



Raumluftuntersuchungen in öffentlichen Gebäuden in Schleswig-Holstein

Teil 5: Messungen in Alten- und Pflegeeinrichtungen

Herausgeber:
Ministerium für Soziales, Gesundheit, Familie und Gleichstellung
des Landes Schleswig-Holstein
Adolf-Westphal-Str. 4
24143 Kiel

in Zusammenarbeit mit dem
Landesamt für soziale Dienste
des Landes Schleswig-
Brunswiker Str. 4
24105 Kiel

Ansprechpartnerin:
Gudrun Petzold
Tel. 0431/988-5421

Foto: Gudrun Petzold

ISSN 0935-4379

November 2013

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der schleswig-holsteinischen Landesregierung herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Personen, die Wahlwerbung oder Wahlhilfe betreiben, im Wahlkampf zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Diese Broschüre wurde aus Recyclingpapier hergestellt.

Die Landesregierung im Internet:
www.landesregierung.schleswig-holstein.de

Die vorliegende Studie wurde vom Landesamt für soziale Dienste des Landes Schleswig-Holstein, Dezernat Umweltbezogener Gesundheitsschutz, durchgeführt. Ansprechpartner für weiterführende Fragen sind die Autoren:
Dr. Guido Ostendorp, Tel. 0431-988-4322
Dr. Birger Heinzow, Tel. 0431-988-4330

Inhalt

Kurzfassung.....	4
Verzeichnis der Abkürzungen und Fachbegriffe.....	5
1 Einleitung.....	6
2 Untersuchungsmethoden.....	7
2.1 Probenahme.....	7
2.2 Analytik.....	7
2.3 Auswertung.....	7
2.4 Auswahl der Objekte und Ergebnismitteilung.....	7
3 Allgemeine Angaben.....	8
4 Auswertung der VOC-Messungen.....	9
5 Raumlufthygienische Bewertung.....	12
5.1 Vorliegen von Richtwertüberschreitungen.....	12
5.2 Einstufung nach dem TVOC-Konzept.....	13
6 Kohlendioxidkonzentration.....	14
7 Relative Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur.....	17
7.1 Lufttemperatur.....	17
7.2 Relative Luftfeuchte.....	17
7.3 Behaglichkeit nach Pels Leusden und Freymark.....	17
8 Zusammenfassung und Schlussfolgerung.....	19
9 Literatur.....	20
10 Danksagung.....	21
11 Anhang.....	22

Kurzfassung

Das Dezernat „Umweltbezogener Gesundheitsschutz“ des Landesamtes für soziale Dienste Schleswig-Holstein (LAsD) untersucht unter anderem die Qualität der Innenraumluft in öffentlichen Gebäuden. Im vorliegenden Bericht werden Ergebnisse aus Untersuchungen vorgestellt, die das LAsD in 44 Zimmern in 15 Alten- und Pflegeheimen durchgeführt hat, um eine etwaige Belastung der Innenraumluft mit flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) zu erfassen. Die Ergebnisse wurden an Hand des Konzeptes zur Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten bewertet.

Außerdem wurde über mindestens einen Tag die Kohlendioxidkonzentration (CO_2) als Maß für die allgemeine Raumluftqualität, sowie Temperatur und relative Luftfeuchte aufgezeichnet.

Die gemessenen VOC-Konzentrationen waren durchweg gering. Im Substanzspektrum dominierten aliphatische Kohlenwasserstoffe und Aldehyde sowie flüchtige Alkohole. Lediglich in drei Räumen wurde ein Richtwert I (Zielwert) überschritten. Es handelt sich dabei um die Richtwerte I für aliphatische Kohlenwasserstoffe ($\text{C}_9\text{-C}_{14}$), für Alkylbenzole ($\text{C}_9\text{-C}_{15}$) sowie um den Summenrichtwert für Glykolverbindungen. Richtwerte II wurden nicht überschritten. Die Formaldehydkonzentration lag in allen Räumen weit unterhalb des Richtwertes.

Etwa 90 % der Räume wiesen Summenkonzentrationen (TVOC) von weniger als $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf und werden folglich der TVOC-Stufe 1 (hygienisch unbedenklich) zugeordnet. Die übrigen Zimmer fielen in die Kategorie 2 (hygienisch noch unbedenklich) des TVOC-Konzeptes.

Die meisten Räume boten eine akzeptable Frischluftzufuhr: Die Hälfte der Bewohnerinnen und Bewohner verbrachte mindestens 93 % der Zeit bei CO_2 -Konzentrationen unter 1.000 ppm (Leitwert I „hygienisch unauffällig“). Bei Betrachtung der einzelnen Räume fiel die Bewertung jedoch teilweise schlechter aus. Bei knapp $\frac{1}{4}$ der Zimmer war die Lüftung zeitweise unzureichend, das heißt in diesen Zimmern hatte in mehr als 50 % der Zeit die CO_2 -Konzentration den Wert von 1.000 ppm CO_2 überschritten oder es wurden zeitweise Werte über 2.000 ppm (hygienisch inakzeptabel) erreicht.

Häufig war in den Räumen die Lufttemperatur vergleichsweise hoch, oft bei gleichzeitig eher geringer Luftfeuchte. Dies führte dazu, dass bei Betrachtung des gesamten Messzeitraumes nur 15 von 44 Zimmern nach allgemeinen Behaglichkeitskategorien als „behaglich“ eingestuft wurden, während 29 Zimmer „noch behaglich“ waren. Hier ist allerdings anzumerken, dass das subjektive Empfinden von Behaglichkeit bei älteren Menschen oftmals von dem der durchschnittlichen Bevölkerung abweicht.

Verzeichnis der Abkürzungen und Fachbegriffe

BG:

Bestimmungsgrenze - geringste mit dem gewählten Verfahren bestimmbare Konzentration

Emission:

Abgabe Luft verunreinigender Stoffe in die Umgebung

Median:

50-stes Perzentil, Zentralwert - statistische Kenngröße, die von der Hälfte der Werte über-, von der anderen Hälfte der Werte unterschritten wird

NL:

Normliter, Volumen bezogen auf eine Lufttemperatur von 0°C und einen Luftdruck von 1013 Hektopascal

Perzentil:

Prozentrang - statistische Kenngröße, die von der angegebenen Prozentzahl der Werte unter-, von den übrigen Werten überschritten wird

% rF:

Angabe der relativen Luftfeuchtigkeit in %

ppm:

parts per million („Teile einer Million“, relative Maßeinheit)

RW I / RW II:

Richtwert I (= Zielwert), Richtwert II (= Eingriffswert); Konzentrationswerte für flüchtige Schadstoffe in der Innenraumlufte mit empfehlendem Charakter

TVOC:

Total Volatile Organic Compounds (englisch) - Gesamtmenge flüchtiger organischer Verbindungen

VOC:

Volatile Organic Compounds (englisch) - flüchtige organische Verbindungen

„worst case“:

Messung unter ungünstigsten Rahmenbedingungen; z.B. Fenster und Türen ~ 12 Stunden vor und während der Messung geschlossen

mg/m³:

Konzentrationsangabe in Tausendstelgramm pro Kubikmeter (entspricht 1000 Liter)

µg/m³:

Konzentrationsangabe in Millionstel Gramm pro Kubikmeter (entspricht 1000 Liter)

°C:

Temperaturangabe in Grad Celsius

l/min:

Volumenstrom in Litern pro Minute

TXIB: 2,2,4-Trimethylpentandioldiisobutylester

DEGBE:

Diethylenglykolbutylether

EGBE:

Ethylenglykolbutylether

EGME:

Ethylenglykolmethylether

EGPhE:

Ethylenglykolphenylether, Phenoxyethanol

1 Einleitung

In Schleswig-Holstein hat das Dezernat „Umweltbezogener Gesundheitsschutz“ im Landesamt für soziale Dienste (LAsD) unter anderem die Aufgabe, die Qualität der Innenraumluft in öffentlichen Gebäuden zu untersuchen und zu beurteilen. Im Falle von Nutzerbeschwerden nimmt es Messungen vor und berät die örtlichen Gesundheitsbehörden. Das LAsD führt aber auch regelmäßig Studien durch, mit denen spezielle Fragestellungen beleuchtet werden sollen, beispielsweise über die Raumluftqualität in Containerklassen [1] oder in Neubauten für Schulen und Kindergärten [2].

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Raumluftqualität in Alten- und Pflegeheimen

Alte und kranke Menschen gelten als eine besonders empfindliche Bevölkerungsgruppe. Menschen in Alten- und Pflegeeinrichtungen sind häufig geschwächt oder krank und verbringen sehr viel Zeit im selben Zimmer. Viele Pflegebedürftige können die Lufttemperatur und den Luftwechsel nicht mehr selbst entsprechend ihren Bedürfnissen regeln. Vermeidbare Belastungen, etwa durch flüchtige organische Verbindungen (VOC) oder schlechtes Raumklima, sollten diesen Menschen nicht zugemutet werden.

Während sich das LAsD in der Vergangenheit intensiv mit den Verhältnissen in Schulen, Kindergärten und

Kinderkrippen befasst hat, hat es sich bislang nicht speziell mit Alten- und Pflegeheimen beschäftigt. Auffällig ist auch, dass in der täglichen Beratungspraxis für die örtlichen Gesundheitsbehörden Beschwerdefälle aus solchen Einrichtungen praktisch nicht vorkommen.

Diese Wissenslücke um die Raumluftverhältnisse in Alten- und Pflegeeinrichtungen zu schließen, ist Anliegen der vorliegenden Untersuchungen.

Ziel der Untersuchungen ist herauszufinden:

- ob die Raumluft in Pflegeeinrichtungen durch VOC belastet wird,
- ob eine ausreichende Frischluftzufuhr gewährleistet ist und
- ob Lufttemperatur und relative Luftfeuchte für ein angenehmes Klima ausreichend sind.

Der Untersuchungsumfang umfasst:

- flüchtige organische Verbindungen (VOC),
- Formaldehyd, Acetaldehyd, Propionaldehyd, Aceton,
- Aufzeichnung der Kohlendioxidkonzentration,
- Aufzeichnung der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchte.

2 Untersuchungsmethoden

2.1 Probenahme

Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der örtlichen Gesundheitsbehörden oder des LAsD haben die Luftproben zwischen August 2012 und Juli 2013 genommen. Diese trafen auch die Auswahl der Objekte und erhoben die gewünschten Daten zu den Gebäuden und Räumen. Am Tag der Probenahme wurden die Räume wie üblich genutzt.

2.2 Analytik

Die auf TENAX gesammelten VOC wurden thermisch desorbiert und nach gaschromatographischer Trennung mittels Quadrupol-MS bestimmt. Details sind in Anhang 1 beschrieben. Die Bestimmungsgrenze beträgt bei dem angegebenen Probenahmenvolumen für die einzelnen VOC circa 0,2 – 0,5 µg/m³. Die Analyse von Formaldehyd, Acetaldehyd, Propionaldehyd und Aceton erfolgte mittels HPLC gemäß ISO/DIS 16000-3:2009 extern durch das UCL Umwelt Control Labor GmbH, Kiel.

2.3 Auswertung

Statistische Auswertungen wurden mit den Programmen PSPP und Microsoft Excel vorgenommen.

Für die Bewertung der CO₂-Konzentration in den Räumen wurde jeweils die gesamte Messzeit herangezogen, da eine genaue Protokollführung über die An- und Abwesenheit nicht umsetzbar war und die

2.4 Auswahl der Objekte und Ergebnismitteilung

Die geplante Studie hat das LAsD zunächst dem Forum Pflegegesellschaft Schleswig-Holstein vorgestellt und mit diesem das Verfahren zur Auswahl der Einrichtungen abgestimmt. Das Forum Pflegegesellschaft Schleswig-Holstein beziehungsweise die Landesverbände der Träger kontaktierten die Einrichtungen und baten um eine Teilnahme an der Studie und Rückmeldung an das Forum Pflegegesellschaft. Nach der Rückmeldung erhielt das LAsD vom Forum eine Liste mit Pflegeheimen, die an einer Teilnahme interessiert waren.

Die Termine für die Messungen stimmte das LAsD mit der jeweiligen Einrichtung ab. Die Leitung der Einrichtung wählte mindestens zwei Räume (Pflehezimmer) aus, die möglichst repräsentativ sein sollten. Von jeder Bewohnerin und jedem Bewohner, in deren Räu-

Die VOC-Probenahme erfolgte aktiv durch Adsorption an TENAX. Details sind in Anhang 1 beschrieben. Die Proben wurden unter Nutzungsbedingungen entnommen. Die Probenahme für leichtflüchtige Aldehyde und Aceton erfolgte durch Adsorption an DNPH-Kartuschen (Volumen 80 l, Volumenstrom 2,0 l/min).

Die Bestimmungsgrenze betrug jeweils 10 µg/m³.

Die Kohlendioxidkonzentration, die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchte wurden über mindestens 24 Stunden aufgezeichnet. Die Registrierung erfolgte in fünfminütigem Rhythmus. Zum Einsatz kamen Messgeräte CDL 210 der Firma Wöhler.

Bewohnerinnen und Bewohner den weitaus größten Teil des Tages auf ihrem Zimmer verbringen. Der resultierende Fehler erscheint angesichts der weiten Schwankungsbereiche im Vergleich unterschiedlicher Räume akzeptabel. Die einzelnen CO₂-Messwerte wurden den Leitwert-Kategorien der Empfehlung der Innenraumkommission [3] zugeordnet und ausgezählt.

men gemessen wurde, wurde zuvor eine Einverständniserklärung, gegebenenfalls durch den gesetzlichen Vertreter, eingeholt.

In einer Voruntersuchung wurde das vorgesehene Procedere auf Durchführbarkeit geprüft und angepasst. So erfolgen die VOC-Probenahmen als Kurzzeitmessungen, um die Bewohnerinnen und Bewohner und den Betrieb in der Einrichtung möglichst wenig zu stören. Aus demselben Grunde wurden die Proben unter Nutzungsbedingungen genommen

Die individuellen raumbezogenen Ergebnisse der Messungen stellte das LAsD der jeweiligen Einrichtung zur Verfügung. Die jeweiligen Bewohnerinnen und Bewohnern oder deren Vertreter können die Daten dort auf Nachfrage einsehen.

3 Allgemeine Angaben

Insgesamt wurden 44 Räume in 15 Gebäuden untersucht (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Verteilung der untersuchten Einrichtungen auf die Kreise und Städte

Kreis / kreisfreie Stadt	Anzahl Räume
Landeshauptstadt Kiel	3
Hansestadt Lübeck	6
Stadt Flensburg	3
Stadt Neumünster	3
Kreis Herzogtum Lauenburg	3
Kreis Ostholstein	3
Kreis Pinneberg	6
Kreis Plön	2
Kreis Rendsburg-Eckernförde	3
Kreis Schleswig-Flensburg	3
Kreis Segeberg	3
Kreis Steinburg	3
Kreis Stormarn	3

Von den 15 Einrichtungen verfügten 13 über mehr als 50 Pflegeplätze und zwei über 20 – 50 Pflegeplätze. Sieben Gebäude entsprachen einem Niedrigenergiestandard (Selbstauskunft der Träger). In zwei Räumen gab es eine unterstützende raumluftechnische Anlage, die übrigen Zimmer wurden ausschließlich über Fenster belüftet. In einem Raum wurden Luftbefeuchter und „Luftverbesserer“ verwendet.

Fast immer waren die Räume mit wischbaren Fußbodenbelägen (Linoleum, PVC und so weiter) ausgelegt, nur in einem Raum befand sich ein Teppichboden. In den meisten Fällen lagen die letzten Renovierungsarbeiten schon längere Zeit zurück (Tabelle 2).

Tabelle 2: Letzte Renovierung vor ...

< 2 Monate	2–12 Monate	> 12 Monate
2 Räume	12 Räume	30 Räume

4 Auswertung der VOC-Messungen

Alle 44 VOC-Proben waren auswertbar. In den Proben konnten 91 verschiedene VOC nachgewiesen werden, von denen viele jedoch nur selten vorkamen. Auf die häufigsten 57 VOC entfallen über 95 % der Nachweise. Dies entspricht den Erfahrungen aus früheren Untersuchungsreihen.

Die Tabellen 3 und 4 zeigen statistische Kennwerte für die VOC und für die Summe ausgewählter Stoff-

klassen. Dabei wurden nur Werte oberhalb der Bestimmungsgrenze berücksichtigt.

Ein direkter Vergleich mit den entsprechenden Konzentrationen aus der schleswig-holsteinischen Schul- und Kindergartenstudie (LAsD 05/07) ist nicht möglich, weil die Probenahmebedingungen („worst case“ oder Nutzungsbedingungen) unterschiedlich waren [4]. Dies führt grundsätzlich zu unterschiedlichen VOC-Konzentrationen.

Tabelle 3: Statistische Kenngrößen, in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Bezeichnung	CAS	n	% > BG	MW	P50	P95	Max
Alkane							
n-Hexan	110-54-3	1	2				1,0
n-Heptan	142-82-5	30	68	12	1,9	41	161
n-Octan	111-65-9	31	70	1,9	0,9	7,9	18
n-Nonan	111-84-2	36	82	0,9	0,6	3,3	5,0
n-Decan	124-18-5	40	91	0,6	0,4	1,4	2,8
n-Undecan	1120-21-4	41	93	1,4	1,0	2,7	10
n-Dodecan	112-40-3	44	100	1,2	0,9	2,7	8,7
n-Tridecan	629-50-5	43	98	0,9	0,7	1,9	5,2
n-Tetradecan	629-59-4	44	100	1,1	0,9	2,4	3,0
n-Pentadecan	629-62-9	37	84	1,0	0,9	2,0	5,0
n-Hexadecan	544-76-3	41	93	1,0	0,7	2,5	5,0
3-Methylhexan	589-34-4	1	2				15
2,3-Dimethylpentan	565-59-3	1	2				3,4
2,2,4-Trimethylpentan	540-84-1	1	2				3,7
Pentamethylheptan	13475-82-6	1	2				2,5
Heptamethylnonan	4390-04-9	9	20	59	4,6	297	486
trans-Decahydronaphthalin	493-07-2	1	2				2,9
Cyclopentan	287-92-3	1	2				2,3
Cyclohexan	110-82-7	10	23	3,9	3,2	11	16
Methylcyclopentan	96-37-7	6	14	3,8	5,0	5,0	5,0
Methylcyclohexan	108-87-2	30	68	2,4	0,3	7,1	21,0
1,2-Dimethylcyclohexan	583-57-3	1	2				2,9
1,4-Dimethylcyclohexan	589-90-2	2	5	2,5	2,5	3,0	3,0
Ethylcyclohexan	1678-91-7	2	5	2,5	2,5	2,9	3,0
Alkohole							
Ethanol	64-17-5	22	50	23	6,0	116	145
1-Propanol	71-23-8	26	59	103	16	450	487
2-Propanol	67-63-0	44	100	172	148	387	450
1-Butanol	71-36-3	11	25	3,2	3,0	5,4	5,6
Isobutanol	78-83-1	3	7	22	11	49	53
2-Ethyl-1-hexanol	104-76-7	44	100	6,6	5,5	19	20
1-Octanol	111-87-5	1	2				2,0
Benzylalkohol	100-51-6	15	34	6,6	7,1	11	11
3,5,5-Trimethyl-1-hexanol	3452-97-9	1	2				2,0
Aromaten							
Benzol	71-43-2	40	91	1,2	0,6	4,7	5,4
Toluol	108-88-3	44	100	3,0	2,2	8,2	11
m-Xylol	108-38-3	44	100	1,1	0,6	3,7	5,7
p-Xylol	106-42-3	44	100	0,5	0,3	1,4	2,0

Bezeichnung	CAS	n	% > BG	MW	P50	P95	Max
o-Xylol	95-47-6	38	86	0,9	0,4	5,0	5,0
Ethylbenzol	100-41-4	44	100	0,7	0,5	2,3	3,4
Styrol	100-42-5	41	93	1,4	0,6	5,0	11
1,2,4-Trimethylbenzol	95-63-6	43	98	0,7	0,5	2,1	6,3
Mesitylen	108-67-8	39	89	0,6	0,3	1,7	5,0
2-Ethyltoluol	611-14-3	36	82	0,7	0,3	3,6	5,0
3-Ethyltoluol	620-14-4	44	100	0,6	0,3	1,8	5,0
n-Propylbenzol	103-65-1	44	100	0,3	0,2	0,6	1,7
Naphthalin	91-20-3	38	86	0,8	0,9	1,4	1,6
Terpene							
a-Pinen	80-56-8	44	100	1,5	1,1	5,0	6,7
β-Pinen	127-91-3	41	93	0,5	0,5	1,3	1,4
3-Caren	498-15-7	38	86	0,9	0,5	3,0	3,8
Limonen	138-86-3	44	100	9,1	4,1	28	85
Cineol	470-82-6	9	20	3,2	2,9	4,7	5,2
Linalool	78-70-6	4	9	5,4	3,6	10	11
dl-Menthol	1490-04-6	4	9	3,1	3,4	3,6	3,6
Citronellol	106-22-9	1	2				2,1
Longifolen	475-20-7	37	84	0,3	0,3	0,5	0,8
Aldehyde							
Formaldehyd	500-00-0	37	84	20	18	37	43
Acetaldehyd	75-07-0	13	30	18	13	33	39
Propanal	123-38-6	1	2				11
Butanal	123-72-8	5	11	0,3	0,2	0,6	0,7
Pentanal	110-62-3	41	93	4,8	1,8	15	61
Hexanal	66-25-1	44	100	3,9	3,0	10	14
Heptanal	111-71-7	14	32	7,8	3,2	18	20
Octanal	124-13-0	43	98	3,4	2,6	8,4	13
Nonanal	124-19-6	44	100	12	9,7	24	29
Decanal	112-31-2	37	84	3,4	3,0	6,2	9,7
Benzaldehyd	100-52-7	44	100	2,4	2,3	4,7	5,7
Ketone							
Aceton	67-64-1	41	93	83	78	160	176
Ethylmethylketon	78-93-3	19	43	9,9	4,2	52	52
Isopropylmethylketon	563-80-4	1	2				5,6
Methyl-iso-butylketon	108-10-1	1	2				2,6
Cyclohexanon	108-94-1	3	7	3,5	3,3	4,6	4,7
4-Phenoxyacetophenon	5031-78-7	1	2	3,7	3,7	3,7	3,7
Ester, Ether, Glykole							
Ethylacetat	141-78-6	15	34	3,6	2,9	7,4	14
n-Butylacetat	123-86-4	17	39	2,5	2,3	5,3	6,0
Isobutylacetat	110-19-0	1	2				2,0
Ethylenglykolmonomethylether	109-86-4	8	18	6,0	6,4	11,4	13
Ethylenglykolmonoethylether	110-80-5	1	2				1,7
Ethylenglykolmonobutylether	111-76-2	28	64	4,4	3,0	11	23
Phenoxyethanol	122-99-6	23	52	12	11	29	29
Diethylenglykolmonobutylether	112-34-5	16	36	13	11	30	32
Butyldiglykolacetat	124-17-4	6	14	2,5	2,0	4,3	4,4
Propylenglykolmonomethylether	107-98-2	2	5	2,9	2,9	3,5	3,6
Dipropylenglykolmethylether	34590-94-8	6	14	22	8,6	65	77
Propylenglykolmonobutylether	5131-66-8	4	9	3,9	4,1	4,4	4,5
TXIB	6846-50-0	41	93	1,3	1,0	5,0	6,5
Sonstige							
Octamethylcyclotetrasiloxan	556-67-2	26	59	2,9	1,5	8,3	11
Decamethylcyclopentasiloxan	541-02-6	44	100	21	11	78	163

Bezeichnung	CAS	n	% > BG	MW	P50	P95	Max
Phenol	108-95-2	1	2				2,0
Benzothiazol	95-16-9	2	5	2,6	2,6	4,8	5,0
2-Butanonoxim	96-29-7	1	2				2,1
Nicht identifizierte VOC		36	82	37	9,2	182	454

% > BG: Anteil der Werte oberhalb Bestimmungsgrenze;

P 50 = 50. Perzentil, Median; P 95 = 95. Perzentil, Referenzwert, Max: Höchster gemessener Wert;

*: Berechnet als Toluoläquivalent.

In Tabelle 4 sind chemisch verwandte Substanzen zu Klassen zusammengefasst und der TVOC-Wert (englisch: „Total Volatile Organic Compounds“ [5, 6]) be-

rechnet. Wiederum wurden nur Werte oberhalb der Bestimmungsgrenze berücksichtigt.

Tabelle 4: Statistische Kenngrößen für verschiedene Substanzklassen, in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Gruppe	MW	P50	P95	MAX
Alkane (ohne nicht identifizierte VOC)	33	13	110	504
Alkane (einschl. nicht identifizierte VOC)	64	23	196	701
Aromaten	11	8,9	24	39
Alkohole	256	226	720	803
Terpene, gesamt	14	8,2	41	89
Aldehyde (ab Butanal)	31	28	65	69
Siloxane	22	13	82	164
Ester, Ether, Glykolderivate	22	17	65	83
TVOC	162	110	353	892

Alle Proben, nur Werte > BG berücksichtigt;

Die Konzentrationen der meisten VOC lagen im Bereich der Hintergrundwerte, die 2009 in Schulen und Kindergärten in Schleswig-Holstein gemessen wurden, [4], zum Teil deutlich darunter. Auch die Gesamtbelastung, beschrieben als TVOC-Wert, war niedriger. Zu berücksichtigen sind beim Vergleich der Werte aber die Probenahmebedingungen (Nutzungsbedingungen kontra „worst case“ Bedingungen, siehe oben).

Die höchsten Konzentrationen wiesen häufig die Alkohole auf. Dabei handelte es sich überwiegend um

Ethanol und Propanole. Sie kommen zum Beispiel in Reinigungs- und Desinfektionsmitteln vor und werden Nutzungstypisch auf diesem Wege regelmäßig in den Raum eingetragen. Gesundheitlich waren die Konzentrationen jedoch immer unproblematisch.

Bedeutendste VOC-Gruppe mit den höchsten Konzentrationen nach den Alkoholen waren die Alkane. Als zweitwichtigste Gruppe erwiesen sich die Aldehyde (ab Butanal), wogegen Aromaten und Terpene in den Proben vergleichsweise gering konzentriert waren.

5 Raumlufthygienische Bewertung der Proben

Die Bewertung von Raumlufproben erfolgt über die Richtwerte für einzelne Stoffe sowie für die Gesamtbelastung anhand des TVOC-Konzeptes [5, 6]). Detaillierte Erläuterungen finden sich in [7].

Die Konzentrationsbereiche des TVOC-Konzeptes

5.1 Vorliegen von Richtwertüberschreitungen

Richtwerte für VOC sind gesundheitlich begründet. Es gibt jeweils einen Richtwert I (RW I) und einen Richtwert II (RW II). Der RW I ist die Konzentration, die langfristig unterschritten werden soll („Zielwert“), der RW II ist ein „Eingriffswert“. Ist die Konzentration eines Stoffes höher als der RW II, so müssen Maßnahmen ergriffen werden [7, 8].

Neben sehr geringen VOC-Konzentrationen fanden sich lediglich drei Richtwertüberschreitungen (Tabelle 5 und 6). In einem Zimmer war der RW I (Zielwert) für aliphatische Kohlenwasserstoffe im Siedebereich von n-Nonan bis n-Tetradecan überschritten. Hauptsächlich war dies auf das Lösemittel Isohexadecan zurückzuführen. Für Isohexadecan gilt der RW I für die aliphatischen Kohlenwasserstoffe (C₉ - C₁₄) streng genommen nicht, da es zwar in dem entsprechenden Siedebereich liegt, aber 16 Kohlenstoffatome aufweist. Allerdings gibt es für Isohexadecan keinen eigenen Innenraumluftrichtwert. Daher wurde ersatzweise der RW I für die chemisch und toxikologisch verwandten aliphatischen Kohlenwasserstoffe (C₉ - C₁₄) zu Grunde gelegt.

Tabelle 5: RW I Überschreitungen (mg/m³)

VOC	Messwert	RW I	RW II
Alkane, C ₉ -C ₁₄	0,49 Isohexadecan + 0,2 nicht identifizierte Alkane	0,2	2
Alkylaromaten, C ₉ - C ₁₅	0,3	0,1	1

Die Lüftungsverhältnisse in dem betroffenen Raum waren bereits sehr gut. Die Kohlendioxidkonzentration, die ein Indikator für die Höhe der Luftwechselrate ist, lag circa 97% der Zeit bei weniger als 1.000 ppm Kohlendioxid. Der Abstand des gemessenen Wertes für Alkane zum Richtwert II (Eingriffswert) war ausreichend groß, so dass über regelmäßiges Lüften hinausgehende Maßnahmen nicht nötig waren.

Im Falle der Alkylaromaten handelte es sich um den Raum mit den ungünstigsten Lüftungsverhältnissen

und die Richtwerte gelten für Nutzungsbedingungen, also bei regelmäßiger Lüftung. Die Proben für diese Untersuchungsreihe wurden unter Nutzungsbedingungen genommen. Die gemessenen Konzentrationen sind daher direkt mit den Richtwerten und TVOC-Stufen vergleichbar.

(53 % der Zeit über 2.000 ppm CO₂, siehe Kapitel 6). Durch Verbesserung des Lüftungsverhaltens wird erwartet, dass die Konzentration deutlich sinkt.

In einem weiteren Raum erreichte die Konzentration von Phenoxyethanol (Ethylenglykolmonophenylether) mit 0,029 mg/m³ gerade den Richtwert I für diesen Stoff („Default-RW I“ = 0,005 ppm ≈ 0,029 mg/m³). Da noch weitere Glykolverbindungen in geringen Konzentrationen vorhanden waren, ergab sich eine Überschreitung des Summenrichtwertes I:

Tabelle 6: Glykolverbindungen - Überschreitung des Summen-RW I in einem Raum

Glykol*	Messwert	RW I	Messwert/RW I
EGME	13 µg/m ³	20 µg/m ³	0,66
EGPhE	29 µg/m ³	29 µg/m ³ **	1,0
EGBE	2,1 µg/m ³	100 µg/m ³	0,02
DEGBE	11 µg/m ³	400 µg/m ³	0,03
TXIB	1,3 µg/m ³	60 µg/m ³ **	0,02
Summe	---	1	1,73

*: Abkürzungen siehe Seite 5

** : Default-RW I, 0,005 ppm

Die Aldehyde sind die einzige VOC-Gruppe, für die in den höchstbelasteten Räumen (95. Perzentil) der Richtwert I nennenswert ausgeschöpft wurde. Nimmt man an, dass die nicht identifizierten VOC im Wesentlichen Alkane mit Kohlenstoffketten von C₉ bis C₁₄ sind – was häufig der Fall ist – so schöpfen auch diese in der Spitze den Richtwert I weitgehend aus.

Tabelle 6: RW I Ausschöpfung

VOC-Gruppe	P50	P95	RW I
Aldehyde, C ₄ -C ₁₁	0,03	0,06	0,1
Alkane, C ₉ -C ₁₄	0,005 / 0,01*	0,02 / 0,17*	0,2

* ohne / mit nicht identifizierten VOC

Die höchste gemessene Formaldehydkonzentration betrug 43 µg/m³, im Durchschnitt 18 µg/m³ (Median). Dies liegt etwa im Bereich von Hintergrundwerten [10]. Überschreitungen des Richtwertes von 120 µg/m³ (= 0,1 ppm) [9] gab es entsprechend nicht.

5.2 Einstufung nach dem TVOC-Konzept

Das TVOC-Konzept erlaubt eine Einstufung der Gesamtbelastung in fünf Kategorien. Sie sind mit einer hygienischen Bewertung und abgestuften Maßnahmen

verbunden. In der nachfolgenden Tabelle wird das TVOC-Konzept vereinfacht dargestellt; detaillierte Informationen finden sich zum Beispiel in [5, 6, 7].

Tabelle 7: Einstufung nach dem TVOC-Konzept [5]

Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4	Stufe 5
Hygienisch unbedenklich	Hygienisch noch unbedenklich	Hygienisch auffällig	Hygienisch bedenklich	Hygienisch inakzeptabel
< 0,3 mg/m ³	0,3 - 1,0 mg/m ³	1,0 - 3,0 mg/m ³	3,0 - 10 mg/m ³	> 10 mg/m ³
Zielwert	Verstärkte Lüftung	Bis 12 Monate tolerierbar	Bis 1 Monat tolerierbar	Nutzung vermeiden

Ordnet man die in den Räumen gemessenen TVOC-Werte den Stufen 1 bis 5 zu, erhält man das in Bild 1 dargestellte Ergebnis. Die Gesamtbelastung war in allen untersuchten Zimmern gering. Alle Räume fielen in die Kategorie 1 (40 Räume) oder 2 (4 Räume). Höher belastete Räume fanden sich nicht. Die TVOC-Einstufung war damit günstiger als bei früheren Studien, zum Beispiel den von uns untersuchten Schulen und Kindergärten [4]. Allerdings liegt dies sicherlich zu einem großen Teil daran, dass die Messungen in den Alten- und Pflegeheimen unter Nutzungsbedingungen erfolgten, nicht unter „worst case“ Bedingungen.

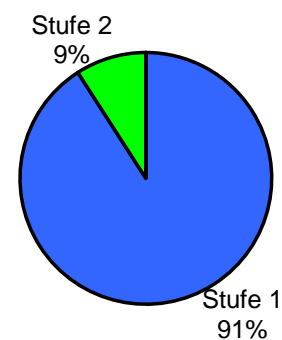


Bild 1: Bewertung der Proben nach dem TVOC-Konzept

6 Kohlendioxidkonzentration

Menschen atmen Kohlendioxid (CO₂) aus. Halten wir uns in geschlossenen Räumen auf, steigt die CO₂-Konzentration deshalb schnell an. Je „verbrauchter“ die Luft ist, desto mehr CO₂ enthält sie. Die CO₂-Konzentration in Innenräumen sollte nicht höher als 1.000 ppm sein; steigt der Wert höher, müssen wir mehr lüften. Eine ausreichende Lüftung wirkt sich sowohl gesundheitlich (VOC) als auch hygienisch (CO₂) positiv aus und ist wichtig für das Wohlbefinden. Das erkannte Pettenkofer bereits im Jahr 1858 [11]. Heute weiß man, dass es einen Zusammenhang zwischen Aufmerksamkeit und Lernerfolg und CO₂-Konzentration gibt [12]: „Die Senkung der CO₂-Konzentration in Schulen ist verknüpft mit höherer Aufmerksamkeit, einer intensiveren Schüler/Lehrer-Kommunikation, einem geringeren Geräuschpegel und einer Senkung der Beanspruchung (gemessen an der Herzfrequenz).“ Neueste Untersuchungen kommen zu dem Schluss, dass bereits CO₂-Konzentrationen von 1.000 ppm zum Beispiel die Entscheidungsfähigkeit messbar beeinträchtigt [13].

Es gibt also ausreichend Anlass, sich mit der CO₂-Konzentration in Innenräumen von älteren Menschen zu befassen.

Im Rahmen der Untersuchung wurde in den Zimmern an mindestens einem Tag die Entwicklung der CO₂-Konzentration aufgezeichnet. Für 43 von 44 Räumen waren die Daten auswertbar.

Die Zeitanteile, an denen die CO₂-Konzentration in den drei Kategorien der Empfehlung der Ad-hoc-AG Innenraumluft [3] lag, sind in Tabelle 8 zusammengefasst und in Bild 2 für jeden Raum dargestellt. Ausgewertet wurde jeweils die gesamte aufgezeichnete Zeit. An- und Abwesenheitszeiten wurden nicht protokolliert. Man kann jedoch davon ausgehen, dass die meisten Bewohner den weitaus überwiegenden Teil des Tages und der Nacht auf ihren Zimmern verbringen. Der hierdurch entstandene Fehler erscheint deshalb vertretbar.

Tabelle 8: Zeitanteile in den drei Bewertungskategorien [3]

CO ₂ (ppm)	Bewertung	Empfehlung	Median	Spanne
< 1.000	Hygienisch unbedenklich	Keine weiteren Maßnahmen	93 %	5 – 100 %
1.000-2.000	Hygienisch auffällig	Lüftung intensivieren, Verhalten überprüfen	7 %	0 - 75 %
> 2.000	Hygienisch inakzeptabel	+ Belüftbarkeit prüfen, ggf. weitere Maßnahmen	0 %	0 - 53 %

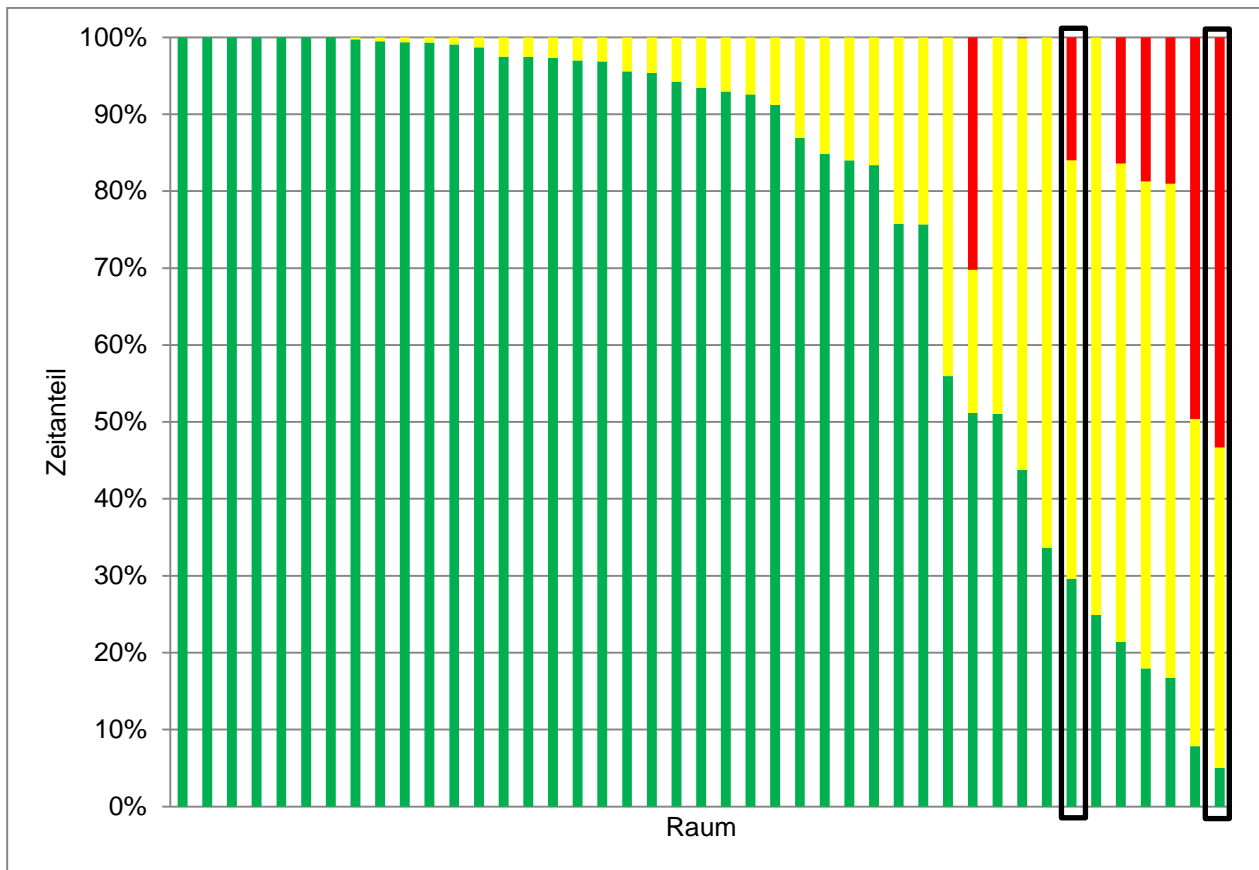


Bild 2: Zeitanteile in den drei Bewertungskategorien [3]; Räume mit Lüftungsanlage markiert

Die Lüftungsverhältnisse waren überraschend gut. Durchschnittlich verbrachte die Hälfte der Bewohnerinnen und Bewohner mindestens 93% der Zeit bei Kohlendioxidkonzentrationen unter 1.000 ppm, also im optimalen Bereich. Gute bis akzeptable Verhältnisse fanden sich in 33 von 43 Räumen. In diesen war die Kohlendioxidkonzentration niemals über 2.000 ppm und mindestens 50 % der Zeit unter 1.000 ppm. Bei knapp ¼ der Zimmer war die Lüftung jedoch unzureichend, so dass Werte über 2.000 ppm erreicht wurden und/oder nur selten der Leitwert I von 1.000 ppm eingehalten wurde.

Die beiden mit einer unterstützenden Lüftungsanlage ausgestatteten Räume schnitten weniger gut ab. In diesen lag die Kohlendioxidkonzentration nur in 5 % beziehungsweise 30 % der Zeit bei weniger als 1.000 ppm und in 53 % beziehungsweise 16 % der Zeit bei mehr als 2.000 ppm (Bild 2). Die Lüftungsanlagen sind nach Angaben des Trägers in der Regel nur morgens und abends in Betrieb, wie Bild 3 bestätigt. Weitere Lüftung über Fenster erfolgt offenbar nicht. Wird die Lüftungsanlage eingeschaltet (rote Pfeile), erfolgt ein sehr rascher Luftaustausch, wodurch die CO₂-Konzentration entsprechend schnell absinkt. Gleichzeitig fällt auch die Luftfeuchtigkeit stark ab, bei weitgehend unveränderter Temperatur von 19 - 20 °C. Da die Messung im Februar erfolgte, ist sicherlich die geringe Luftfeuchte der winterlichen

Außenluft für diese Beobachtung verantwortlich. Das Beispiel zeigt aber, dass ein- oder zweimal tägliches Lüften, gleichgültig ob über Fenster oder wie hier technisch, nicht ausreicht. Hier sollten die Auslegung der Anlagen und die Luftmengen sowie die korrekte Funktion und Nutzung überprüft werden.

Die mittlere Kohlendioxidkonzentration in den einzelnen Räumen lag zwischen 475 ppm, was nahezu der Außenluft (circa 400 ppm) entspricht und 2.024 ppm (siehe Tabelle 9). Die 12 im Winterhalbjahr gemessenen Zimmer schnitten deutlich schlechter ab als die im Sommerhalbjahr gemessenen. In sieben dieser 12 Zimmer lag der Tagesmedian über dem Leitwert von 1.000 ppm, bei 31 Messungen im Sommerhalbjahr waren es nur drei Räume.

Tabelle 9: Verteilung der CO₂-Mittelwerte, ppm

	Min	P50	P95	Max
Alle (43)		740	1.515	
Sommer (31)	475	672	1276	1.518
Winter (12)	619	1138	1995	2.024

Min: Niedrigster gemessener Wert
 P 50 = 50. Perzentil, Median
 P 95 = 95. Perzentil, Referenzwert
 Max: Höchster gemessener Wert

Trotz der insgesamt recht günstigen Verhältnisse sind in zahlreichen Fällen noch Verbesserungen des Lüftungsverhaltens möglich. Dies gilt insbesondere für das Winterhalbjahr. Eine Überprüfung des Lüftungsverhaltens in Abstimmung mit den Wünschen und Bedürfnissen der Bewohnerinnen und Bewohner kann die Situation in vielen Fällen mit einfachen Mitteln verbessern.

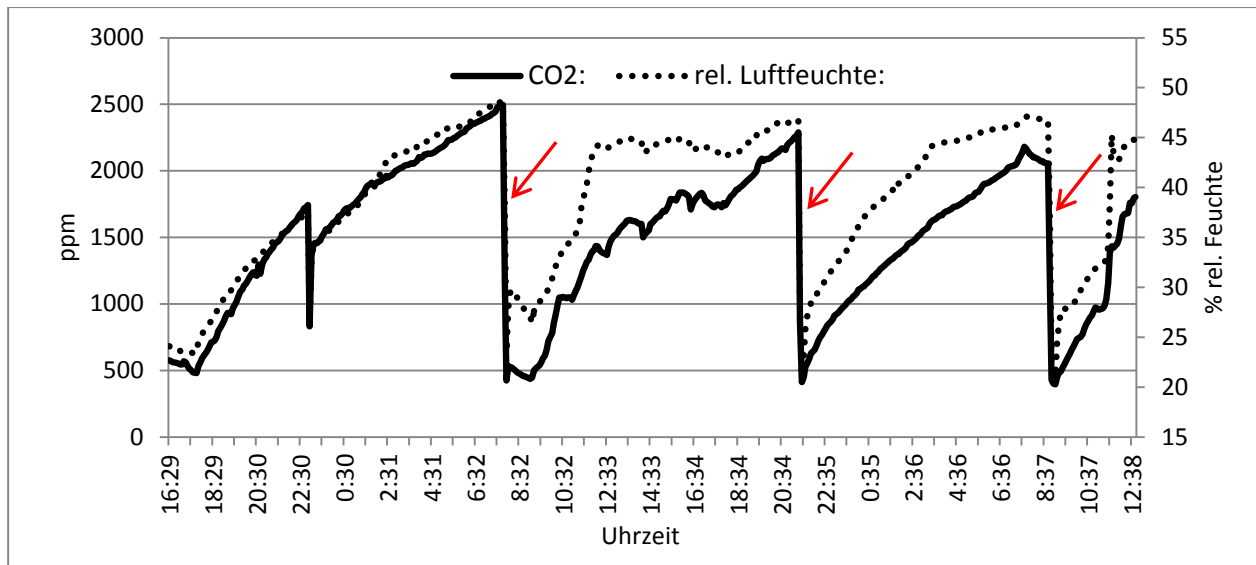


Bild 3: Verlauf von CO₂-Konzentration und relativer Luftfeuchte in einem Raum mit technischer Lüftungseinrichtung

7 Relative Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur

Lufttemperatur und relative Luftfeuchte wurden parallel zur CO₂-Konzentration aufgezeichnet. Die Daten waren für alle 44 Räume auswertbar.

7.1 Lufttemperatur

Die durchschnittliche Lufttemperatur lag zwischen 20°C und 26°C (Mediane), im Mittel waren es durchschnittlich circa 23°C und damit in dem für Krankenhäuser und Pflegeheime allgemein empfohlenen Bereich (21-23 °C). Mehr als die Hälfte (Median = 58 %) der Zeit verbrachten die Menschen bei Lufttemperaturen über 23°C. Sehr hohe Temperaturen über 25°C waren mit circa 3 % der Zeit jedoch selten.

7.2 Relative Luftfeuchte

Die durchschnittliche relative Luftfeuchte (rF) lag zwischen circa 18 % rF und 59 % rF, im Mittel waren es rund 40% rF. Luftfeuchten über 70% kamen praktisch nicht vor, in Einzelfällen in bis zu 1 % der Zeit. Hingegen betrug in 13 von 44 untersuchten Zimmern die relative Luftfeuchte im Messzeitraum durchschnittlich weniger als 30% rF.

7.3 Behaglichkeit nach Pels Leusden und Freymark

Pels Leusden und Freymark haben sich mit dem Zusammenhang zwischen Luftfeuchte, Lufttemperatur und dem subjektiven Empfinden des Raumklimas als „behaglich“ oder „unbehaglich feucht“ oder „unbehaglich trocken“ beschäftigt. Im Jahr 1951 veröffentlichten sie ein Diagramm, mit dessen Hilfe eine einfache, praxisnahe Beurteilung eines gegebenen Raumklimas möglich ist [14]. Das Diagramm hat bis heute seine Gültigkeit bewahrt und wird nach wie vor verwendet. Nach Pels Leusden und Freymark existiert ein Bereich von Lufttemperatur und -feuchtigkeit, der von allen Menschen als „behaglich“ empfunden wird. Die Werte hängen allerdings von Alter, Geschlecht und der Raumnutzung (körperliche Betätigung, Bekleidung) ab. Der Bereich liegt grob zwischen 20 und 24°C und 40 und 65 % rF.

Im Bild 4 ist dies die von der grünen Linie umschlossene Fläche. An diese Zone schließt sich ein Übergangsbereich „noch behaglich“ an, im Diagramm von der roten Linie umschlossen. Liegen Temperatur und Feuchte in diesem Bereich, muss der Körper bereits vermehrt Arbeit leisten, etwa um die Temperatur auszugleichen. Dies geschieht unbewusst und von rund 85 % der Personen, unbemerkt. Einige Menschen können die ungünstigen raumklimatischen Verhältnisse aber nicht mehr unbemerkt kompensieren und fühlen sich bereits beeinträchtigt. Klimatische Bedin-

gungen außerhalb der roten Linie im Diagramm empfindet die Mehrheit der Menschen als „unbehaglich“.

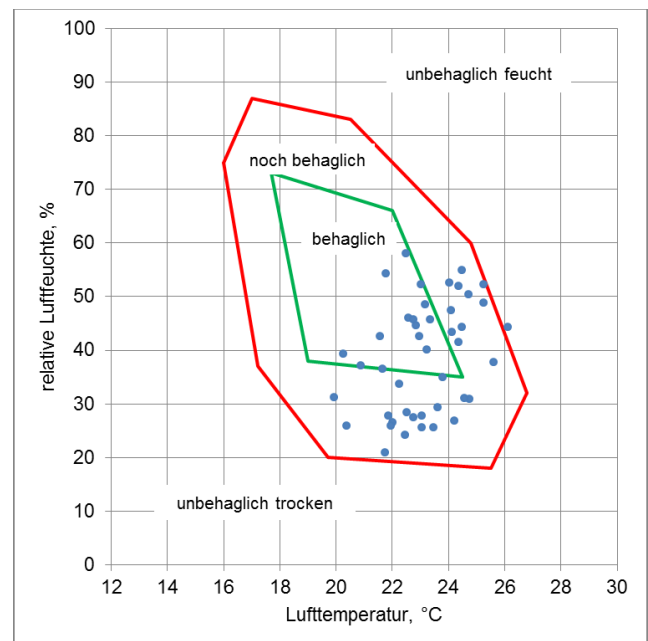


Bild 4: Einordnung der untersuchten Räume nach Pels Leusden und Freymark [14]

Legt man die durchschnittlichen Luftfeuchten und -temperaturen (Mittelwerte) der untersuchten Zimmer zu Grunde, so sind 15 der 44 Räume allgemein als „behaglich“ einzustufen (Bild 4). 29 Räume sind „noch behaglich“. Allerdings wie schon oben dargestellt, mit einer Tendenz zu relativ hohen Temperaturen bei teilweise eher niedrigen Luftfeuchten. Da es sich bei den im Bild 4 dargestellten Werten (blaue Punkte) um die Mittelwerte des jeweiligen gesamten Messzeitraumes handelt, ist nicht auszuschließen, dass es Zeiträume gab, in denen die Verhältnisse „unbehaglich“ waren. Das zeigen exemplarisch die Darstellungen zweier Räume in Bild 5. Dies gilt für Räume nahe der Grenze (rote Linie im Behaglichkeitsdiagramm) zwischen „noch behaglich“ und „unbehaglich“.

Bei dieser Beurteilung des Raumklimas nach Pels Leusden und Freymark bleibt möglicherweise unberücksichtigt, dass gerade ältere Menschen ein vom Durchschnitt der Bevölkerung abweichendes Behaglichkeitsgefühl haben, vor Allem in Bezug auf die Raumtemperatur. So empfinden gerade ältere Menschen Räume oft als zu kalt, während im selben Raum anwesende jüngere Menschen die Raumtemperatur als angenehm oder sogar zu warm empfinden. Die Erfahrung in der Pflege zeigt, dass das subjektive Wohlbefinden der Bewohnerinnen und Bewohner höchst unterschiedlich zum Ausdruck gebracht wird.

Einige Bewohnerinnen und Bewohner lehnen es ausdrücklich ab, dass in der kälteren Jahreszeit Fenster für eine ausreichende Lüftungsphase geöffnet werden. In einzelnen Fällen schließen die Bewohnerinnen und Bewohner sofort wieder die gerade erst von den Pflegekräften geöffneten Fenster.

Das Problem besteht auch darin, dass vielfach das subjektive Wohlbefinden seitens der Bewohnerinnen und Bewohner durch die erheblich eingeschränkte Mobilität bestimmt wird. Die sehr häufig aus gesundheitlichen Gründen eingeschränkte Mobilität führt dazu, dass die Bewohnerinnen und Bewohner oftmals frieren, so dass manchmal erst eine Raumlufttemperatur von 25 °C und mehr als angenehm empfunden wird. Selbst bei sommerlichen Temperaturen bestehen viele Bewohnerinnen und Bewohner darauf, eine Strickjacke anzuziehen, da ihnen kalt ist. Diese Beobachtungen sprechen dafür, dass das von älteren Menschen als behaglich empfundene Raumklima erheblich vom Rest der Bevölkerung abweichen kann.

Allerdings haben hohe Temperaturen und geringe Luftfeuchtigkeit für das Wohlbefinden der Menschen hinaus weitere Folgen. Sie fördern den Flüssigkeitsverlust und führen zur Austrocknung. Der Flüssigkeitsbedarf des Körpers steigt an und Haut und Schleimhäute können negativ beeinflusst werden.

Das ist insofern von gesundheitlicher Bedeutung, als im höheren Lebensalter oft ohnehin eine trockene Haut und ein gestörtes Durstgefühl vorliegen. Damit kann sich das Raumklima auch auf den Pflegeaufwand auswirken.

Im Einzelfall kann es daher sinnvoll sein Raumklimamessgeräte (Thermometer, Hygrometer) aufzustellen. Damit lässt sich einfach und pragmatisch das Raumklima überprüfen. Gegebenenfalls kann man sowohl das eigene Verhalten anpassen, als auch entsprechende Überzeugungsarbeit bei den Bewohnerinnen und Bewohnern leisten, so dass das Raumklima möglichst im Komfortbereich liegt und weder zu trocken noch zu warm ist. Auch die Lüftungssituation und soweit vorhanden, die Funktion einer raumlufttechnischen Anlage lassen sich zumindest orientierend überprüfen.

Maßstab allen Handelns muss jedoch die Wahrung und Förderung der Selbständigkeit, Selbstbestimmung und Selbstverantwortung der Bewohnerinnen und Bewohner vollstationärer Pflegeeinrichtungen sein. Lehnen Bewohnerinnen und Bewohner das Lüften ab und / oder bevorzugen sie eine Raumlufttemperatur von 25 °C und mehr, sind diese Wünsche zu respektieren

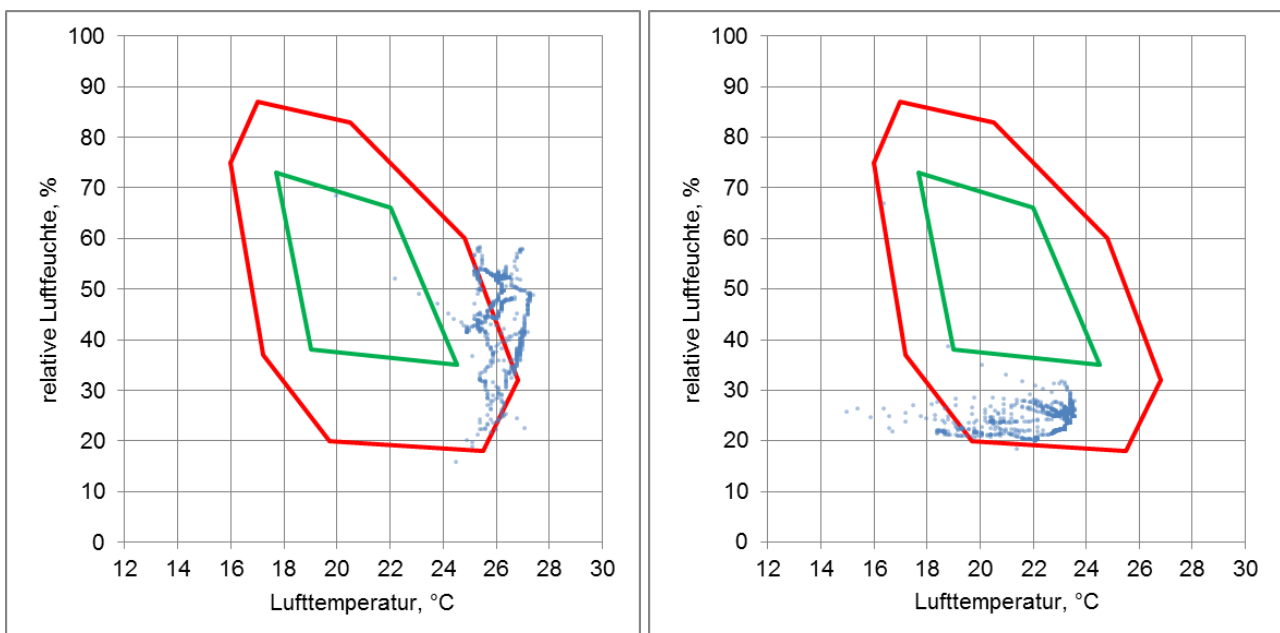


Bild 5: Einordnung der einzelnen Wertepaare zweier exemplarischer Räume nach Pels Leusden und Freymark

8 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Raumluftqualität in 44 Zimmern in Pflegeeinrichtungen wurde hinsichtlich der Belastung mit leicht flüchtigen Verbindungen (VOC) sowie hinsichtlich der Frischluftzufuhr (CO₂) und des Lufttemperatur-Feuchte-Verhältnisses untersucht.

Unter Nutzungsbedingungen waren die VOC-Konzentrationen gering. Die wichtigsten gemessenen VOC-Klassen waren Alkane, Alkohole und Aldehyde. Es wurde lediglich eine Überschreitung des Richtwertes I (Zielwert) für aliphatische Kohlenwasserstoffe festgestellt, sowie eine des Richtwertes I für Alkylaromaten. Bei letzterem war gleichzeitig der Luftwechsel unzureichend. Ferner war in einem Raum der Richtwert I für die Summe der Glykolverbindungen überschritten. Bei der Bewertung der Summenkonzentrationen der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC) anhand des TVOC-Konzeptes fielen 40 von 44 Räumen in die Stufe 1 (hygienisch unbedenklich), die übrigen in Stufe 2 (hygienisch noch unbedenklich).

Der Grenzwert für Formaldehyd wurde in allen Räumen eingehalten.

Die Frischluftzufuhr war allgemein recht gut. ¾ der untersuchten Räume hielten während mehr als 50 % der Zeit den Leitwert I von 1.000 ppm CO₂ ein und überschritten zu keinem Zeitpunkt den Leitwert II von 2.000 ppm. Bei immerhin ¼ der Räume war dies jedoch nicht der Fall, so dass hier Verbesserungen des Lüftungsverhaltens anzustreben sind. Die ungünstigsten Verhältnisse fanden sich in einem Raum mit zusätzlicher technischer Lüftung. Ein ausreichender Luftwechsel senkt auch die VOC-Konzentrationen.

Tendenziell war in vielen der untersuchten Zimmer die Lufttemperatur relativ hoch bei zugleich eher geringer Luftfeuchtigkeit. Dies führt dazu, dass nur 15 der 44

Räume über den jeweiligen Messzeitraum als „behaglich“ im Sinne einer allgemeingültigen Einschätzung bezeichnet werden können, während die übrigen Räume „noch behaglich“ waren. Räume mit der Einstufung „noch behaglich“ sollen allgemein von etwa 10 % der durchschnittlichen Nutzerinnen und Nutzer als unangenehm empfunden werden. Bei vielen älteren Menschen weicht nach den Erfahrungen aus der Praxis das als behaglich empfundene Raumklima vom Rest der Bevölkerung ab. Es ist deshalb zu hinterfragen, ob das allgemeine Behaglichkeitsdiagramm hier übertragbar ist. Wichtig bleibt dabei, dass es in Räumen mit erhöhter Temperatur vermehrt Phasen gibt, in denen das Temperatur-Feuchte-Verhältnis eindeutig als „unbehaglich trocken“ bewertet werden muss.

Es ergeben sich folgende Schlussfolgerungen:

- Die Belastung mit VOC ist nach dieser Untersuchung in Pflegeeinrichtung von nachrangiger Bedeutung. Es ergeben sich keine Empfehlungen mit besonderem Bezug zu Alten- und Pflegeeinrichtungen.
- Die Frischluftzufuhr ist in etwa 25 % der Fälle verbesserungswürdig. Dies kann über angepasstes Lüftungsverhalten mit geringem Aufwand erreicht werden.
- Durch tendenziell hohe Lufttemperatur und geringe Feuchte sind viele Räume nach allgemeinen Kriterien nicht „behaglich“. Hier ist eine Überwachung mit einfachen Thermometern und Hygrometern im Einzelfall sinnvoll. Verbesserungen sind zumindest für die Temperatur häufig ohne besonderen Aufwand möglich.
- Eine Grundlagenforschung zur Übertragbarkeit der allgemeinen Behaglichkeitskriterien und empfohlenen Zimmertemperaturen auf die Bedürfnisse älterer Menschen wird empfohlen.

9 Literatur

- [1] Ministerium für Arbeit, Soziales und Gesundheit des Landes Schleswig-Holstein (2011): Raumluftuntersuchungen in öffentlichen Gebäuden in Schleswig-Holstein. Teil 2: Containerbauten für Schulen und Kindergärten.
- [2] Ministerium für Arbeit, Soziales und Gesundheit des Landes Schleswig-Holstein (2013): Raumluftuntersuchungen in öffentlichen Gebäuden in Schleswig-Holstein. Teil 4: Neubauten für Schulen und Kindergärten.
- [3] UBA, Bekanntmachung des Umweltbundesamtes (2008): Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft. Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz 51, 1358-1369.
- [4] Ministerium für Arbeit, Soziales und Gesundheit des Landes Schleswig-Holstein (2009): Raumluftuntersuchungen in öffentlichen Gebäuden in Schleswig-Holstein. Teil 1: Hintergrundwerte für Schulen und Kindergärten.
- [5] Mølhav L., Nielsen, G. D. (1992): Interpretation and limitations of the concept "total volatile organic compounds" (TVOC) as an indicator of human responses to exposures of volatile organic compounds (VOCs) in indoor air. *Indoor Air* 2, 65-77.
- [6] EU-ECA-WG13 (1996): The use of TVOC as an indicator in IAQ investigations. Report of working Group 13 of European Collaborative Action on Indoor Air Quality and its Impact on Man. JRC, Ispra, Italien.
- [7] Bekanntmachung des Umweltbundesamtes (2007): Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten. Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz 50, 990-1005.
- [8] UBA: Gesundheit und Umwelthygiene. Die Richtwerte I und II.
<http://www.umweltbundesamt.de/gesundheit/innenraumhygiene/richtwerte-irluft.htm>
- [9] Fromme, H. et al. (2008): Raumluftqualität in Schulen - Belastung von Klassenräumen mit Kohlendioxid (CO₂), flüchtigen organischen Verbindungen (VOC), Aldehyden, Endotoxinen und Katzenallergenen, *Gesundheitswesen* 2008; 70: 88-97.
- [10] Stellungnahme des BfR (2006): Toxikologische Bewertung von Formaldehyd, Stellungnahme Nr. 023/2006 vom 30. März 2006
http://www.bfr.bund.de/cm/343/toxikologische_bewertung_von_formaldehyd.pdf
- [11] Pettenkofer, M. von (1858): Besprechung allgemeiner auf die Ventilation bezüglicher Fragen. über den Luftwechsel in Wohngebäuden. J.G. Cotta'sche Buchhandlung, München.
- [12] Myhrvold, A. N., Olsen, E., Lauridsen, O. (1996): Indoor environment in schools - Pupils health and performance in regard to CO₂ concentrations. *Proceedings of the 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate. Indoor Air* 4, 369-374.
- [13] Satish, U. et al. (2012): Is CO₂ an Indoor Pollutant? Direct Effects of Low-to-Moderate CO₂ Concentrations on Human Decision-Making Performance. *Environ Health Perspect* 120, 1671-1677.
- [14] Pels Leusden, F. Freymark, H. (1951): Darstellung der Raumbehaglichkeit für den einfachen praktischen Gebrauch; *Gesundheitsingenieur* 72, Nr.16, 271-27

10 Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei den Bewohnerinnen und Bewohnern für die Zustimmung in ihren Zimmern zu messen. Den Leiterinnen und Leitern sowie den Trägern der Einrichtungen sei gedankt für die Bereitschaft sich an der Studie zu beteiligen. Nicht zuletzt gebührt Dank dem Forum Pflegegesellschaft Schleswig-Holstein, besonders der bpa-Landesgeschäftsstelle Schleswig-Holstein, namentlich Herrn Weißwange, für die Unterstützung bei der Auswahl der Einrichtungen und die wertvollen Hinweise zur Konzeption und Auswertung der Studie.

11 Anhang

Kurzbeschreibung der Labormethode zur VOC-Messung mittels TDS-GC-MS

1. Probenahme:

Die Probenahme erfolgte aktiv durch Adsorption an TENAX® (200 mg in Edelstahlröhrchen). Es wurde eine Membranpumpe mit Massflow Manager der Fa. ANALYT-MTC eingesetzt. Der Volumenstrom betrug 150 ml/min, das Probenahmevervolumen 2 NI.

2. Analyse:

Die Analyse erfolgte nach thermischer Desorption (TDS System KA-D4, Fa. AMA Instruments) und gaschromatographischer Trennung mittels Quadrupol-Massenspektrometer (GC 3800 mit MS 1200L Single Quadrupole, Fa. Varian).

Desorptionsbedingungen Tenax:

Desorptionstemperatur:	300 °C
Desorptionszeit:	5 min
Desorptionssplit:	nein
Fokussiertemperatur KA-Falle:	-100 °C
Probenaufgabebetemperatur KA-Falle:	250 °C
TDS Trap-Port und Transferline:	220 °C

Chromatographische Messbedingungen:

Trennsäule:	Zebron ZB-5MS; 30 m x 0,25 mm ID, 0,5 µm DF, + 5 m Guardian
Trärgas:	Helium, 0,8 bar Vordruck an der TDS Aufgabeeinheit
GC-Temperaturprogramm:	30 °C; 1,5 min isotherm 5,5 °C / min → 120 °C 8 °C / min → 230 °C 25 °C / min → 300 °C; 1,59 min isotherm
Transferline GC-MS:	280 °C
Quellentemperatur:	160 °C
Manifoldtemperatur:	40 °C
MS-Modus:	EI, 70 eV