

- International Journal of Bioclimatology and Biometeorology, Vol. III, 1959, Part IV, Section A4, 21 p.
- Svorad D. and Wellnerová J.*: Temperature and Air Humidity as Factors Influencing Sleep and Wakefulness. International Journal of Bioclimatology and Biometeorology, Vol. III, 1959, Part IV, Section B2, 4 p.
- Wenzel H. G.*: Der Einfluß verschiedener Kombinationen von Umgebungstemperatur und Luftfeuchtigkeit auf einige physiologische Reaktionen des Menschen bei körperlicher Arbeit. Conférence tenue au 3ème Congrès de la Société Internationale de Biométéorologie, Pau 1963.

Adresse de l'auteur: *B. Primault*, Dr. Ing. Institut suisse de Météorologie, ISM, Krähbühlstraße 58, 8044 Zürich.

Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie der Eidg. Technischen Hochschule, Zürich  
Direktor: Prof. Dr. med. E. Grandjean

## Das Raumklima in der Schule

*Etienne Grandjean*

### *Zusammenfassung*

Auf Grund der heutigen Kenntnisse können folgende physiologische Forderungen an das Raumklima in Schulen gestellt werden:

1. Im Winter sollen sich die Temperaturen der Luft zwischen 20 und 22°C bewegen.
2. Die relative Feuchtigkeit sollte sich zwischen 40 und 50% bewegen; Werte unter 30% führen zu Austrocknungerscheinungen in den Atemwegen.
3. Die Durchschnittstemperatur der Umschließungsflächen sollte von der gleichen Größenordnung sein wie die Lufttemperatur. Abweichungen von mehr als 2°C sollten vermieden werden.
4. Die Schulzimmer sollten so bemessen werden, daß pro Schüler eine genügende Luftreserve bleibt. Pro Schüler (inkl. Lehrer) wird ein Rauminhalt von 8 m<sup>3</sup> vorgeschlagen. Bei dieser Dimensionierung würde ein vierfacher Luftwechsel pro Stunde eine Frischluftzufuhr von 30 m<sup>3</sup> pro Person und Stunde gewährleisten, was mit einer Querlüftung gesichert werden könnte.

### *Résumé*

Sur la base des connaissances actuelles on peut formuler les exigences physiologiques suivantes au climat des salles d'école:

1. Les températures de l'air doivent se situer entre 20 et 22 degrés en hiver.
2. L'humidité relative doit atteindre 40 à 50%; des valeurs inférieures à 30% provoquent des symptômes de dessèchement dans les voies respiratoires.
3. La température moyenne des surfaces environnantes doit être du même ordre de grandeur que la température de l'air. Des déviations de plus de 2 degrés sont à éviter.
4. Les dimensions des salles d'école doivent assurer à chaque élève une réserve d'air suffisante. Il faut prévoir un volume de 8 m<sup>3</sup> par personne (y compris l'instituteur). Sur la base de ce calcul, on obtient un renouvellement de l'air (4 fois par heure) de 30 m<sup>3</sup> par personne et par heure. Ce renouvellement devrait s'effectuer par une aération transversale.

## **Die Bedeutung der klimatischen Behaglichkeit**

Ein Raumklima, das der Mensch als behaglich empfindet, ist die notwendige Voraussetzung für die Erhaltung der Gesundheit und der vollen Leistungsfähigkeit.

Das Gefühl der Unbehaglichkeit ist eine sinnvolle biologische Regulation: Sie soll den Menschen oder das Tier veranlassen, die notwendigen Maßnahmen zur Wiederherstellung eines gestörten Gleichgewichtes im Wärmehaushalt zu treffen. Das Tier wird in erster Linie veranlaßt, einen Ort aufzusuchen, an welchem es weder einer Abkühlung noch einer übermäßigen Erwärmung ausgesetzt ist; der Mensch dagegen trachtet durch Anpassung der Kleidung und der Tätigkeit, sowie durch die Verwendung der gegebenen technischen Möglichkeiten, seinen gestörten Wärmehaushalt wieder ins Gleichgewicht zu bringen. Das Unbehaglichkeitsgefühl kann sich von der Belästigung bis zur Qual steigern, je nach Ausmaß der Störung des Wärmehaushaltes.

Zahlreiche physiologische Untersuchungen haben gezeigt, daß ein Abweichen von einem behaglichen Raumklima nicht nur ein unangenehmes Gefühl der Lästigkeit, sondern auch eine Herabsetzung der Leistungsfähigkeit physiologischer Funktionen bewirkt. Sind die Raumtemperaturen zu hoch, dann wird der Schüler schläfrig und verliert die Arbeitslust. Sind umgekehrt die Temperaturen zu niedrig, so wird er von einem gewissen Bewegungsdrang erfaßt, wobei die Aufmerksamkeit abnimmt. So führen unbehagliche klimatische Bedingungen zu einer Einbuße der Leistungsfähigkeit und zu einer Erhöhung der Fehlleistungen.

Die Forderung nach einem behaglichen Klima im Schulraum ist daher kein Streben nach unnötigem Luxus, sondern die Voraussetzung für eine uneinträchtigte Leistungsfähigkeit.

## **Die entscheidenden raumklimatischen Faktoren**

Eine ausgeglichene Wärmebilanz des menschlichen Körpers ist die notwendige Voraussetzung für das Behaglichkeitsgefühl. Der Wärmehaushalt – und damit auch die Behaglichkeit – hängt ab von

- der Temperatur der Luft
- den Temperaturen der umgebenden Wände und Gegenstände (Strahlungswärme)
- der relativen Feuchtigkeit der Luft
- dem Ausmaß der Luftbewegung.

Die vier Faktoren müssen in bestimmten Beziehungen zueinander stehen, damit ein behagliches Raumklima gewährleistet ist. Der klimatische Bereich, innerhalb dessen sich die meisten Menschen behaglich fühlen, wird Behaglichkeitszone genannt.

Im folgenden seien die für die Behaglichkeit entscheidenden Wechselbeziehungen zwischen Lufttemperatur und jedem der drei andern Faktoren kurz behandelt.

### *Luftfeuchtigkeit und Behaglichkeit*

Physiologische Untersuchungen haben gezeigt, daß bei abnehmender relativer Feuchtigkeit die Lufttemperaturen sukzessive erhöht werden müssen, um ein gleiches Temperaturempfinden beizubehalten. In *Tabelle 1* sind die von mir [1, 2] geschätzten Behaglichkeitswerte, die für schweizerische Bedingungen Gültigkeit haben, zusammengestellt.

Bei relativer Feuchtigkeit von:	70%	50%	30%
sind Lufttemperaturen behaglich zwischen	19–21° C	20–22° C	21–23° C

Tabelle 1 Geschätzte Behaglichkeitswerte für schweizerische Verhältnisse im Winter

Dazu seien noch folgende Bemerkungen gemacht:

a) Die Behaglichkeitstemperaturen haben in den letzten Jahrzehnten eine ständige Tendenz zur Erhöhung gezeigt (andere Bekleidungs- und Ernährungssitten!). Deshalb sind die hier aufgeführten Werte etwas höher als in früheren Publikationen [1, 2].

b) Wegen der individuellen Verschiedenartigkeit physiologischer Empfindlichkeiten kann kein Behaglichkeitswert festgelegt werden, bei welchem sich ausnahmslos alle Menschen behaglich fühlen. Von den oben angegebenen Temperaturbereichen darf angenommen werden, daß sie für schweizerische Verhältnisse im Winter von 80 bis 90% der Raumbenützer als behaglich empfunden werden.

c) Je kälter das Außenklima ist, um so höher sind die Behaglichkeitstemperaturen von Wohn- und Arbeitsräumen. (Verhältnismäßig großes Wärmedefizit in den peripheren Partien des Körpers, das im Raumklima wieder gedeckt werden muß!) Man wird sich deshalb in der kältesten Jahreszeit und in den Bergen mit Vorteil an die oberen Grenzen der Behaglichkeitszonen halten.

d) Untersuchungen über behagliche Temperaturen bei Jugendlichen in Schulen sind meines Wissens nicht gemacht worden. Man darf jedoch aus allgemeinen physiologischen Kenntnissen ableiten, daß Jugendliche kaum wesentlich andere Klimabedingungen erfordern als Erwachsene. Jugendliche

haben zwar geringere Fettpolster unter der Haut und sind somit weniger isoliert; dieser Umstand dürfte teilweise kompensiert sein durch die höhere Wärmeproduktion, die durch ihre größere Lebhaftigkeit bewirkt wird. Ferner ist zu bedenken, daß sich die Schüler in den Schulpausen bewegen können. Wenn sie nach der Pause mit einer gesteigerten Wärmeproduktion in das Schulzimmer zurückkehren, wird es sinnvoll sein, wenn in diesem Augenblick die Raumtemperatur etwas niedriger ist. Dies dürfte im Winter durch die Pausenlüftung in der Regel der Fall sein.

### *Luftbewegung*

Luftbewegungen entziehen dem Körper Wärme durch Konvektion und beeinflussen dementsprechend den Wärmehaushalt des Menschen. Während beim Gehen oder bei körperlicher Arbeit die Luftbewegungen im allgemeinen nicht belästigen, werden sie vom ruhenden Menschen und vor allem bei sitzender Arbeitsweise leicht als unbehaglich empfunden. Die meisten Hygieniker fordern für Räume, wo sitzend gearbeitet wird,

*eine höchstzulässige Luftbewegung von 0,2 m/s.*

### *Temperaturen der Umschließungsflächen*

Da unter normalen Bedingungen der menschliche Körper in einem Raum die Hälfte bis zwei Drittel seiner überschüssigen Wärme durch Strahlung an die umgebenden Flächen und Gegenstände abgibt, ist es verständlich, daß die Oberflächentemperaturen der Umschließungsflächen (Wände, Decke, Boden, Fenster) einen entscheidenden Einfluß auf den Wärmehaushalt der Raumbenützer haben.

Es sind mehrere Instrumente und Maßstäbe entwickelt worden, um die Wärmeabstrahlung des menschlichen Körpers in einem Raum zu messen. Mit diesen Methoden sind auch physiologische Untersuchungen durchgeführt worden, aus denen im wesentlichen hervorging, daß das Temperaturempfinden des Menschen ungefähr in gleichem Maße von den durchschnittlichen Wandtemperaturen wie von den Lufttemperaturen beeinflusst wird. Man kann aus diesen Untersuchungen für die Praxis ableiten, daß das Temperaturempfinden gleich dem Durchschnittswert aus Wand- und Lufttemperatur ist. Die nachstehende Formel dürfte in erster Annäherung der physiologischen Wirklichkeit nahekommen:

$$\text{Temperaturempfinden} = \frac{T_L + T_W}{2}$$

$T_L$  = Trockentemperatur der Luft

$T_W$  = durchschnittliche Oberflächentemperatur der umgebenden Wände und größeren Flächen.

Die Erfahrung zeigt, daß sich der Mensch in einem Raum am behaglichsten fühlt, wenn der Durchschnittswert der Temperaturen der Umschließungsflächen von der gleichen Größenordnung ist wie die Lufttemperaturen. Abweichungen von mehr als 2°C sollten vermieden werden, da sie bereits Korrekturen der Lufttemperaturen erfordern, die nicht für alle Raumbenutzer angenehm sind.

Aus diesem Grunde sind auch großflächige Fenster fragwürdig, da die Schüler, die fensternahe sitzen, viel Wärme durch Strahlung an die kalten Flächen abgeben und deshalb höhere Lufttemperaturen benötigen als die andern Schüler.

### **Radiatoren- oder Deckenheizung**

In den letzten Jahrzehnten haben die Deckenheizungen zunehmende Verbreitung erfahren. Bei diesen Heizsystemen wird der größte Teil der Wärme von der Decke durch Strahlung in den Raum abgegeben. Dabei erwärmen sich zunächst die Umschließungsflächen und Möbel, während die Luft erst sekundär durch Konvektion eine Temperaturerhöhung erfährt. Diese Systeme sind verhältnismäßig träge; neuere, besonders in Büros verwendete heruntergehängte Deckenheizungen sind allerdings leichter und schneller zu steuern als die ursprünglich einbetonierten Heizungen.

Im Winter 1964/65 haben wir [3] in 168 Büroräumen, die mit verschiedenen Heizungssystemen versehen waren, raumklimatische Messungen ausgeführt und gleichzeitig 410 Raumbenutzer über ihre Empfindungen und Erfahrungen befragt. Die wichtigsten Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Ungeachtet der Heizungssysteme wurden mehrheitlich hohe Lufttemperaturen festgestellt (mehr als die Hälfte über 22°C).
2. Entsprechend den hohen Lufttemperaturen wurden auch mehrheitlich sehr niedrige relative Feuchtigkeiten gemessen (in mehr als der Hälfte der Fälle weniger als 30%).
3. Ungeachtet der Heizungssysteme wurde in der Mehrheit der Fälle die Luft als zu trocken und zu ungefähr einem Drittel als zu warm empfunden. Temperaturen zwischen 20 und 23°C wurden am häufigsten als angenehm bezeichnet.
4. Die überwiegende Mehrheit der Befragten lehnte Deckenheizungen ab. Die dafür vorgebrachten Argumente «zu trockene» Luft oder «Wärme von oben» waren objektiv nicht begründet, und die Ablehnung dürfte vorwiegend gefühlsmäßiger Natur gewesen sein.

Ronge [4] führte 1955 eine Umfrage in neuen Schulhäusern der Bundesrepublik durch, um einen Einblick in die Erfahrungen mit neuen Installationen und neuartigen Konstruktionen zu erhalten. Dabei stellte die Autorin auch die

Frage nach den Erfahrungen mit Deckenheizungssystemen. Sechs der befragten Schulen hatten Deckenheizungen (3 ausschließlich und 3 in Verbindung mit andern Heizsystemen). Die Antworten fielen sehr zugunsten der Deckenheizungen aus. Sie seien nicht teurer als andere Heizungen und bewirkten ein angenehmes und behagliches Raumklima.

Aus einer kürzlich erschienenen Publikation von *Reiher und Frank* [5] geht hervor, daß bei heruntergehängten Deckenheizungen das Raumklima als ausgesprochen günstig zu bezeichnen sei, da die Temperaturen der Luft und der Wände den heutigen Anforderungen eher gerecht werden als in Räumen mit Radiatorenheizungen.

Aus all diesen Untersuchungen müssen wir den Schluß ziehen, daß die Frage nach den Auswirkungen der Deckenheizungen auf das Wohlbefinden der Schüler und Lehrer noch offen ist und weiterer Abklärung bedarf.

### **Die Lufttrockenheit in der Heizperiode und ihre Bedeutung für die Gesundheit**

Wenn im Winter die kalte Außenluft mit ihrem verhältnismäßig niedrigen Feuchtigkeitsgehalt im Innern der Gebäude um 10 bis 20°C erwärmt wird, dann kommt es zu einem erheblichen Abfall der relativen Feuchtigkeit. Im Rahmen der oben erwähnten Untersuchung [3] haben wir in mehr als der Hälfte der Räume relative Feuchtigkeiten von weniger als 30% gemessen. Sicher würde man auch in Schulräumen vielfach zu niedrige Werte finden. Die moderne Hygiene empfiehlt Werte zwischen 40 und 50%, wobei eine Unterschreitung von 30% wegen der Austrocknung der Atemwege vermieden werden sollte.

Früher glaubte man allgemein, daß die Erkältungskrankheiten in erster Linie durch die kalte Luft und die Abkühlung des Körpers verursacht werden. In neuerer Zeit tendieren die Fachärzte für Nasen- und Halskrankheiten dazu, weniger die Abkühlung als vielmehr die Trockenheit der Luft in geheizten Räumen als die wichtigste äußere Ursache für das gehäufte Auftreten von Erkältungskrankheiten im Winter zu betrachten. Sie begründen diese Auffassung mit den Beobachtungen über charakteristische Austrocknungserscheinungen in den Schleimhäuten der oberen Luftwege. Tatsächlich führt die starke Lufttrockenheit im Winter zur Eindickung des Schleims in den Atemwegen mit Bildung klebriger Massen, die die Beweglichkeit der Flimmerhaare und das ganze «Selbstreinigungsvermögen» der Atemwege in Nase, Rachen und Luftröhre beeinträchtigt. Hier finden die Erreger der Erkältungskrankheiten einen günstigen Boden und lösen die entzündlichen Erscheinungen aus, welche alle Arten von Erkältungskrankheiten begleiten. Diese Auffassungen werden durch die Untersuchungen von *Ritzel* (siehe dieses Heft) bestätigt.

## Luftbedarf und Lüftung

In jedem Schulraum wird die Luft in erster Linie durch die anwesenden Raumbenützer «verdorben». Ein entscheidender Faktor ist die Ausdünstung und Verbreitung der menschlichen Gerüche, welche bereits bei kleinsten Konzentrationen zu Unlustgefühlen und Abneigung und zu einer Herabsetzung des Wohlbefindens führen. Im Vergleich zu den menschlichen Gerüchen spielen die andern Faktoren, wie zum Beispiel der Sauerstoffverbrauch, die Erwärmung oder die Kohlensäureproduktion, nur eine untergeordnete Rolle. Systematische Untersuchungen haben gezeigt, mit welchem Lüftungsbedarf bei verschiedenen dicht belegten Räumen gerechnet werden muß, damit ein gewisser, noch zumutbarer Grenzwert an Gerüchen nicht überschritten werde (*Abbildung 1*).

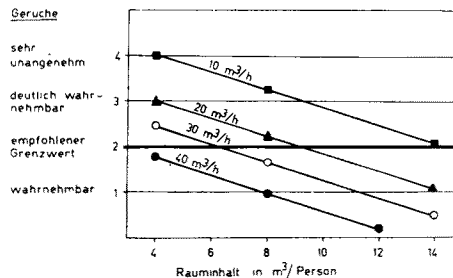


Abb. 1 Richtlinien für den Luftbedarf von Aufenthaltsräumen

Amerikanische Untersuchungen von *Yaglou* [6] haben ergeben, daß Schulkinder stärkere Gerüche bilden als Erwachsene und daß der Lüftungsbedarf von Schulräumen groß ist. Nach diesem Autor ist der Frischluftbedarf von Schulkindern wie folgt zu veranschlagen:

Bei Luftraum von m³/Kind	Frischluftzufuhr von m³/Kind/h
2,8	48
5,6	36
8,4	30
14,0	18

Der Frischluftbedarf ist um so größer, je kleiner der Luftraum pro Kind bemessen ist. Wir können mit andern Worten sagen, daß eine ausreichende Lüftung um so schwieriger wird, je stärker die Schulräume belegt sind. Deshalb müssen wir aus physiologischen Gründen große und vor allem auch hohe Schulräume fordern, damit eine genügende Luftreserve und eine wirksame Lüftung gewährleistet bleibt.

In der Schweiz werden in der Regel Schulräume empfohlen mit einem Rauminhalt von 4,8 m<sup>3</sup> pro Schüler. Dieser Wert scheint mir zu niedrig; ein Richtwert von 6 m<sup>3</sup> pro Schüler wäre aus hygienischen Gründen sicherlich empfehlenswerter.

Folgender Vorschlag zur Dimensionierung eines Schulraumes möge als Beispiel dienen: In einem Schulraum mit 30 Kindern und 1 Lehrer (Primarschule) sollten gerechnet werden.

2 m <sup>2</sup> pro Schüler	60 m <sup>2</sup>
10 m <sup>2</sup> für den Lehrer	<u>10 m<sup>2</sup></u>
	Total 70 m <sup>2</sup>

Bei einer Raumhöhe von 3,4 m ergibt dies einen Schulraum von 238 m<sup>3</sup> (das sind insgesamt etwa 8 m<sup>3</sup> pro Person). Bei einem Lüftungsbedarf von 30 m<sup>3</sup>/Person erfordert dieser Raum rund 900 m<sup>3</sup> Frischluft pro Stunde, was einem viermaligen Luftwechsel entspricht. Um eine solche Lüftung zu erreichen, muß eine gute und sehr wirksame Querlüftung vorgesehen werden (Fenster an zwei gegenüberliegenden Außenwänden!).

Das Beispiel zeigt, daß möglichst große Schulräume (vor allem hohe Räume mit hohen Fenstern!) anzustreben sind, damit ein genügender Luftwechsel mit der natürlichen Fensterlüftung erreicht werden kann.

#### Literatur

- [1] *Grandjean E.*: Physiologische und hygienische Forderungen an das Klima von Arbeitsräumen. Schweiz. Arbeitgeber-Z. 45, 1-8 (1957).
- [2] *Grandjean E.*: Physiologische Arbeitsgestaltung. Ott-Verlag, Thun 1963.
- [3] *Grandjean E.*: Raumklimatische Wirkungen verschiedener Heizsysteme in Büros. Schweiz. Bl. Heizung-Lüftung, im Druck (1966).
- [4] *Ronge A.*: Zur Frage der Bewährung von Schulneubauten. Gesundheits-Ing. 78, 103-106 (1957).
- [5] *Reiher H.* und *Frank W.*: Vergleichende Untersuchungen an Radiatoren- und Deckenstrahlungsheizungen. Heizung, Lüftung, Haustechnik 15, 233-243 (1964).
- [6] *Yaglou C. P.*: Physical and physiological principles of air conditioning. J. amer. med. Ass. 109, 945-958 (1937).

Adresse des Autors: Prof. Dr. med. *E. Grandjean*, Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie  
ETH, Clausiusstraße 25, Zürich.