Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss foresty journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 110 (1959)

Heft: 6-7

Artikel: Wohnphysiologische Untersuchungen in Holzbauten

Autor: Grandjean, Etienne

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-765106

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 20.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Wohnphysiologische Untersuchungen in Holzbauten

Von *Etienne Grandjean*, Zürich Oxf. 833

Übersicht über heutige wohnphysiologische Kenntnisse

Die Bedeutung der Behaglichkeit

In der Regel ist man sich eines behaglichen Raumklimas nicht bewußt; dagegen nehmen wir ein unbehagliches Klima um so eher und um so stärker wahr, je mehr dieses von normalen Bedingungen abweicht.

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, in 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 einer Belästigung bis zur Qual steigern, je nach dem 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. Deshalb sieht man unter unbehaglichen klimatischen Bedingungen gelegentlich in Industriebetrieben eine Reduktion der Arbeitsleistung sowie eine Erhöhung der Fehlleistungen und der Unfallhäufigkeit. Beispiele derartiger Auswirkungen habe ich kürzlich in einem Übersichtsreferat (1) zusammengestellt.

Aus diesen Betrachtungen ergibt sich von selbst, *daß die Sicherung eines behaglichen Raumklimas eine wichtige wohn- und arbeitsphysiologische Forderung darstellt.*

Der Wärmehaushalt des Menschen

Die in Form von Nahrung aufgenommene chemische Energie wird im Körper in mechanische Energie und in Wärme umgewandelt. Da der Orga-

nismus zur Erhaltung des Lebens eine Temperatur im Körperinnern von 37 ° C konstant hält, muß die produzierte Wärme nach außen abgegeben werden. Die abzugebende Wärme schwankt, je nach der körperlichen Beschäftigung, zwischen 50 und 200 und mehr kcal in der Stunde.

Der Wärmehaushalt wird durch ein nervöses Zentrum im Gehirn, das Wärmezentrum, gesteuert. Die nervösen Zellen des Wärmezentrums werden zum Teil direkt, zum Teil durch die wärmeempfindlichen Hautnerven über die Körpertemperaturen orientiert. Vom Wärmezentrum aus werden auch die zur Erhaltung der konstanten Innentemperatur notwendigen Ausgleichsmechanismen auf nervösem Weg ausgelöst und gesteuert. Dabei werden in erster Linie die Verschiebungen der Wärme auf dem Blutweg, die Sekretion des Schweißes sowie die Wärmeproduktion vom Wärmezentrum aus geregelt und den Bedürfnissen des Wärmehaushalts angepaßt. Diese physiologischen Regulationsmechanismen sind in *Abbildung 1* schematisch dargestellt.

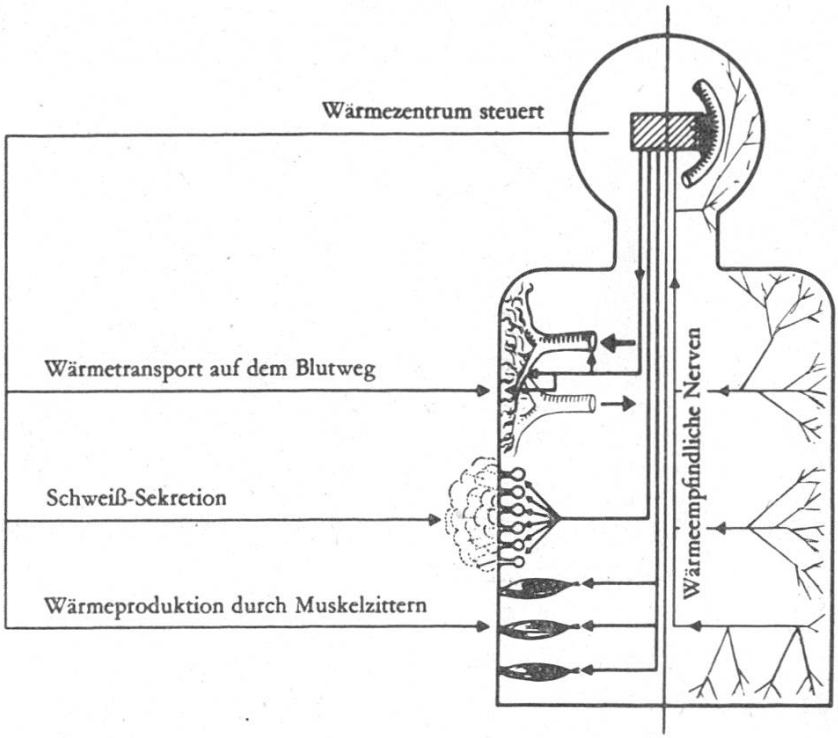

Abbildung 1

Schema der physiologischen Regulationen des Wärmehaushaltes

Die Wärmetransportfunktion des Blutes dürfte die wichtigste Rolle für die Regulation des Wärmehaushaltes spielen. Die blutdurchströmten Gefäße, insbesondere die Kapillaren, haben im Körper die Funktion von Kühl- oder Heizschlangen. Sie nehmen die Wärme auf und geben sie in Geweben mit niedrigeren Temperaturen wieder ab. So kann das Blut die Wärme aus dem Innern des Körpers in die durch die Außentemperatur abgekühlte Haut bringen oder, umgekehrt, bei künstlicher Wärmezufuhr

von außen die Wärme von der Haut ins Innere des Körpers transportieren. Die Regelung der Hautdurchblutung ist deshalb auch der wichtigste dieser Steuerungsmechanismen, sie bildet die Grundlage für den Wärmeaustausch zwischen dem Menschen und seiner Umwelt.

Das zweite vom Wärmezentrum aus gesteuerte Regulationssystem ist die Schweißsekretion, die ebenfalls durch nervöse Impulse, die im Wärmezentrum ihren Ursprung haben, reguliert wird.

Die dritte Regulationsmöglichkeit ist die Erhöhung der Wärmeproduktion selbst, die allerdings nur bei Abkühlung des Körpers ausgelöst wird. Diese Erhöhung der Wärmeproduktion wird durch eine Steigerung der Verbrennungsvorgänge in der Muskulatur und in andern Organen ermöglicht. Das «Kältezittern» ist eine besonders augenfällige Manifestation der Erhöhung der Wärmeproduktion durch Stoffwechselsteigerungen in der Muskulatur.

Die Wärmeabgabe von der Haut an die Umgebung gehorcht den physikalischen Gesetzen der Wärmeübertragung. Wie aus *Abbildung 2* hervorgeht, gibt der Mensch Wärme ab durch Strahlung, durch Konvektion, durch Verdunstung von Schweiß.

Bei einer Raumtemperatur von 20 ° C werden rund 50 % der Wärme durch Abstrahlung, 20–30 % durch Konvektion und 20–30 % durch Verdunstung abgegeben.

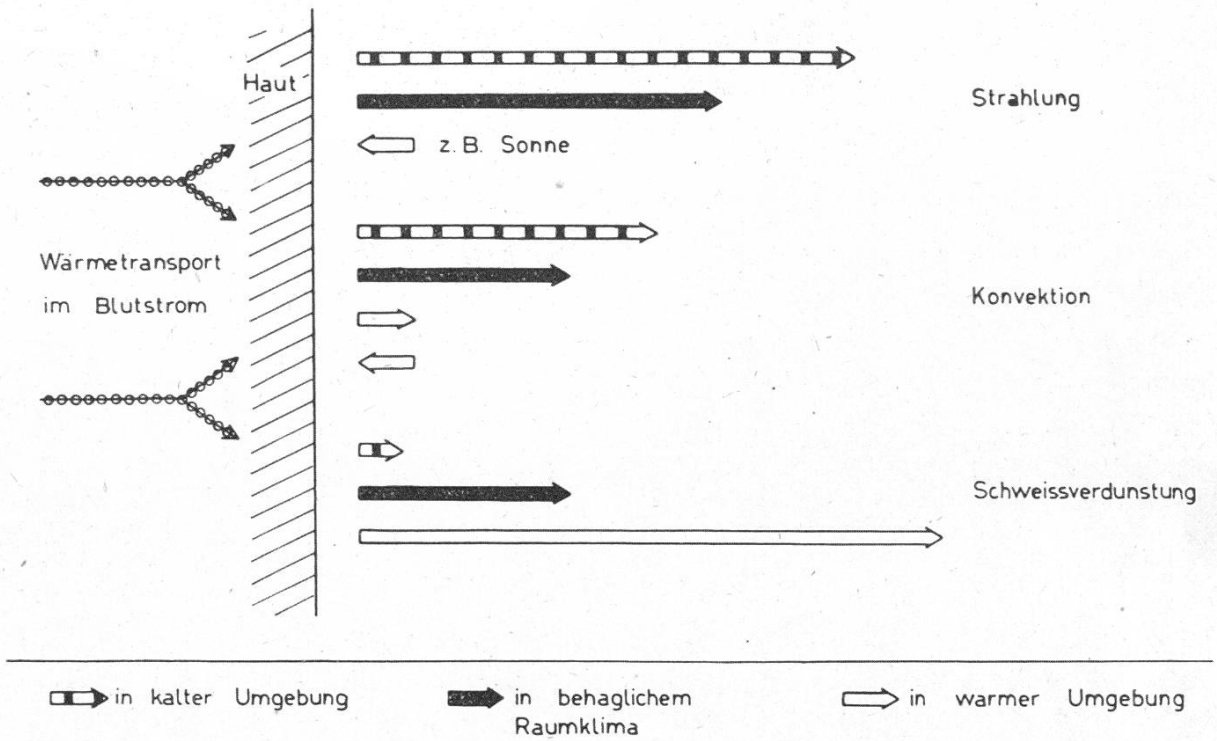

Abbildung 2

Schema des Wärmeaustausches zwischen dem menschlichen Körper und seiner Umgebung

Der Wärmeaustausch durch Strahlung hängt im wesentlichen vom Temperaturgefälle zwischen der Haut einerseits und den umgebenden Wänden anderseits ab. Bei hohen Wandtemperaturen ist die Wärmeabgabe des Menschen durch Strahlung gering, bei niederen dagegen groß. Die Wandtemperaturen spielen deshalb für den Wärmehaushalt des Menschen und damit auch für sein Behaglichkeitsgefühl eine entscheidende Rolle.

Solange die Wärmeabstrahlung nicht in zu großem Ausmaß erfolgt, nimmt man sie nicht wahr. Man wird immerhin bereits ein unbehagliches Kältegefühl empfinden, wenn man sich in der Nähe einer kalten Wand oder einer großen Fensterfläche befindet, auch wenn die Lufttemperatur genügend hoch zu sein scheint. In diesen Fällen wird eben dem Körper verhältnismäßig viel Wärme durch Strahlung entzogen, weil ja die Temperaturdifferenz zwischen Haut und Wand entscheidend ist, während die Lufttemperatur für den Wärmeaustausch durch Strahlung keine Rolle spielt.

Der Wärmeaustausch durch Konvektion hängt in erster Linie von der Temperaturdifferenz zwischen der Haut und der umgebenden Luft sowie vom Ausmaß der Luftbewegung ab.

Die Wärmeabgabe durch Wasserverdunstung beruht auf der Bindung von Wärme bei der Verdampfung des Schweißes auf der Hautoberfläche. Die dabei entstehende Wärmeabgabe beträgt 0,58 kcal/g verdampftes Wasser. Da der Mensch unter normalen Bedingungen im Tag leicht einen Liter Wasser verdunstet *(perspiratio insensibilis),* werden dem Körper auf diesem Weg täglich 600 und mehr kcal entzogen, was ungefähr einem Viertel der gesamten Wärmeabgabe entspricht.

Wird die Außentemperatur über die Grenzen der Behaglichkeit erhöht, so werden von der erwärmten Haut Reflexe ausgelöst, welche zu einer massiven Schweißbildung führen. Das Ausmaß der Wärmeabgabe durch Wasserverdampfung hängt ab von der Größe der Hautoberfläche, auf welcher Schweiß verdunstet, und von der Differenz des Wasserdampfdruckes, der in der Grenzschicht der Luft auf der Haut und in der weiteren Außenluft herrscht.

Bei Außentemperaturen, die über 25 ° C liegen, kann der bekleidete menschliche Körper praktisch keine Wärme durch Konvektion oder Strahlung abgeben, und es bleibt ihm nur noch die Wärmeabgabe durch Schweißverdunstung als alleiniger Kompensationsmechanismus übrig. Deshalb steigt die Wärmeabgabe durch Wasserverdampfung, wenn eine gewisse kritische Temperatur erreicht ist, sehr steil an. Dies ist auch im Schema der *Abbildung 2* dargestellt.

Der Feuchtigkeitsgehalt der Luft bestimmt weitgehend das Ausmaß der Schweißverdunstung und damit auch die Wärmeabgabe unter warmen Bedingungen. Bei einer hohen relativen Feuchtigkeit ist die Wärmeabgabe

durch Schweißverdunstung reduziert, während sie umgekehrt um so größer wird, je niedriger die relative Feuchtigkeit ist.

Die relative Feuchtigkeit der Luft spielt somit für den Wärmehaushalt des Menschen eine wesentliche Rolle. Eine niedrige relative Feuchtigkeit wirkt sich im Sommer günstig aus, da in der warmen Jahreszeit die Wärmeabgabe durch Schweißverdampfung für das Gleichgewicht des Wärmehaushaltes ausschlaggebend ist. Im Winter ist dagegen eine niedrige relative Feuchtigkeit nicht günstig, da sie den Wärmehaushalt im Sinne einer vermehrten Wärmeabgabe beeinflußt.

Behaglichkeit und Raumklima

Wird eine Versuchsperson in einer Klimakammer verschiedenen Temperaturen ausgesetzt, so kann man in einem verhältnismäßig engen Bereich der Lufttemperaturen eine Zone finden, in welcher sich die Versuchsperson behaglich fühlt. Wir nennen diesen Bereich die Behaglichkeitszone. Physiologische Untersuchungen haben gezeigt, daß in der Behaglichkeitszone die Wärmebilanz des menschlichen Körpers ausgeglichen ist, das heißt, die im Innern des Körpers produzierte Wärmemenge ist gleich der vom Körper an die Außenwelt abgegebene Wärmemenge. In dieser Behaglichkeitszone sind die im vorigen Kapitel erwähnten Regulationsmechanismen des Körpers nur wenig beansprucht. Der Mensch fühlt sich nur dann behaglich, wenn sich seine Hautdurchblutung innerhalb eines gemäßigten Bereiches bewegt.

Weicht die Umgebungstemperatur vom Behaglichkeitsbereich nach oben oder nach unten ab, so werden zunächst die Regulationsmöglichkeiten der Hautdurchblutung mobilisiert, die gleichzeitig mit dem Entstehen eines Gefühls der Unbehaglichkeit verbunden sind.

Steigt die Temperatur an, so werden die Blutgefäße der Haut eröffnet, die Haut wird rot und ihre Temperatur steigt an. Gleichzeitig setzt auch eine verstärkte Schweißbildung ein, da die Verdampfung des Schweißes bald zum einzig noch möglichen Weg der Wärmeabgabe wird. Man nennt deshalb diesen Temperaturbereich die Zone der Wärmeregulation durch Wasserverdampfung. Wird auch diese Regulationsmöglichkeit erschöpft, dann kommt es zu einer Wärmestauung und letzten Endes zum Hitzschlag.

Sinkt die Temperatur der Luft unter den Behaglichkeitsbereich, so schließen sich die Blutgefäße der Haut, was eine blasse Verfärbung und eine Senkung der Hauttemperatur zur Folge hat. Die Wärmebilanz wird rasch negativ. Man nennt diesen Temperaturbereich deshalb die Zone der körperlichen Abkühlung. Zunächst kühlen sich zwar nur die äußeren Teile des Körpers ab (die Haut und die Extremitäten), so daß eine «Kerntemperatur» von 37 ° C für eine gewisse Zeit noch gewährleistet bleibt. Wenn die Abkühlung auch auf die Kerntemperatur übergreift und diese gesenkt wird, dann kommt es zu einer Bedrohung des Lebens durch Erfrieren.

Die hier dargelegten Auswirkungen der Umgebung auf den Wärmehaushalt des Menschen sind in *Abbildung 3* schematisch dargestellt.

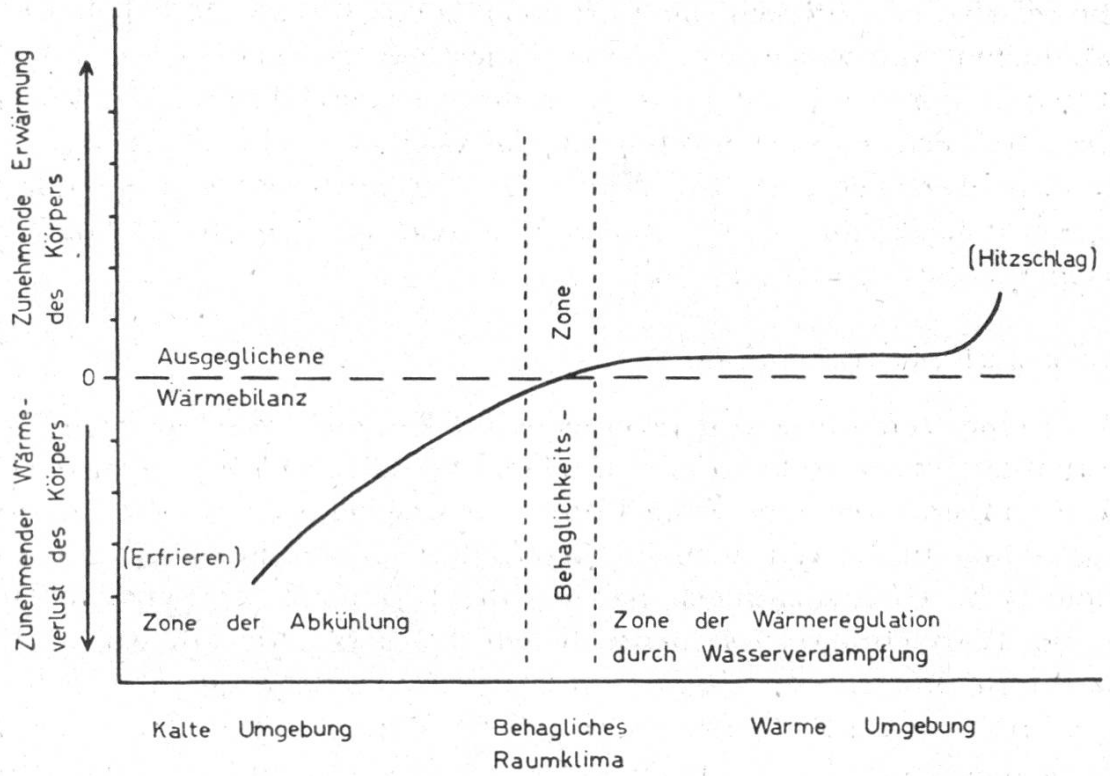

Abbildung 3

Schema des Wärmehaushaltes des Menschen unter verschiedenen Umgebungsbedingungen
Die dick ausgezogene Kurve stellt die Wärmebilanz des menschlichen Körpers dar, die nur in einem verhältnismäßig engen Temperaturbereich ausgeglichen ist.

Voraussetzung für die Behaglichkeit ist somit ein Raumklima, in welchem der Wärmehaushalt des Menschen — ohne wesentliche Beanspruchung der ihm zur Verfügung stehenden Regulationsmechanismen — ausgeglichen ist.

Da nicht nur die Lufttemperatur, sondern auch die Feuchtigkeit, die Luftbewegung und die Temperaturen der umgebenden Wände den Wärmehaushalt beeinflussen, ergibt sich von selbst, daß diese vier Faktoren auch für die Behaglichkeit ausschlaggebend sind. Im folgenden seien die für die Behaglichkeit entscheidenden Wechselbeziehungen zwischen Lufttemperatur und jedem der drei andern Faktoren kurz behandelt.

a) *Die Luftfeuchtigkeit*

In sehr ausgedehnten Untersuchungen haben Houghten und Yaglou (3) die Verhältnisse zwischen Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit bestimmt, die zur Gewährung gleicher klimatischer Empfindungen beim Menschen notwendig sind. Sie fanden, daß bei abnehmender relativer Feuchtigkeit die Lufttemperaturen sukzessive erhöht werden müssen, wenn ein gleiches Temperaturempfinden beibehalten werden soll. (Diese Tem-

peraturen gleichen Temperaturgefühls werden heute allgemein als «effektive Temperaturen» bezeichnet.) Diese Gesetzmäßigkeit muß auf die bereits erwähnte Auswirkung der relativen Feuchtigkeit auf die Wärmeabgabe durch die Schweißverdunstung zurückgeführt werden.

In zahlreichen Erhebungen haben Houghten und Yaglou (3) die für den Menschen behaglichsten Verhältnisse zwischen Temperatur und Feuchtigkeit festgestellt. Es zeigte sich in der Folge, daß diese Behaglichkeitswerte nicht nur individuell, sondern auch von Land zu Land recht verschieden sind. Die Amerikaner finden zum Beispiel wesentlich höhere Temperaturen behaglich als die Europäer. Da in der Schweiz bis heute keine derartigen Untersuchungen durchgeführt worden sind, müssen wir die Behaglichkeitswerte auf Grund der gefundenen Gesetzmäßigkeiten und auf Grund bisheriger Erfahrungen schätzen. In *Tabelle 1* sind die von mir geschätzten Behaglichkeitswerte zusammengestellt.

Tabelle 1

Geschätzte Behaglichkeitswerte für schweizerische Verhältnisse im Winter

Bei relativer Feuchtigkeit von	70 %	60 %	50 %	40 %	30 %
sind Lufttemperaturen behaglich zwischen (° C):	19–21	19,5–21,5	20–22	20,5–22,5	21–23

Zu diesen Behaglichkeitswerten seien hier noch folgende drei Bemerkungen gemacht:

1. Die Behaglichkeitstemperaturen haben in den letzten Jahrzehnten eine ständige Tendenz zur Erhöhung (andere Bekleidungs- und Ernährungssitten!). Deshalb sind die hier aufgeführten Werte etwas höher als diejenigen früherer Publikationen (4, 5).
2. 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 80–90 % der Raumbenützer als behaglich empfunden werden.
3. 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.

b) *Der Einfluß der 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 als unbehaglich empfunden. Die meisten Hygieniker fordern für Wohnräume oder für Räume, wo sitzend gearbeitet wird, *eine höchstzulässige Luftbewegung von 0,2 m/s.* Die Erfahrung lehrt uns, daß dieser Grenzwert in der Schweiz noch zu hoch ist und daß erst Luftbewegungen von weniger als 0,1 m/s zu keinerlei Klagen Anlaß geben.

Sind aus technischen Gründen Luftbewegungen nicht vermeidbar, so kann durch Erhöhung der Lufttemperatur die Belästigung durch Zugluft reduziert werden. Man wird sich dabei mit Vorteil an die in *Tabelle 2* angegebenen Wechselbeziehungen halten.

Tabelle 2

Wechselbeziehungen zwischen Luftbewegung und Lufttemperatur im Winter

Wenn Luftbewegung von (m/s):	0	0,2	0,4	0,6
dann günstige Temperaturen zwischen (°C): (bei 50 % rel. Feuchtigkeit)	20–22	21–22,5	22–24	23–25

c) *Der Einfluß der Wandtemperaturen*

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 Wände einen entscheidenden Einfluß auf den Wärmehaushalt der Raumbenützer haben muß. Selbstverständlich spielen neben den Wänden auch die Fenster, die Decke, der Fußboden und die Möbel eine gewisse Rolle.

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 im gleichen 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 nachfolgende 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 Oberflächentemperaturen der umgebenden Wände und größeren Flächen.

Da die Behaglichkeit nicht nur von der Temperatur der Luft, sondern auch von den durchschnittlichen Oberflächentemperaturen der umgebenden Wände abhängig ist, ergeben sich aus diesen Betrachtungen die in *Tabelle 3* zusammengestellten Behaglichkeitsmaßstäbe.

Tabelle 3

Die Behaglichkeit in Abhängigkeit von Luft- und Wandtemperaturen (für schweizerische Verhältnisse im Winter in Räumen mit Fensterflächen üblichen Ausmaßes, bei relativen Feuchtigkeiten zwischen 40 und 60 %)

						Behagliches Temperaturempfinden von
Lufttemperatur	22	21	20	19	18	19,5
durchschnittliche Wandtemperatur	17	18	19	20	21	
Lufttemperatur	23	22	21	20	19	20,5
durchschnittliche Wandtemperatur	18	19	20	21	22	
Lufttemperatur	24	23	22	21	20	21,5
durchschnittliche Wandtemperatur	19	20	21	22	23	
Lufttemperatur	24	23	22	21		22,5
durchschnittliche Wandtemperatur	21	22	23	24		

Daraus ist ersichtlich, daß ein behagliches Raumklima sowohl bei verhältnismäßig niedrigen als auch bei verhältnismäßig hohen Lufttemperaturen bestehen kann, vorausgesetzt, daß sich die durchschnittlichen Oberflächentemperaturen der Wände in gegenläufigem Sinne verhalten. Die Oberflächentemperaturen der Wände hängen – außer von den Lufttemperaturen innerhalb und außerhalb des Raumes – von der Isolierfähigkeit (Wärmedurchgangszahl k) der Außenwände ab. Bei hoher Isolation (= niedrige k-Werte) fließt im Winter wenig Wärme von innen nach außen ab, was eine Erhöhung der Oberflächentemperaturen an den Innenseiten der Außenwände verursacht. Bei geringer Isolation (= hohe k-Werte) fließt dagegen viel Wärme nach außen ab, was zu verhältnismäßig niedrigen Oberflächentemperaturen der Wände führt.

Im Sommer hat eine hohe Wandisolation die umgekehrte Wirkung: Es wird verhältnismäßig wenig Wärme von außen nach innen geleitet und die Oberflächentemperaturen der Innenwände bleiben relativ niedrig.

Man sieht aus dieser Betrachtung, daß die Isolierfähigkeit eines Gebäudes sowohl im Winter als auch im Sommer für die Oberflächentemperaturen entscheidend ist; eine hohe Isolierfähigkeit muß sich im Winter wegen der hohen Oberflächentemperaturen günstig auf den Wärmehaushalt und auf die Behaglichkeit auswirken; sie muß aber auch im Sommer vorteilhaft sein, weil dann verhältnismäßig niedrige Wandtemperaturen die Wärmeabgabe des Menschen erleichtern und die Behaglichkeit erhöhen müssen.

Die Auswirkungen des Holzbaues auf das Raumklima

Kürzlich hat Haller (2) die Ergebnisse seiner Untersuchungen über die Wärme- und Feuchtigkeitswanderung durch Außenwände bei Versuchshäuschen aus verschiedenem Baumaterial veröffentlicht. Von wohnphysiologischen Gesichtspunkten aus kommen dabei folgenden Beobachtungen eine besondere Bedeutung zu:

a) Von den geprüften Versuchshäuschen hatte das fensterlose Holzhäuschen (Dicke 19,5 cm, 3 Holzschichten mit 2 Isolierschichten aus Dachpappe und einer Glasfasermatte) die niedrigste Wärmedurchgangszahl (k = 0,417); sie war beispielsweise 2½mal niedriger als bei einem analogen Bau aus einem 30 cm starken Isoliersteinmauerwerk. In ähnlicher Weise fand auch Reiher (6) in seinem Versuchsholzhaus verhältnismäßig hohe Wärmedurchlaßwiderstände.

b) In der Heizperiode waren die Oberflächentemperaturen an den Innenseiten der Hauswände – entsprechend dem hohen Isoliervermögen – beim Holzhaus höher als bei den Bauten aus Mauerwerk. Demzufolge wies im Winter das Holzhaus ein relativ geringes Temperaturgefälle von der Innenwand zur Raumluft auf.

c) Im Sommer waren dagegen die Oberflächentemperaturen der Innenwände im Holzhaus niedriger als diejenigen der vergleichbaren, ebenfalls fensterlosen Versuchshäuschen aus Mauerwerk. Auch diese Erscheinung muß auf den niedrigeren k-Wert des Holzhäuschens zurückgeführt werden.

d) Die mittlere relative Feuchtigkeit der Luft war sowohl im Winter als auch im Sommer im Holzhaus niedriger (um etwa 11–17 %) als in den andern Haustypen. Diese Erscheinung führt Haller ebenfalls auf die erhöhte Luftdurchlässigkeit des Holzes zurück, da ja der bessere Isolierwert des Holzbaues das Gegenteil, nämlich eine Erhöhung der relativen Feuchtigkeit der Luft, erwarten lassen sollte.

e) Die Lufttemperaturen im Holzhaus senkten sich bei Heizunterbruch zunächst langsamer, nach 6 Stunden jedoch stärker als in den Versuchshäuschen aus Mauerwerk. Beim Aufheizen wurden dagegen im Holzhaus die Lufttemperaturen schneller erhöht. Diese Befunde sind kürzlich von Reiher (6) im wesentlichen bestätigt worden. Bei Sonnenbestrahlung im Sommer erreichte die Raumtemperatur im Holzhaus 5½ Stunden nach dem Temperaturmaximum der Außenluft ihren Höchstwert, während diese Verzögerungszeit bei den übrigen Versuchshäuschen 9–11½ Stunden betrug. Haller schreibt diese Eigenschaften des Holzhauses dem kleineren Wärmespeichervermögen und der erhöhten Luftdurchlässigkeit des Holzes zu.

Aus den Untersuchungen von Haller geht somit hervor, daß im Holzbau im Winter verhältnismäßig hohe Oberflächentemperaturen der Wände, im Sommer dagegen niedrige zu erwarten sind; ferner weist der Holzbau niedrige relative Feuchtigkeiten der Luft auf und zeigt – bei Änderung der Heizungsverhältnisse oder des Außenklimas – relativ rasche Änderungen des Raumklimas.

Da nach Haller (2) während der Heizperiode an der Innenseite einer Außenwand aus Holz verhältnismäßig hohe Oberflächentemperaturen zu erwarten sind, müßte demnach der Holzraum den Wärmeaustausch des Menschen durch Strahlung im Sinne einer Reduktion der Wärmeabgabe beeinflussen.

Man muß deshalb erwarten, daß ein Holzraum in der kalten Jahreszeit den Wärmehaushalt des Menschen und das Behaglichkeitsgefühl günstig beeinflußt.

Umgekehrt hat Haller im Sommer im fensterlosen Holzhaus verhältnismäßig niedrige Oberflächentemperaturen der Wände festgestellt. Diese Erscheinung müßte die Wärmeabgabe durch Strahlung erleichtern und somit in der warmen Jahreszeit die Behaglichkeit erhöhen. Allerdings bezieht sich diese Beobachtung von Haller nur auf ein fensterloses Holzhäuschen; es ist möglich, daß ein Holzbau mit Fenstern im Sommer andere Eigenschaften aufweist, da die direkte Wärmeeinstrahlung durch die Fenster eine ganz andere Situation schafft.

Nach Haller wäre ferner sowohl im Winter als auch im Sommer in einem Holzhaus eine verhältnismäßig niedrige relative Feuchtigkeit zu erwarten. Diese klimatische Auswirkung wäre für den Wärmehaushalt und für die Behaglichkeit des Menschen im Winter ungünstig, im Sommer dagegen günstig. Eine niedrige relative Feuchtigkeit erleichtert ja durch die Förderung der Schweißverdampfung den Wärmeentzug vom Körper, was im Winter unerwünscht, im Sommer jedoch sehr erwünscht ist.

Eigene Untersuchungen

Begründung und allgemeine Versuchsanordnung

Die Untersuchungen von Haller (2) lassen erwarten, daß die Anwendung von Holz als Baustoff wesentliche Auswirkungen auf das Raumklima, auf den Wärmehaushalt des Menschen und auf seine Behaglichkeit haben muß.

Es schien uns deshalb von Interesse, unter den Bedingungen des Alltags die Wirkungen des Holzes als Baustoff auf das Raumklima und die subjektiven Behaglichkeitsempfindungen von in Holzbauten arbeitenden und wohnenden Menschen zu untersuchen. Zu diesem Zweck maßen wir stichprobeweise in einer Reihe von Holzbauten einerseits das Raumklima und anderseits befragten wir die Hausbenützer über ihre Erfahrungen und Empfindungen. Diese Erhebungen wurden im Winter durchgeführt; im allgemeinen herrschte zur Zeit der Untersuchungen mildes Winterwetter vor.

Die untersuchten Bauten

Wir hatten Gelegenheit, insgesamt 59 Räume, verteilt auf 33 Gebäude, raumklimatisch zu untersuchen. Nach ihren Funktionen teilten wir die Räume in die drei folgenden Kategorien ein:

Büroräume: 18
Schulräume: 15
Wohnräume: 26

Die untersuchten Gebäude wiesen ungleiche Konstruktionsarten auf. Je nach der Zahl der Holzelemente (Schalungen und Täfer), aus denen die Außenwände aufgebaut waren, konnten wir trotzdem zwei Typen von Außenwänden auseinanderhalten:

1. Außenwände aus zwei Holzelementen mit dazwischenliegenden Isolationsschichten. In der Regel handelte es sich um Riegelbauten, die innen mit einem Fastäfer von 15 mm und außen mit Fastäfer oder Stülpschalungen oder ähnlichen Verkleidungen von 21 mm Dicke versehen waren. Wir schätzen, daß der k-Wert in dieser Gruppe zwischen 0,7 und 1,0 liegen muß.
2. Außenwände aus mindestens drei Holzelementen und dazwischen liegenden Isolationsschichten. Die Mehrzahl dieser Wände setzte sich aus einer äußeren Verkleidung (Schindeln, 24 mm Schalungen oder gestemmte Täfer), einer Blindschalung von 24 mm und einer inneren Verkleidung aus Fastäfer oder Sperrholz zusammen. Einige Bauten aus gestrickten Wänden (massive Balkenwand) mit äußeren und inneren Verkleidungen haben wir ebenfalls in diese zweite Gruppe eingeordnet. Wir schätzen, daß der k-Wert in dieser Gruppe zwischen 0,4 und 0,5 schwankt.

Die untersuchten Gebäude mit Büroräumen und mit Schulräumen gehören ausnahmslos zur Gruppe mit verhältnismäßig hohen k-Werten von 0,7 bis 1,0. Dagegen gehören alle untersuchten Wohnhäuser zur Gruppe mit den relativ niedrigen k-Werten von 0,4 bis 0,5.

Die raumklimatischen Untersuchungen

In jedem der untersuchten Räume erhoben wir mit einem Schleuderpsychrometer die Trocken- und Feuchtthermometerwerte und bestimmten daraus die relative Feuchtigkeit der Luft.

Zur Messung der Luft- und Oberflächentemperaturen verwendeten wir diesen Zwecken angepaßte Thermistoren (1000 Ohm Widerstand bei 20 Grad Celsius), die in einer Wheatstoneschen Brückenanordnung geschaltet auf einer geeichten Skala die Temperaturwerte in 10 bis 20 Sekunden abzulesen gestatteten.

Die Oberflächentemperaturen der Wände wurden an den Innenseiten der Außenwände an zwei bis drei Punkten in Kopfhöhe gemessen. Dasselbe wurde an einer bis zwei der Wohnungstrennwände wiederholt. In analoger Weise maßen wir auch die Oberflächentemperaturen der Fußböden.

Die Lufttemperatur maßen wir 3 cm, 150 cm und etwa 230 cm über dem Fußboden. Der Meßpunkt «230 cm» war in den Wohn- und Büroräumen in der Regel 20 bis 50 cm unter der Decke. Die Lufttemperaturen, die in der Höhe von 150 cm erhoben wurden, massen wir vielfach wiederholt in Abständen von 5 Minuten, da gelegentlich besondere Umstände (vorgängige Lüftung usw.) unstabile Temperaturverhältnisse ausgelöst hatten.

Für die Auswertung der Resultate verwendeten wir immer die Durchschnittswerte gleicher Messungen. Zur Zeit der Untersuchung waren 5 Wohnräume nicht geheizt worden; die Werte dieser Räume berücksichtigten wir in den Ergebnissen nicht, da sie stark abweichende und nicht vergleichbare Resultate zeitigten.

Die Erhebungen über die subjektiven Empfindungen der Raumbenützer

Wir befragten insgesamt 109 Personen über ihre Erfahrungen und Empfindungen als Benützer von Gebäuden oder Räumen aus Holz. Die Befragten lassen sich in folgende Gruppen einordnen:

Büroangestellte		In Schulräumen		In Wohnungen	
männlich	weiblich	Lehrer	Lehrerinnen	männlich	weiblich
30	7	17	17	12	26

Wir befragten somit im ganzen 59 Männer und 50 Frauen. Die überwiegende Mehrzahl der Befragten standen im Alter zwischen 25 und 50 Jahren.

Damit die Angaben der Befragten unter sich vergleichbar würden, führte stets die gleiche Person die Befragungen aus. Für jedes Interview verwendeten wir einen einheitlichen Fragebogen.

Die gestellten Fragen lassen sich in zwei Gruppen einteilen: in allgemeine und gezielte Fragen. Die allgemeinen Fragen waren so formuliert, daß die Befragten unbeeinflußt durch die Fragestellung über ihre Erfahrungen und ihre Empfindungen Auskunft geben konnten. Bei den gezielten Fragen wurden die Personen um Auskunft über ganz konkrete Fragen gebeten; die Frage war jedoch immer so formuliert, daß die Personen ebensogut ein positives wie ein negatives Urteil abgeben konnten.

Die allgemeinen Fragen lauteten wie folgt:

1. Wie finden Sie das Raumklima hier?
2. Finden Sie es verschieden vom Raumklima in einem Massivbau aus Mauerwerk?
3. Würden Sie – wenn Sie wählen könnten – in einem Holzbau oder in einem Massivbau wohnen bzw. arbeiten?
4. (Wenn ein Vorzug:) Warum?

Die gezielten Fragen lauteten wie folgt:

5. Wie finden Sie das Raumklima des Holzraumes im Sommer?
6. Wie finden Sie das Raumklima des Holzraumes im Winter?
7. Finden Sie es heute unbehaglich kalt, kalt, angenehm kühl, neutral, behaglich mild, angenehm warm, warm?
8. Finden Sie heute die Luft zu trocken, trocken, neutral, feucht, zu feucht?
9. Nehmen Sie Luftzüge wahr und sind diese gegebenenfalls unangenehm, angenehm oder ohne Wirkung?
10. Glauben Sie, daß der Holzraum – außer psychologischen Wirkungen – auch einen reellen Einfluß auf den Wärmehaushalt Ihres Körpers bzw. auf Ihre Behaglichkeit ausübt?
11. Ist der Fußboden gleitsicher, normal oder glatt?
12. Ist der Fußboden warm, neutral oder kalt?
13. Ist der Fußboden laut, normal oder leise?
14. Ist der Raum im allgemeinen lärmig, normal oder ruhig?
15. Sind die Wände lärmdurchlässig, normal oder lärmdämmend?
16. Finden Sie, daß der Holzraum – abgesehen von raumklimatischen Einflüssen – noch andere Vor- oder Nachteile hat?

Auf den gleichen Fragebogen notierten wir einige Erhebungen über die Dimensionen des Raums, die Fenster, die Möblierung, die Beschaffenheit des Fußbodens und der Decke, und über die Heizung.

Zum Schluß faßte der Befrager alle Antworten in ein allgemeines Urteil des Befragten zusammen. Dieses Urteil wurde jeweilen dem Befragten vorgelesen, um es gegebenenfalls nach dessen Wünschen nochmals zu korrigieren. In vielen Fällen mußte der Befrager die Fragen ergänzen; gelegentlich mußte er sich auch in längere Diskussionen einlassen, um hernach das Wesentliche der Erfahrungen und Empfindungen des Befragten zu notieren. Es ist klar, daß eine solche Interviewmethode mit vielen Fehlern behaftet ist; ihr Wert hängt wesentlich von der Unvoreingenommenheit und Objektivität des Befragers ab. Diese Voraussetzung war in der vorliegenden Arbeit erfüllt.

Die Ergebnisse der raumklimatischen Messungen

Die relative Feuchtigkeit der Luft

Die Resultate der Messungen der relativen Feuchtigkeit in 53 Holzräumen sind in Form einer Häufigkeitsverteilung in *Abbildung 4* dargestellt.

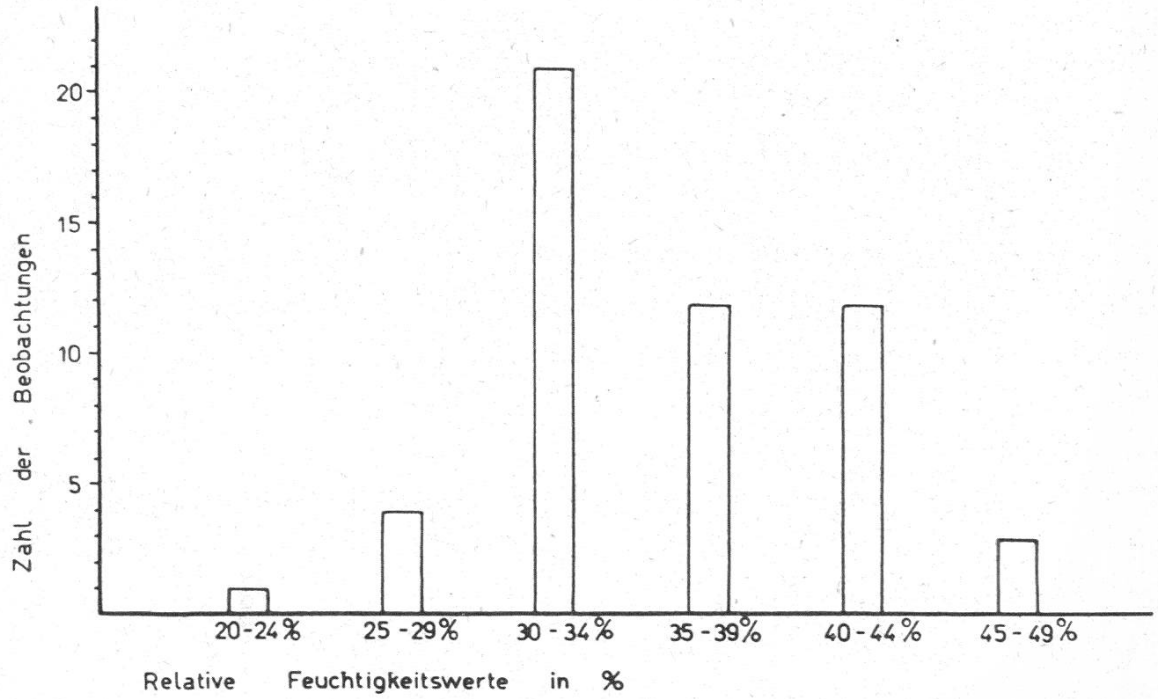

Abbildung 4

Relative Feuchtigkeit der Luft im Winter in 53 Räumen von 28 Holzbauten

Wir stellen fest, daß 72% der untersuchten Räume relative Luftfeuchtigkeiten von weniger als 40% aufwiesen. In 5 Räumen (ungefähr 1 Raum auf 10) wurden sogar Werte von weniger als 30% gemessen. *Der Gesamtdurchschnitt betrug 35,6%.*

Wir berechneten die Durchschnittswerte für die beiden Gruppen von Gebäuden getrennt und erhielten folgende Resultate:

Gebäude mit niedrigen k-Werten (0,4–0,5): 33,8 %

Gebäude mit hohen k-Werten (0,7–1,0): 36,9 %

Die Differenz ist klein und kann nicht als signifikant betrachtet werden.

Die Lufttemperaturen

Die Messungen der Lufttemperaturen 150 cm über dem Boden ergaben die in *Tabelle 4* zusammengestellten Resultate.

Tabelle 4

Die Lufttemperaturen im Winter, 150 cm über dem Boden von 54 geheizten Räumen in Holzgebäuden

Temperaturen in ° C	Zahl der Beobachtungen
15–15,9	1
16–16,9	1
17–17,9	2
18–18,9	1
19–19,9	2
20–20,9	9
21–21,9	13
22–22,9	10
23–23,9	9
24–24,9	4
25–25,9	1
26–26,9	1

Wir stellen fest, daß in der überwiegenden Mehrzahl der Räume Lufttemperaturen zwischen 20 und 24 ° C gemessen wurden. Die Berechnung der Durchschnittswerte ergab folgende Resultate:

Gebäude mit niedrigen k-Werten (0,4–0,5): 20,7 ° C

Gebäude mit hohen k-Werten (0,7–1,0): 22,1 ° C

Gesamtdurchschnitt: 21,6 ° C

Die drei Durchschnittswerte sind von der gleichen Größenordnung. Die etwas höheren Lufttemperaturen in den Räumen mit hohen k-Werten sind auf die intensivere Beheizung dieser Gebäude zurückzuführen.

Wie zu erwarten war, wiesen die Lufttemperaturen 3 cm über dem Boden im allgemeinen niedrigere und diejenigen in 230 cm Höhe höhere Werte auf. In *Tabelle 5* sind die Differenzen zwischen diesen beiden Temperaturwerten zusammengestellt.

Tabelle 5

Die vertikalen Temperaturgradienten im Winter ($T_{230\ cm} - T_{3\ cm}$) in 43 geheizten Holzräumen

$T_{230\ cm} - T_{3\ cm}$ in °C in °C	Zahl der Beobachtungen
0– 0,9	3
1– 1,9	17
2– 2,9	4
3– 3,9	4
4– 4,9	2
5– 5,9	2
6– 6,9	5
7– 7,9	2
8– 8,9	2
9– 9,9	1
10–10,9	1

Im Gesamtdurchschnitt betrug die Differenz 3,5 °C. Wir sehen, daß die Mehrzahl der vertikalen Temperaturgradienten zwischen 3 und 230 cm Höhe niedriger als 7 °C waren.

Die Oberflächentemperaturen

Die gemessenen Oberflächentemperaturen der Innenseiten der Außenwände (in der Folge kurz Wandtemperaturen genannt) sind in *Abbildung 5*

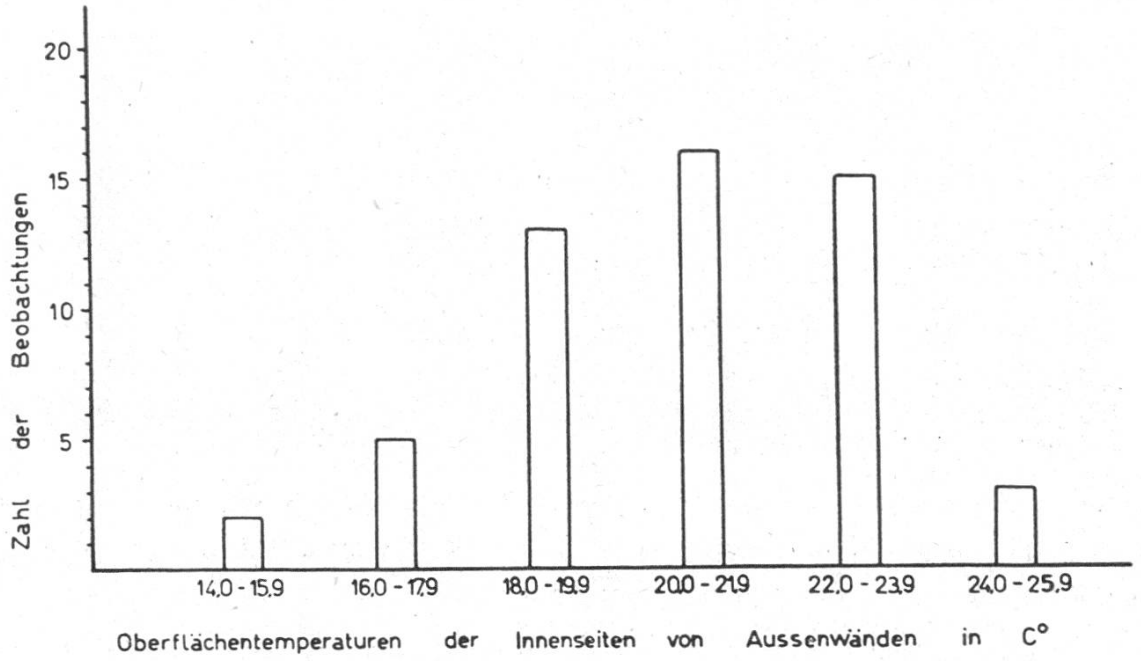

Abbildung 5

Die Oberflächentemperaturen der Innenseiten von Außenwänden im Winter in 54 Räumen von 28 Holzbauten

graphisch dargestellt. 78 % der Werte liegen zwischen 19 und 24 ° C. Für den Gesamtdurchschnitt berechnen wir 20,7 ° C. *Diese Werte müssen als verhältnismäßig hoch bezeichnet werden.*

Für die beiden Gebäudegruppen erhalten wir folgende Resultate:

Gebäude mit niedrigen k-Werten (0,4—0,5) 19,4 ° C

Gebäude mit hohen k-Werten (0,7—1,0): 21,6 ° C

Die beiden Durchschnittswerte sind gleicher Größenordnung und ihre Differenz kann in Anbetracht der Streuung in keiner Weise als signifikant bezeichnet werden.

In *Abbildung 6* sind die Differenzen zwischen den Lufttemperaturen in 150 cm Höhe über dem Boden einerseits und den Wandtemperaturen anderseits dargestellt.

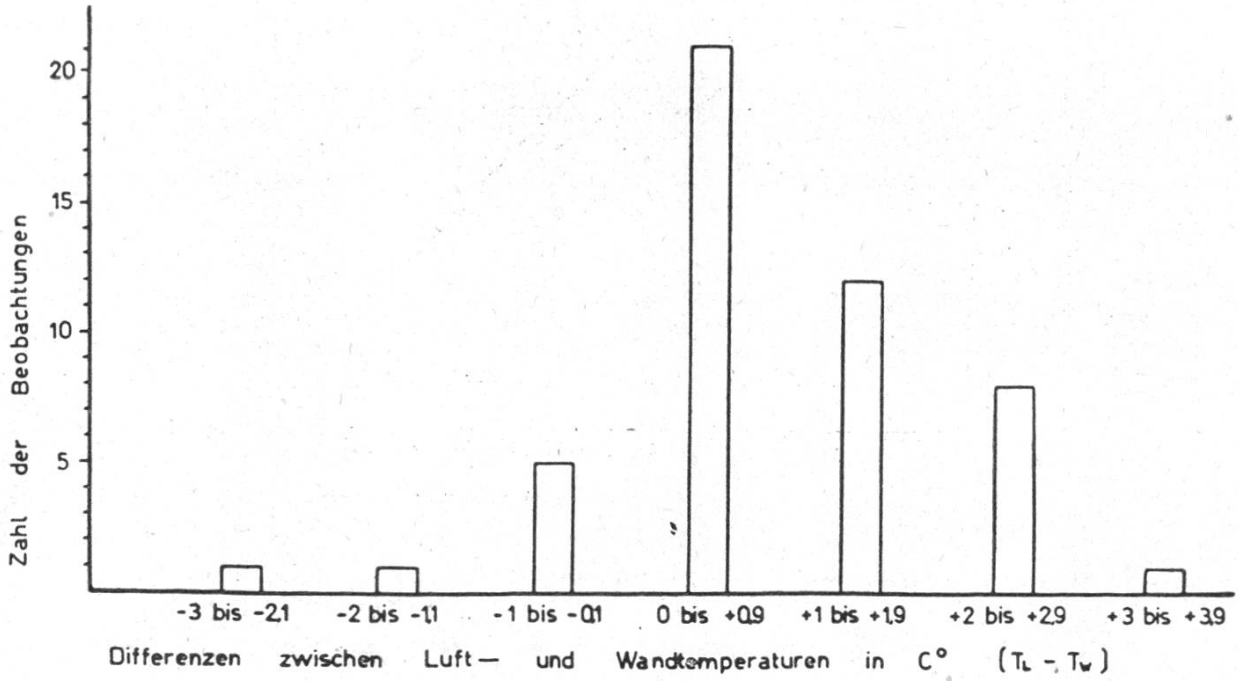

Abbildung 6

Die Differenzen zwischen Luft- und Wandtemperaturen im Winter in 54 Räumen von 28 Holzbauten

In 70 % der Fälle war die Lufttemperatur 0—1,9 ° C höher als die Wandtemperatur. (In 7 Fällen war die Wandtemperatur höher als die Lufttemperatur; in diesen Räumen war kurz vor der Messung gelüftet worden, was zu diesen ungewöhnlichen Temperaturverhältnissen führte.)

Im Gesamtdurchschnitt betrug die Differenz (T_L—T_W) 0,9 ° C. *Die gemessenen Temperaturgradienten zwischen Luft und Wandoberflächen müssen als niedrig bezeichnet werden.*

Die Berechnung der Durchschnittswerte dieser Differenzen ($T_L - T_W$) ergab für beide Gebäudegruppen folgende Werte:

Gebäude mit niedrigen k-Werten (0,4–0,5): 1,3 ° C
Gebäude mit hohen k-Werten (0,7–1,0): 0,6 ° C

Auch diese Unterschiede sind gleicher Größenordnung und sicherlich in keiner Weise signifikant.

In *Abbildung 7* haben wir jede der gemessenen Wandtemperaturen ihrer zugehörigen und gleichzeitig erhobenen Lufttemperatur gegenübergestellt.

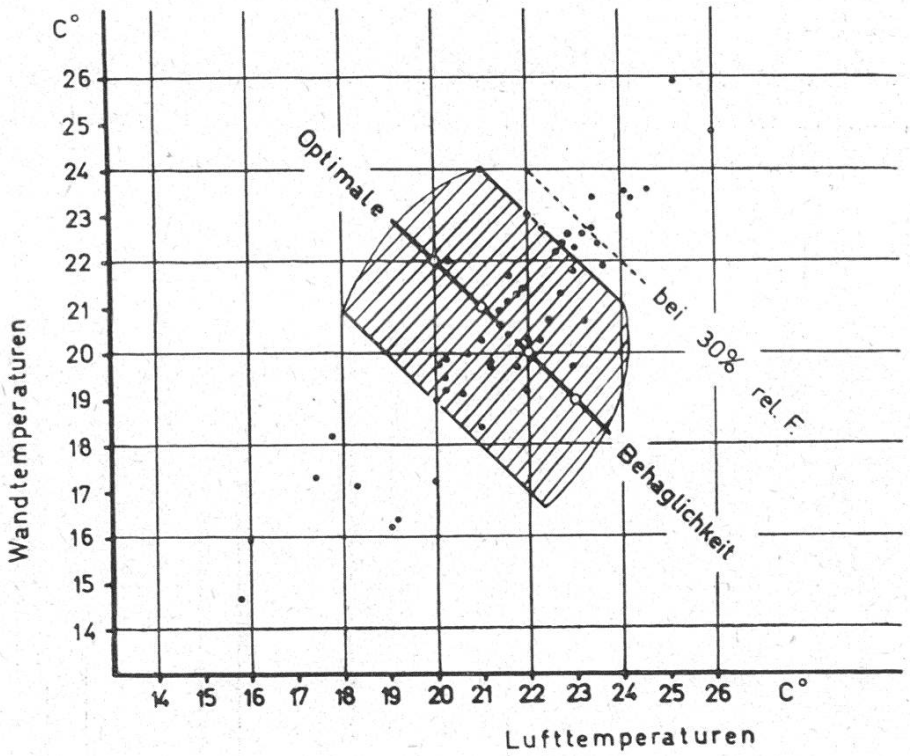

Abbildung 7
Wand- und Lufttemperaturen im Winter in 54 Räumen von 28 Holzbauten

Wir stellen fest, daß die gemessenen Werte in einer bestimmten Korrelation zueinander stehen. Eine Regressionsgerade würde ziemlich genau mit einer Geraden zusammenfallen, deren Punkte im Durchschnitt für die Lufttemperaturen 1 ° C höher wären als für die zugehörigen Wandtemperaturen. Dieser Befund entspricht auch der oben angegebenen durchschnittlichen Differenz von 0,9 ° C zwischen den beiden Temperaturwerten.

In *Abbildung 7* ist außerdem als schraffiertes Feld die Zone eingezeichnet, innerhalb welcher die Verhältnisse der Wand- zu den Lufttemperaturen als behaglich zu erwarten sind. *Die Mehrzahl der erhobenen Werte liegen innerhalb dieser behaglichen Zone.*

Auf Grund der besprochenen Beziehungen zwischen Lufttemperatur und relativer Feuchtigkeit einerseits und der Behaglichkeit anderseits müßten wir in unserem Fall die ganze schraffierte Zone der *Abbildung 7* noch um etwa 1 ° C nach rechts verschieben, da die behaglichste Tempe-

ratur bei relativen Feuchtigkeiten von 30 % um 1 ° C höher liegt. Die punktierte Gerade in *Abbildung 7* entspricht dieser oberen Behaglichkeitsgrenze.

Aus *Abbildung 7* geht nun hervor, daß sich die klimatischen Bedingungen in den 54 Räumen wie folgt verteilen:

Das Raumklima ist zu warm in 8 Räumen . . . . . (= 15 %)
Das Raumklima ist zu kalt in 8 Räumen . . . . . (= 15 %)
Das Raumklima ist innerhalb der Behaglichkeitszone in 38 Räumen . . . . . (= 70 %)

Unsere Erhebungen hatten den Charakter von Stichproben, die durchaus nicht in jedem Fall die charakteristischen und üblichen klimatischen Zustände erfaßten. Neben kurz vorausgegangenen Lüftungen schufen gelegentlich auch besonders sonnige Februartage von der Norm abweichende Bedingungen. Wir können somit sagen, daß die von uns erhobenen klimatischen Bedingungen in den meisten Fällen den Forderungen der Behaglichkeit gerecht werden. Die abweichenden Fälle sind in der Mehrzahl momentanen Zufälligkeiten zuzuschreiben; sie können nicht als charakteristische Abweichungen gedeutet werden.

Die Oberflächentemperaturen der Fußböden sind in *Tabelle 6* zusammengestellt. Hier sei noch bemerkt, daß alle Fußböden aus Holz waren; bei den meisten handelte es sich um Riemenböden aus Tannenholz. In den Räumen, die mit Inlaid, Linoleum oder Teppichen belegt waren, maßen wir die Bodentemperaturen nur, wenn an einem leicht zugänglichen und freien Platz der Holzfußboden unbedeckt war.

Tabelle 6

Die Oberflächentemperaturen der Fußböden im Winter in 43 Räumen von 23 Holzbauten

Bodentemperaturen in ° C	Zahl der Beobachtungen
13–14,9	2
15–16,9	7
17–18,9	10
19–20,9	12
21–22,9	11
23–24,9	1

Der Gesamtdurchschnitt der Bodentemperaturen betrug 19 ° C. Die Ergebnisse zeigen, daß die Mehrzahl der Bodentemperaturen über 17 ° C lagen; sie können im allgemeinen als verhältnismäßig hoch bezeichnet werden.

Die Erhebungen über die subjektiven Beurteilungen des Raumklimas

Die Ergebnisse der allgemeinen Fragen

Bei der Verwertung der Fragebogen berücksichtigten wir bei allfälligem Vorliegen mehrerer sich nicht deckender Antworten jede einzeln. Deshalb werden in den nachfolgenden Zusammenstellungen die Summen der Antworten die Zahl 109 (= Zahl der Befragten) meist überschreiten. Die Prozentzahlen werden sich dagegen immer auf die Zahl der Befragten beziehen.

Die erste Frage «Wie finden Sie das Raumklima hier?» wurde von den 109 befragten Personen wie folgt beantwortet:

81 Personen (74 %)	antworteten «warm» und/oder «angenehm».
13 Personen (12 %)	antworteten «gemütlich» oder «man fühlt sich geborgen» oder «es ist gesund» oder «Holz ist ein lebendiges Material».
1 Person	fand das Holz «ästhetisch».
7 Personen (6 %)	antworteten «im Sommer zu warm».
12 Personen (11 %)	fanden «die raschen Temperaturwechsel» oder «das unausgeglichene Raumklima» unangenehm.
2 Personen	fanden es zu trocken.
1 Person	fand Holzausdünstungen und staubige Luft ungünstig.
1 Person	klagte über unangenehme Gerüche und ungünstige Lichtverhältnisse.
1 Person	kritisierte die Lärmigkeit.

Diese ersten Antworten, die gewissermaßen vom Befragten unbeeinflußte Qualifizierungen des Raumklimas in Holzgebäuden darstellen, ergaben somit *95 positive und 24 negative Urteile.* Während die positiven Beurteilungen im allgemeinen nicht sehr genau begründet werden konnten, wurden die kritischen genau umschrieben.

Die getrennte Zusammenstellung der Antworten für Frauen und Männer oder für Büros, Schulhäuser und Wohnhäuser ergab folgende erwähnenswerte Resultate:

Die Frauen gaben 48 positive und 9 negative Antworten, die Männer dagegen 47 positive und 15 negative. Die größte Zahl negativer Urteile (11) kam von den männlichen Büroangestellten.

Die Frage «Finden Sie das Raumklima im Holzbau verschieden von demjenigen im Massivbau aus Mauerwerk?» wurde wie folgt beantwortet:

78 Personen	bejahten die Frage.
10 Personen	verneinten sie.
9 Personen	hatten keine Meinung.

Die 78 Bejaher fügten folgende Begründungen bei:

13 mal	im Holz sei es gemütlicher, oder wohnlicher, oder heimeliger, oder man fühle sich geborgener.
43 mal	im Holz sei es wärmer.
21 mal	im Holz sei es im Sommer zu warm, zu unausgeglichen oder weniger angenehm.

Die dritte Frage «Würden Sie – wenn Sie wählen könnten – in einem Holzbau oder in einem Massivbau wohnen bzw. arbeiten?» wurde wie folgt beantwortet:

58 Personen (53 %)	gaben ohne Einschränkungen dem Holzbau den Vorzug.
3 Personen (3 %)	hätten dem Holzbau den Vorzug gegeben, wenn eine bessere Konstruktion zur Anwendung käme.
32 Personen (29 %)	gaben einem Massivbau aus Mauerwerk den Vorzug.
15 Personen (14 %)	blieben indifferent und konnten sich für keine Antwort entscheiden.

Wir können aus dieser entscheidenden Frage den Schluß ziehen, daß etwas mehr als die Hälfte der Befragten auf Grund ihrer Erfahrungen einen Holzbau vorziehen, während nicht ganz ein Drittel einem Massivbau aus Mauerwerk den Vorzug geben würde.

Die Begründungen dieser Bevorzugungen lauteten wie folgt:

44 mal	weil es im Holzbau angenehmer, heimeliger, wohnlicher, geborgener, naturnäher oder gesünder sei.
27 mal	weil es im Holz wärmer sei.
7 mal	weil das Holz ästhetischer sei.
4 mal	weil das Holz praktischer sei.
10 mal	weil der Massivbau aus Mauerwerk solider sei.
3 mal	weil der Massivbau gemütlicher und komfortabler sei.
11 mal	weil der Massivbau klimatisch ausgeglichen sei.
3 mal	weil der Massivbau ästhetischer sei.

Es sind somit insgesamt 82 Gründe zugunsten des Holzbaues und 27 Gründe zugunsten des Massivbaues aus Mauerwerk vorgebracht worden. Dies entspricht einem Verhältnis von fast 3 : 1 zugunsten des Holzes.

Durch eine getrennte Auswertung der Antworten prüften wir auch hier, ob die Häufigkeit der Begründungen für das eine oder für das andere Baumaterial vom Geschlecht oder von der Gebäudeart bzw. von der beruflichen Tätigkeit abhängig sei. Die Ergebnisse dieser Auswertungen sind in Tabelle 7 zusammengestellt.

Tabelle 7

Die Verteilung der befürwortenden Argumente für den Holz- bzw. für den Massivbau

	Zahl der positiven Gründe für das Holz	Zahl der positiven Gründe für das Mauerwerk
Von den Frauen	42	12
Von den Männern	40	15
Von den weiblichen Büroangestellten und Lehrerinnen . . . . . (Gebäude mit hohem k-Wert)	21	6
Von den männlichen Büroangestellten und Lehrern . . . . . (Gebäude mit hohem k-Wert)	27	14
Von den Frauen in Wohnhäusern . . (Gebäude mit niedrigem k-Wert)	21	6
Von den Männern in Wohnhäusern . (Gebäude mit niedrigem k-Wert)	13	1
Benützer von Gebäuden mit k-Werten von 0,70—1,0	48	20
Benützer von Gebäuden mit k-Werten von 0,4—0,5	34	7

Aus dieser Zusammenstellung geht hervor, daß zwischen den Frauen und Männern nur ein geringer Unterschied besteht, wobei die Frauen verhältnismäßig etwas mehr Argumente zugunsten des Holzes vorbringen als die Männer.

Bei den Büroangestellten und Lehrern ist der Unterschied zwischen Männern und Frauen deutlich: die männlichen Büroangestellten und Lehrer bringen mehr Argumente zugunsten des Massivbaues vor als ihre weiblichen Kolleginnen.

Das umgekehrte Verhältnis finden wir unter den Befragten in Wohn-

häusern: Hier machen die Männer verhältnismäßig mehr Argumente zugunsten des Holzes geltend als die befragten Hausfrauen.

Vergleichen wir die Verhältnisse der Argumente für das Holz zu den Argumenten für den Massivbau für die beiden Gebäudegruppen getrennt, so zeigt sich bei den hohen k-Werten ein Verhältnis von 2,4 : 1 und bei den niedrigen k-Werten ein solches von nahezu 5 : 1. Das heißt mit andern Worten, *daß die Benützer der Holzgebäude mit verhältnismäßig hohen k-Werten eine stärkere Tendenz haben, den Massivbau aus Mauerwerk zu bevorzugen als die Benützer der Holzgebäude mit den niedrigen k-Werten.*

Die Ergebnisse der gezielten Fragen

Die Resultate der beiden ersten Fragen sind in *Tabelle 8* zusammengefaßt.

Tabelle 8

Die subjektive Beurteilung des Holzbaues bezüglich des Raumklimas im Winter und im Sommer

Fragen	Zahl der Antworten		
	zu kalt	angenehm	indifferent
Raumklima im Winter?	2	99	2
	zu warm	angenehm	indifferent
Raumklima im Sommer?	51	54	3

Wir stellen fest, daß die überwiegende Mehrzahl der Befragten das Raumklima von Holzgebäuden im Winter als angenehm bezeichnen, daß dagegen rund die Hälfte das Raumklima im Sommer als zu warm empfinden.

Betrachtet man die Antworten bezüglich des Raumklimas im Sommer nach den beiden Gebäudegruppen getrennt, so erhält man folgende Resultate:

In Gebäuden mit hohen k-Werten (0,7–1,0) finden 47 von 71 Befragten (66 %) das Raumklima zu warm; in Gebäuden mit niedrigen k-Werten (0,4–0,5) sind es 4 von 38 Befragten.

Mit den Fragen nach dem momentanen klimatischen Empfinden wollten wir prüfen, wie die von den Behaglichkeitsmaßstäben abweichenden Ergebnisse von den Befragten beurteilt werden. Deshalb stellten wir in *Tabelle 9 und 10* die Antworten den im Augenblick der Befragung herrschenden Klimabedingungen gegenüber.

Tabelle 9

Das Temperaturempfinden der befragten Personen

Die Zahlen geben an von wieviel Personen die jeweiligen Antworten gegeben wurden

Luft-temperaturen	Art der Antworten angenehm kühl	neutral	behaglich mild	angenehm warm	warm	zu warm	Total
16–17,9	1						1
18–19,9		1		3			4
20–21,9			5	12	3	1	21
22–23,9			5	9	4		18
24–25,9				4	1		5
26–27,9					1		1
Total	1	1	10	28	9	1	

Tabelle 10

Das Trockenheitsempfinden der befragten Personen

Die Zahlen geben an von wieviel Personen die jeweiligen Antworten gegeben wurden

Relative Feuchtigkeit der Luft	Art der Antworten zu trocken	trocken	neutral	Total
21–25 %			1	1
26–30 %	1		4	5
31–35 %	7	2	12	21
36–40 %	4	4	10	18
41–45 %	1	1	2	4
46–50 %		1	1	2
51–55 %			2	2
56–60 %			1	1
61–65 %			—	—
66–70 %			1	1
Total	13	8	34	

Aus den *Tabellen 9 und 10* können wir den Schluß ziehen, daß die überwiegende Mehrzahl der Befragten zur Zeit der Untersuchung ein behagliches und angenehmes Temperaturempfinden hatte, daß dagegen die Luft von mehr als einem Drittel der Befragten als «trocken» oder «zu trocken» bezeichnet wurde. Die häufigsten Angaben über behagliches Temperaturempfinden erfolgten bei Temperaturen zwischen 20 und 24 ° C.

Luftzüge nahmen die meisten der Befragten (83) nie wahr. 21 Personen gaben an, gelegentlich an bestimmten Stellen der Räume Luftbewegungen bemerkt zu haben, die jedoch nicht Anlaß zu eigentlichen Beanstandungen gaben.

Auf die Frage «Glauben Sie, daß der Holzraum – außer psychologischen Wirkungen – auch einen reellen Einfluß auf den Wärmehaushalt Ihres Körpers bzw. auf Ihre Behaglichkeit ausübt?» erhielten wir 19 verneinende und 61 bejahende Antworten. Die Frage wurde von vielen nicht verstanden, da sie in den darauffolgenden Begründungen mehrheitlich Einflüsse psychologischer Natur geltend machten. Das Ergebnis der Begründungen war ähnlich wie bei den ersten allgemeinen Fragen, indem $^2/_3$ der 61 Bejaher angenehme, heimelige, wohnliche und ähnliche Empfindungen und $^1/_3$ mehr physikalische Einwirkungen im Sinne von Wärmewirkungen in den Vordergrund stellten.

Die Ergebnisse der gezielten Fragen bezüglich der Holzfußböden und der Lärmigkeit sind in *Tabelle 11* zusammengestellt.

Tabelle 11

Die subjektiven Beurteilungen der Holzfußböden und der Lärmigkeit von Räumen in Holzgebäuden

Die Holzfußböden wurden empfunden als:	gleitsicher	normal	glatt
	24 mal	50 mal	11 mal
	warm	neutral	kalt
	49 mal	31 mal	6 mal
	laut	normal	leise
	24 mal	53 mal	8 mal
Die Räume wurden empfunden als:	lärmig	normal	ruhig
	14 mal	58 mal	39 mal
Die Wände wurden empfunden als:	lärmdurchlässig	normal	lärmdämmend
	68 mal	33 mal	9 mal

Die in dieser Tabelle zusammengestellten Resultate müssen mit folgenden Einschränkungen gedeutet werden: Für die Gleitsicherheit ist nicht nur der Baustoff, sondern auch seine Behandlung von Bedeutung; diesen Faktor konnten wir nicht berücksichtigen. Die Angaben über laute Fußböden bezogen sich nicht auf eine einheitliche Lärmquelle: die einen bezeichneten die Fußböden als laut, weil das Auftreten (Trittschall) gut hörbar war, während die andern mehr an das Knarren des Holzes dachten. Die Frage nach der Lärmigkeit des Raumes wurde vielfach nicht recht verstanden, auch wenn zusätzlich erklärt wurde, daß damit der Widerhall des Lärms im Raume gemeint sei.

Trotz diesen Einschränkungen kann aus den Erhebungen der Schluß gezogen werden, daß die überwiegende Mehrheit der Befragten die Holzfußböden bezüglich der Gleitsicherheit und der Wärme gut beurteilten. Dagegen bestand eine deutliche Tendenz, das Holz bezüglich des Lärms zu beanstanden, was in den 68 Angaben über die Lärmdurchlässigkeit der Wände besonders deutlich zum Ausdruck kommt. Die getrennte Analyse der Ergebnisse nach Gebäudearten läßt keine Besonderheiten erkennen.

Bei der letzten Frage «Finden Sie, daß der Holzraum noch andere Vor- oder Nachteile hat?» erhielten wir die in *Tabelle 12* zusammengestellten Antworten.

Tabelle 12

Die Angaben über Vor- und Nachteile des Holzes als Baustoff

Nachteile	Zahl der Angaben
Staubig; mehr Reinigungsarbeiten notwendig	12
Dunkle Farbe des Holzes	10
Verziehen des Holzes; «Sperren» von Türen und Fenstern; häßliche Risse	18
Erhöhte Feuergefahr	4
Lärmdurchlässigkeit	10
Verletzungsrisiko durch Splitter	1
Unangenehme Gerüche	8
Mehr Insekten und Mäuse	2

Vorteile	Zahl der Angaben
«Bodenständig», gemütlich, wohnlich, Geborgenheit und andere psychologische Vorteile	23
Guter Schutz, z. B. gegen Feuchtigkeit	8
Holzräume sind leichter zu reinigen	13
Praktisch zum Bilderaufhängen; wenig delikater Baustoff	19
Für Kinder günstig, weil wärmer	10
Holz sei gesünder	8

Bei dieser Frage wurden zum Teil spontan gewisse Antworten gegeben, die schon vorher angeführt worden waren. Unter den Nachteilen verdienen die Beanstandungen betreffend das Verziehen des Holzes und die Lärmdurchlässigkeit besondere Beachtung. Dagegen scheinen die Meinungen bezüglich der Reinigungsarbeiten recht verschieden zu sein, da 12 Personen dem Holz einen größeren und 13 Personen einen kleineren Aufwand für die Reinigung zuschreiben. Unter den Vorteilen stehen wie-

derum diejenigen psychologischer Natur an erster Stelle, womit die Angaben bei vorgängigen Fragen erneut bestätigt werden. Der praktische Gesichtspunkt, wonach sich Holzwände zum Aufhängen von Bildern und Anschauungsmaterial besonders eignen, wurde in erster Linie von den Lehrern und Lehrerinnen hervorgehoben.

Die Gesamturteile, die – wie bereits erwähnt – jedem Befragten zuletzt zur Stellungnahme vorgelegt wurden, sind in *Tabelle 13* zusammengefaßt.

Tabelle 13

Zusammenfassung der Gesamtbeurteilungen. Die Prozentzahlen beziehen sich auf die Gesamtzahl von 109 Befragten

Gesamtbeurteilung des Holzbaues	Zahl der Befragten Gebäude mit niedrigen k-Werten	Gebäude mit hohen k-Werten	Total
Sehr gut	16 (= 15 %)	9 (= 8 %)	25 (= 23 %)
Gut	15 (= 14 %)	28 (= 26 %)	43 (= 40 %)
Vorteile wiegen Nachteile auf . .	5 (= 5 %)	15 (= 14 %)	20 (= 19 %)
Ungünstig	2 (= 2 %)	16 (= 15 %)	18 (= 17 %)

Aus der Tabelle 13 ergibt sich, daß 63 % der Befragten auf Grund ihrer Erfahrungen und subjektiven Empfindungen den Holzbau, gesamthaft betrachtet, gut bis sehr gut beurteilen. Nur 17 % geben ein negatives Urteil ab, während für 19 % der Befragten die Nachteile gleich stark ins Gewicht fallen wie die Vorteile.

Betrachtet man diese Urteile für die Benützer der beiden Gebäudegruppen getrennt, so sieht man, daß die negativen Urteile fast nur von den Befragten stammen, die in Holzhäusern mit verhältnismäßig hohen k-Werten (0,7–1,0) tätig sind. Dagegen werden die Wohnhäuser, die relativ niedrige k-Werte haben, vorwiegend gut bis sehr gut beurteilt.

Diskussion der Ergebnisse

Die raumklimatischen Messungen haben ergeben, daß in den von uns untersuchten Holzhäusern niedrige relative Feuchtigkeiten vorherrschend sind. Die Stichproben in bewohnten und benutzten Holzhäusern bestätigen somit die Befunde von Haller (2) in seinem Versuchshaus aus Holz. Vom wohnphysiologischen Standpunkt aus müssen wir für den Winter relative Feuchtigkeiten von weniger als 30 % als ungünstig bezeichnen (Reizerscheinungen in den Atmungswegen, erhöhte Anfälligkeit zu Katarrhen). Im Winter sind relative Feuchtigkeiten von 40–60 % wünschenswert. Es ist erstaunlich, daß jedoch nur ein kleiner Teil (etwa 20 %) der

von uns befragten Personen die Luft im Holzraum als «trocken» oder «zu trocken» empfindet.

In der heißen Jahreszeit ist dagegen eine niedrige relative Feuchtigkeit der Luft günstig, da unter diesen Bedingungen die Wärmeabgabe durch die Schweißverdunstung erleichtert wird. Nach den Versuchen von Haller (2) dürfen wir erwarten, daß auch in den bewohnten Holzhäusern im Sommer niedrige relative Feuchtigkeiten vorherrschen.

Von besonderem physiologischen Interesse ist der Befund von Haller (2), wonach die Wandtemperaturen (= Oberflächentemperaturen der Innenseiten der Außenwände) im Holzhaus höher sind als diejenigen von üblich dimensionierten Wänden aus Mauerwerk. Auch wir fanden in den bewohnten Holzhäusern hohe Wandtemperaturen, die im Durchschnitt nur um 0,9 ° C niedriger waren als die Lufttemperaturen.

Eine übermäßige Wärmeabstrahlung des Körpers an kalte Wände wird als unangenehm empfunden. Die Erfahrung zeigt, daß sich der Mensch im Winter in einem Raum um so behaglicher fühlt, je kleiner die Temperaturdifferenzen zwischen Luft und umgebenden Wänden ist. Die moderne Wohnphysiologie stellt daher die grundsätzliche Forderung, daß die Wandtemperaturen möglichst gleich hoch sein sollen wie die Lufttemperaturen. *Dieser Forderung wird das Holzhaus in hohem Maße gerecht; seine hohen Wandtemperaturen sind deshalb im Winter als ein wohnphysiologischer Vorteil zu werten, der geeignet ist, das Behaglichkeitsempfinden zu erhöhen.* Man darf annehmen, daß die zahlreichen Angaben der Befragten über das warme und angenehme Klima im Holzraum weitgehend auf die hohen Wandtemperaturen zurückgeführt werden müssen.

Hohe Wandtemperaturen sind dagegen in der heißen Jahreszeit ein Nachteil, da unter diesen Bedingungen die erwünschte Wärmeabgabe des Körpers durch Strahlung erschwert ist. Im fensterlosen Versuchshaus von Haller waren die Oberflächentemperaturen der Holzwände im Sommer niedriger als diejenigen von Mauern. Wir wissen jedoch nicht, wie sich die Wandtemperaturen im Sommer in einem Holzhaus mit Fenstern verhalten. Man muß vermuten, daß in den bewohnten Holzhäusern auch im Sommer die Wandtemperaturen verhältnismäßig hoch sind, was durch die zahlreichen Beanstandungen der Befragten über das zu warme Raumklima im Sommer gestützt wird. Haller (2) hat festgestellt, daß sich Erhöhungen der Außentemperaturen rascher auf das Raumklima im Holzhaus übertragen als bei Häusern aus Mauerwerk. Auch diese Eigenschaft der Holzhäuser dürfte teilweise an der Häufigkeit der «Wärmebeanstandungen» im Sommer ursächlich beteiligt sein.

Da die befragten Personen bei allen aufgeworfenen Fragen mehrheitlich günstige Urteile über ihre Erfahrungen und Empfindungen im Holzbau abgaben, kann man daraus den Schluß ziehen, daß die Vorteile der hohen Wandtemperaturen im Winter und der niedrigen relativen Feuch-

tigkeit der Luft im Sommer gesamthaft gesehen die Nachteile der Trockenheit im Winter und der Wärme im Sommer überwiegen.

Von besonderem Interesse ist die Feststellung, daß die negativen Urteile über den Holzbau (siehe Tabellen 7 und 13) – vor allem die Klagen über die Wärme im Sommer – in der großen Mehrzahl von den Personen vorgebracht wurden, die in Holzgebäuden mit verhältnismäßig hohen k-Werten arbeiten. Die Bewohner von Holzhäusern mit niedrigen k-Werten gaben dagegen mehrheitlich gute Urteile über das Holz ab. Man muß aus diesem Befund den Schluß ziehen, daß Büros und Schulhäuser mit Wandkonstruktionen versehen werden sollten, die niedrige k-Werte – wenn möglich ebenfalls von der Größenordnung 0,4–0,5 – aufweisen. Dies scheint besonders für die warme Jahreszeit notwendig, da man sich ja in Schulhäusern und Bürogebäulichkeiten aus lichttechnischen Gründen nicht so gut gegen die einstrahlende Sonnenwärme schützen kann wie in Wohnhäusern. Aus demselben Grunde sollte bei Holzgebäuden auch eine vermehrte Aufmerksamkeit den Vordächern geschenkt werden, die einen wesentlichen Schutz gegen direkte Sonneneinstrahlung bieten.

Résumé

Recherches sur la physiologie de l'habitation dans des constructions en bois

L'auteur introduit son exposé par quelques considérations sur les connaissances actuelles de la physiologie de l'habitation. Après quelques indications données sur les influences déjà connues des constructions en bois, il décrit ses propres recherches sur la physiologie de l'habitation dans des bâtiments fabriqués en bois. Durant l'hiver, on mesura par échantillonnage, au cours de ces relevés, le climat ambiant de 53 locaux situés dans 33 bâtiments en bois (bureaux, écoles et maisons d'habitation). Simultanément, 109 usagers de ces bâtiments furent interrogés, à l'aide d'un questionnaire préparé à l'avance, sur leurs expériences faites et leurs impressions subjectives ressenties dans des locaux en bois.

Les analyses climatériques des locaux donnèrent les résultats suivants:

1. L'humidité relative de l'air était faible (en moyenne 35,6 %).
2. La majorité des températures ambiantes mesurées oscillaient entre 20 et 24 ° C (en moyenne 21,6 ° C).
3. Les gradients verticaux de la température de l'air des locaux variaient en majorité entre 1 et 7 ° C (en moyenne 3,5 ° C).
4. La grande majorité des températures de surface du côté intérieur des parois extérieures (températures des parois) oscillaient entre 19 et 24 ° C (en moyenne 20,7 ° C).
5. Les différences entre les températures de l'air et les températures des parois étaient faibles (en moyenne 0,9 ° C).
6. Le calcul d'une «zone de bien-être» (voir cliché 7), qui tient compte des températures de l'air et des températures des parois, ainsi que de la faible humidité de l'air qui fut constatée, montre que le 70 % des locaux analysés

sont caractérisés par des conditions de température qui se situent à l'intérieur de cette «zone de bien-être».

7. Les températures de surface des planchers étaient en majorité au-dessus de 17 ° C (en moyenne 19 ° C).

Au point de vue de la physiologie de l'habitation, ces relevés climatériques de locaux ont la valeur suivante:

Les températures des parois relativement élevées sont favorables, en hiver, au régime calorique et au bien-être. Les faibles degrés d'humidité relative de l'air sont indésirables en hiver, mais sont en revanche, en été, favorables au bien-être.

L'enquête sur les jugements subjectifs du bois comme matériau de construction donna en substance les résultats suivants:

1. Les jugements positifs du bois furent le plus souvent appuyés par des arguments comme: sensation «d'être à l'abri», sensation de confort, sensation d'intimité, chaleur agréable et construction pratique «pour suspendre des tableaux».
2. Les jugements négatifs relevaient dans leur grande majorité les hautes températures des locaux en été, le climat irrégulier, la perméabilité au bruit, le retrait du bois et sa couleur sombre.
3. Le 53 % des personnes consultées donneraient, si elles en avaient le choix, leur préférence à une maison en bois; le 29 % préféreraient une construction massive en maçonnerie.
4. Dans l'ensemble, le 63 % des personnes questionnées qualifient la construction en bois comme bonne à très bonne; le 17 % la jugent défavorable; le 19 % estiment que les avantages et les inconvénients se compensent.
5. Les critiques du bois sont émises en majorité par des employés de bureau et par le personnel enseignant, lesquels travaillent dans des immeubles avec des isolations relativement faibles (valeurs de k estimées entre 0,7 et 1,0). *Farron*

Literatur

1. *Grandjean, E.:* Umweltseinflüsse am Arbeitsplatz. Industrielle Organisation 26, 415—423 (1957).
2. *Haller, P.:* Wärme- und Feuchtigkeitswanderung durch Außenwände. Schweiz. Bauzeitung 49, 3—11 (1957).
3. *Houghton, F. C. and Yaglou, C. P.:* Determination of the comfort zone. ASHVE Transactions 29, 361—378 (1923).
4. *Grandjean, E.:* Physiologische und hygienische Forderungen an das Raumklima von Büroräumen. Industrielle Organisation 24, 281—288 (1955).
5. *Grandjean, E.:* Physiologische und hygienische Forderungen an das Klima von Arbeitsräumen. Schweiz. Arbeitgeberzeitung 45, 1—8 (1957).
6. *Reiher, H.:* Holz im Wohnungsbau. Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung, Nr. 43, 71—84 (1958).