

Studie über raumklimatische Umgebungsbedingungen in ausgewählten Räumen eines Berliner Mittelstufenzentrums*

Dr.-Ing. J. WEGNER und Ing. G. SCHLÜTER

Aus dem Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes, Berlin

Auf Veranlassung des Bezirksamtes Spandau von Berlin, Abteilung Gesundheitswesen, wurden in dem Mittelstufenzentrum Wilhelmstr. in 1000 Berlin 20, in der Zeit vom 17. bis 27. Juli 1978 raumklimatische, beleuchtungstechnische und akustische Messungen durchgeführt, über die berichtet wird.

Es handelt sich um eines der in den siebziger Jahren in Berlin erstellten 15 Mittelstufenzentren. Ein geschlossener Baukörper von ca. 100 m Länge, ca. 75 m Breite und bis ca. 14 m Höhe enthält in versetzter Form 7 Ebenen, 5 davon für Unterrichts- und Aufenthaltsräume.

Die gewählte Bauform ergibt eine Raumaufteilung, bei der ca. 1/3 aller Arbeits- und Unterrichtsräume im Innenkern liegt und die somit eine mechanische Lüftung und künstliche Beleuchtung benötigt. Mehrere raumluftechnische Anlagen versorgen die verschiedenen Unterrichts- und Aufenthaltsbereiche; bei den Messungen war die jeweilige Anlage eingeschaltet.

Raumklimatische Messungen

Wesentlichste Komponenten für das thermische Wohlbefinden sind die Lufttemperatur t_L , die Temperatur der Raumschließungsflächen t_U , die relative Feuchte der Raumluft φ und die Geschwindigkeit der Luft v_L . Darüber hinaus sind unter dem Aspekt der Hygiene die Erneuerung der Innenraumluft durch einwandfrei beschaffene, ggf. aufbereitete Außenluft (Zuluft) durch Lüftungsmaßnahmen sicherzustellen. Als Kriterien für die Lüftung können der Luftwechsel n , der pro Stunde zugeführte Luftvolumenstrom bzw. auch der Verlauf der CO_2 -Konzentration in belegten Räumen herangezogen werden. Außerdem ist auf das Freisein der Luft von Gerüchen, die nur teilweise objektiv meßbar sind, zu achten.

* Herr Prof. Dr.-Ing. F. Roedler zum 70. Geburtstag gewidmet.

Beleuchtungstechnische Messungen

Lichttechnische bzw. beleuchtungstechnische Gütekriterien sollten für Tageslicht und künstliches Licht getrennt betrachtet werden.

Bei der Nutzung des Tageslichtes durch Seitenfenster – sofern solche vorhanden sind – kommt es aus psychophysischen Gründen auf die hinreichende Ausblickmöglichkeit ins Freie, auf die Helligkeit und deren natürliche Schwankungen im Außen- und Innenbereich, sowie auf die absolute Höhe der Beleuchtung durch Tageslicht an. Maßgebend hierfür ist DIN 5034 „Innenraumbeleuchtung mit Tageslicht“.

Durch die künstliche Beleuchtung muß im wesentlichen die Beleuchtungsstärke auf der Arbeitsebene sichergestellt werden, die für die jeweilige Sehaufgabe notwendig ist. Gleichzeitig sind die übrigen in DIN 5035 („Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht“) fixierten Güteanforderungen (u. a. Blendungsfreiheit, Lichtfarbe und Farbwiedergabe) zu erfüllen.

Akustische Messungen

Akustische Messungen und Bewertungen wurden nur im Hinblick auf die durch Lüftungskanäle über die Zuluft- bzw. Abluftgitter in den Unterrichtsräumen erzeugten Schallpegel durchgeführt.

Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die untersuchten Räume, ihre Nutzung und Größe.

Tabelle 1. Übersicht.

Nr.	Schulgebäude-Raum Nr.	Raumart	Grundfläche in m ²	Volumen in m ³
1	1.06.30	Lehrerstation	87	252
2	3.13.04	Sekretariat	62	180
3	3.04.01	Computerraum	41	120
4	5.02.33	Lehrerstation	24	72
5	3.04.31	Lehrerstation	58	168
6	4.05.10	AV-Medienzentrale	12	100
7	5.02.31	Lehrerstation	50	143
8	5.02.03	Unterrichtsraum	73	213
9	5.02.06	Unterrichtsraum	58	168
10	5.02.01/02	Unterrichtsraum	85	244

Raumklima

Um einen möglichst effektiven Einsatz der für die Raumklimamessungen zur Verfügung stehenden 6 Thermohygrografen, eines „12-Punkt-druckers“ für die verschiedensten Temperaturen und der direkt anzeigenden Meßgeräte zu erzielen, wurden für die Untersuchungen solche Räume ausgesucht, die einerseits beispielhaft für ihre Lage, andererseits in bezug auf die mehr oder weniger nicht zufriedenstellende Raumluft bzw. das Raumklima als typisch seitens der Nutzer angesehen wurden. Tab. 2 zeigt die mit Thermohygrografen untersuchten Räume sowie die dort festgestellten Temperaturen der Luft.

Tabelle 2. Lufttemperaturen.

Raum-Nr.	Raumzweck	Ebene	Temperatur in °C in der Zeit vom 17.7. bis 24.7.1978		
			tiefste	höchste	mittl.
1	Lehrerstation	-2,10 m	20,5	22,3	21,4
2	Sekretariat	+2,10 m	21,2	24,0	22,6
3	Computerraum	+2,10 m	18,5	21,8	20,2
4	Lehrerstation	+6,30 m	20,7	23,0	21,9
5	Lehrerstation	+2,10 m	20,5	22,5	21,5
6	AV-Medienzentrale	+4,20 m	19,0	24,5	21,8

Im Mittel der 6 Räume betrug die tiefste Lufttemperatur 20,1°C, die höchste 23,0°C bei einem Mittel von 21,6°C. Die tiefste Außenlufttemperatur betrug während der Meßzeit 8,5°C bei $\varphi \approx 100\%$, die höchste 23,0°C bei $\varphi \approx 32\%$.

Die relative Feuchte lag in den sogenannten Räumen – je nach Lufttemperatur – zwischen 35 und rd. 60%. Die Registrierungen wurden häufig mit einem Aspirations-Psychrometer überprüft. Darüber hinaus wurden ambulant mit diesem Psychrometer und einem Hitzdrahtanemometer in mehreren Unterrichtsräumen stichprobenartig Messungen der Lufttemperatur, der relativen Luftfeuchte und der Luftgeschwindigkeit durchgeführt. Alle Temperatur- und Feuchte-werte lagen gleichfalls in dem Bereich der Werte der vorstehend genannten Räume.

Es sei hinzugefügt, daß die ursprünglich vorgesehene Absicht, die Thermohygrografen auch in Unterrichtsräumen aufzustellen auf dringendes Anraten wegen der Gefahr der Zerstörung fallengelassen wurde.

Zur Registrierung des Temperaturverlaufs in dem fensterlosen Unterrichtsraum Nr. 8 wurden Thermoelemente verwendet, die in der unmittelbar daneben befindlichen Lehrerstation Nr. 7 an einen „12-Punkt-drucker“ angeschlossen waren. Die Meßstellen waren gemäß Tab. 3 verteilt; die Lufttemperaturverläufe für 3 Tage, ergänzt durch die Außenlufttemperatur, zeigt Tab. 4.

Tabelle 3. Temperatur-Meßstellen.

Raum	Stelle im Raum
7	Raummitte, ca. 1,5 m über dem Fußboden
..	Raummitte, ca. 0,3 m unter der Decke
..	Raummitte, Sitzhöhe Lehrertplatz
..	Zuluftöffnung (Decke)
..	Zuluftöffnung (Decke)
..	Abluftspalt (Decke)
..	5 cm über dem Fußboden
8	1,5 m über dem Fußboden am Schülerplatz
..	2,5 m über dem Fußboden am Schülerplatz
..	Raummitte, 2 m über dem Fußboden
..	1,7 m über dem Schülerplatz
..	1,0 m über dem Fußboden (Mitte Schülertisch)

Die an repräsentativen Stellen erfaßten Oberflächentemperaturen lagen im Bereich der Raumlufttemperaturen.

Alle während der Meßdauer in dem Unterrichtsraum Nr. 8 und der Lehrerstation Nr. 7 erfaßten Luft- und Raumschließungsflächentemperaturen, die für den Aufenthalt von Schülern bzw. Lehrern maßgebend sind, lagen im Bereich

Tabelle 4. Lufttemperaturen.

Datum/Uhrzeit	Außenluft-temp. in °C	Zuluft-temp. in °C Raum 7	Mittelder Raumlufttemp. in °C Raum		Abluft-temp. in °C Raum 7
			7	8	
18.7.78/15.00	21,0	19,0	21,4	21,8	21,6
18.00	20,5	19,2	21,4	21,9	21,6
21.00	18,0	22,5	21,9	22,3	22,4
24.00	16,5	21,5	21,8	21,9	21,8
19.7.78/ 3.00	13,5	21,5	22,0	21,9	21,8
6.00	13,5	18,6	21,3	21,2	20,8
9.00	13,5	17,3	20,5	20,5	20,3
12.00	17,5	18,4	21,0	22,9	21,1
15.00	16,5	18,5	21,0	21,4	21,0
18.00	16,5	19,2	21,0	21,5	21,0
21.00	14,0	19,0	20,6	20,6	20,4
24.00	13,0	20,8	21,1	21,0	21,0
20.7.78/ 3.00	13,0	21,0	21,4	21,2	21,3
6.00	12,5	18,5	20,7	20,8	20,5
9.00	14,5	19,1	20,7	22,8	21,0
12.00	16,7	19,5	21,4	21,6	21,8
15.00	15,5	19,2	21,1	21,1	21,4
18.00	13,5	18,7	20,6	20,9	20,7
21.00	13,0	19,2	20,5	20,8	20,5
24.00	12,8	20,5	21,0	20,8	20,8

der als thermisch behaglich geltenden Werte. Dabei ist berücksichtigt, daß die in diesen Räumen in der Aufenthaltszone an den Sitzplätzen in Kopfhöhe gemessenen Luftgeschwindigkeiten zwischen 5 und 10 cm/s betragen. Die höchsten Luftgeschwindigkeiten für den Bereich der Aufenthaltszone wurden in dem Raum Nr. 9 mit 10 bis 15 cm/s gemessen. Auch diese Werte liegen unter Berücksichtigung der Lufttemperatur im Bereich der thermischen Behaglichkeit.

Luftwechselfmessungen

In folgenden Räumen wurden Luftwechselfmessungen durchgeführt:

- Unterrichtsraum Nr. 8, Volumen ca. 213 m³
- Lehrerstation Nr. 7, Volumen ca. 143 m³
- Unterrichtsraum Nr. 10, Volumen ca. 244 m³

Zur Messung der Luftwechselzahl n wurde die gesamte Raumluft gleichmäßig mit Stickoxidul (N₂O, Lachgas) angereichert und die Konzentrationsabnahme dieses Testgases als Funktion der Zeit mit einem Infrarot-Gasanalysengerät bestimmt.

Ergebnisse:

Luftwechsel n	Raum Nr. 8	Raum Nr. 8 (Wiederholung)	Raum Nr. 10	Raum Nr. 7	Raum Nr. 7 (Wiederholung)
1/h	9,5	9,6	6,0	7,6	7,2

Die Wiederholungsmessungen dienen der Klärung der Frage, ob die „Durchlüftung“ des Raumes auch in der Aufenthaltszone durch die Lüftungstechnische Anlage gesichert wird. Diese Frage kann positiv beantwortet werden, weil die

Luftwechselfmessung sowohl mit als auch ohne zusätzliche Luftverwirbelung durchgeführt wurde und die Meßergebnisse dabei gut übereinstimmen. Darüber hinaus wurde durch Rauchröhrchen bestätigt, daß kein Kurzschluß des Luftvolumenstromes zwischen Zuluft- und Abluftöffnung gegeben ist.

Die Luftgeschwindigkeit, gemessen mit einem Hitzdrahtanemometer, betrug direkt an den Schlitzen der Zuluftanemostate einiger Räume zwischen 0,5 und 1,5 m/s; im Mittel etwa 1 m/s.

Im Unterrichtsraum Nr. 8 wurde der CO₂-Konzentrationsverlauf bei Belegung durch eine Schulklasse mit einem CO₂-Infrarot-Gasanalysengerät ermittelt.

Bei einer CO₂-Konzentration im Freien von ca. 0,035 Vol.-% stieg der CO₂-Pegel im besetzten Raum auf maximal 0,065 Vol.-% an und lag damit deutlich unter dem als hygienischen Grenzwert anzusehenden Wert von 0,15 Vol.-%. Der gemessene CO₂-Wert stimmte übrigens gut mit dem rechnerisch aus dem Raumvolumen, der Luftwechselzahl, der Personenzahl (20 l CO₂/h · Pers.) und der Zeit bestimmbareren Wert überein.

Andere Feststellungen zur Lüfthygiene

Die in der Schule beschäftigten haben auf den mehr oder weniger häufig nicht einwandfreien neutralen Geruch der Raumluft in den Aufenthaltsräumen der Schule hingewiesen. Da die vorstehend ermittelten thermischen bzw. raumklimatischen Gegebenheiten infolge des Luftwechsels diese Feststellungen nicht zufriedenstellend erklären konnten – die Lüftungstechnische Anlage wurde allerdings mit einem nennenswerten Umluftanteil betrieben – wurde stichprobenartig an verschiedenen Stellen die abgehängte Unterdecke durch Herausnehmen von Deckenplatten geöffnet. Dabei zeigte sich teilweise sowohl ein starker Unterdruck in der Zwischendecke (Rauchröhrchenversuche!) in bezug auf den Klassenraum als auch eine recht „unsaubere“ Verlegung der Glas- bzw. Steinwolleplatten auf den als Zwischendecke dienenden Lochplatten. Hierdurch wird unkontrolliert Luft an der Decke abgesaugt, die andernorts unkontrolliert in andere Räume mit anderen Druckverhältnissen gelangen kann. Darüber hinaus deutete die Art der Verlegung der Luftkanäle darauf hin – was durch Rauchröhrchenversuche bestätigt wurde –, daß mit undichten bzw. fehlenden Anschlüssen der Kanäle an den Mischerkästen und/oder den Abluftleuchten gerechnet werden muß.

Eine Ausbreitung schlechter Gerüche von einem Raum in andere ist deshalb bei dem vorgefundenen Anlagenzustand unausbleiblich!

Im übrigen zeigte eine Besichtigung der auf dem Dach befindlichen Luftaufbereitungskammern teilweise sehr stark verstaubte Filter, und zwar in einem Falle wegen eines defekten Motors für den Filtertransport.

Beleuchtung

In dieser Arbeit wird nicht auf die umfangreiche Problematik fensterloser bzw. fensterarmer Unterrichtsräume einge-

gangen, weil Untersuchungen hierzu den vorgesehenen Rahmen der Studie sprengen würden [1, 2]. Es muß jedoch auf den Zusammenhang hingewiesen werden, daß innenliegende Räume, die weder Tageslicht durch Seitenfenster erhalten noch einen Ausblick ins Freie ermöglichen, die Notwendigkeit einer unbedingt zuverlässigen raumlufttechnischen Anlage nach sich ziehen.

Zur künstlichen Beleuchtung der untersuchten Räume dienten in der Unterdecke eingebaute Abluftleuchten, bestückt mit je 2 Leuchtstofflampen 42 W, Lichtfarbe 25. Im Unterrichtsraum Nr. 8 waren 24 Leuchten installiert. Die unter den vorgefundenen Betriebsbedingungen mit einem cosinusgetreu, $V(\lambda)$ – angepaßten Silizium-Photoelement gemessenen Beleuchtungsstärken betragen auf der Arbeitsebene (Tischfläche) zwischen 460 lx und 600 lx mit einer mittleren Beleuchtungsstärke von 530 lx.

In der Lehrerstation Nr. 7 betrug die Beleuchtungsstärke durch die Allgemeinbeleuchtung auf der Mitteltischebene zwischen 505 lx und 540 lx; auf der Ebene der Einzelplätze (unter den dort vorhandenen Vorbauten) 230 lx bis 270 lx. Bei Betrieb der installierten Arbeitsplatzleuchten betrug dort die Beleuchtungsstärke 600 lx bis 630 lx.

Alle Beleuchtungsstärken erfüllten somit sicher die Anforderungen der DIN 5035 hinsichtlich der Nennbeleuchtungsstärken (noch gültige Ausgabe: Januar 1972), nach denen der Wert 500 lx für Unterrichtsräume besonders empfohlen wird; als zulässiger Mindestwert kann jedoch z. Z. noch eine Beleuchtungsstärke von 250 lx angesehen werden. Andere Prüfungen relevanter Gütemerkmale der Beleuchtung erschienen nicht notwendig.

Schalltechnische Messungen

Der durch die Zuluft- bzw. Abluft hervorgerufene Schallpegel wurde in 1,5 m über dem Fußboden unbesetzter Räume (wegen der sonst unvermeidbaren Neben- und Störgeräusche) gemessen; siehe *Tab. 5*.

Tabelle 5. Schallpegel.

Frequenzbereich Hz	Raum Nr. 7 dB	Raum Nr. 4 dB	Raum Nr. 3 dB	Raum Nr. 9	Raum Nr. 8 dB
31,5	60/66	65/74	62/65	/	60/65
63	50/54	50/54	52/56		52/55
125	50/52	52/55	56		48/51
250	43/46	46/48	46/48		42/44
500	38/40	45/46	40		37/39
1000	37/40	44/45	36/38		38/39
2000	32	42/43	34/35		34/35
4000	28/29	39	33/34		33/34
8000	24	38	27/28		30
16000	< 20	30	<20		~20
Gesamt dB (A)	42/43	49/50	45/46	44/45	43/44

Die Schallpegel liegen höher als die entsprechend VDI 2081 zulässigen (35...40 dB (A) für Hörsäle, Lehrräume).

Schlußfolgerung

Alle während der Meßtage erfaßten Lufttemperaturen, Luftfeuchten und Luftgeschwindigkeiten lagen voll im Bereich der allgemein als behaglich geltenden Werte der thermischen Raumklimakomponenten. Der Luftwechsel bei Betrieb der Lüftungstechnischen Anlage ist ausreichend; auch der CO₂-Pegel lag in einem voll besetzten Unterrichtsraum mit 0,065 Vol.-% weit unter dem als hygienischen Grenzwert anzusehenden Wert von 0,15 Vol.-%.

Im Gegensatz dazu stehen offenbar berechtigte Beschwerden über die schlechte Luftbeschaffenheit (Gerüche!). Dies ist auf zahlreiche bei den Untersuchungen erkannte Undichtigkeiten in der Verbindung Aufenthaltsraum/Zwischendecke, auf nachgewiesene undichte Kanalanschlüsse, z. B. an den Abluftleuchten, sowie auf den nennenswerten Umluftbetrieb und die unzulängliche Reinigung der Luft zurückzuführen.

Neben der Behebung dieser Mängel sollte geprüft werden, inwieweit im Sommer in Abhängigkeit von den Außenlufttemperaturen/-feuchten auf den Umluftbetrieb verzichtet werden kann.

Sieht man von dem Fehlen der Seitenfenster und der daraus resultierenden psycho-physisch bedingten Problematik innenliegender Räume ab, können die durch die künstliche Beleuchtung erzeugten Sehbedingungen (mittlere Beleuchtungsstärke in einem Klassenraum 530 lx) als gut bezeichnet werden.

Die durch die Lüftungstechnische Anlage erzeugten Schallpegel liegen z. T. erheblich über den nach VDI 2081 zulässigen Grenzwerten.

Die vorstehend genannten Ausführungen deuten daraufhin, daß unter Zugrundelegung der für die Raumlufttemperatur, die relative Luftfeuchte, den Luftwechsel und die Beleuchtungsstärke ermittelten Werte in dem untersuchten Mittelstufenzentrum für Schüler und Lehrer die Grenze des Zumutbaren nicht überschritten wird, wenn auch mit Geruchs- und Geräuschbelastigungen gerechnet werden muß und die grundsätzlichen psycho-hygienischen Bedenken gegen fensterlose Unterrichtsräume fortbestehen [1].

Literatur

- [1] *Jacob, W.*: Schulplanung als Gesundheitsvorsorge für das Schulkind. *Ges.-Ing.* 94 (1973), H.2, S. 33–37.
- [2] *Roedler, F.*: Zur Problematik fensterloser Räume. *Bundesgesundheitsbl.*, 1970, Nr. 20, S. 269–276.

Anschrift d. Verf.: *Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes, 1000 Berlin 33.*