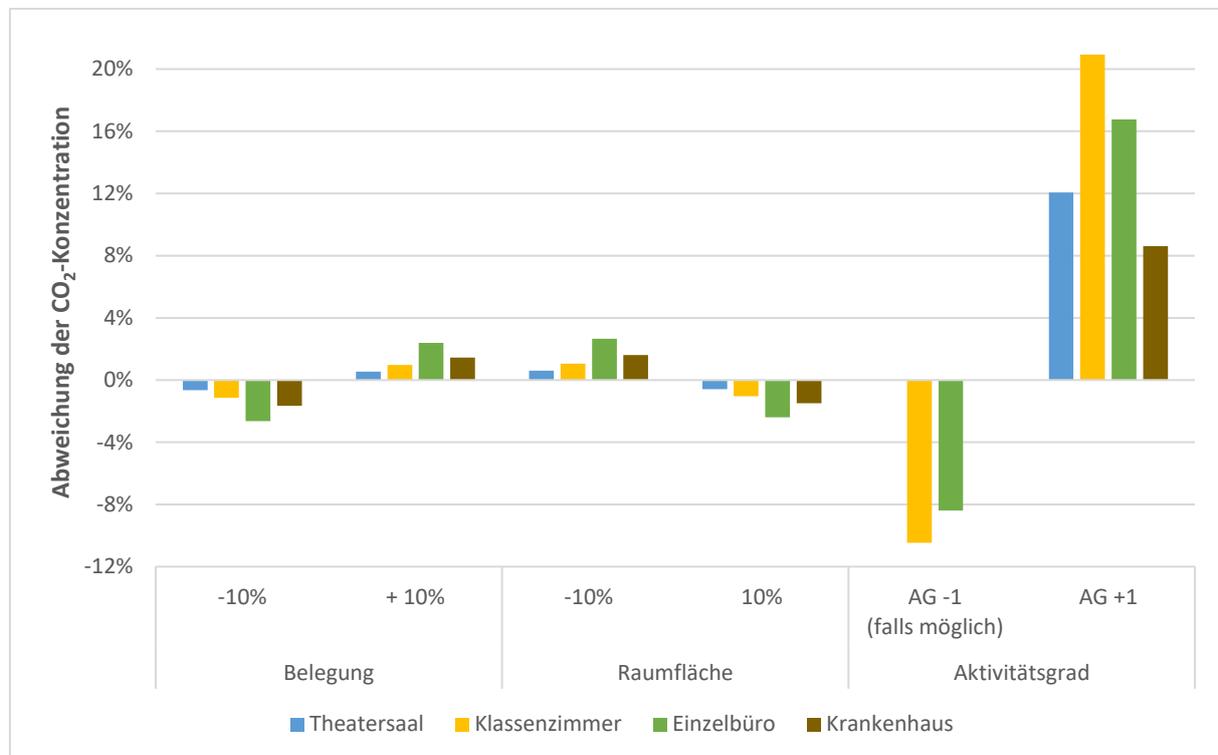


Abbildung 5-2: Minimale und maximale Abweichung der CO₂-Konzentration bei Parametervariation und Anwendung der EN 16798

Zu erkennen ist, dass die Abweichungen der sich einstellenden CO₂-Konzentration auf Grund der Variation der Belegung und der Raumfläche um 10 % unter 3 % liegen. Dies spricht für eine robuste Berechnungsmethode, die nicht maßgeblich von den getroffenen Annahmen zu Belegung und Raumfläche der Typräume abhängig ist.

Der Aktivitätsgrad hat vergleichsweise einen größeren Einfluss auf das Ergebnis. Zu berücksichtigen ist dabei jedoch, dass eine Änderung des Aktivitätsgrades von I auf II (Theatersaal und Patientenzimmer) eine Erhöhung des CO₂-Ausstoßes pro Personen von 20 % bedeutet, während eine Variation von AG II auf III (Klassenzimmer und Einzelbüro) eine Erhöhung um 33,3 % zur Folge hat. Aus diesem Grund ist die Änderung der sich einstellenden CO₂-Konzentration bei den Typräumen Klassenzimmer und Einzelbüro am höchsten. Die Gleichung zur Berechnung des vom Aktivitätsgrad abhängigen CO₂-Ausstoßes pro Personen kann Tabelle 3-3 entnommen werden. Der Einfluss des Aktivitätsgrades auf die CO₂-Konzentration hängt darüber hinaus mit der Belegungsdichte des Typraums zusammen. Je höher die Belegungsdichte, desto größer ist der Effekt des sich erhöhenden CO₂-Ausstoßes pro Person. Aus diesem Grund ist die Änderung der sich einstellenden CO₂-Konzentration beim Typraum Theatersaal (Belegungsdichte 0,91) größer im Vergleich zum Krankenhaus (Belegungsdichte 0,125) und beim Klassenzimmer (Belegungsdichte 0,5) größer im Vergleich zum Einzelbüro (Belegungsdichte 0,1).

Durch den hohen Einfluss des Aktivitätsgrades ist die angemessene Wahl dieses Parameters wichtig. Die Festlegung der Aktivitätsgrade für die einzelnen Typräume wird in Kapitel 3.2.1 gestützt auf VDI 2078 und DIN EN 16798 getroffen, die die zu wählenden Aktivitätsgrade entsprechend der Raumnutzung eindeutig zuweisen.

5.3.2 Sensitivitätsanalyse Raumfeuchte-Bilanz

Analog zum Vorgehen bei der Sensitivitätsanalyse der CO₂-Bilanz wird die Veränderung der relativen Feuchte im Innenraum bei Variation der Eingangsparameter untersucht. Ein für die Raumlufffeuchte relevanter Parameter ist die Innenraumtemperatur. Während diese für die sich im Raum einstellende CO₂-Konzentration keine Rolle spielt, wird sie für die Sensitivitätsanalyse der Raumfeuchte-Bilanz berücksichtigt. Beispielsweise wird für das Szenario eines typischen Sommertags die Raumtemperatur anstelle der zuvor festgelegten 26 °C auf 28,6 °C bzw. 23,4 °C gesetzt, also um 10 % der Randbedingung variiert. Damit wird der Einfluss der Parameter Belegung, Raumfläche, Innenraumtemperatur und Aktivitätsgrad auf das Ergebnis der Feuchte-Bilanz untersucht. Das Ergebnis für einen typischen Sommertag ist in Abbildung 5-3 und das für einen typischen Wintertag in Abbildung 5-4 dargestellt.

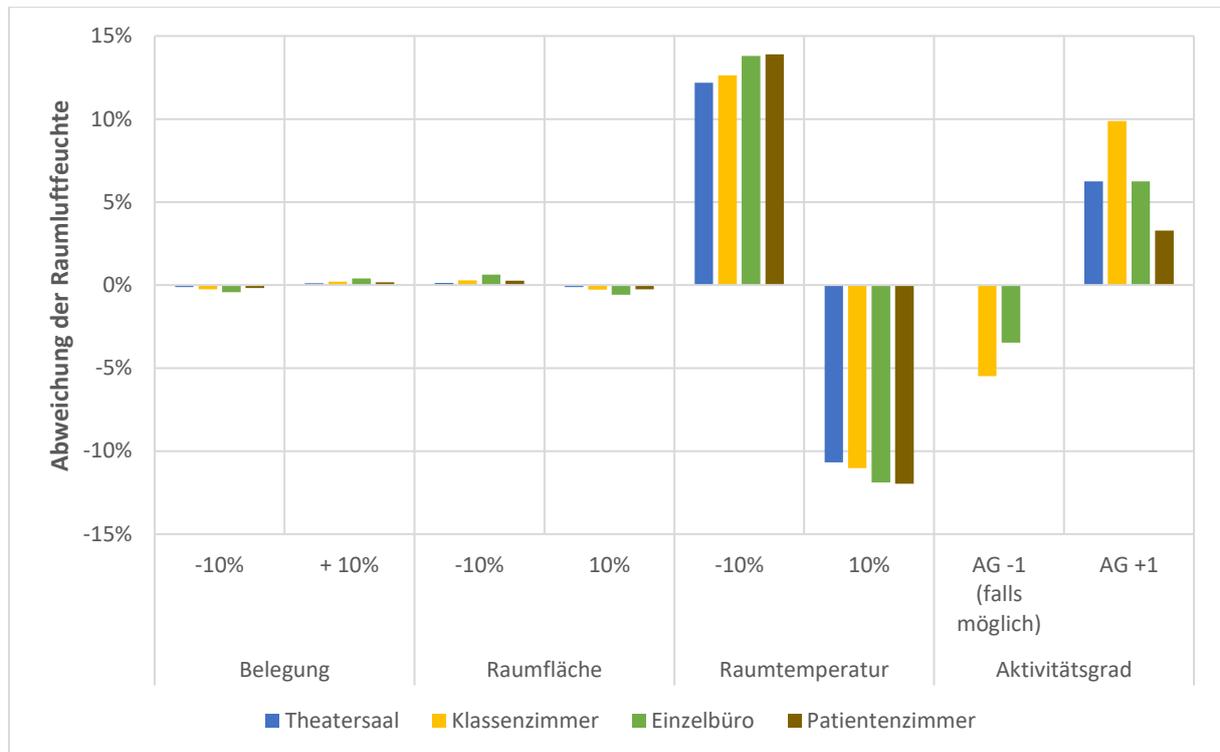


Abbildung 5-3: Minimale und maximale Abweichung der Raumlufffeuchte bei Parametervariation und Anwendung der EN 16798 für einen typischen Sommertag

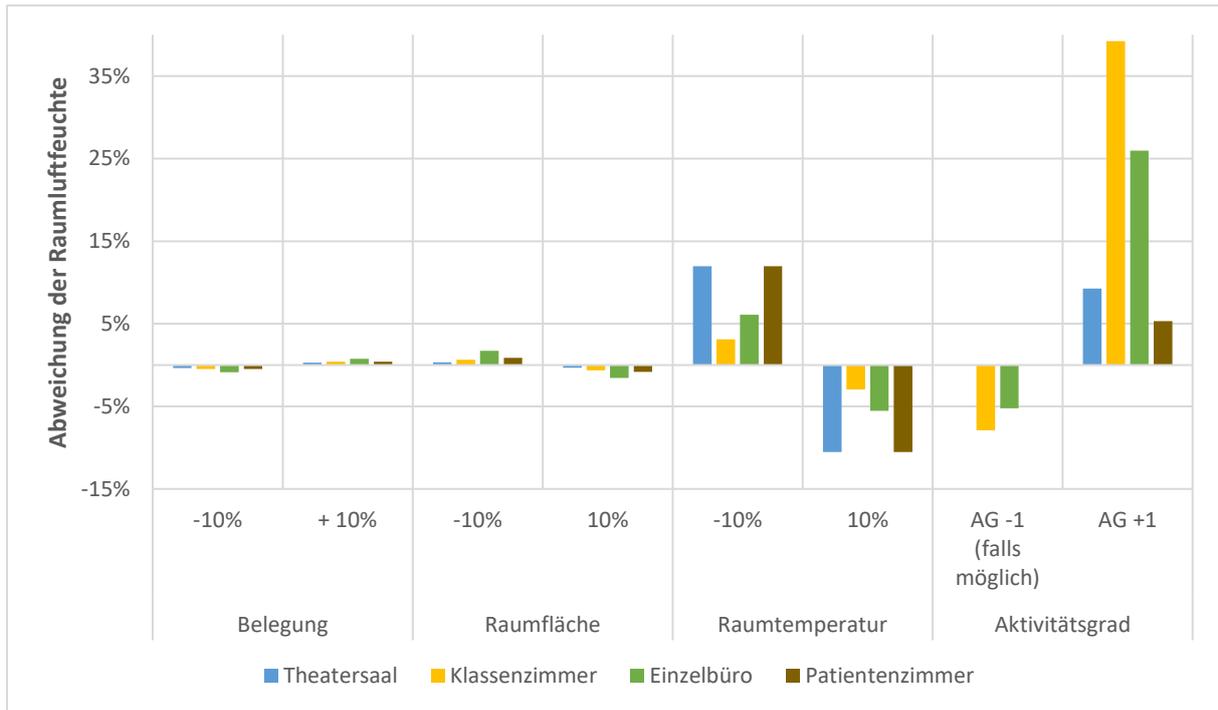


Abbildung 5-4: Minimale und maximale Abweichung der Raumlufffeuchte bei Parametervariation und Anwendung der EN 16798 für einen typischen Wintertag

Die Ergebnisse zeigen, dass in beiden Außenluftzuständen die Raumfläche und Raumbelastung einen geringen Einfluss auf die Feuchte-Bilanz haben. Die Raumfläche hat Auswirkungen auf den flächenbezogenen Außenluftvolumenstrom, die Belegung dagegen auf den personenbezogenen Außenluftvolumenstrom und auf die Feuchte, die von den anwesenden Personen freigesetzt wird. Die Änderung der in den Raum eingebrachten Feuchte ist allerdings gering, sodass sich die Raumlufffeuchte nur geringfügig ändert.

Mit dem Aktivitätsgrad der Personen variiert nicht nur deren CO_2 -Ausstoß, sondern auch die Feuchteabgabe an die Raumluft. Die Folge ist ein maßgeblicher Einfluss des Aktivitätsgrads auf die sich einstellende relative Feuchte im Innenraum. Wie schon bei der CO_2 -Bilanz ist dieser Einfluss besonders signifikant beim Typraum Klassenzimmer auf Grund der hohen Belegungsdichte. Eine Veränderung des Aktivitätsgrads von AG II auf AG III hat hier für das Szenario eines Wintertags eine Erhöhung der Raumlufffeuchte um ca. 39 % zur Folge.

Der Einfluss der Raumtemperatur auf die sich einstellende Raumlufffeuchte ist ebenfalls groß. Das ist darauf zurückzuführen, dass die Außenluft auf das Temperaturniveau der Raumluft gebracht werden muss. Durch das Abkühlen bzw. Erwärmen der Außenluft verändert sich die relative Luftfeuchte. Analog würde auch die Variation der Außenlufttemperatur und relativen Außenluftfeuchte das Resultat beeinflussen, da diese Parameter über die Umrechnung der relativen Außenluftfeuchte bei Außenlufttemperatur auf die relative Luftfeuchte bei Innenraumtemperatur zusammenhängen.

In dieser Abhängigkeit der Parameter Innenraumtemperatur und Raumlufffeuchte liegt auch die Begründung für das unterschiedliche Ergebnis im Winter- und Sommerszenario. Der Einfluss der Raumtemperatur ist im Winter geringer, weil zum einen die absolute Änderung des Temperatur-Parameters geringer ist (geringere Raumtemperatur im Winter), zum anderen aber auch die absolute Außenluftfeuchte an einem typischen Wintertag geringer ist (siehe Kapitel 3.2.2).

Der Einfluss des Aktivitätsgrades ist im Winter höher als im Sommer, weil die im Innenraum durch interne Quellen freigesetzte Feuchte relativ zur von außen eingebrachten Luftfeuchte im Winter höher ist als im Sommer. Dies deutet darauf hin, dass die Wahl der Außenluftparameter von erheblichem Einfluss ist während die im Innenraum anfallende Feuchte auf Grund der Belegung von untergeordneter Wichtigkeit ist. Diesen Umstand verdeutlicht die folgende Abbildung, in der die entstehende Innenraumlufffeuchte ohne Abfuhr der Feuchtelast (ohne Be-/Entfeuchtung) für alle drei Szenarien dargestellt ist. Dabei wird der Volumenstrom zwischen 22 und 30 m³/h pro Person variiert und die Berechnung jeweils mit und ohne interne Feuchtequellen (Personen) durchgeführt. Abbildung 5-5 zeigt die Ergebnisse am Beispiel des Typraums Einzelbüro. In Anhang 8 sind die Ergebnisse der Berechnungen für die anderen Typräume dargestellt.

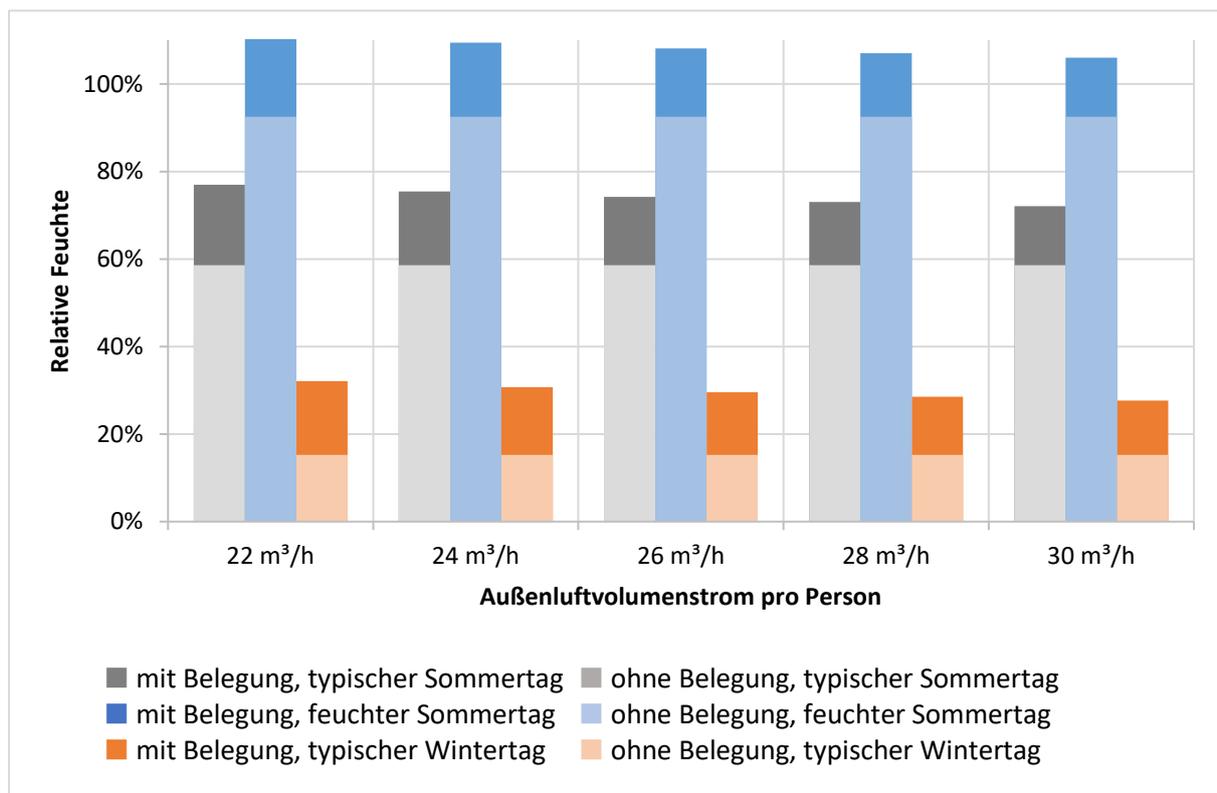


Abbildung 5-5: Stationäre relative Feuchte bei Raumtemperatur ohne Entfeuchtung der Außenluft mit und ohne innere Feuchtelasten für das Einzelbüro

Zu erkennen ist in Abbildung 5-5, dass die berechnete relative Luftfeuchte im Raum mit und ohne interne Feuchtequellen nur um wenige Prozentpunkte auseinander liegen. Die entstehende Raumlufffeuchte wird hauptsächlich von den Annahmen der Außenluftparameter sowie der Innenraumtemperatur bestimmt. Des Weiteren zeigt sich, dass unterschiedliche Volumenströme in einem Bereich von 22 bis 30 m³/h pro Person keinen signifikanten Einfluss auf die sich einstellende relative Raumlufffeuchte haben. Es ist zu erkennen, dass je kleiner der Außenluftvolumenstrom ist, desto größer ist der Einfluss der Belegung auf die sich einstellende relative Raumlufffeuchte. Bei 22 m³/h pro Person beträgt der Unterschied zwischen der relativen Luftfeuchte mit und ohne Belegung ca. 15 %. Allerdings ist der Einfluss der Außenluftparameter dominant im Vergleich zu dem der internen Feuchtequellen.

Der Grund, warum die Außenluftbedingungen ausschlaggebend sind für die sich einstellende relative Raumlufffeuchte ist, dass die Zuluftvolumenströme in dieser Studie nach den Anforderungen an die CO₂-Konzentration ausgelegt werden. Als Resultat ist der Feuchteeintrag durch die Außenluft größer als der auf Grund interner Feuchtequellen wie z.B. der Belegung. Gleichzeitig zeigt sich aber auch, dass in dieser Betrachtung die Grenzwerte für CO₂ eher überschritten werden als die für die relative Feuchte. In diesem Fall ist der CO₂-Grenzwert also das entscheidende Auslegungskriterium für den Außenluftvolumenstrom.

Um die länderspezifischen Herangehensweisen in Bezug auf den Mindestaußenluftvolumenstrom zu vergleichen, wird im nächsten Kapitel für jedes Land berechnet, wie hoch die Ent- bzw. Befeuchtelast für die jeweiligen Szenarien ist, um die in EN 16798 festgelegten Grenzwerte für die relative Feuchte im Innenraum (minimal 30 %, maximal 60%) einzuhalten. Der Zusammenhang zwischen dem Feuchteeintrag aus der Außenluft und den internen Feuchtequellen bleibt bei diesem Vorgehen bestehen und es wird ersichtlich, wie der Außenluftvolumenstrom den Energiebedarf eines Gebäudes beeinflusst.

5.4 Gegenüberstellung der Ergebnisse nach Typräumen

Um die Ergebnisse aus den CO₂-Bilanzrechnungen zu veranschaulichen, werden zwei Diagrammtypen verwendet. In der ersten Diagrammart ist der je Land empfohlene Volumenstrom auf der linken vertikalen Achse aufgetragen. Um das für das jeweilige Land spezifische Berechnungsverfahren zu verdeutlichen, werden die Vorgaben für den Zuluftvolumenstrom in personenbezogene und flächenbezogene Werte kategorisiert. Außerdem ist der aus dem Berechnungsverfahren resultierende Gesamtwert dargestellt. Auf der rechten vertikalen Achse sind CO₂-Konzentrationen dargestellt, welche durch farbige Querbalken im Diagramm zu erkennen sind. Durch das Aufzeigen der Pettenkofer-Zahl (1.000 ppm), des nationalen CO₂-Grenzwerts und die sich anhand der Lüftungsvorgaben einstellende CO₂-Gleichgewichtskonzentration kann eine vergleichende Bewertung der einzelnen Herangehensweisen erfolgen. Da es unter den betrachteten Ländern keines gibt, das für die verschiedenen Szenarien (Jahreszeit oder Klima) unterschiedliche Außenluftvolumenströme vorschlägt und der freigesetzte CO₂-Volumenstrom nicht temperaturabhängig berechnet wird, liegen für alle drei Außenluft-szenarien dieselben Ergebnisse vor. Die Werte, die für die Berechnung des Außenluftvolumenstroms für den jeweiligen Typraum und das jeweilige Land verwendet werden, sind in Kapitel 4 erläutert. Für EN 16798 werden die Werte für Kategorie II und ein schadstoffarmes Gebäude verwendet (siehe Kapitel 2). Sofern solche Kategorien in den einzelnen Ländern vorgeschlagen werden, werden diese auch für die Bilanzrechnung der einzelnen Länder verwendet.

Im zweiten Diagrammtyp wird die Feuchtelast abgebildet, die sich für die Einhaltung eines Grenzwerts der relativen Feuchte der Raumluff im Sommer von 60 % und im Winter von 30 % ergibt. Diese ist wesentlich von den Außenluftbedingungen abhängig. Daher wird auf der horizontalen Achse sowohl in die Länder als auch die drei Szenarien unterteilt.

5.4.1 Einzelbüro

Abbildung 5-6 zeigt auf der linken y-Achse den Mindestaußenluftvolumenstrom für die jeweiligen Länder. Der in blau abgebildete Balken stellt den aus der länderspezifischen Berechnungsweise resultierenden Gesamtaußenluftvolumenstrom dar. In grau und violett sind die für das jeweilige Land definierten Anteile der personenbezogenen bzw. flächenbezogenen Außenluftvolumenströme dargestellt, die in die Berechnung des gesamten Außenluftvolumenstroms eingehen. Die rechte y-Achse stellt CO₂-Konzentrationen in ppm dar und zeigt sowohl die berechnete, sich stationär einstellende CO₂-Konzentration im Typraum (orangener Querbalken) als auch den jeweiligen nationalen CO₂-Grenzwert (grüner Querbalken). Die Pettenkofer-Zahl mit 1.000 ppm wird als Vergleichswert durch eine gelbe Strichlinie repräsentiert.

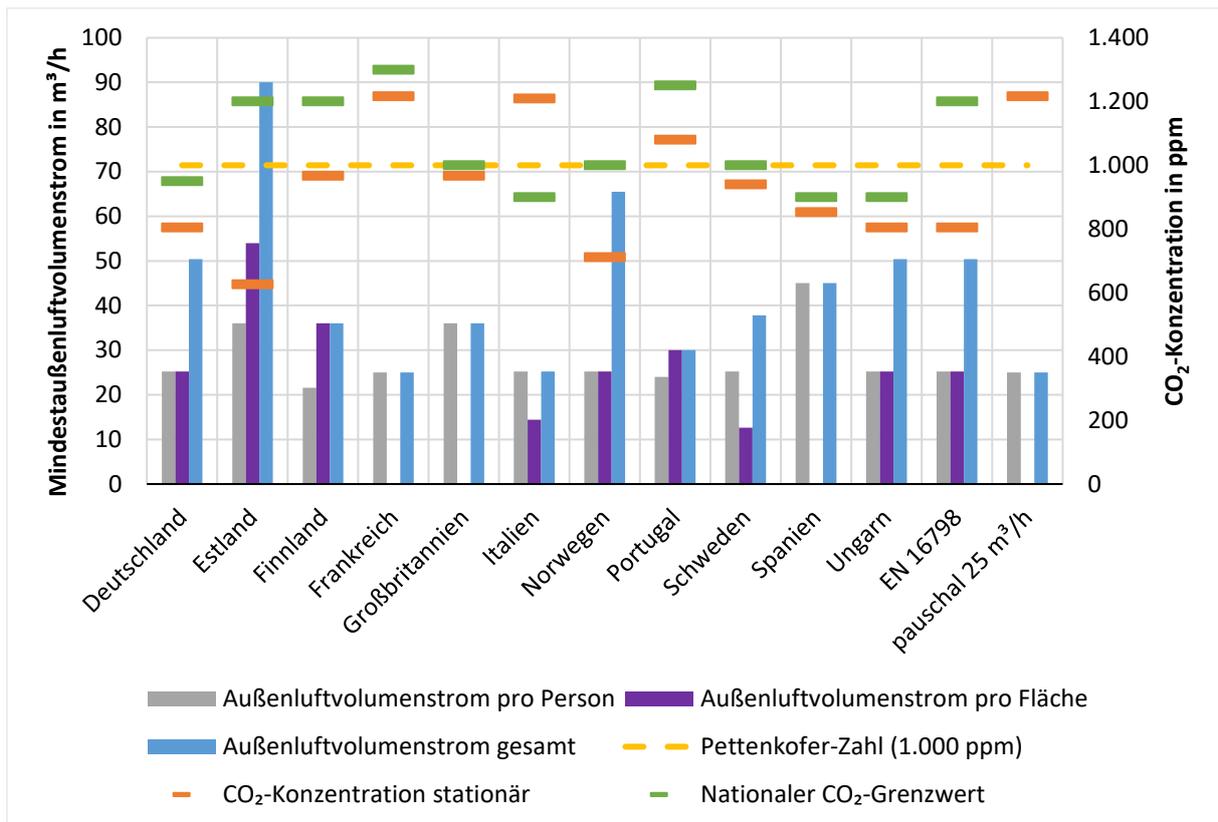


Abbildung 5-6: Berechnete CO₂-Konzentration und nationaler Grenzwert für den Typraum Einzelbüro

Aus diesem Diagramm für das Einzelbüro, das im Folgenden auch für die anderen Typräume gezeigt wird, kann abgeleitet werden, welches Berechnungsverfahren das jeweilige Land verwendet. Handelt es sich um ein additives Verfahren, bei dem personenbezogene und flächenbezogene Mindestwerte addiert werden, resultiert der Gesamtaußenluftvolumenstrom aus der Summe des grauen und violetten Balkens (z.B. Schweden). Wird ein Maximalwertverfahren angewendet, bei dem der jeweils größere resultierende Wert aus personenbezogener oder flächenbezogener Anforderung verwendet wird, besitzt der blaue Balken dieselbe Höhe wie entweder der violette oder der graue Balken (z.B. Finnland). Weitere Länder geben ausschließlich flächen- oder personenbezogene Werte an, was im Diagramm daran zu erkennen ist, dass einer der Balken nicht dargestellt ist (z.B. Frankreich). Nicht ersichtlich ist, wenn im nationalen Verfahren zusätzliche Korrektur- oder Sicherheitsfaktoren verwendet werden. Dies ist bei Italien und Norwegen der Fall.

Für den Typraum Einzelbüro liegen die Werte des gesamten Außenluftvolumenstroms im Bereich zwischen 25 und $50 \frac{m^3}{h}$, mit der Ausnahme von den Ländern Estland und Norwegen. Für diese beiden Länder errechnet sich ein deutlich höherer Wert. Deutschland und Ungarn berechnen den Mindestaußenluftvolumenstrom nach demselben Verfahren wie EN 16798. Es ergibt sich dementsprechend derselbe Wert. Auffällig ist der höchste Mindestaußenluftvolumenstrom von Estland mit $90 \frac{m^3}{h}$. Da jedoch der nationale CO₂-Grenzwert von 1.200 ppm mit ca. 627 ppm deutlich unterschritten wird, könnte es sich hierbei um ein fehlerhaftes Anwenden der Richtlinien bzw. des Berechnungsverfahrens handeln.

Abbildung 5-7, in der die Feuchtelast für das Einzelbüro dargestellt ist, zeigt, dass die Feuchtelast maßgeblich vom Außenluftzustand abhängig ist. Die Feuchte, die durch die sich im Einzelbüro befindlichen Person an die Raumluft abgegeben wird, beträgt im Winter 60 g/h und im Sommer 97 g/h. Wie zu erwarten ist ein Zusammenhang zwischen hohen Außenluftvolumenströmen und hohen Feuchtelasten zu erkennen. Demnach berechnet sich der höchste Entfeuchtemassenstrom im Falle eines feuchten Sommertages für Estland, das Land mit den höchsten Anforderungen an den Mindestaußenluftvolumenstrom. Er beläuft sich auf ca. 753 Gramm Wasser pro Stunde. Negative Werte der Entfeuchtung deuten auf die Notwendigkeit einer Befeuchtung hin, um im Winterfall den Sollwert von 30 % relativer Luftfeuchte im Raum zu erreichen.

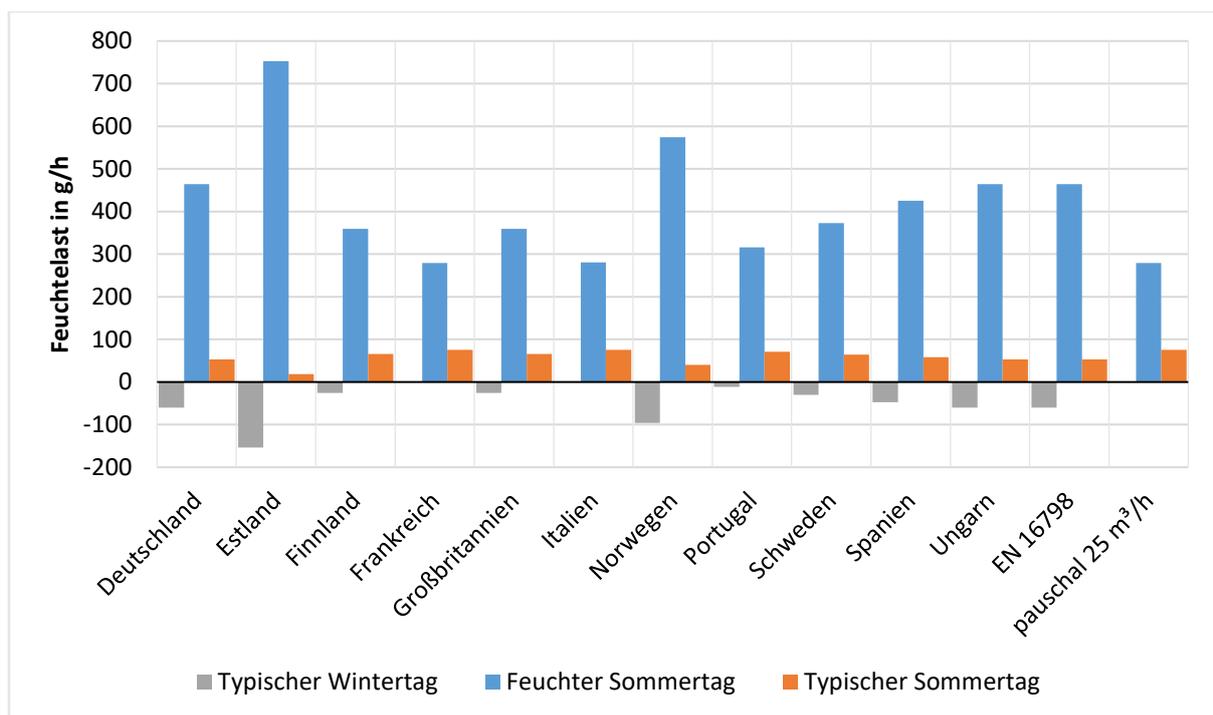


Abbildung 5-7: Be- und Entfeuchtelast für den Typraum Einzelbüro

5.4.2 Klassenzimmer

Der Typraum Klassenzimmer hat mit 0,5 Personen pro Quadratmeter nach dem Theatersaal die zweihöchste Belegungsdichte und stellt mit dem Aktivitätsgrad II (sitzende, konzentrierte Tätigkeit) ein Anforderungsprofil mit höherem Aktivitätsgrad unter den Typräumen dar. Dies äußert sich in einem häufigen Überschreiten des jeweiligen nationalen CO₂-Grenzwertes, wie in Abbildung 5-8 beobachtet werden kann. Lediglich die Vorgaben in den Ländern Norwegen, Estland, Spanien und Portugal können den jeweiligen nationalen Grenzwert einhalten. Für Portugal ergibt sich eine stationäre CO₂-Konzentration, die exakt mit dem nationalen Grenzwert übereinstimmt. Für die anderen Länder ergibt sich aus den Lüftungsanforderungen für das Klassenzimmer eine stationäre CO₂-Konzentration, die den jeweiligen nationalen Grenzwert übersteigt. Die Pettenkofer-Zahl wird allein in den Ländern Norwegen, Estland und Spanien unterschritten. Der abermals relativ hohe Außenluftvolumenstrom von Estland mit 1.728 m³/h führt zu einem deutlichen Unterschreiten des nationalen CO₂-Grenzwerts. Wird die Lüftung des Klassenzimmers nach EN 16798 ausgelegt, ergibt sich eine CO₂-Konzentration von ca. 1.075 ppm. Für einen pauschalen personenbezogenen Außenluftvolumenstrom von 25 m³/h wird eine CO₂-Konzentration von 1.216 ppm berechnet.

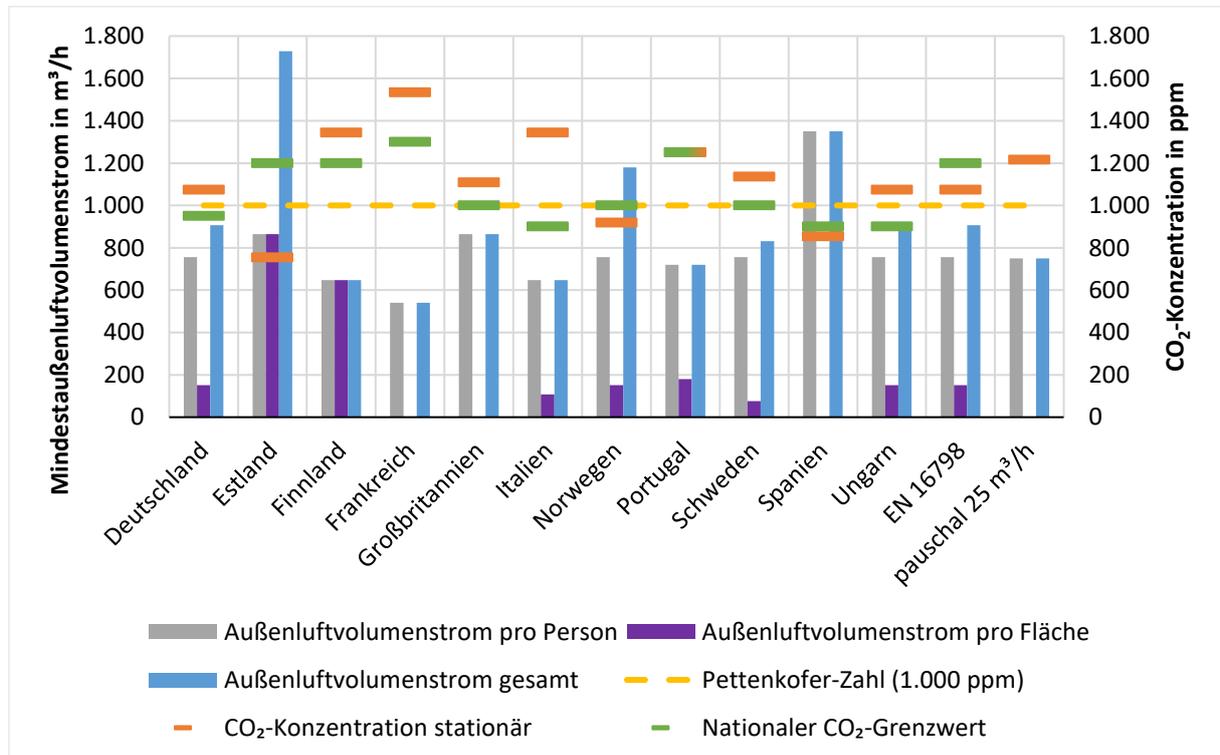


Abbildung 5-8: Berechnete CO₂-Konzentration und nationaler Grenzwert für den Typraum Klassenzimmer

Die hohe Belegungsdichte in Kombination mit Aktivitätsgrad II äußert sich auch in den im Vergleich zum Einzelbüro hohen Entfeuchtemassenströmen. Diese sind in Abbildung 5-9 dargestellt. Für das Klassenzimmer spielt die Feuchte, die aufgrund interner Feuchtequellen an die Raumluft abgegeben wird, im Vergleich zum Einzelbüro eine größere Rolle. Die Feuchteabgabe der Personen im Raum beträgt im Winter 1,4 kg/h und im Sommer 2,6 kg/h. Die resultierende Feuchtelast bleibt aber zumindest für das Szenario des feuchten Sommertags überwiegend vom Außenluftstrom und den Außenluftbedingungen abhängig. Demnach beträgt die Feuchtelast für einen feuchten Sommertag für die Anforderungen in Estland, dem Land mit

dem höchsten Mindestaußenluftvolumenstrom, 15,1 kg/h. Für Frankreich, dem Land mit den geringsten Anforderungen an den Mindestaußenluftvolumenstrom, beträgt die Feuchtelast 6,5 kg/h.

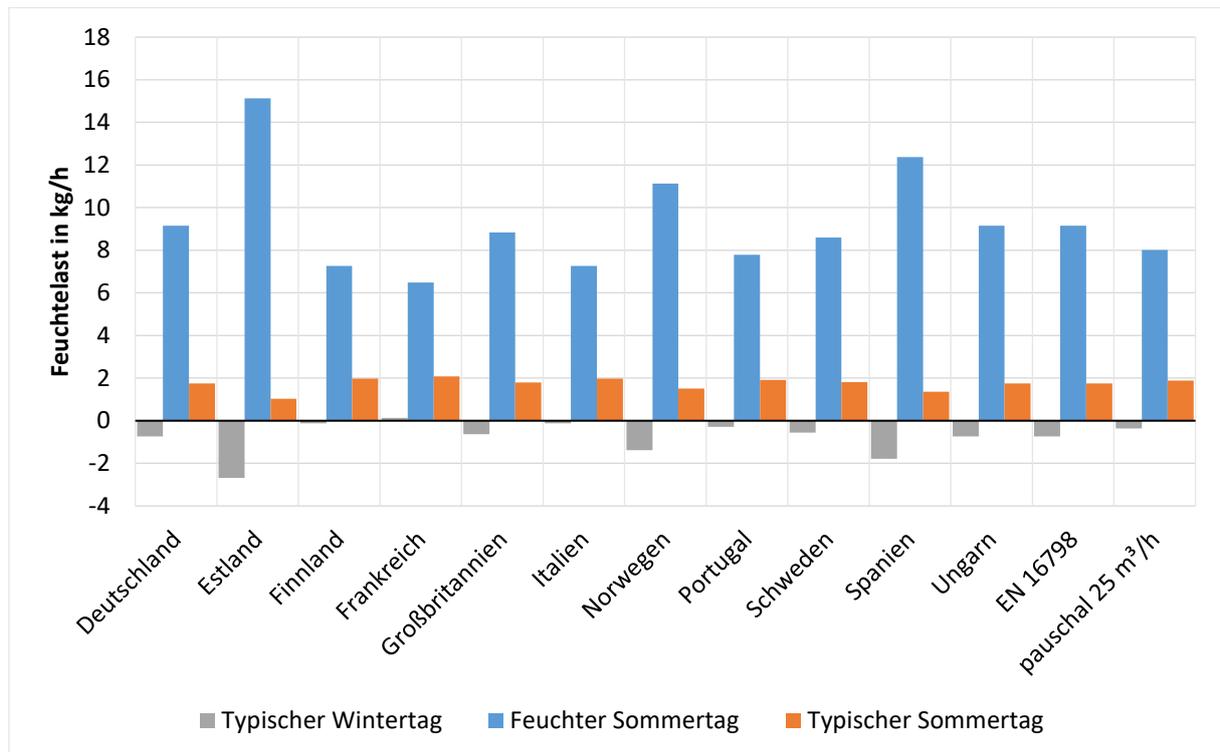


Abbildung 5-9: Be- und Entfeuchtelast für den Typraum Klassenzimmer

5.4.3 Theatersaal

Die Ergebnisse für die Berechnung des Mindestaußenluftvolumenstroms für den Typraum Theatersaal sind in Abbildung 5-10 dargestellt. Die Werte für die einzelnen Länder liegen in einem Bereich zwischen $14.600 \frac{m^3}{h}$ und $18.350 \frac{m^3}{h}$. Lediglich Großbritannien, Norwegen und Frankreich weisen davon abweichende Werte auf. In Großbritannien wird ein Mindestaußenluftvolumenstrom von $31.500 \frac{m^3}{h}$ empfohlen. Hier werden Mindestluftwechsel angesetzt, die gerade in hohen Räumen wie dem Theatersaal zu größeren Außenluftvolumenströmen führen. Die angenommenen Randbedingungen der Raumgeometrie spielen hier also eine große Rolle. Gleichzeitig hat Großbritannien niedrige CO_2 -Grenzwerte, die in diesem Beispiel deutlich unterschritten werden.

Frankreich gibt mit $11.466 \frac{m^3}{h}$ die geringsten Anforderungen an den Mindestaußenluftvolumenstrom vor. Allerdings ist der dort geforderte CO_2 -Grenzwert von 1.300 ppm vergleichsweise hoch. Dieser wird in der Bilanzrechnung knapp mit 1.344 ppm überschritten.

In den Ländern Estland, Finnland, Großbritannien Norwegen und Spanien werden die jeweiligen CO_2 -Grenzwerte unterschritten. Die Anforderungen an den Mindestaußenluftvolumenstrom in Portugal resultieren in einer stationären CO_2 -Konzentration von 1.250 ppm, exakt dem dort gültigen CO_2 -Grenzwert.

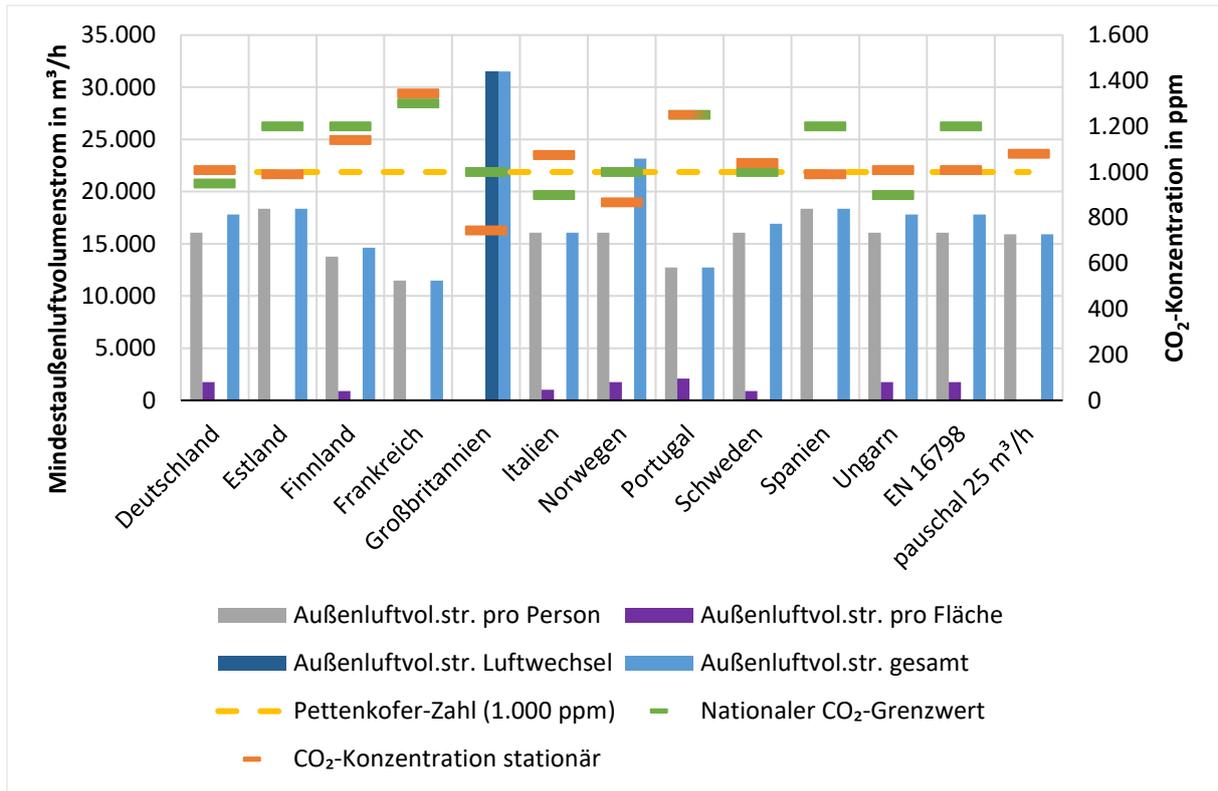


Abbildung 5-10: Berechnete CO₂-Konzentration und nationaler Grenzwert für den Tyraum Theatersaal

Für die Länder, die allesamt einen ähnlichen Außenluftvolumenstrom vorschlagen, wie Deutschland, Estland, Norwegen, Spanien und Ungarn, ergibt sich wie bei EN 16798 eine stationäre CO₂-Konzentration von ca. 1.000 ppm. Dies könnte auf eine gezielte Auslegung auf diese CO₂-Konzentration hindeuten.

Wie sich zeigt, setzen Länder mit höheren nationalen CO₂-Grenzwerten auch niedrigere Mindestaußenluftvolumenströme als Empfehlung an. In Deutschland, Frankreich, Schweden, Italien und Ungarn wird der selbst definierte nationale Grenzwert für die CO₂-Konzentration überschritten.

Die durch die anwesenden Personen abgegebene Feuchte im Tyraum Theatersaal beträgt im Winter 22,3 kg/h und im Sommer 34,7 kg/h. An einem typischen Wintertag mit -5 °C Außenlufttemperatur und 80 % relativer Außenluftfeuchte muss der Zuluft für den Theatersaal Feuchte zugeführt werden, um eine relative Raumfeuchte von 30 % nicht zu unterschreiten. An einem typischen Sommertag mit 25 °C Außenlufttemperatur und 60 % relativer Außenluftfeuchte muss die Zuluft entfeuchtet werden, um 60 % relative Raumluftfeuchte nicht zu überschreiten. Die Feuchtelast liegt dabei unterhalb des Feuchtemassenstroms, der aufgrund der Belegung freigesetzt wird. An einem feuchten Sommertag mit 30 °C Außenlufttemperatur und 70 % relativer Außenluftfeuchtigkeit steigt die Feuchtelast dagegen um ein Vielfaches des durch die Belegung freigesetzten Feuchtemassenstroms an. Die Feuchtelasten für den Theatersaal und die einzelnen Länder sind in Abbildung 5-11 dargestellt.

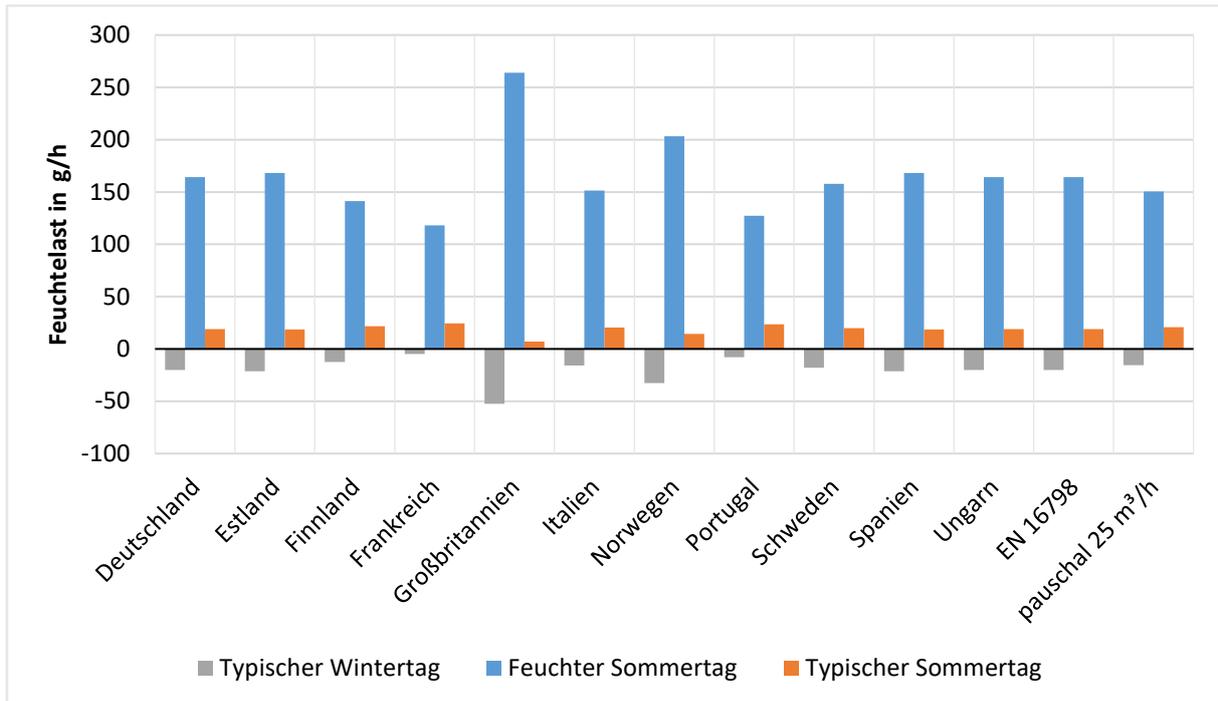


Abbildung 5-11: Be- und Entfeuchtelast für den Typraum Theatersaal

5.4.4 Patientenzimmer

Für das Patientenzimmer werden die Berechnungen nur für diejenigen Länder durchgeführt, die in den zur Verfügung stehenden Dokumenten ausdrücklich Außenluftvolumenströme für Krankenhäuser, Praxen oder Patientenzimmer empfehlen. Anzumerken ist dabei, dass die CO₂-Grenzwerte, die in grüner Farbe eingetragen sind, die nationalen Grenzwerte für Innenräume generell darstellen. Falls unterschiedliche Kategorien für den CO₂-Grenzwert definiert werden, wird die Kategorie mit den höchsten Anforderungen ausgewählt. Keines der Länder gibt spezifische CO₂-Grenzwerte für Patientenzimmer an. Dass für die Berechnung derselbe Grenzwert bei höheren Anforderungen (z.B.: auf Grund von Keimbelastung oder Aerosolen) verwendet wird, könnte erklären, warum in einigen der Länder der jeweils übliche nationale Grenzwert deutlich unterschritten wird.

Abbildung 5-12 zeigt die berechneten Außenluftvolumenströme für ein Patientenzimmer in den Ländern Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Großbritannien und Italien. Es zeigen sich deutliche Unterschiede. Deutschland weist mit ca. 960 m³/h den mit Abstand höchsten Außenluftvolumenstrom auf. Damit stellt sich im Patientenzimmer eine stationäre CO₂-Konzentration von 435 ppm ein. Der hohe Luftvolumenstrom ist auf die Anforderung von einem flächenbezogenen Mindestaußenluftvolumenstrom von 60 m³/(h·m²) zurückzuführen. Großbritannien stellt das Land mit der zweithöchsten Anforderung dar. Hier ergibt sich ein Mindestaußenluftvolumenstrom von 288 m³/h. Die Länder Frankreich und Italien wenden einen personenbezogenen Außenluftvolumenstrom von 25 m³/h an, der allerdings zu einer stationären CO₂-Konzentration von 1.080 ppm führt und damit oberhalb der Pettenkofer-Zahl liegt.

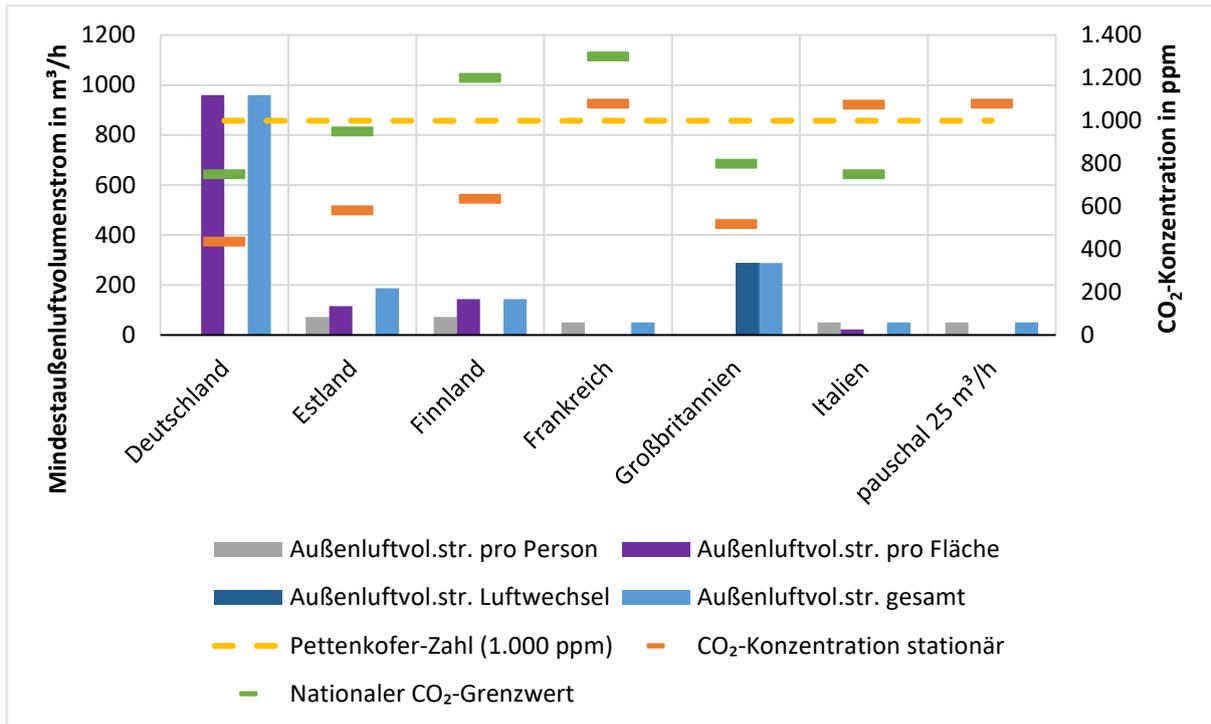


Abbildung 5-12: Berechnete CO₂-Konzentration und nationaler CO₂-Grenzwert für den Tyraum Patientenzimmer

In der Betrachtung der Feuchte zeigen sich die Auswirkungen der höheren Anforderungen an den Mindestluftwechsel in Räumen des Gesundheitswesens. Die Freisetzung an Feuchte aufgrund der Belegung beträgt für den Winterfall 85 g/h und für den Sommerfall 124 g/h. Aus den hohen Außenluftvolumenströmen resultieren dementsprechend hohe Feuchtelasten. Diese sind in Abbildung 5-13 dargestellt. In Deutschland fällt an einem feuchten Sommertag eine Entfeuchtelast von 7,1 kg/h an. An einem typischen Wintertag hingegen ergibt sich eine Be- feuchtelast von ca. 2,2 kg/h.

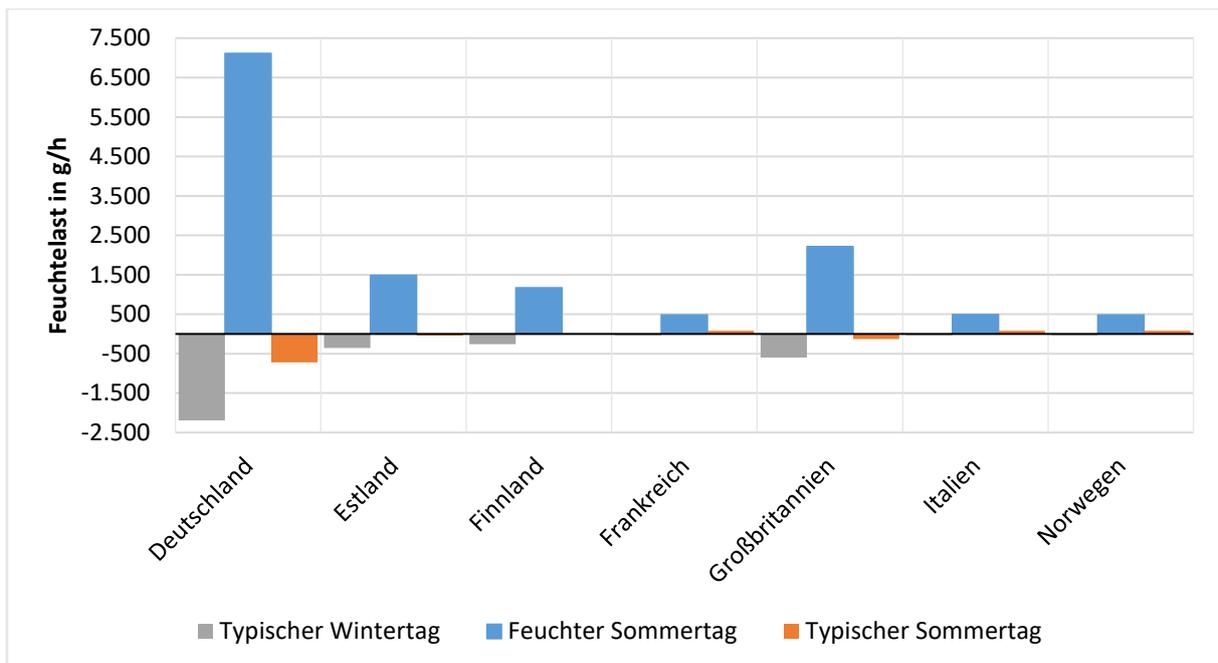


Abbildung 5-13: Be- und Entfeuchtelast für den Tyraum Patientenzimmer

6 Auswertung und Diskussion

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die Ergebnisse der Literaturrecherche und der Bilanzrechnungen für die Länder mit ausreichender Datenlage präsentiert.

Die Ergebnisse der Literaturrecherche umfassen Dokumente aus 22 europäischen Ländern, die nationale Empfehlungen zu Außenluftvolumenströmen und Auslegungsverfahren liefern. In Kapitel 5.1 wurden nach Analyse der Datenlage 12 Länder für die nähere Betrachtung und die Bilanzrechnung ausgewählt.

Im Zuge der Bilanzrechnungen wurden die Auslegungsverfahren der ausgewählten 12 Länder auf die Typräume und Szenarien, die in Kapitel 3.2 definiert wurden, angewandt und daraus resultierend die stationäre CO₂-Konzentration sowie die sich einstellende relative Feuchte im Typraum berechnet. Die Validität der Bilanzrechnungen sowie mögliche Fehlerquellen wurden in Kapitel 5.3 diskutiert. Mit den vier betrachteten Typräumen (Einzelbüro, Klassenzimmer, Theatersaal und Patientenzimmer) werden Räume unterschiedlicher Nutzungsformen in Hinblick auf die Belegungsdichte, die Raumhöhe, den Aktivitätsgrad und die hygienischen Anforderungen berücksichtigt und somit charakteristische Nutzungsfälle von Nichtwohngebäuden untersucht.

In den Unterkapiteln 6.1 bis 6.6 werden die Ergebnisse ausgewertet und im Hinblick auf verschiedene Aspekte diskutiert. Ziel der Auswertung ist es herauszustellen, welche der Berechnungsverfahren mit den jeweiligen Auslegungswerten in allen vier Typräumen die entsprechenden CO₂-Grenzwerte einhalten. Diese Betrachtung wird in den folgenden Kapiteln durchgeführt und abschließend in Kapitel 6.6 eine Empfehlung basierend auf den Ergebnissen der Studie gegeben.

6.1 Betrachtung der CO₂-Grenzwerte der Länder

Wie das Ergebnis der Literaturrecherche zeigt, verwenden die untersuchten Länder unterschiedliche CO₂-Grenzwerte als Auslegungskriterium und/oder Qualitätsmerkmal für den Mindestaußenluftvolumenstrom in Innenräumen.

Abbildung 6-1 zeigt die Verteilung der nationalen CO₂-Grenzwerte für das Einzelbüro der im Detail betrachteten Länder. Dabei ist hervorzuheben, dass hierbei immer Raumluftkategorie II verwendet wird, sofern in dem jeweiligen Land keine andere Raumluftkategorie für den Typraum definiert wird. Wie zu erkennen ist, befinden sich die maximalen absoluten CO₂-Grenzwerte in einem Bereich zwischen 900 und 1.300 ppm. Damit bewegen sie sich im Bereich der Standardauslegungswerte der EN 16798 für Kategorie I (950 ppm) und Kategorie II (1.200 ppm). Kategorie III der EN 16798 mit 1.750 ppm (Werte jeweils bei 400 ppm Außenluft) wird von keinem Land als Grenzwert für die ausgewählten Typräume empfohlen. Damit bewegen sich alle Länder in einem Bereich zwischen -10 % und +30 % um die Pettenkofer-Zahl von 1.000 ppm.

Die Länder Italien, Spanien und Ungarn fordern mit 900 ppm die niedrigsten CO₂-Grenzwerte in Innenräumen. Deutschland legt mit 950 ppm ebenfalls niedrigere Grenzwerte als EN 16798 mit 1.200 ppm fest. Die beiden Länder Portugal und Frankreich liegen mit 1.250 ppm bzw. 1.300 ppm über dem Grenzwert der EN 16798.

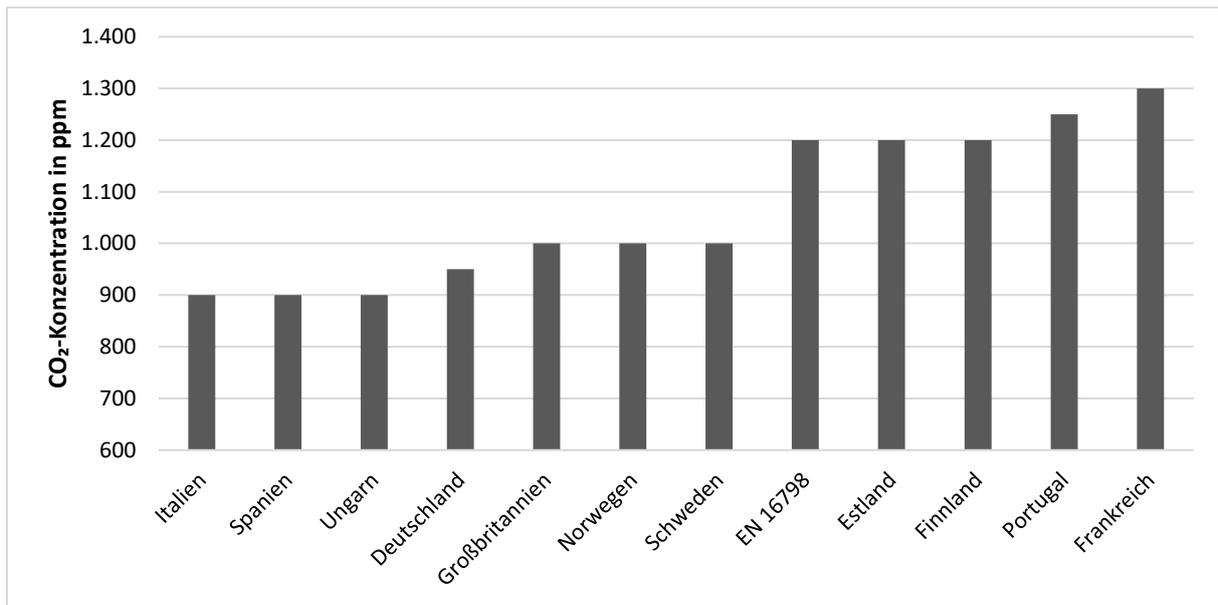


Abbildung 6-1: Nationale CO₂-Grenzwerte der betrachteten Länder für den Typraum Einzelbüro

6.2 Abweichung vom nationalen Grenzwert

Die folgenden Diagramme zeigen die aus der Auslegung resultierende Abweichung der berechneten stationären CO₂-Konzentration in den jeweiligen Typräumen für die jeweils geltenden ländertypischen Grenzwerte. Es wird also dargestellt, in welchem Maß in den einzelnen Ländern die jeweiligen Anforderungen an die CO₂-Konzentration unter Anwendung der länderspezifischen Auslegungsverfahren eingehalten werden. Dabei werden die zugrundeliegenden Berechnungsergebnisse der Abweichungen in aufsteigender Reihenfolge angeordnet. Die Farbe der Balken zeigt darüber hinaus auf, welches Berechnungsverfahren in dem jeweiligen Land verwendet wird. Die Berechnungsverfahren werden in additive Verfahren², Maximalwert-Verfahren³ und Pauschalwert-Verfahren⁴ eingeteilt. Die Länder Norwegen und Italien verwenden zusätzlich Korrekturfaktoren (siehe Kapitel 4), die bei der Berechnung angewandt, aber nicht als eigenständige Methode kategorisiert werden.

Die Ergebnisse für die jeweiligen Typräume Einzelbüro, Klassenzimmer und Theatersaal sind in Abbildung 6-2 bis 6-4 dargestellt. Für den Typraum Patientenzimmer wird diese Auswertung nicht durchgeführt, weil hier in den meisten Fällen nicht klar ist, welcher CO₂-Grenzwert tatsächlich als Auslegungskriterium verwendet wird.

² Verfahren, die personenbezogene Empfehlungen entsprechend der Belegung und flächenbezogene Empfehlungen entsprechend der Fläche berechnen und dann addieren.

³ Verfahren, bei denen personenbezogene Empfehlungen entsprechend der Belegung und flächenbezogene Empfehlungen entsprechend der Fläche berechnet werden. Dann wird der Wert ausgewählt, der zu einem höheren Gesamtaußenluftvolumenstrom führt.

⁴ Diese Länder haben ausschließlich einen personenbezogenen Wert.

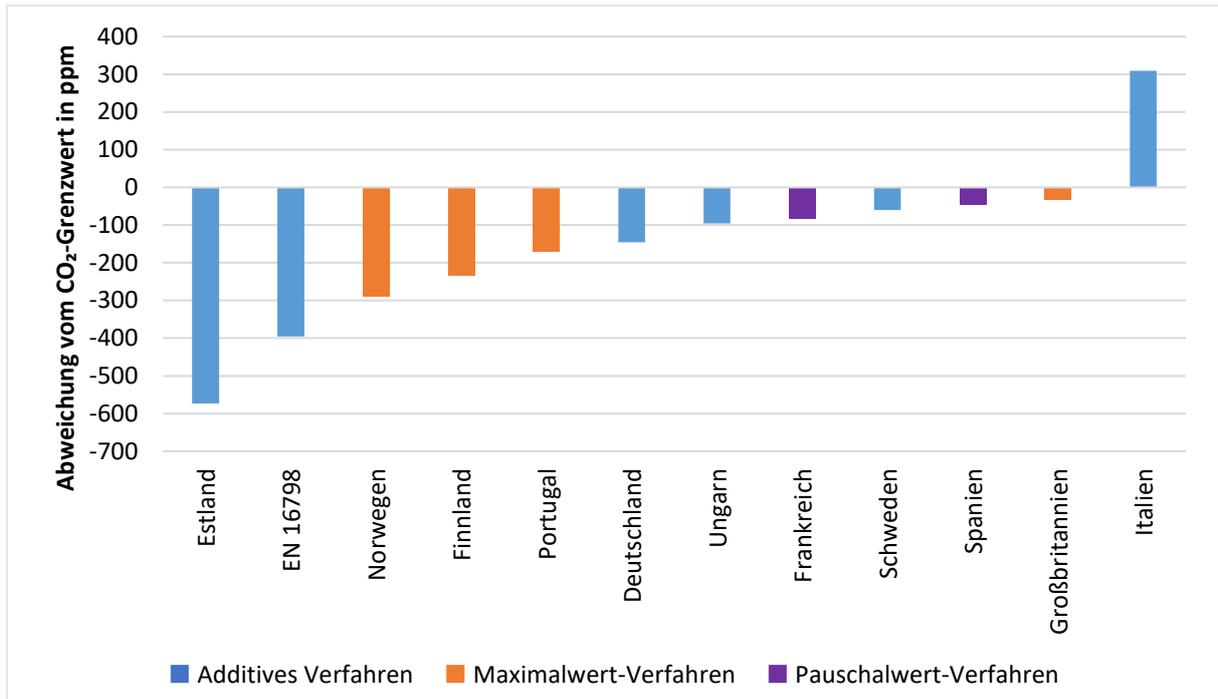


Abbildung 6-2: Unterschied zwischen jeweiligem nationalen CO₂-Grenzwert und sich einstellender CO₂-Konzentration im Typraum Einzelbüro

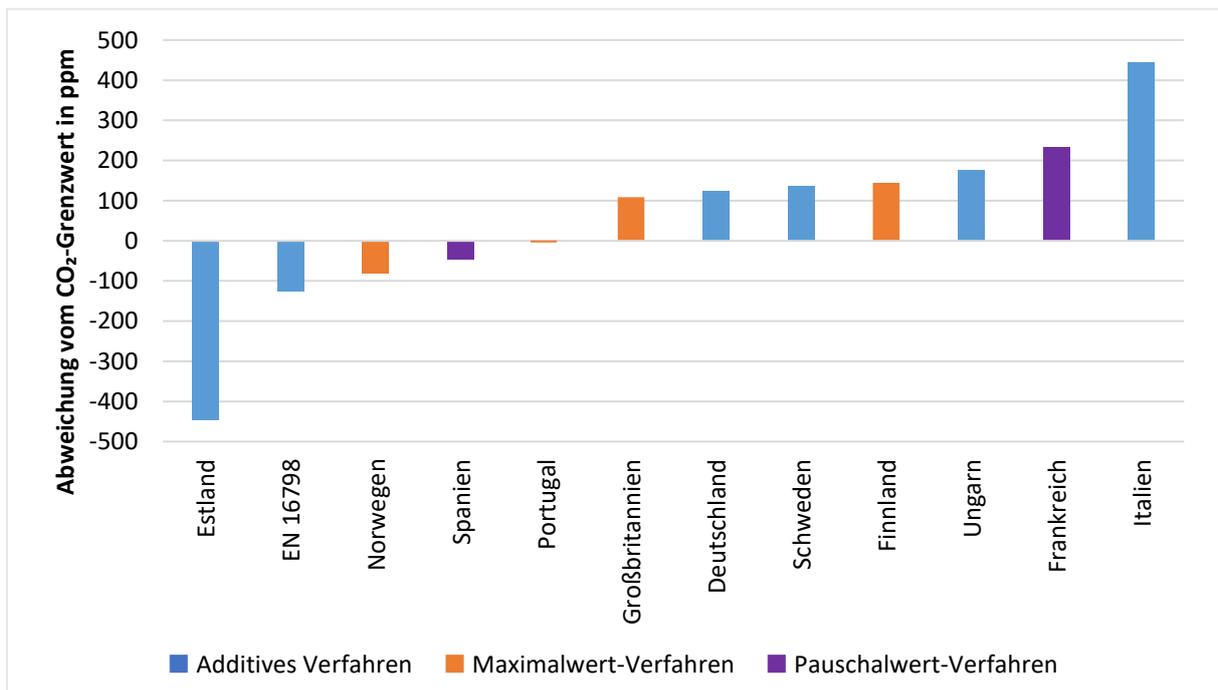


Abbildung 6-3: Unterschied zwischen jeweiligem nationalen CO₂-Grenzwert und sich einstellender CO₂-Konzentration im Typraum Klassenzimmer

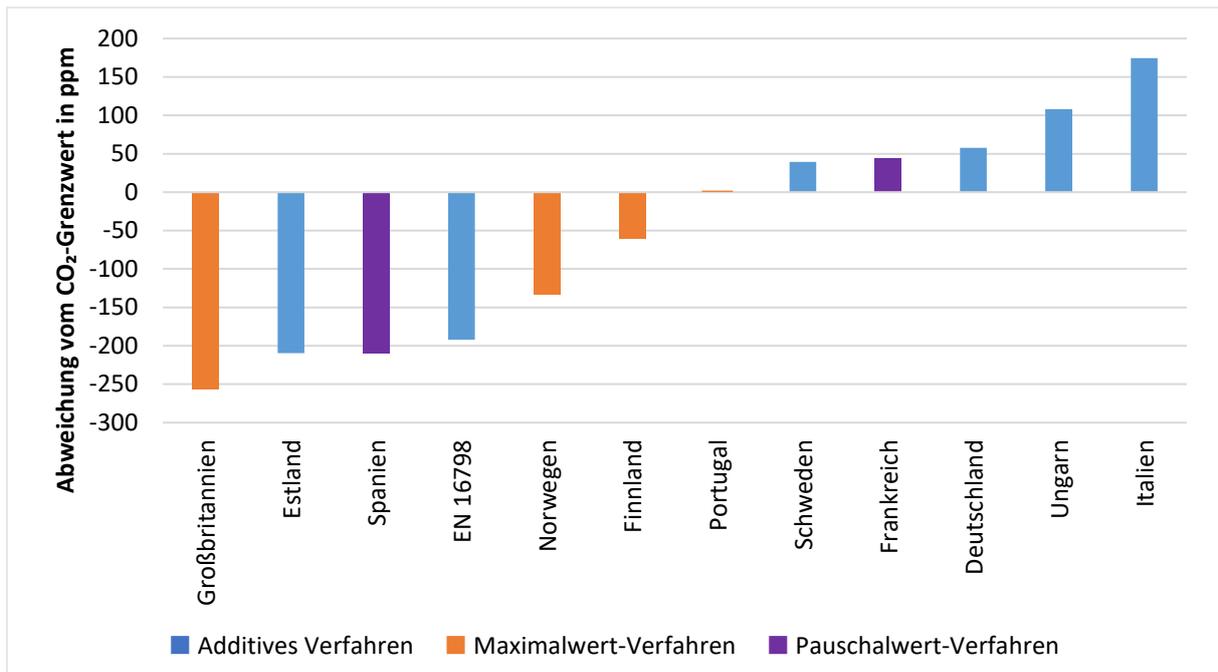


Abbildung 6-4: Unterschied zwischen jeweiligem nationalen CO₂-Grenzwert und sich einstellender CO₂-Konzentration im Typraum Theatersaal

Auffallend in den Diagrammen ist, dass der Mindestaußenluftvolumenstrom für den Typraum Klassenzimmer in der Mehrzahl der Länder tendenziell zu gering ist (folglich ist die CO₂-Konzentration höher als der Grenzwert), während dieser für den Typraum Einzelbüro von der Mehrzahl der Länder zu hoch dimensioniert wird.

Außerdem trifft Portugal für das Klassenzimmer und den Theatersaal exakt seinen CO₂-Grenzwert. Für diese beiden Typräume mit hohen Belegungsdichten funktioniert das Maximalwert-Verfahren, das in Portugal angewendet wird, sehr gut. Für den Typraum mit der geringsten Belegungsdichte, dem Einzelbüro, wird der in Portugal geltende CO₂-Grenzwert von 1.250 ppm um 170 ppm unterschritten. Das verwendete Maximalwert-Verfahren führt im Fall des Klassenzimmers und des Theatersaals zur Anwendung eines personenbezogenen Außenluftvolumenstroms, im Fall für das Einzelbüro zu einem flächenbezogenen Volumenstrom. Dadurch findet eine Berücksichtigung der Belegungsdichte des betrachteten Raumes statt.

Das Maximalwert-Verfahren erweist sich über die Bewertung der Abweichung vom nationalen CO₂-Grenzwert als gut geeignet. Wird der vergleichsweise sehr hohe Außenluftvolumenstrom in Großbritannien für den Theatersaal außen vorgelassen (hier wird ein Mindestluftwechsel angesetzt, der bei einem sehr hohen Raum wie dem Theatersaal zu sehr hohen Außenluftvolumenströmen führt), wird der nationale CO₂-Grenzwert unter Anwendung des Maximalwert-Verfahrens um maximal 290 ppm unterschritten und um maximal 145 ppm überschritten.

Einige Länder gehen möglicherweise von anderen Werten des CO₂-Ausstoßes pro Person aus, als in den Bilanzrechnungen dieser Studie entsprechend VDI 2078 angenommen. Dies könnte ggf. zu einer Annäherung an die nationalen CO₂-Grenzwerte führen.

Wie in den Abbildungen 6-2 bis 6-4 zu erkennen ist, kann kein Berechnungsverfahren identifiziert werden, das für alle Szenarien den länderspezifischen CO₂-Grenzwert exakt trifft. Lediglich Portugal erreicht dies für zwei der drei betrachteten Typräume. Zusätzlich ist zu bedenken,

dass für eine angemessene Auslegung des Mindestaußenluftvolumenstroms nicht nur das Berechnungsverfahren, sondern auch die empfohlenen Werte entscheidend sind.

6.3 Diskussion empfohlener Auslegungswerte

Um zu untersuchen, welchen Wertebereich die Länder für die personenbezogenen Volumenströme empfehlen, werden diese über alle 12 Länder und die Typräume Theatersaal, Klassenzimmer und Einzelbüro zusammengefasst. Das Patientenzimmer wird wegen der unterschiedlichen Auslegungskriterien hier nicht betrachtet. Bei dieser Auswertung werden flächenbezogene Empfehlungen (z.B.: beim additiven Auslegungsverfahren) nicht dargestellt, sondern die personenbezogenen Angaben und Werte der jeweiligen Berechnungsmethoden. Diese sind nach den Berechnungsverfahren und Typräumen aufgeschlüsselt, für die sie gelten. Ein Vergleich der Werte zwischen den Berechnungsverfahren kann daher nicht erfolgen. Die Darstellung dient dem Vergleich der Auslegungswerte innerhalb eines Berechnungsverfahrens. Gibt ein Land für einen Typraum keine personenbezogenen Werte an, wird dies nicht im Diagramm dargestellt. Das Ergebnis ist in Abbildung 6-5 dargestellt, die personenbezogenen Volumenströme werden darin auf ganze Zahlen gerundet.

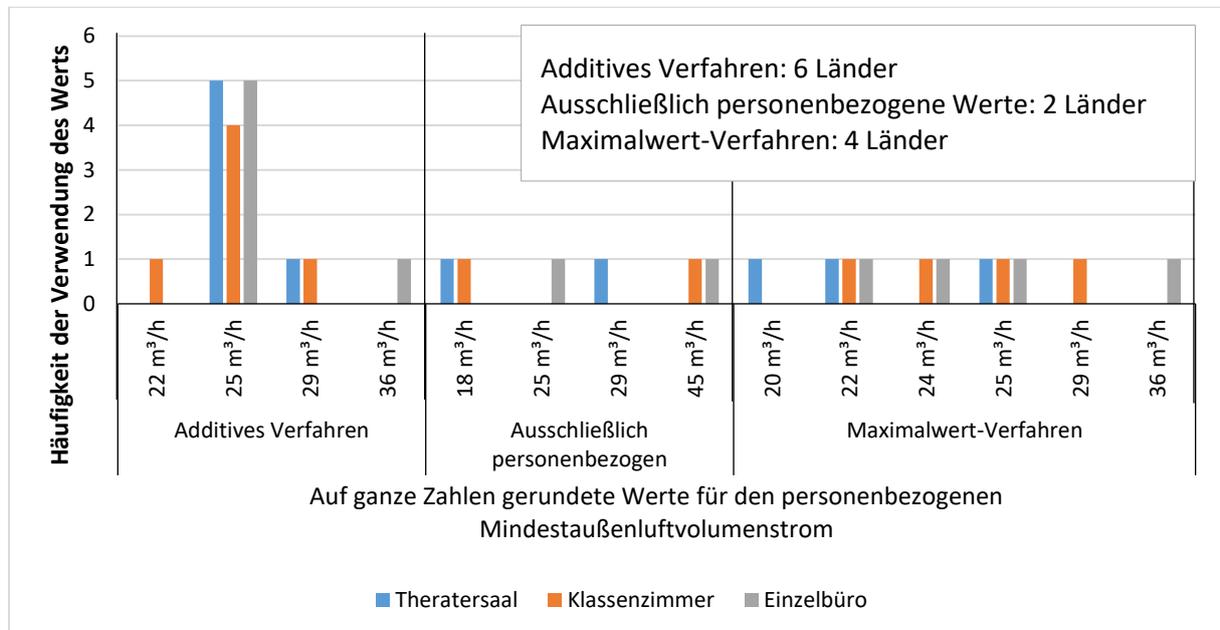


Abbildung 6-5: Variation der personenbezogenen Volumenströme je nach angewendetem Berechnungsverfahren

Das Diagramm zeigt die große Schwankungsbreite der verwendeten personenbezogenen Auslegungswerte innerhalb der einzelnen Berechnungsverfahren.

Bei den additiven Verfahren liegen die personenbezogenen Außenluftvolumenströme meist bei 25 m³/h pro Person (entspricht ca. 7 l/s). Dies könnte auch damit zusammenhängen, dass dieser Wert der Empfehlung aus DIN EN 16798 entspricht, die das additive Verfahren zur Auslegung vorschlägt. Bei den anderen beiden Berechnungsverfahren lassen sich keine gemeinsamen Werte oder Trends erkennen.

Teilweise kann die hohe Schwankungsbreite der Werte mit unterschiedlichen nationalen CO₂-Grenzwerten und Anforderungen an die Typräume begründet werden, wobei andere Ursachen

nicht auszuschließen sind. Beispielsweise könnten Länder für die Erstellung ihrer Empfehlungen unterschiedliche Werte für die CO₂-Emissionen der Personen annehmen und würden damit ihre länderspezifischen CO₂-Grenzwerte einhalten. In deutschen Normen herrscht über die CO₂-Emissionen von Personen nicht gänzlich Einigkeit. So setzt DIN EN 16798 in ihren Überschlagsrechnungen pauschal eine Freisetzung von 20 l/h an, während VDI 2078 den CO₂-Ausstoß an den Aktivitätsgrad bzw. das metabolische Äquivalent (met) koppelt.

Abbildung 6-5 unterstreicht außerdem, was bereits in Kapitel 6.2 erörtert wurde. Werte und Berechnungsverfahren, sowie nationale Grenzwerte müssen stets aufeinander abgestimmt sein. Dies erschwert eine Kategorisierung und Bewertung eines Berechnungsverfahrens und dessen empfohlener Auslegungswerte auf Basis der Literaturrecherche.

6.4 Bewertung personenbezogener Auslegungswerte

Einige Länder geben ausschließlich personenbezogene Pauschalwerte für Außenluftvolumenströme als Empfehlung an, wie beispielsweise die Schweiz. Diese Methode vereinfacht die Auslegung der Lüftungstechnik deutlich.

Im Folgenden soll geprüft werden, ob ein konstanter personenbezogener Außenluftvolumenstrom verschiedenen Typräumen gerecht werden kann. Dazu wird in Abbildung 6-6 der personenbezogene Volumenstrom von 20 bis 34 m³/(h·Pers) variiert und das Ergebnis der Bilanzrechnung dargestellt. Als CO₂-Grenzwert wird hier die Pettenkofer-Zahl von 1.000 ppm verwendet. Diese Betrachtung ist also unabhängig von länderspezifischen Anforderungen und verwendet hypothetische personenbezogene Außenluftvolumenströme.

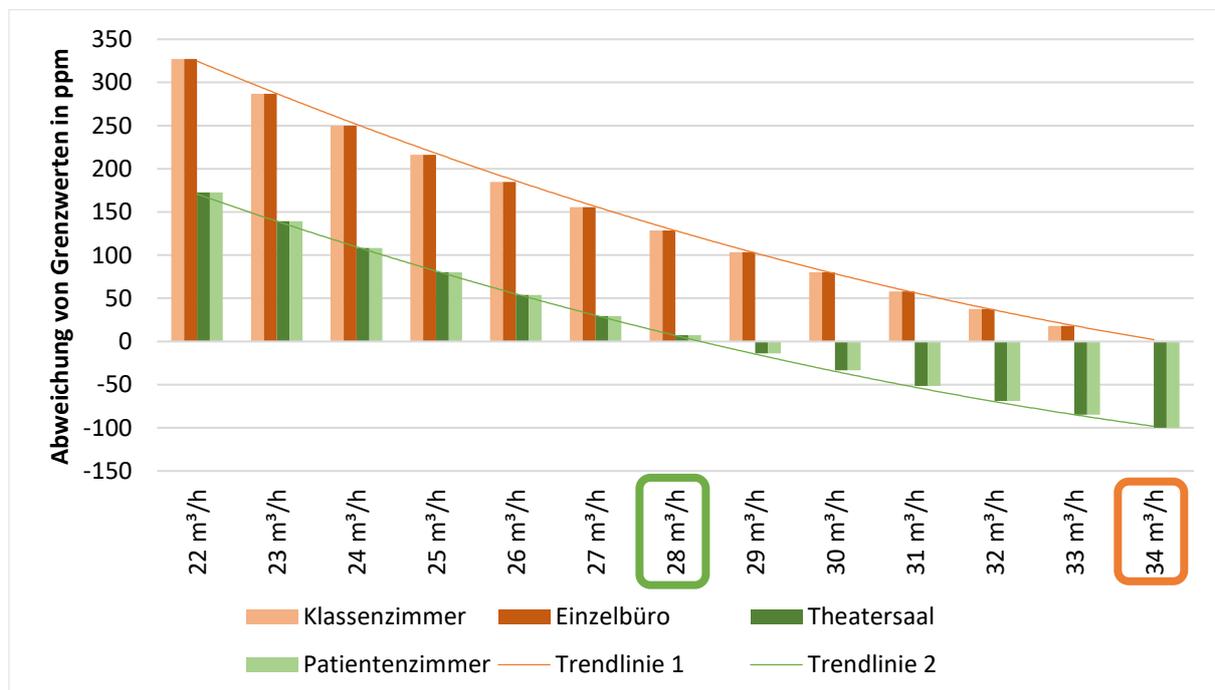


Abbildung 6-6: Abweichung vom CO₂-Grenzwert von 1.000 ppm bei Variation des pauschalen personenbezogenen Außenluftvolumenstroms

Auffällig ist, dass jeweils für das Einzelbüro und das Klassenzimmer sowie für den Theatersaal und das Krankenzimmer exakt dieselben Ergebnisse für die Abweichung der stationären CO₂-Konzentration von der Pettenkofer-Zahl vorliegen. Dies liegt daran, dass die einzige CO₂-

Quelle im Raum die Personen sind und deren CO₂-Freisetzung mit dem Aktivitätsgrad korreliert. Im Typraum Einzelbüro und Klassenzimmer wird Aktivitätsgrad II, im Theatersaal und Krankenzimmer Aktivitätsgrad I angenommen.

Es zeigt sich, dass die stationäre CO₂-Konzentration für Aktivitätsgrad I (Theatersaal und Patientenzimmer) mit einem Außenluftvolumenstrom von 28 m³/h pro Person am nächsten an der Pettenkofer-Zahl liegt. Für Aktivitätsgrad II (Einzelbüro und Klassenzimmer) gilt dies für einen Außenluftvolumenstrom von 34 m³/h pro Person.

Um mit einem pauschalen personenbezogenen Außenluftvolumenstrom verschiedene Szenarien und Typräume abdecken zu können, müssen Schlüssel-Parameter Berücksichtigung finden. Entsprechend Abbildung 6-6 gehört der Aktivitätsgrad der Personen und der nationale CO₂-Grenzwert (in Abbildung 6-6: 1.000 ppm) zu diesen Parametern. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass über die ausschließlich personenbezogene Auslegung die Gebäudemissionen keine Berücksichtigung finden können.

6.5 Bewertung des Vorgehens in Deutschland

Für die Berechnung des Außenluftvolumenstroms in Deutschland wird ein additives Verfahren nach Methode 1 des Nationalen Anhangs der DIN EN 16798 angewendet. Für die betrachteten Typräume wird mit diesem Verfahren lediglich beim Einzelbüro der nationale CO₂-Grenzwert eingehalten. Für das Klassenzimmer ergibt sich eine stationäre CO₂-Konzentration von 1.075 ppm und für den Theatersaal 1.008 ppm. Damit wird in beiden Fällen der CO₂-Grenzwert von 950 ppm überschritten. Für das Patientenzimmer wird ein pauschaler flächenbezogener Mindestaußenluftvolumenstrom angegeben. Damit stellt sich eine stationäre CO₂-Konzentration von 435 ppm ein. Der niedriger angesetzte CO₂-Grenzwert von 750 ppm im Patientenzimmer wird damit deutlich unterschritten.

In DIN EN 16798 wird neben Methode 1 auch eine weitere Methode 2 zur Auswahl gestellt. Wird die Belüftung von Nichtwohngebäuden nach Methode 1 ausgelegt, ergeben sich kleinere Außenluftvolumenströme, als wenn Methode 2 verwendet wird. Bei Methode 2 wird der Außenluftstrom so dimensioniert, dass eine bestimmte CO₂-Konzentration nicht überschritten wird. Widersprüchlich ist, dass sich die Auslegungswerte für personenbezogene und flächenbezogene Vorgaben bei Methode 1 zwischen Deutschland und der europäischen EN 16798 nicht unterscheiden, sich also dieselben Außenluftvolumenströme für dieselben Innenraumluftkategorien ergeben. Allerdings werden in Deutschland strengere CO₂-Grenzwerte für die einzelnen Innenraumluftkategorien festgelegt. Diese Diskrepanz zwischen dem deutschen Nationalen Anhang der EN 16798-1 und der EN 16798-1 ist in den Diagrammen in Kapitel 6.2 deutlich zu erkennen. Da die Auslegung des Mindestaußenluftvolumenstroms identisch ist, aber die CO₂-Grenzwerte unterschiedlich sind, liegen die Ergebnisse für Deutschland und nach EN 16798 stets im gleichen Abstand zueinander.

Da nicht vorgegeben wird, welche der Berechnungsmethoden für welchen Anwendungsfall herangezogen werden muss, bleibt dies den Planenden überlassen. Auffällig ist, dass das Verfahren in Deutschland den Aktivitätsgrad bei der Auslegung nicht berücksichtigt. Dieser Umstand kann zu Schwierigkeiten führen, da der Aktivitätsgrad die ausschlaggebende Größe für die sich einstellende CO₂-Konzentration ist.

Die Frage, warum Methode 3 der EN 16798 in Deutschland nicht anzuwenden ist, bleibt offen. Hier ergäbe sich die Möglichkeit, spezifisch für Raumnutzungstypen Werte festzulegen und somit den Aktivitätsgrad indirekt miteinzubeziehen.

6.6 Erkenntnisse aus der Feuchte-Bilanz

Da die Berechnungsverfahren und Auslegungskriterien auf die Einhaltung der nationalen CO₂-Grenzwerte abzielen, sollten die Anlagen über eine Be-, vor allem aber eine Entfeuchtung verfügen. Bei bestimmten Außenluftbedingungen können ansonsten hohe relative Luftfeuchten im Innenraum entstehen, die für ein unbehagliches Raumklima oder auch zu Schimmel führen können. Belege dafür liefern die Diagramme in Kapitel 5.3.2.

Die für die Typräume berechneten Feuchtelasten zeigen, dass die Konditionierung der Zuluft insbesondere an schwülen Sommertagen und im Winter relevant werden. Weiterhin wird ersichtlich, dass es in maschinellen Lüftungsanlagen energetisch sinnvoll ist, die CO₂-Grenzwerte durch hohe Außenluftvolumenströme nicht zu weit zu unterschreiten. Schließlich bringt die Entfeuchtung und der Transport der Raumzuluft einen hohen Energieaufwand mit sich, der mit höheren Außenluftvolumenströmen ansteigt.

Zuletzt kann festgehalten werden, dass die Abfuhr der Feuchte, die durch die in den Typräumen anwesenden Personen abgegeben wird, in den drei berechneten Szenarien eine untergeordnete Rolle spielt. Entscheidend für die Feuchtelast sind vielmehr die Außenluftbedingungen und die Höhe des Außenluftvolumenstroms.

Es sollte jedoch beachtet werden, dass die Berechnungen der Feuchtebilanz unter bestimmten Annahmen und Randbedingungen durchgeführt werden. Die resultierende Luftfeuchte ist abhängig von der Außenlufttemperatur, der Raumtemperatur und der Höhe des Feuchteausstoßes der Personen, welche wiederum von dem angenommenen Aktivitätsgrad abhängig ist.

Außerdem werden mit den vier Typräumen keine Raumszenarien betrachtet, die einen relevanten Anteil abiotischer Feuchtequellen haben. Dies wäre beispielsweise in Küchen oder Wäschereien der Fall. In solchen Fällen muss die Feuchteabgabe rauminterner Feuchtequellen bei der Auslegung berücksichtigt werden.

7 Empfehlungen aus der Datenrecherche

Um ein eindeutiges und einfaches Auslegungs- und Abnahmekriterium für die Belüftung von Nichtwohngebäude zu definieren, liegt es nahe, eine pauschale untere Schwelle für den personenbezogenen Mindestaußenluftvolumenstrom zu definieren. Diese Herangehensweise wird bisher von keinem der in dieser Studie betrachteten Länder angewandt. Die Auslegungsverfahren für Mindestaußenluftvolumenströme weisen im internationalen Vergleich große Unterschiede auf. Gemeinsamkeiten in den Auslegungsverfahren der meisten Länder sind die Festlegung von Raumluftkategorien mit unterschiedlichen Anforderungen und das Heranziehen der CO₂-Konzentration als Auslegungsgrenzwert. Auch bestehen neben der Auslegung über einen Mindestaußenluftvolumenstrom häufig noch andere Auslegungsansätze, wie beispielsweise nach der Konzentration anderer Schadstoffe. Der Großteil der Länder differenzieren ihre Empfehlungen des Mindestaußenluftvolumenstroms nach Typräumen und geben personen- und/oder flächenbezogene Werte an.

Anhand der durchgeführten Bilanzrechnungen wird festgestellt, dass ein pauschaler personenbezogener Mindestaußenluftvolumenstrom von 25 m³/h pro Person eine untere Schwelle für die Einhaltung einer CO₂-Konzentration von ca. 1.200 ppm darstellt. Dabei wird diese Schwelle allein den unterschiedlichen Anforderungen in den üblichen Raumszenarien nicht gerecht und es sollte eine normgerechte spezifische Auslegung erfolgen. Die CO₂-Bilanz für alle vier untersuchten Typräume ergibt entsprechend unter der Annahme eines Außenluftvolumenstroms von 25 m³/h pro Person eine stationäre CO₂-Konzentration über 1.000 ppm. Dabei sind mit 1.216 ppm die CO₂-Konzentrationen in den beiden Typräumen mit Aktivitätsgrad II (Einzelbüro und Klassenzimmer) höher als die Grenzwerte Deutschlands in Kategorie I und II und auch als die Pettenkofer-Zahl (vgl. Kapitel 5.3). Um einen CO₂-Grenzwert von 1.000 ppm einzuhalten, wird für Räume mit angenommenem Aktivitätsgrad I ein Mindestaußenluftvolumenstrom von 28 m³/h pro Person und für Räume mit Aktivitätsgrad II von 34 m³/h pro Person empfohlen (vgl. Kapitel 6.4). Die Empfehlungen sind allerdings abhängig von der Höhe der angenommenen CO₂-Emissionsraten pro Person. In den vorliegenden Berechnungen wird ein vom Aktivitätsgrad abhängiger CO₂-Ausstoß pro Person angenommen. Für die in EN 16798-1 empfohlenen Werte wird hingegen unabhängig vom Aktivitätsgrad eine CO₂-Emissionsrate pro Person von 20 l/h angenommen.

Zudem ist zu beachten, dass Schadstoffemissionen, die vom Gebäude selbst (Wände, Möbeln oder Teppichböden) ausgehen, mit einem ausschließlich personenbezogenen Verfahren nur bedingt berücksichtigt werden. Dies ist besonders relevant bei Räumen mit niedrigen Belegungsichten, wie beispielsweise dem Einzelbüro, weil hier das Verhältnis an personenbezogenen Emissionen zu jenen aus Möbeln oder Baustoffen kleiner wird. Hier weisen additive Verfahren einen Vorteil auf: Durch die Addition eines flächenbezogenen Außenluftvolumenstroms wird dafür gesorgt, dass selbst bei geringen Personenbelegungsichten Schadstoffe zuverlässig abgeführt werden. Die Auswertung der Auslegungsverfahren von Ländern mit additivem Verfahren zeigt, dass der flächenbezogene Auslegungswert meist auf ein Zehntel bis ein Zwanzigstel des personenbezogenen Werts festgelegt wird. Bei geringen Personenbelegungsichten befinden sich die aus den personen- bzw. flächenbezogenen Werten resultierenden Außenluftvolumenströme in derselben Größenordnung (z.B.: eine Person und 10 m² Raum resultiert sowohl über die flächen- als auch die personenbezogene Berechnung in $\dot{V} \approx 10 \text{ m}^3/\text{h}$). Bei Räumen mit hoher Belegungsichte, wie beispielsweise dem Theatersaal, wird

der Anteil der flächenbezogenen Außenluftvolumenströme marginal, weil der geforderte personenbezogene Außenluftvolumenstrom deutlich höher ist.

Vorausgesetzt, dass keine signifikanten anderen Schadstoffquellen vorhanden sind, können die Schadstofflasten des Raumes bei hohen Personenbelegungsdichten ausschließlich mit einem personenbezogenen Wert berücksichtigt werden. Im Umkehrschluss bedeutet das, dass ein pauschaler personenbezogener Wert für den Mindestaußenluftvolumenstrom an die Belegungsdichte geknüpft werden müsste, da mit der Belegungsdichte das Verhältnis zwischen Emission durch den Raum (Wände, Möbel, etc.) und die Personen variiert.

Der Argumentationskette der DIN EN 16798 folgend, dass sowohl Verunreinigungen durch die Nutzer als auch Verunreinigungen durch das Gebäude abgeführt werden müssen, ist die Anwendung eines additiven Verfahrens zur Berechnung des Mindestaußenluftvolumenstroms als Auslegungsgröße plausibel. Dabei sollte der geforderte personenbezogene Außenluftvolumenstrom höher gewichtet werden, sofern von Gebäuden ausgegangen wird, in denen die Emissionen hauptsächlich von den anwesenden Personen verursacht werden.

Ein weiterer möglicher Ansatz für ein vereinfachtes Auslegungskriterium zur Belüftung von Nichtwohngebäuden, besteht darin, den Mindestaußenluftvolumenstrom in Abhängigkeit des Aktivitätsgrades anzugeben. Demnach könnten bestimmten Raumtypen ein Aktivitätsgrad und diesem wiederum ein pauschaler personenbezogener Außenluftvolumenstrom zugeordnet werden. Einige Länder wie z.B. die Schweiz verfahren nach diesem Ansatz. Sie definieren für bestimmte Raumnutzungstypen pauschale Mindestaußenluftvolumenströme. Für Räume, in denen Luftschadstoffe vor allem auf Grund der Belegung emittiert werden, wird ein Mindestaußenluftvolumenstrom von 29 m³/h pro Person angesetzt. Für Küchen und ähnliche Räume, in denen zusätzliche Feuchtequellen vorhanden sind, wird dieser auf 48 m³/h pro Person festgelegt.

Auch bezüglich des additiven Berechnungsverfahrens ist zu diskutieren, warum der Aktivitätsgrad der Personen im Raum nicht in die personenbezogenen Außenluftvolumenstromempfehlungen eingeht, da er den in den meisten Fällen größten CO₂-Emittenten (die Personen) signifikant beeinflusst. Mit der Erhöhung des Aktivitätsgrades steigen die CO₂-Emissionen pro Person nämlich um ca. 20 % bis 30 %.

Einige Länder haben, mutmaßlich zur Berücksichtigung dieses Einflusses, Listen erstellt, die verschiedenen Raumnutzungsformen oder Raumtypen empfohlene Außenluftvolumenströme zuordnen. Diese Listen sprechen sehr spezifisch nach Typräumen gegliedert Empfehlungen aus, andere sind allgemeiner und teilen in übergeordnete Nutzungsarten bzw. Verwendungszwecke ein. Da bestimmte Typräume üblicherweise für dieselben Zwecke verwendet werden, bedeutet dies auch, dass ihnen Aktivitätsgrade der dort anwesenden Personen zugeordnet werden können. Dementsprechend kann durch die Erstellung der Listen der Aktivitätsgrad bei der Auslegung der Lüftungsanlage nach Typräumen Berücksichtigung finden.

Darüber hinaus wären jedoch auch weitere Möglichkeiten denkbar, die den Aktivitätsgrad berücksichtigen. So könnte in die Gleichung zur Berechnung des Mindestaußenluftvolumenstroms, die von DIN EN 16798 nach Methode 1 vorgeschlagen wird (Gleichung (2-1)), ein Korrekturfaktor integriert werden oder direkt der Aktivitätsgrad bzw. das metabolische Äquivalent Berücksichtigung finden.

Eine Berücksichtigung der Belegungsdichte und des Aktivitätsgrades bei der Auslegung des Mindestaußenluftvolumenstroms wird durch die Berechnungsweise in Portugal realisiert. Hier

findet ein Maximalwertverfahren Anwendung, das vom Aktivitätsgrad abhängige personenbezogene und von gebäudespezifischen Schadstoffemissionen abhängige flächenbezogene Volumenströme kombiniert. Durch das Maximalwertverfahren findet für Räume mit kleinen Belegungsdichten der flächenbezogene Mindestaußenluftvolumenstrom Anwendung, für Räume mit hohen Belegungsdichten der personenbezogene. Damit wird laut den hier durchgeführten Berechnungen der für Portugal geltende CO₂-Grenzwert eingehalten. Dieser ist mit 1.250 ppm jedoch vergleichsweise hoch. Es wäre allerdings denkbar, die für das Berechnungsverfahren verwendeten Auslegungswerte anzupassen, um auch niedrigere CO₂-Grenzwerte einzuhalten.

EN 16798-1 beinhaltet mit Methode 3 ebenfalls ein Auslegungsverfahren, das für die Anforderungen an den Mindestaußenluftvolumenstrom bestimmte Typräume berücksichtigt. Es spricht jedoch hierzu keine direkten Empfehlungen aus. Im Nationalen Anhang für Deutschland darf diese Methode jedoch ausdrücklich nicht angewandt werden.

Als Fazit dieser Studie kann festgestellt werden, dass ein ausschließlich personenbasierter Mindestaußenluftvolumenstrom vom Aktivitätsgrad, der Belegungsdichte und gegebenenfalls von vorhandenen weiteren Schadstoffquellen im Raum sowie den Gebäudeemissionen abhängig gemacht werden sollte, um eine adäquate Belüftung von Nichtwohngebäuden sicherzustellen. Bei den untersuchten Typräumen Einzelbüro, Patientenzimmer, Klassenzimmer und Theatersaal wurde dabei stets ein Wert von 25 m³/h pro Person überschritten, um eine stationäre CO₂-Konzentration von 1.000 ppm (Pettenkofer-Zahl) zu erreichen.

8 Zusammenfassung

In dieser Studie wird eine Literaturrecherche zu nationalen Normen und Richtlinien bezüglich Auslegungsverfahren des Mindestaußenluftvolumenstroms in europäischen Ländern durchgeführt. Der Fokus liegt dabei auf den EU-27-Staaten. Auch wenn es im europäischen Raum mit der DIN EN 16798 ein einheitliches Regelwerk gibt, existieren in zahlreichen Ländern ergänzende Vorgaben.

Im Zuge der Literaturrecherche werden Informationen aus 22 europäischen Ländern zusammengetragen. Ausschlaggebend für die Einschätzung der Verlässlichkeit einer Quelle ist, ob die recherchierten Werte gesetzlich verankert sind bzw. tatsächlich die gängige Praxis des Landes bei der Auslegung der Belüftung von NWG repräsentieren. Dies konnte für 11 der 22 Ländern aufgrund Anzahl und Verlässlichkeit der Quellen mit guter Sicherheit angenommen werden, sodass diese für die Detailbetrachtung ausgewählt wurden. Herausforderungen bei der Literaturrecherche ergaben sich bei einigen Ländern durch die sprachliche Barriere. Missverständnisse in der Interpretation einzelner Literaturquellen können darum nicht gänzlich ausgeschlossen werden.

Das Ergebnis der Literaturrecherche ist eine Übersicht über bestehende Auslegungsverfahren und empfohlene Werte für den Mindestaußenluftvolumenstrom in europäischen Ländern. Dabei unterscheiden sich einerseits die Berechnungsverfahren und andererseits die hierfür empfohlenen Werte. Folgende Berechnungsverfahren werden im Zuge der Literaturrecherche erfasst:

- Additive Verfahren (wie z.B. bei DIN EN 16798 Verfahren 1), bei denen personenbezogene und flächenbezogene Werte aus Listen ausgewählt oder als Pauschalwerte angegeben werden. Diese werden dann mit der entsprechenden Fläche bzw. Belegung des auszulegenden Raumes multipliziert und schließlich zu einem Gesamtluftvolumenstrom addiert. Dieses Verfahren wird in einigen Ländern mit Sicherheitsbeiwerten oder Korrekturfaktoren ergänzt.
- Maximalwert-Verfahren, bei dem flächenbezogene und personenbezogene Empfehlungen ausgesprochen werden und nach Multiplikation mit der Fläche bzw. der Belegung der resultierende Höchstwert herangezogen wird.
- Pauschalwert-Verfahren, bei dem ausschließlich personenbezogene oder flächenbezogene Werte angegeben werden, meist spezifisch für gewisse Typräume. Es findet dabei keine weitere Verrechnung statt.

Die empfohlenen Werte lassen sich grundsätzlich darin unterscheiden, dass entweder spezifische Werte für bestimmte Typräume (ähnlich Methode 3 der DIN EN 16798) oder pauschale Werte für NWG angegeben werden (ähnlich Methode 1 der DIN EN 16798).

Darüber hinaus formulieren manche Länder auch Verfahren, bei denen direkt auf einen bestimmten Schadstoffgrenzwert hin bilanziert wird (z.B. CO₂, VOC oder anderen Schadstoffen), ähnlich Methode 2 der DIN EN 16798. Dementsprechend kommt es dann darauf an, in der Auslegung die Emissionsrate der Quellen (z.B. Mensch) richtig anzusetzen. Auf diesen Verfahren liegt in dieser Studie jedoch kein Fokus, da es hier ausdrücklich nur um nationale Volumenstromempfehlungen gehen soll.

Relevant für die nationalen Auslegungsverfahren sind zudem die nationalen CO₂-Grenzwerte und darüber hinaus Grenzwerte für andere typische Schadstoffe in Innenräumen (z.B. für Radon, VOC, etc.). Auch diese Anforderungswerte werden im Zuge der Recherche dokumentiert, da sie häufig in denselben Normen/Richtlinien festgehalten sind.

Um die recherchierten Berechnungsverfahren und zugehörige Werte einordnen und vergleichen zu können, werden Bilanzrechnungen für CO₂ und die Luftfeuchte im Raum für vier Typräume (Einzelbüro, Theatersaal, Klassenzimmer und Patientenzimmer) mit je drei Außenluftzuständen (typischer Sommertag, feuchter Sommertag, typischer Wintertag) durchgeführt. Die Ergebnisse werden mit den nationalen Grenzwerten abgeglichen. Diese Betrachtung wird für die 11 Länder mit adäquaten Literaturquellen durchgeführt. Bewertet werden die Länder danach, wie genau sie mit den eigenen Berechnungsverfahren die eigenen nationalen Grenzwerte einhalten. Diese Auswertung zeigt, dass keines der drei untersuchten Berechnungsverfahren eine bestmögliche Auslegung aller potentiellen Szenarien garantiert. Die Kombination aus Berechnungsverfahren und passend gewählten empfohlenen Auslegungswerten ist letztlich entscheidend für die Güte der Auslegung.

Durch diese Studie wird eine umfassende, wenn auch nicht vollständige, Literatursammlung erstellt, die einen Überblick über die möglichen Auslegungsverfahren für den Mindestaußenluftvolumenstrom in Nichtwohngebäuden gibt. Sie kann als Grundlage für weitere Betrachtungen im Hinblick auf mögliche Vereinfachungen oder Verbesserungen des Auslegungsverfahrens in Deutschland herangezogen werden.

Zusammenfassend lässt sich konstatieren, dass ein pauschaler Dimensionierungswert von 25 m³/h pro Person zwar nicht in allen Anwendungen in derselben Luftqualität resultiert, allerdings in allen Anwendungen zu CO₂-Konzentrationen von ca. 1.000-1.200 ppm führt, sofern die anwesenden Menschen die Hauptemissionsquelle darstellen. Die Pettenkofer-Zahl wird damit teilweise überschritten, aber eine Mindestluftqualität ist sichergestellt, insbesondere wenn davon ausgegangen wird, dass bspw. in Klassenräumen und Büros selten alle Personen gleichzeitig über einen langen Zeitraum anwesend sind. Für ein vereinfachtes Auslegungskriterium stellen 25 m³/h pro Person die untere Grenze der Mindestanforderung für emissionsarme Gebäude dar.

9 Ausblick

Im Projekt liegt der Fokus auf der Literaturrecherche um eine verlässliche Basis für Auslegungsverfahren der Lüftungstechnik in Europa zu schaffen. Als abgeschlossen kann die Literaturrecherche dennoch nicht bezeichnet werden, da für einige der EU-27-Staaten keine Literaturdaten gesammelt bzw. nur eine unzureichende Datenlage erhoben werden konnte. Die Literaturrecherche könnte einerseits im europäischen Raum weitergeführt, andererseits auch auf andere Kontinente (z.B. Asien) ausgeweitet werden. Beispielsweise kann ein Vergleich mit Normen wie der amerikanischen ASHRAE durchgeführt werden. Darüber erfolgt in dieser Studie eine Beschränkung auf Nichtwohngebäude ohne Industrielle Nutzung, was sowohl die Möglichkeit bietet zukünftig die Lüftungssituation von Wohngebäuden zu untersuchen als auch die Lüftung von industriell genutzten Gebäuden näher zu betrachten.

Auf Basis der durch die Literaturrecherche gewonnenen Informationen über Lüftungsanforderungen in einzelnen europäischen Ländern wurde die CO₂- und Feuchtebilanz berechnet. Letztere führte zu einem erforderlichen Ent- bzw. Befeuchtemassenstrom in Abhängigkeit des Außenluftwechsels, wobei die Betrachtung der technischen Realisierung dieser Entfeuchtemassenströme im Rahmen des Projekts nicht angegangen werden konnte. Hierzu wäre eine Erhebung der im Stand der Technik verfügbaren Vollklimageräte nötig. Zusätzlich könnte eine energetische Betrachtung durch die Bilanzierung von Wärme und Kälte durchgeführt werden, weil auch diese mit dem Außenluftvolumenstrom korreliert aber nicht Teil dieser Studie ist. Damit verbunden stellt sich außerdem die Frage, ob Schadstoff- bzw. CO₂-Grenzwerte im Hinblick auf die immer wichtiger werdende Ressourceneinsparung ausreichend genau definiert sind, oder ob nicht auch ein Auslegungskriterium für einen maximalen Außenluftvolumenstrom gefunden werden kann. Die Verhinderung der unnötigen Unterschreitung der Grenzwerte ist bislang nicht untersucht, sondern lediglich durch den damit zusätzlichen monetären Mehraufwand motiviert. Diese Betrachtung ist jedoch nicht trivial, weil eine Abwägung zwischen gesundheitlicher und energetischer Auslegungskriterien nicht leichtfertig getroffen werden kann.

Im Hinblick auf die in Deutschland im nationalen Anhang der DIN EN 16798 vorgeschlagenen Verfahren unterscheidet sich das darin empfohlene Vorgehen im Vergleich zur EN 16798 insbesondere darin, dass Methode 3, also für spezifische Typräume angegebene Mindest-Außenluftvolumenströme, nicht angewendet wird. Die dafür bestehenden Gründe sind nicht bekannt. Die Definition von typraumspezifischen Außenluftvolumenströmen wären sinnvoll, weil dadurch Einflussfaktoren wie der Aktivitätsgrad oder die Belegungsdichte in besonderem Maße bei gleichzeitig einfacher Berechnungsweise bei der Auslegung berücksichtigt werden können.

10 Literaturverzeichnis

- [1] ARNO LEDERER und BARBARA PAMPE. *Vergleich Ausgewählter Richtlinien zum Schulbau - Kurzfassung*. Bericht. Stuttgart, 12.2015. Heft 1.
- [2] Belgien - Flämischen Regierung, *BiJlage X - Ventilatievoorzieningen in niet residentiele gebouwen Bepalingsmethode en eisen - Anhang X - Lüftung in Nichtwohngebäuden, Bestimmungsmethode und Anforderungen* [Zugriff am: 23. Dezember 2022]. Verfügbar unter: <https://navigator.emis.vito.be/mijn-navigator?wold=60269>
- [3] Belgien - Föderaler öffentlicher Dienst Beschäftigung, Arbeit und sozialer Dialog, *Praktijkrichtlijn - "Binnenluchtkwaliteit in werklokalen"* [Zugriff am: 23. Dezember 2022]. Verfügbar unter: <https://werk.belgie.be/nl/nieuws/praktijkrichtlijn-binnenluchtkwaliteit-werklokalen>
- [4] BELGIEN - GUIDEDERENOVATION.DE. *Quelles normes ventilation en Belgique en 2022 ? Welche Normen für Belüftung gelten in Belgien 2022?* [online]. Verfügbar unter: <https://www.guide-renovation.be/news/normes-ventilation-en-belgique-en-2021>
- [5] Bundesinnenministerium für Arbeit und Soziales, AGS Ausschuss für Gefahrstoffe. 1, *Technische Regeln für Gefahrstoffe, Arbeitsplatzgrenzwerte* [Zugriff am: 19. Dezember 2022]. Verfügbar unter: <https://www.arbeitssicherheit.de/schriften/dokument/0%3A163371%2C1.html>
- [6] DÄNEMARK - BEHÖRDE FÜR WOHNUNGSWESEN UND PLANUNG. *Bauvorschriften.dk* [online] [Zugriff am: 23. Dezember 2022]. Verfügbar unter: <https://bygningsreglementet.dk/Tekniske-bestemmelser/22/Krav>
- [7] Deutsche Norm. 16798, *DIN EN 16798-3 Energetische bewertung von Gebäuden - Lüftung von Gebäuden*. Berlin: Beuth Standards Collection.
- [8] Deutsche Norm. 16798-1:2022-03, *DIN EN 16798-1 Energetische Bewertung von Gebäuden - Lüftung von Gebäuden*. Berlin: Beuth Standards Collection.
- [9] DEUTSCHER WETTERDIENST. *Klimagase (CO₂, CH₄, N₂O)* [online] [Zugriff am: 19. Dezember 2022]. Verfügbar unter: https://www.dwd.de/DE/forschung/atmosphaeren-beob/zusammensetzung_atmosphaere/spurengase/inh_nav/klimagase_node.html
- [10] Deutschland - DIN Normenausschuss. 1946, *DIN 1946-4 Raumluftechnik*. Berlin: Beuth Standards Collection.
- [11] Deutschland - VDI. 6040, *VDI 6040 Raumluftechnik Schulen*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- [12] Education & Skills Funding Agency, *Guidelines on ventilation, thermal comfort and indoor air quality in schools*.
- [13] Estland - Estonian Centre for standardisation EVS. EVS-EN 16798-1:2019/NA:2019, *EVS-EN 16798-1 ENERGY PERFORMANCE OF BUILDINGS*.
- [14] Estland - Estonian Centre for standardisation EVS. EVS 906:2018, *EVS-EN 16798-3 MITTEELUHOONETE VENTILATSIOON - BELÜFTUNG VON NICHTWOHNGBÄUDEN*.

- [15] EVA-MARIA PAPE ET.AL. *Energetische Querschnittserhebung deutscher Theaterspielstätten. und Monitoring Scharoun Theater Wolfsburg mit schwerpunkt Komfortuntersuchung*. Köln, 31. März 2020.
- [16] FINNLAND - FINNISCHES UMWELTMINISTERIUM. *Sammlung der finnischen Gesetzgebung. Raumklima und Belüftung in einem neuen Gebäude*, 2017.
- [17] FINNLAND - FINVAC-VERBAND, Hg. *Leitfaden zur Bemessung der Belüftung in danderen Nicht-Wohngebäude*, 2019.
- [18] FRANKREICH - FRANCE AIR. *Réglementation & Règles de l'art* [online]. *La Réglementation Thermique*, 2019 [Zugriff am: 23. Dezember 2022]. Verfügbar unter: <https://www.france-air.com/reglementations-regles-de-lart/>
- [19] FRANKREICH - LOIRE-DEPARTEMENT DER FRANZÖSISCHEN REPUBLIK. *Portant Reglement Sanitaire Départemental*, 1979.
- [20] FRANKREICH - VENTILATION EN MILIEU INDUSTRIEL. *code du travail - Arbeitsgesetzbuch* [online] [Zugriff am: 15. Dezember 2022]. Verfügbar unter: <http://www.ventilation-industrie.fr/le-code-du-travail>
- [21] FRANKREICH - VENTILATION-INDUSTRIE.FR. *Le règlement sanitaire départemental type (RSDT)* [online]. *Ventilation en Milieu industriel*. 15 Dezember 2022, 12:00. Verfügbar unter: <http://www.ventilation-industrie.fr/le-reglement-sanitaire-departemental-type-rsdt>
- [22] GBC Historisches Gebäude, *Mindestanforderungen an die Luftqualität (IAQ)*.
- [23] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge - §3 Begriffsbestimmung. BimSchG. In: *Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG*, 1974, 7 bis 9.
- [24] GRIECHENLAND - GRIECHISCHE REGIERUNG. *Präsidentialerlass 90/1999*, 13. Mai 1999.
- [25] GRIECHENLAND - MINISTERIUM FÜR UMWELT UND ENERGIE - M.I.E. - GENERALSEKTRETARIAT FÜR ENERGIE UND BODENSCHÄTZE - TECHNISCHE KAMMER VON GRIECHENLAND. *T.O.T.E.E. 20701-1/2017. Detaillierte Nationale Spezifikationen der Parameter für die Berechnung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und die Ausstellung von Energieausweisen*, 09.2017.
- [26] Großbritannien - CIBSE Guide B2, *Ventilation and air Conditioning*.
- [27] GROßBRITANNIEN - HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE, HSE. *L24 Workplace Health, Safety And Welfare. Workplace (Health, Safety and Welfare) Regulations 1992. Approved Code of Practice and Guidance, L24*. Norwich: The Stationery Office Ltd, 2013. Legal Series. v. 24. ISBN 978 0 7176 6583 9.
- [28] GROßBRITANNIEN - HM GOVERNEMENT. *The Building Regulations 2010. Ventilation, VOlume 1: Buildings other than dwellings*, takes effect on 15. Juni 2022.
- [29] Großbritannien - NHS England and NHS Improvement. PAR38, *Health Technical Memorandum 03-01 Specialised ventilation for healthcare premises*.
- [30] GUANGYU CAO. *Adapting REHVA COVID-19. guidelines to Norway*. SCANVAC Webinar on Covid-19 and Ventilation, 28. April 2021.

- [31] Italien - AiCARR Associazione Italiana Condizionamento dell'Aria Riscaldamento e Refrigerazione. UNI 10339, 050101-01, *UNI 10339 Klimaanlagen - Klassifizierung, Vorschriften und Leistungsanforderungen für Entwurf und Lieferung*.
- [32] MAX PETTENKOFER. Besprechung Allgemeiner auf die Ventilation bezüglicher Fragen [online], 1858, 71-126. Verfügbar unter: <https://www.luftdicht.de/geschichte/pettenkofer1858.pdf>
- [33] MINISTERIUM FÜR INNERES UND KÖNIGREICHSBEZIEHUNGEN. *Bauerlass Online 2012* [online]. *Kontrolltabelle 3.46.1*, 2012 [Zugriff am: 22. Dezember 2022]. Verfügbar unter: <https://rijksoverheid.bouwbesluit.com/Inhoud/docs/wet/bb2003/hfd3?tableid=docs/wet/bb2003/hfd3.html/afd3-10/par3-10-1%7C1>
- [34] Ministerium für Regionale Entwicklung und Tourismus. 15-2010, *Normativ für die Planung, Ausführung und den Betrieb von Lüftungs- und Klimaanlagen: Amtsblatt Rumäniens* [Zugriff am: 21. Dezember 2022]. Verfügbar unter: <https://servsting.com/wp-content/uploads/2018/02/15-Normativ-pentru-proiectarea-si-executarea-instalatiilor-de-ventilare-si-climatizare.pdf>
- [35] MONTAG STIFTUNG JUGEND UND GESELLSCHAFT. *Leitlinien für leistungsfähige Schulbauten in Deutschland*. 3., überarbeitete Auflage. Bonn: Montag Stiftung Jugend und Gesellschaft, 2017. ISBN 978-3-00-043921-6.
- [36] NIEDERLANDE - GEZONDHEIDSRAAD - RAT FÜR GESUNDHEIT. *Bericht über die Arbeitskonferenz Lüftung und COVID-19*, 2020.
- [37] NIEDERLANDE - KÖNIGIN DER NIEDERLANDE AUF EMPFEHLUNG DES MINISTERS FÜR INNERES UND KÖNIGREICHSBEZIEHUNGEN. *Dekret 416 vom 29. August 2011 zur Festlegung von Vorschriften für den Bau, die Nutzung und den Abriss von Gebäuden*, 2011.
- [38] Niederlande - Nederlands Normalisatie-Instituut. 1087, *NEN 1087 Lüftung von Gebäuden*.
- [39] NIEDERLANDE - W. DE GIDSF. *Belüftung von Räumen für Personen, Hintergrund zu den Anforderungen*. 060-DTM-2011-00610 TNO-Bericht, 22. Februar 2011.
- [40] Norwegen - Arbeitsaufsichtsbehörde. 444, *Leitfaden für Klima und Luftqualität am Arbeitsplatz* [Zugriff am: 21. Dezember 2022]. Verfügbar unter: <https://www.tbk-as.no/wp-content/uploads/2013/04/Veiledning-444-Klima-og-luftkvalitet-p%C3%A5-arbeidsplassen.pdf>
- [41] NORWEGEN - GUANGYU CAO. *Indoor air quality and ventilation requirements*. Hainan, China, 10. November 2016.
- [42] ON Österreichisches Normungsinstitut, *ÖNORM H 6039, Lüftungstechnische Anlagen - Kontrollierte mechanische Be- und Entlüftung von Schul-, Unterrichts- oder Gruppenräumen sowie Räumen mit ähnlicher Zweckbestimmung, Status: Entwurf: Gesetzliche und normative Regelwerke für das Themenfeld „lüftungstechnische Anlagen“ für Österreich* [Zugriff am: 21. Dezember 2022]. Verfügbar unter: <https://www.beuth.de/de/norm/oenorm-h-6039/113257369>

- [43] ÖSTERREICH - BUNDES-ARBEITSSTÄTTENVERORDNUNG - B-ASTV. *Gesamte Rechtsvorschrift für Bundes-Arbeitsstättenverordnung, Verordnung der Bundesregierung, mit der Anforderungen an Arbeitsstätten von Dienststellen des Bundes festgelegt werden. BGBl. II Nr. 352/2002*, 4. August 2022.
- [44] PERSILY, A. Development and application of an indoor carbon dioxide metric [online]. *Indoor air*, 2022, **32**(7), e13059 [Zugriff am: 23. Dezember 2022]. Verfügbar unter: doi:10.1111/ina.13059
- [45] POLEN - MINISTERIUM FÜR INFRASTRUKTUR UND ENTWICKLUNG. *Artikel 1422 - Verordnung des ministers für Infrastruktur über die technischen Anforderungen an Gebäude und deren Standort*, 17. Juli 2015.
- [46] Polen - SBD, Bau- und Gebäudestruktursektor. PN-83/B-03430, *Lüftung von Wohngebäuden und öffentlichen Gebäuden: ASLA - elektronisches Publizieren* [Zugriff am: 21. Dezember 2022]. Verfügbar unter: http://wspolnota.parzniew.waw.pl/pliki/norma_kominowa/norma_wentylacja.pdf
- [47] PORTUGAL - MINISTERIEN FÜR UMWELT, RAUMORDNUNG UND ENERGIE, GESUNDHEIT UND SOLIDARITÄT, BESCHÄFTIGUNG UND SOZIALE SICHERHEIT. *Verordnung 353-A/2013 über die Energieeffizienz von Geschäfts und Dienstleistungsgebäuden (RECS) Lüftungsanforderungen und Raumluftqualität. Verordnung Nr. 353-A/2013*, 4. Dezember 2013.
- [48] RIETSCHEL, H. *Raumklimatechnik*. 16. Aufl., korrigierter Nachdr. Berlin: Springer, 2008. ISBN 3-540-54466-6.
- [49] RUMÄNIEN - IOLANDA COLDA. *Belüftung und Energieverbrauch*.
- [50] Rumänien - Standardisierungsverband Rumäniens. SR EN 16798-12019/NA:2019, *SR EN 16798 - Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden Belüftung von Gebäuden*.
- [51] SAFETY ADVISORY COUNCIL. *Safety Information* [online]. *Physiologische Gefahren durch Kohlendioxid (CO₂)*. Übersetzt vom IGV - Industriegasverband e.V. [Zugriff am: 19. Dezember 2022]. Verfügbar unter: <http://www.oeigv.at/PDFs/EIGA-IGV-SI24-11-D.pdf>
- [52] Schweden - Nationales Amt für öffentliche Gesundheit. FoHMFS 2014:18, *Allgemeine Hinweise zur Belüftung von der Public Health Agency*. Stockholm: Elanders Sverige AB. Verfügbar unter: <https://www.folkhalsomyndigheten.se/livsvillkor-levnadsvanor/miljo-halsa-och-halsoskydd/tillsynsvagledning-halsoskydd/ventilation/>
- [53] Schwedische Behörde für Arbeitsumwelt. ISBN: 978-91-7930-677-9, *AFS 2020:1 Gestaltung von Arbeitsplätzen: Anna Varg* [Zugriff am: 21. Dezember 2022]. Verfügbar unter: <https://www.av.se/arbetsmiljoarbete-och-inspektioner/publikationer/foreskrifter/arbetsplatsens-utformning-afs-20201-foreskrifter/>
- [54] Schweiz - SIA - Schweizerische Ingenieur- und Architektenverein. SNR 592024:2021, *Auszug aus SNR 592024:2021*.
- [55] SLOWENIEN - AMT DER REGIERUNG DER REPUBLIK SLOWENIEN FÜR GESETZGEBUNG. *Anhang 1 - Verordnung über die Lüftung und Klimatisierung von Gebäuden*, 1. Juni 2018.

- [56] SLOWENIEN - AMT DER REGIERUNG DER REPUBLIK SLOWENIEN FÜR GESETZGEBUNG. *Verordnung über die Lüftung und Klimatisierung von Gebäuden*, 1. Juni 2018.
- [57] SPANIEN - KÖNIGLICHER ERLASS, MINISTERIUM FÜR DAS PRÄSIDENTENAMT. *Genehmigung der Verordnung über thermische Anlagen in Gebäuden*. BOE-A-2007-15820, 20. Juli 2007.
- [58] THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. *Energy performance of buildings Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden*, 18. Juni 2010.
- [59] THOMAS G. REICHENAUER ET.AL. *Expositionsabschätzung und Risikoanalyse. Arbeitshilfe zur Expositionsabschätzung und Risikoanalyse an kontaminierten Standorten*. Wien, 2011.
- [60] TSCHECHIEN - GESUNDHEITSMINISTERIUM. *410/2005 - hygienische Anforderungen an die Räumlichkeiten und den Betrieb von Einrichtungen und Anstalten für die Erziehung und Ausbildung von Kindern und Jugendlichen*. Nr. 410/2005 Slg., 16. November 2005.
- [61] TSCHECHIEN - MINISTERIUM FÜR GESUNDHEITSSCHUTZ AM ARBEITSPLATZ. *Staatliche Verordnung für den Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz*, 28. Dezember 2007.
- [62] UNGARN - DÓRA SERES. *Belüftung von Gebäuden. Gesichtspunkte, Konzepte, Grundsätze*.
- [63] VDI. 2078, *VDI 2078 - Berechnung der thermischen lasten und Raumtemperaturen (Auslegung Kühllast und Jaressimulation)*. Berlin: Beuth Standards Collection.
- [64] VDI. 6030, *VDI 6030 - Planung und Bemessung von Raumheiz- und kühlflächen*. Berlin: Beuth Verlag GmbH [Zugriff am: 19. Dezember 2022]. Verfügbar unter: <https://perinorm-fr.redi-bw.de/perinorm/fulltext.ashx?fulltextid=25cdef6e313c43068ae3ff358f14c181&userid=2a504bd1-203d-4196-b45d-d103bc26312f>
- [65] *Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen § 1 Begriffsbestimmungen*. 39. BImSchV §1. In: *Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immisionsschutzgesetzes*, 2. August 2010, 3 bis 6.
- [66] W. WILLEMS, K. SCHILD, S. DINTER. *Wärme- und Feuchteschutz, Behaglichkeit, Lüftung*. Wiesbaden: Vieweg, 2006. Vieweg-Handbuch Bauphysik / Wolfgang M. Willems Kai Schild Simone Dinter. 1. ISBN 978-3-528-03982-2.
- [67] WILDEBOER. *Lüftungstechnik - Lüftungseffektivität als Qualitätskriterium für Quellluftsysteme* [online]. die Auswirkung des Luftaustauschwirkungsgrads auf die Höhe der Frischluftschicht. *KI - Luft- und Kältetechnik*, 2006, (Band 42, Ausgabe 10). Verfügbar unter: <https://www.tib.eu/de/suchen/id/olc:OLC1747915831/L%C3%9CFTUNGSTECHNIK-L%C3%BCftungseffektivit%C3%A4t-als-Qualit%C3%A4tskriterium?cHash=d431fb84e59847854d4a7b5cee4f985f>
- [68] WORLD HEALTH ORGANIZATION. *WHO guidelines for indoor air quality. Selected pollutants*. Copenhagen, Denmark: World Health Organization Regional Office for Europe, 2010. ISBN 978 92 890 0213 4.

[69] ZYPERN - MINISTER FÜR ARBEIT, WOHLFAHRT UND SOZIALVERSICHERUNG IM RAHMEN DER VERORDNUNG ÜBER SICHERHEIT UND GESUNDHEIT AM ARBEITSPLATZ. *Verhaltenskodex für die Luftqualität in Innenräumen. C.D.P.5.519/2014*, 21. November 2014.

11 Anhang

Anhang 1

WHO-Richtwerte für Schadstoffe aus DIN EN 16798.

Tabelle 11-1: WHO-Richtwerte für Verunreinigungen aus der DIN EN 16798-1:2022-03

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

Verunreinigung	WHO-Leitlinien zur Raumluftqualität 2010	WHO-Leitlinien zur Luftqualität 2005
Feinstaub PM 10	--	24-h-Mittelwert: $50 \mu \frac{g}{m^3}$ Jahresmittelwert: $20 \mu \frac{g}{m^3}$

Anhang 2

Lüftungsstandards für öffentliche Räume in Estland (EVS 906:2018).

Raum/Nutzung	Luftaustausch				Maximale Geschwindigkeit in der Anforderungszone	Geräuschpegel
	Außenluft		Abluft			
	$\frac{l}{s}$ pro Person	$\frac{l}{s \cdot m^2}$	$\frac{l}{s}$ pro Person	$\frac{l}{s \cdot m^2}$	$\frac{m}{s}$	dB(A)
Kindergärten						
Spielzimmer	6	4	6	4	0,2	32
Schlafzimmer		4		4	0,2	32
Trockenraum für Kleidung		4		4		
Zimmer für medizinische Kräfte		1,5		1,5	0,2	35
Zimmer für kranke Kinder	8	1,5	8	1,5	0,2	32
Personalraum		1			0,2	35
Wäscherei		4		4	0,25	40
Musiksaal		2		2	0,25	30
Sportraum		2	12	2	0,25	35
Wirtschafts- und Personalraum		1,5		1,5	0,25	35
Schulen						
Klassenzimmer, Lernraum, Musiksaal, Kunstsaal	8	4	8	4	0,2	35
Computerraum	8	4	8	4	0,25	35
Auditorium	8	6	8	6	0,2	35
Saal, Aula	8	5	8	5	0,2	30
Sporthalle	15	2	15	2	0,25	35
Umkleide	5				0,2	40

Raum/Nutzung	Luftaustausch				Maximale Geschwindigkeit in der Anforderungszone	Geräuschpegel
	Außenluft		Abluft			
	$\frac{l}{s}$ pro Person	$\frac{l}{s \cdot m^2}$	$\frac{l}{s}$ pro Person	$\frac{l}{s \cdot m^2}$	$\frac{m}{s}$	dB(A)
Gänge		1			0,25	40
Lehrerzimmer, Krankenzimmer, Bibliothek, Schlafräume im Wohnheim		1.5		1.5	0,2	35
Raum zum Wäschetrocknen		3		3		
Speisesaal	6	5	6	5	0,25	35
Bürogebäude						
Büro	10	1,5	10	1,5	0,2	35
Sitzungssaal	8	4	8	4	0,2	35
Kundenbetreuung	6	2	6		0,2	40
Materiallager, Kopierraum	10	2			0,25	45
Pufferraum	10	5	10	5	0,2	35
Saal	8	3	8	3	0,2	40
Eingangshalle		2			0,2	40
Sportanlagen						
Herberge	15		15		0,20	40
Innenbereich Sportler	15		15		0,20	40
Innenbereich Zuschauer	8		8		0,20	40
Korridor		1			0,25	40
Schwimmbad Sportler	15		15		0,20	40

Raum/Nutzung	Luftaustausch				Maximale Geschwindigkeit in der Anforderungszone	Geräuschpegel
	Außenluft		Abluft			
	$\frac{l}{s}$ pro Person	$\frac{l}{s \cdot m^2}$	$\frac{l}{s}$ pro Person	$\frac{l}{s \cdot m^2}$	$\frac{m}{s}$	dB(A)
Schwimmbad Zuschauer	8		8		0,20	40
Umkleide	5				0,20	40
Theater- und Konzertsäle						
Ausstellungsraum	8		8		0,20	28
Eingangshalle		5			0,25	40
Bibliotheken						
Lesesaal	6	3	6	3	0,20	35
Hotels						
Zimmer	10	1	10	1	0,20	30
Konferenzraum	8	6	8	6	0,20	35
Korridor		1			0,20	40
Foyer		2			0,20	40
Restaurant						
Saal	10	10	10	10	0,25	40
Café	10	10	10	10	0,20	40
Bar	10	10	10	10	0,20	40
Kabinett	10	4	10	4	0,2	35
Kantinen						
Speisesaal	5	3	5	3	0,25	40
Küche		15		15	0,25	
Kühlraum		5		5		40

Raum/Nutzung	Luftaustausch				Maximale Geschwindigkeit in der Anforderungszone	Geräuschpegel
	Außenluft		Abluft			
	$\frac{l}{s}$ pro Person	$\frac{l}{s \cdot m^2}$	$\frac{l}{s}$ pro Person	$\frac{l}{s \cdot m^2}$	$\frac{m}{s}$	dB(A)
Spülraum		4		6	0,25	40
Geschäfte						
Lebensmittelgeschäft	6	2	6	2	0,25	45
Lagerflächen		2			0,25	45
Geschäft für Industriegüter	5	2	5	2	0,25	45
Stark riechende Waren	6	4	6	4	0,25	45
Ambulante Kliniken, Arztpraxen						
Lobby, Anmeldung		3				
Medizinischer Schrank	10	2	10	2	0,20	35
Verfahrensraum		4		5	0,20	40
Physiotherapie	12	2		3	0,20	40
Labor		2		3	0,20	40
Röntgen		3		4	0,20	40
Apotheke		2		2	0,20	40

Anhang 3

Mindestaußenluftvolumenströme in Italien laut Rev UNI 10339⁵.

Raum	Außenluftvolumenstrom pro Person	Außenluftvolumenstrom pro Fläche	Abluftvolumenstrom pro Fläche	Bemerkung
	q_p	q_s	q_{es}	
	$\frac{l}{s \cdot m^2}$	$\frac{l}{s \cdot m^2}$	$\frac{l}{s \cdot m^2}$	
Zivilwohnungen				
Wohnräume, Schlafzimmer	7	0,4		
Küche, Bäder, Toiletten	Abluftvolumenstrom			A
Internate, Strafanstalten, Kasernen, Klöster				
Sitzungsräume	7	0,6		
Studentenwohnheime/ Zimmer	7	0,4		
Küchen			8	H
Bäder/Dienstleistungen	Abluftvolumenstrom			A
Hotels				
Eingang, Wohnräume	7	0,8		
Konferenz- und Auditoriums- räume (klein)	7	0,3		
Speisesäle	7	1,0		
Schlafzimmer	7	0,4		
Küchen	Abluftvolumenstrom		8	H
Bäder/Dienstleistungen	Abluftvolumenstrom			A
Bürogebäude				
Einzelne Büros	7	0,4		

⁵ Fehler in der Norm bei der Angabe der Einheiten, die personenbezogenen Volumenströme werden fälschlicherweise pro Quadratmeter angegeben

Raum	Außenluftvolumenstrom pro Person	Außenluftvolumenstrom pro Fläche	Abluftvolumenstrom pro Fläche	Bemerkung
	q_P	q_S	q_{es}	
	$\frac{l}{s \cdot m^2}$	$\frac{l}{s \cdot m^2}$	$\frac{l}{s \cdot m^2}$	
Großraumbüros	7	0,5		
Call-Center/ Dateneingabezentrum	7	0,6		
Tagungsräume	7	0,6		
Drucker/Kopierer-Räume	Abluftvolumenstrom		5	
Dienstleistungen	Abluftvolumenstrom			A
Kliniken / Krankenhäuser				
Krankenhausaufenthalt (2 -3 Betten)	7	0,4		
Gänge	7	0,4		
Infektiöse Räume	7	0,3		E
Räume für immunge- schwächte Personen	7	0,3		F
Krankenzimmer	7	0,2		
Aufenthaltsraum	7	0,6		
Physikalische Therapien	7	0,8		
Diagnose	7	0,4		
Operationssäle/ Entbindungsräume				D
Dienstleistungen	Abluftvolumenstrom			A
Kinos und Theater				
Foyers, Warteräume, Anbau Barbereich	Abluftvolumenstrom			

Raum	Außenluftvolumenstrom pro Person	Außenluftvolumenstrom pro Fläche	Abluftvolumenstrom pro Fläche	Bemerkung
	q_p	q_s	q_{es}	
	$\frac{l}{s \cdot m^2}$	$\frac{l}{s \cdot m^2}$	$\frac{l}{s \cdot m^2}$	
Galerien, Publikumsbereiche, Kinos, Theater, Versammlungsräume	7	0,4		
Dienstleistungen	Abluftvolumenstrom			A
Spielhalle	7	0,6		
Museen, Bibliotheken und religiöse Gebäude				
Kunstgalerien, Museen	7	0,4		
Lesesäle, Bibliotheken	7	0,3		
Buchdepot				
Gotteshäuser	7	0,7		
Dienstleistungen	Abluftvolumenstrom			A
Bars, Restaurants, Discos				
Bar	7	1,0		
Bäckereien	7	1,0		
Selbstbedienung	7	1,0		
Tanzlokale/Diskotheiken	15	1,1		
Küchen	Abluftvolumenstrom		8	H
Dienstleistungen	Abluftvolumenstrom			A
Geschäfte				
Kaufhaus - Untergeschoss	7	0,2		
Geschäfte oder Kaufhäuser:	7	0,4		
Friseure, Schönheitssalons	7	0,4		

Raum	Außenluftvolumenstrom pro Person	Außenluftvolumenstrom pro Fläche	Abluftvolumenstrom pro Fläche	Bemerkung
	q_P	q_S	q_{es}	
	$\frac{l}{s \cdot m^2}$	$\frac{l}{s \cdot m^2}$	$\frac{l}{s \cdot m^2}$	
Kleidung, Schuhe, Möbel, Optiker, Floristen, Fotografen	7	0,4		
Lebensmittelgeschäfte, chemische Reinigungen, Apotheken	7	0,4		
Öffentliche Bereiche; Banken, Messegelände	7	0,4		
Dienstleistungen	Abluftvolumenstrom			A
Schwimmbäder				
Schwimmbäder (Schwimmbad)	7	6,0		
Umkleieräume	7	0,3		
Dienstleistungen	Abluftvolumenstrom			A
Sportstätten				
Sporthallen (Sportplätze)	5	0,6		
Stehplätze für Zuschauer	7	0,4		
Sitzplätze für Zuschauer	7	0,4		
Andere Räumlichkeiten				
Umkleieraum der Sportler	7	0,3		
Dienstleistungen	Abluftvolumenstrom			A
Schulen				
Kindergärten und Vorschulen	6	1,0		
Grundschulklassenzimmer	6	0,5		

Raum	Außenluftvolumenstrom pro Person	Außenluftvolumenstrom pro Fläche	Abluftvolumenstrom pro Fläche	Bemerkung
	q_P	q_S	q_{es}	
	$\frac{l}{s \cdot m^2}$	$\frac{l}{s \cdot m^2}$	$\frac{l}{s \cdot m^2}$	
Klassenzimmer der Mittelschule	6	0,5		
Klassenzimmer der Sekundarstufe	6	0,5		
Universitäre Unterrichts-räume	6	0,5		
Dienstleistungen	Abluftvolumenstrom			A
Bibliotheken, Lesesäle	5,5	0,2		
Musik- und Sprachunterrichtsräume	5,5	0,3		
Chemische/biologische Laboratorien			5	
Werkstätten	6	0,5		
Lehrerzimmer	6	0,5		

Anmerkungen:

Die angegebenen Durchflussmengen gelten nicht für Räume, in denen geraucht wird.

A - Änderung der sanitären Anlagen erforderlich:

- Wohngebäude und ähnliche Gebäude 0,0011 vol/s (4 vol/h)
- andere Kategorien in der Tabelle 0,0022 vol/s (8 vol/h) (im Dauerbetrieb)

Das Volumen [vol] ist das der Bäder (ohne Vorbäder)

B - Prüfen Sie die örtlichen Vorschriften

C - Höhere Werte können erforderlich sein, um die Luftfeuchte zu kontrollieren. Für Schwimmbäder ist ein Mindestaußenluftstrom von 20 m³/h pro m² des Beckens vorgeschrieben.

D - Für diese Umgebungen müssen die Luftdurchsätze in Abhängigkeit von den geltenden Vorschriften und den spezifischen Anforderungen der einzelnen Anwendungen festgelegt werden.

E - Diese Räume müssen unter Vakuum gehalten werden. Vorgeschrieben sind eine Mindestabsaugung von 6 h⁻¹ und ein messbares Mindestvakuum von 6 Pa.

F - Diese Umgebungen müssen unter Druck gehalten werden. Vorgeschrieben sind ein Mindestaustausch von 6 h⁻¹ und ein minimal messbarer Druck von 6 Pa.

G - Pool 20 m³/h pro m² Pool Mindestmenge an Außenluft

H - in Räumen, die als Küchen genutzt werden und mit lokalen Abzügen ausgestattet sind, muss die Klimaanlage so ausgelegt sein, dass die Abzüge selbst und die Notwendigkeit, die relativen Druckverhältnisse in allen von der Anlage versorgten Räumen aufrechtzuerhalten, berücksichtigt werden.

Anhang 4

Anforderung an die Belüftung in den Niederlanden laut Bouwbesluit 2012 [37].

Nutzung/Funktion	Grenzwert des Außenluftvolumenstroms in l/s pro Person
Besprechungen	
Für Kinderbetreuung	6,5
Andere Tätigkeit	4
Zellfunktion*	
Zelle*	12
Anderer Wohnort*	6,5
Gesundheitswesen	
Bettzimmer	12
Andere Unterkunftsbereiche	6,5
Industrielle Funktion	6,5
Bürofunktion	6,5
Unterkünfte	
In einem Unterkunftsgebäude	12
Andere Beherbergung	12
Pädagogische Funktion	8,5
Sportfunktion	6,5
Einkaufen	4

*Hinweis: Der unpassende Kontext legt nahe, dass das Übersetzungsprogramm hier Schwierigkeiten hatte.

Anhang 5

Anhang 7 der I5-2010 aus Rumänien.

Zweck des Gebäudes/Raums	Luftaustausch n [h ⁻¹]
Theater	4 - 6
Zeitung: <ul style="list-style-type: none"> • Klein • Medium • Universal 	6 - 8 4 - 6 4 - 6
Kino: <ul style="list-style-type: none"> • Kinosaal • Projektionskabine 	4 - 6 5 - 8
Bibliotheken	4 - 5
Tanzlokale <ul style="list-style-type: none"> • Rauchen verboten • Rauchen erlaubt 	6 - 8 12 - 16
Restaurants, Speisesäle <ul style="list-style-type: none"> • Rauchen verboten • Rauchen erlaubt 	5 - 10 8 - 12
Garderobe	4 - 6
Großküchen (Restaurants, Kantinen, Krankenhäuser, Schulen, Kasernen): <ul style="list-style-type: none"> - klein (Höhe 3 - 4 m) - mittel (Höhe 4 - 6 m) - groß (Höhe über 6 m) - Gemüse putzen, Geschirr spülen 	20 15 10 5-8
Waschmaschinen, Bügelmaschinen	10 - 15
Öffentliche Bäder (Dampf oder Heißluft)	4
Öffentliche Toiletten <ul style="list-style-type: none"> • Pissoir • Toilettensitz 	25 m ³ /h 50 m ³ /h
Küchen	15 - 20
Krankenhaus: <ul style="list-style-type: none"> - mit besonderen Anforderungen an die Keimfreiheit Krankheitserreger <ul style="list-style-type: none"> • Operationssäle • Operationssaal-Anlagen • Krankenzimmer - mit hohen Anforderungen an die Keimfreiheit 	60 45 45 60

Zweck des Gebäudes/Raums	Luftaustausch n [h ⁻¹]
<ul style="list-style-type: none"> • Operationssäle • Operationssaal-Anlagen • Notfall-Operationssäle • Aufwachräume • Intensivbehandlung • Kreißsäle • Stationär für Frühgeborene • Schreibwaren für Neugeborene • Stationär für Kleinkinder 	<p>30</p> <p>45</p> <p>20</p> <p>30</p> <p>30</p> <p>25</p> <p>25</p> <p>15</p> <p>10</p>
- mit normalen Anforderungen an die Keimfreiheit Krankheitserreger	
<ul style="list-style-type: none"> • Krankenzimmer • Wohnräume • Korridor • Räume für Eingriffe und Behandlungen • Röntgen-Diagnose • Strahlentherapie-Räume 	<p>15</p> <p>10</p> <p>18</p> <p>18</p> <p>18</p> <p>15</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Massageräume • Fitnessstudios • Ruheräume • Zentralsterilisationsanlage • Leichenschauhaus 	<p>10</p> <p>10</p> <p>20</p> <p>30</p> <p>30</p>
Zahnarztpraxis	6
Schwimmbäder:	
- Poolraum: 10 m ³ /(h, Wasseroberfläche)	3 - 4
- Duschaum (maximal)	25 - 30
- Umkleideräume	8 - 10
Sporthallen	2 - 3
Büroräume, Konferenzräume	4 - 8
Schulen	6 - 8
Klassenzimmer	8 - 10
Laboratorien:	
- klein	8 - 12
- groß	6 - 8
Garage	4 - 5

Anhang 6

Tabelle 11 aus der SRN 502924 der Schweiz, Auslegungswerte für Heizungs-, Kälte- und lufttechnische Anlagen.

		Raumtemperatur-Auslegungswert		Relative Raumluftfeuchte		Außenluftvolumenstrom	
		Heizfall (Auslegung Norm-Heizlast) in °C	Kühlfall (Auslegung Klimakälteleistung) in °C	Heizfall (Auslegung Befeuchtung) in %	Kühlfall (Auslegung Entfeuchtung) in %	Hygienebedingter Außenluft-Volumenstrom für Räume mit unterstützender Fensterlüftung in m ³ /h pro	Prozessbedingter Außenluft-Volumenstrom in m ³ /(h*m ²)
1.01	Wohnen MFH	21	26	30	60	29 (15) ^{1) 2)}	
1.02	Wohnen EFH	21	26	30	60	29 (15) ^{1) 2)}	
2.01	Hotelzimmer	21	26	30	60	29 (15) ¹⁾	
2.02	Empfang, Lobby	21	26	30	60	29	
3.01	Einzel-, Gruppenbüro	21	26	30	60	29	
3.02	Grossraumbüro	21	26	30	60	29	
3.03	Sitzungszimmer	21	26	30	60	29	
3.04	Schalterhalle, Empfang	20	26	30	60	29	
4.01	Schulzimmer	21	26	30	60	29	
4.02	Lehrerzimmer, Aufenthaltsraum	21	26	30	60	29	
4.03	Bibliothek	21	26	30	60	29	
4.04	Hörsaal	21	26	30	60	29	
4.05	Schulfachraum	21	26	30	60	29	
5.01	Lebensmittelverkauf	20	26	30	60	29	
5.02	Fachgeschäft	20	26	30	60	29	
5.03	Verkauf Möbel, Bau, Garten	20	26	30	60	29	
6.01	Restaurant	21	26	30	70	29	

6.02	Selbstbedienungs-restaurant	21	26	30	70	29	
6.03	Küche zu 6.1	20	28	–	–	48	80 3)
6.04	Küche zu 6.2	20	28	–	–	48	80 3)
7.01	Vorstellungsraum	21	26	30	60	29	
7.02	Mehrzweckhalle	21	26	30	60	29	
7.03	Ausstellungshalle	21	26	30	60	29	
8.01	Bettzimmer	22	26	30	60	29	
8.02	Stationszimmer	21	26	30	60	29	
8.03	Behandlungsraum	22	26	30	60	29	
9.01	Produktion (grobe Arbeit)	18	30	30	70	48	10
9.02	Produktion (feine Arbeit)	21	26	30	70	29	5
9.03	Laborraum	21	26	30	70	29	12
10.01	Lagerraum	18	–	30	70	29	

- nicht relevant

1) Angabe gilt für Tagbetrieb; Angabe in Klammern gilt für den Nachtbetrieb mit reduziertem Außenluftvolumenstrom

2) Maßgebend für die Auslegung raumluftechnischer Anlagen in Wohngebäuden ist SIA 382/5

3) Maßgebend für die Auslegung raumluftechnischer Anlagen in Gastwirtschaftsbetrieben ist SWKI VA102-01:2009

4) Mindestens Wassertemperatur, maximal 32 °C

5) Maßgebend für die Auslegung raumluftechnischer Anlagen in Hallenbädern ist SWKI 2004-1:2005

6) Die Angabe gilt, sofern die angrenzende Hauptnutzung keine höheren Raumtemperaturen für die Auslegung der Heizsysteme vorschreibt

7) Entspricht der Kategorie der Raumlufqualität II; «unterstützende Fensterlüftung» bedeutet, dass bei Bedarf der Außenluftvolumenstrom über eine Lüftungsöffnung kurzzeitig erhöht werden kann

8) Maßgebend für die Auslegung von Lüftungsanlagen in Parkhäusern ist SWKI VA103-01:2017

Anhang 7

Empfohlene Raumlufthmengen für die Belüftung von Geschäftsräumen, Hotels, Sportanlagen und Geschäfte in Slowenien.

	Geschätzte maximale Belegung	Luftmenge		
		m ³ /(h*Person)	m ³ /(h*m ²)	m ³ /(h*Raum)
	Menschen pro 100 m ²			
Geschäftsräume				
Ämter	7	35		
Rezeption	60	30		
Telekommunikations- und Rechenzentren	60	40		
Konferenzräume	50	40		
Hotels, Motels, andere Unterkünfte				
Schlafräume				55
Wohnräume				55
Bäder und Toiletten				65
Rezeption	30	30		
Konferenzräume	50	40		
Andere Säle	120	30		
Studentenwohnheime	20	30		
Kasinos	120	55		
Veranstaltungsräume				
Kassenpersonal	60	35		
Eingänge	150	35		
Säle	150	30		
Veranstaltungsorte	70	30		
Sport und Freizeit				
Tribüne	150	30		
Spielräume	70	45		
Hallen mit Eisfläche			9,0	
Schwimmbäder ¹			9,0	
Turnhallen	30	35		
Tanzflächen und Diskotheken	100	45		
Bowling	70	45		
Einrichtungen für Essen und Trinken				
Essen	70	35		
Bistros, Cafés, Schnellrestaurants	100	35		
Weinkeller	100	55		
Küchen ²	20	30		
Öffentliche Räume				
Korridore			0,9	

Öffentliche Toiletten ³		90		
Garderobe ⁴			9,0	
Raucherzimmer	70	100		
Aufzüge ⁴			18	
Geschäfte, Supermärkte				
Textil- und Möbelgeschäfte			5,4	
Drogeriemärkte	8	30		
Supermärkte	8	30		
Tierhandlungen			18	
Blumenladen	8	30		
Wäschereien	10	45		
Chemische Reinigungen	30	55		
Metzgereien ⁵	10	30		
Untergeschosse, Erdgeschosse von Geschäften	30		5,4	
Böden im Supermarkt	20		3,6	
Lagerhallen	15		2,7	
Garderobe			3,6	
Versandgebiete	10		2,7	
Serviceleistungen				
Fotostudio	10	30		
Dunkelraum	10		9,0	
Apotheken	20	30		
Tresore	5	30		
Drucken, Kopieren			9,0	
Rasieren	25	30		
Schönheitszentren	25	45		
Garagen und Raststätten⁶				
Geschlossene Garagen			27	
Autodienstleistungen			27	
Verkehrsterminals				
Warteräume	100	30		
Plattformen	100	30		
Bahnhöfe für Verkehrsmittel	150	30		
Schulische Einrichtungen				
Klassenzimmer	50	30		
Laboratorien	30	35		
Turnhallen	30	35		
Musikzimmer	50	30		
Bibliotheken	20	30		
Garderobe			9,0	
Korridore			1,8	
Hörsäle	150	30		
Krankenhäuser, Sanatorien,⁷				
Krankenzimmer	10	45		

Medizinische Räume	20	30		
Betriebliche Räumlichkeiten	20	55		
Postoperative Räume	20	30		
Autopsie-Raum			9,0	
Physiotherapie	20	30		
Gefängnisse und Bildungseinrichtungen				
Zelle	20	35		
Essen	100	30		
Räume für Sicherheitspersonal	40	30		

1 zur Kontrolle der Luftfeuchtigkeit können höhere Werte erforderlich sein

2 Eingebaute Dunstabzugshauben benötigen möglicherweise größere Mengen an Lüftungsluft. In diesem Fall kann Übergangsluft aus benachbarten Räumen verwendet werden, sofern sie von zufriedenstellender Qualität ist.

3 Normalerweise. Es kann auch Übergangsluft verwendet werden

4 Mechanische lokale Absaugung der Abluft

5 Räume mit niedrigeren Temperaturen sind nicht abgedeckt, solange sie nicht ständig von Personen besetzt sind

6 empfohlene Verwendung von Verschmutzungssensoren für die Lüftungskontrolle

Anhang 8

In diesem Anhang sind die in Kapitel 5.3.2 thematisierten Diagramme für die restlichen Szenarien bzw. Typräume dargestellt. Die Erläuterungen aus den Kapiteln 5.3.1 und 5.3.2 sind aufgrund der ähnlichen Verläufe auch auf die folgenden Darstellungen anwendbar.

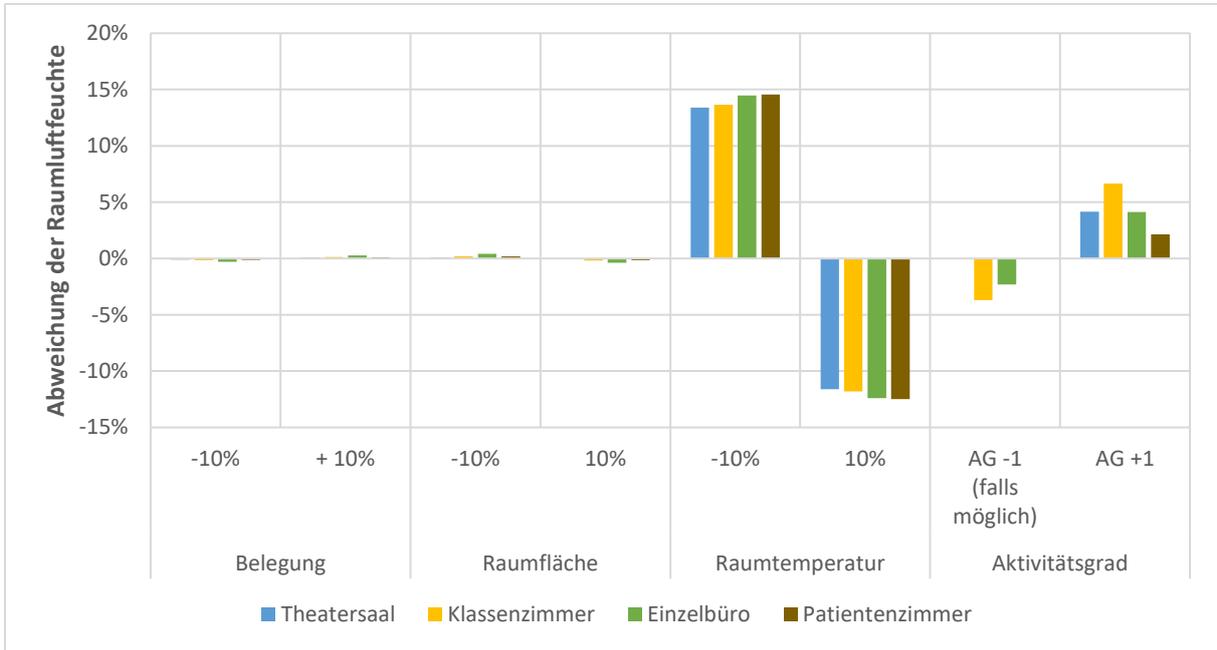


Abbildung 11-1: Feuchter Sommertag (entsprechendes Vorgehen zu Abbildung 5-3 und Abbildung 5-4)

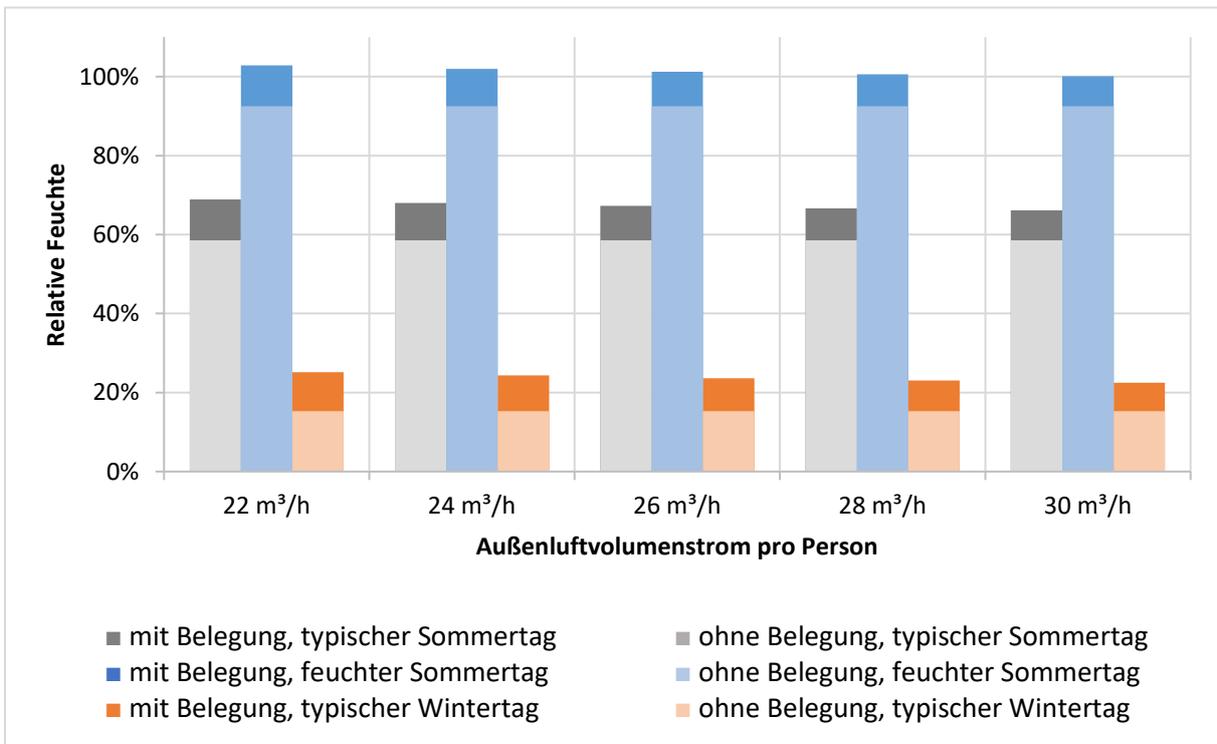


Abbildung 11-2: Stationäre rel. Feuchte bei Raumtemperatur ohne Entfeuchtung der Außenluft mit und ohne innere Feuchtelasten für den Theatersaal (selbes Vorgehen wie für Abbildung 5-5)

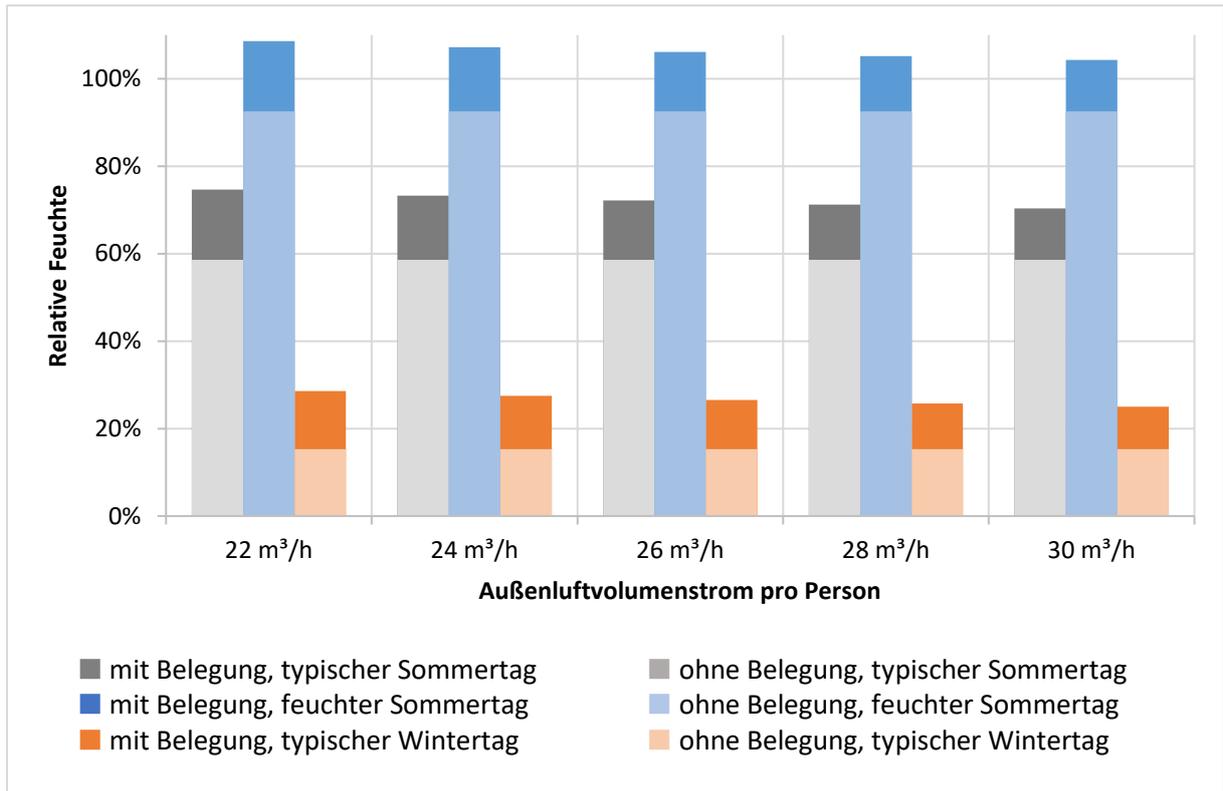


Abbildung 11-3: Stationäre rel. Feuchte bei Raumtemperatur ohne Entfeuchtung der Außenluft mit und ohne innere Feuchtelasten für das Klassenzimmer (selbes Vorgehen wie für Abbildung 5-5)

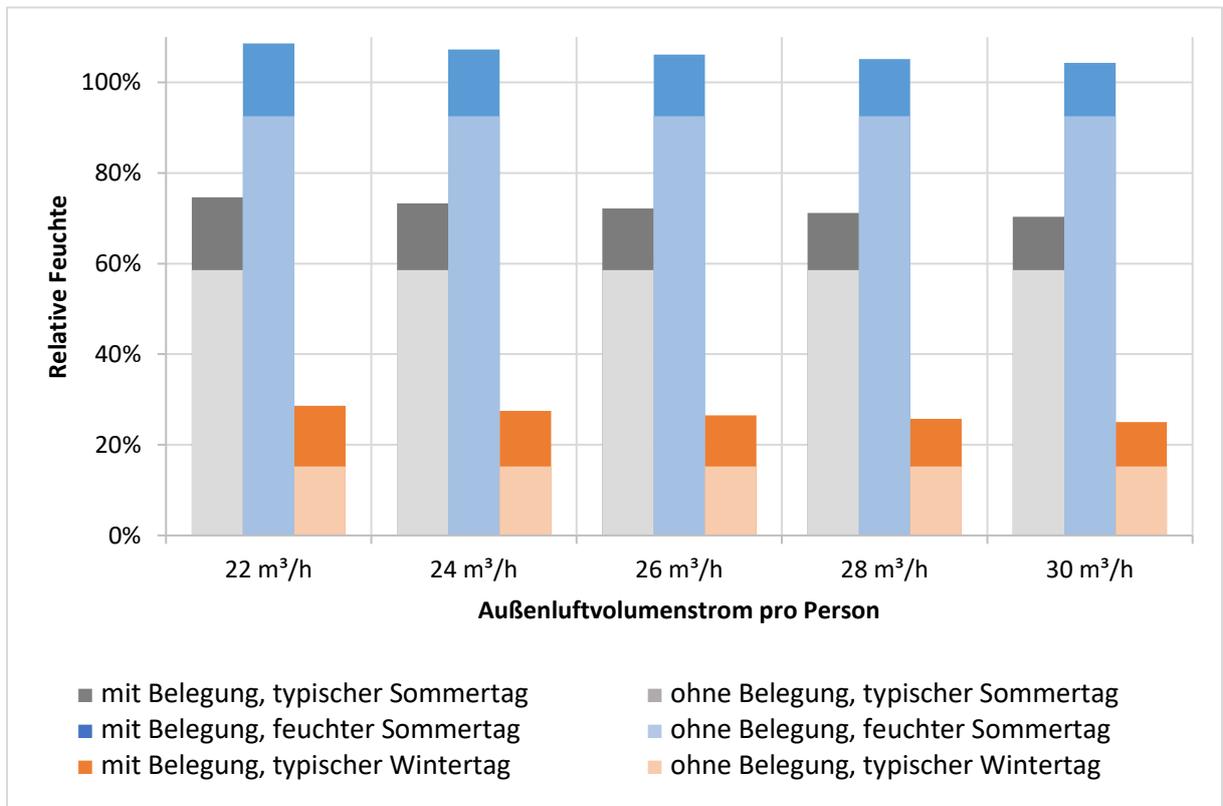


Abbildung 11-4: Stationäre rel. Feuchte bei Raumtemperatur ohne Entfeuchtung der Außenluft mit und ohne innere Feuchtelasten für das Patientenzimmer (selbes Vorgehen wie für Abbildung 5-5)