

major diseases like malaria are combated. WHO participates in international efforts for the control of drug addiction and is studying the physical and mental health problems arising from the use of atomic energy. This technical and administrative work is carried out by a secretariat stationed at Geneva, the Regional Offices or in the field.

*Verfasser: Dr. Maria Pfister,
Abteilung für Seelische Gesundheit, Weltgesundheits-
organisation, Genf.*

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

Umweltseinflüsse und Leistungsfähigkeit

Von *E. Grandjean*

Einleitung

Der physiologische Faktor, der die menschliche Leistungsfähigkeit sowohl für körperliche als auch für geistige Arbeit begrenzt, ist die Ermüdung. Sie ist ein Zustand herabgesetzter Leistungsbereitschaft und reduzierter Leistungsfähigkeit. Die Ermüdung ist ein sinnvoller Schutzmechanismus, der den menschlichen Körper vor Überbeanspruchung schützt.

Das Phänomen der Ermüdung ist in keiner Weise spezifischer Natur; dieser Zustand wird durch jede Art von Beanspruchung ausgelöst: also nicht nur durch die Intensität und Dauer körperlicher oder geistiger Arbeit, sondern auch durch Belastungen, wie Hitze, Kälte, Luftverunreinigungen, Lärm oder inadäquate Beleuchtungsverhältnisse.

Im folgenden seien drei Umweltfaktoren besprochen, die erfahrungsgemäß den Organismus des arbeitenden Menschen häufig beanspruchen und somit die Entstehung von Ermüdungszuständen fördern können.

Das Raumklima

Die physiologische Bedeutung des Raumklimas ist durch seine Auswirkungen auf den Wärmehaushalt des Menschen bedingt.

Die in Form von Nahrung aufgenommene chemische Energie wird im Körper in mechanische Energie und in Wärme umgewandelt. Da der Organismus 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 pro Stunde.

Die Regelung der Hautdurchblutung ist die Grundlage für den Wärmeaustausch zwischen dem Menschen und seiner Umwelt.

Die Wärmeabgabe von der Haut an die Umgebung gehorcht den physikalischen Gesetzen der Wärmeübertragung. Der Mensch gibt Wärme ab

durch Strahlung
 durch Konvektion
 durch Verdunstung von Schweiß.

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

Die Wärmebilanz ist nur in einem schmalen Temperaturbereich von ungefähr 2 Grad ausgeglichen. Physiologische Untersuchungen haben ergeben, daß sich der Mensch in diesem engen Temperaturbereich, in welchem die Wärmebilanz ausgeglichen ist, behaglich fühlt. Dieses subjektive Empfinden klimatischer Behaglichkeit besteht nur, wenn die vasomotorische Regulation nicht beansprucht ist, d. h. wenn sich die Hautdurchblutung innerhalb einer normalen und durchschnittlichen Schwankungsbreite bewegt.

Jede Störung des Gleichgewichtes des Wärmehaushaltes, gleichgültig, ob sie durch die Abweichung der Lufttemperatur oder der Feuchtigkeit oder der Luftbewegung oder der Wärmestrahlung ausgelöst wird, führt zunächst zur subjektiven Empfindung klimatischer Unbehaglichkeit. Dieses Unbehaglichkeitsgefühl ist ein dem Ermüdungsgefühl analoger Schutzmechanismus, der den Körper vor unnötigen Belastungen und letzten Endes vor gefährlichen Beanspruchungen durch Störungen des Wärmehaushaltes schützen soll. Jede Beanspruchung des Wärmehaushaltes ist auch von einer entsprechenden Reduktion der Leistungsfähigkeit sowohl für körperliche als auch für geistige Arbeit begleitet.

In *Tabelle 1* sind die Auswirkungen der Erwärmung auf den Menschen zusammengestellt, wie sie bei zunehmender Erhöhung der Temperatur zu erwarten sind.

Tabelle 1 Die Auswirkung warmer Umgebung auf den arbeitenden Menschen

20° C	1.	Behaglichkeitstemperatur	voll leistungsfähig
↓ bei 50% rel. Feuchtigkeit der Luft ↓	2.	{ Unbehaglichkeit Reizbarkeit Konzentrationsmangel Leistungsabfall für geistige Arbeit }	psychische Störungen
	3.	{ Zunahme von Arbeitsfehlern Leistungsabfall für Arbeiten, die Geschicklichkeit erfordern Zunahme von Unfällen }	psycho-physiologische Störungen
	4.	{ Leistungsabfall für Schwerarbeit Störung des Wasser- und Salzhushaltes starke Belastung von Herz und Kreislauf starke Ermüdung und drohende Erschöpfung }	physiologische Störungen
	35–40° C	5.	höchsterträgliche Temperaturgrenze

In analoger Weise führt auch die Abkühlung zunächst zu Unbehaglichkeitsgefühlen, die von Bewegungsdrang und allgemeiner Unruhe begleitet sind. Dabei kommt es zu Einbußen der Konzentration und sehr bald auch zu erheblichen Beeinträchtigungen der Geschicklichkeit.

Die behaglichste Temperatur für Kopfarbeiter liegt im Winter in der Schweiz bei einer relativen Feuchtigkeit der Luft von 50% im Bereich zwischen 20 und 21° C. Für körperlich arbeitende Personen kann man sich an folgende Richtlinien halten:

Tabelle 2 Behaglichkeitstemperaturen bei der Arbeit

Tätigkeit	Lufttemperaturen (bei 50% relativer Feuchtigkeit)
sitzend ausgeführte leichte Handarbeit	20° C
stehend ausgeführte leichte Arm- und Handarbeit ..	18° C
stehend ausgeführte schwere Armarbeit	17° C
sehr schwere Arbeit	15–16° C

Die Behaglichkeit ist nicht nur von der Temperatur, sondern auch von der relativen Feuchtigkeit, von der Luftbewegung und von den Strahlungsverhältnissen abhängig. Zur Einhaltung eines möglichst behaglichen Raumklimas muß man sich deshalb an folgende Richtlinien halten:

a) *Die relative Feuchtigkeit der Luft soll zwischen 40 und 60% schwanken.* Eine relative Feuchtigkeit, die 70% überschreitet, kann nicht nur Materialschäden verursachen, sondern wird auch von vielen Menschen als unbehaglich empfunden. Eine Luftfeuchtigkeit, die unter 30% sinkt, wird als unangenehm trocken verspürt, wobei, neben einer größeren Anfälligkeit zu Katarrhen, Reizerscheinungen an den Schleimhäuten der Atemwege und der Augen sowie chronischer Hustenreiz besonders häufig sind. Wenn gleichzeitig am heißen Heizkörper Staub versengt wird, dann sind diese nachteiligen Wirkungen der Trockenheit besonders ausgeprägt.

b) *Die Luftbewegung soll 0,1 m/sec nicht überschreiten.* Diese Forderung ist gerechtfertigt für die unmittelbare Umgebung aller sitzend arbeitenden Personen. In Raumabteilungen, wo stehend gearbeitet oder nur gelegentlich hindurchgegangen wird, können auch noch etwas höhere Luftbewegungen ohne Beeinträchtigung des Behaglichkeitsgefühls ertragen werden.

c) *Die Temperaturen der umgebenden Wände und Gegenstände sollten möglichst gleich der Lufttemperatur sein.* Der Aufenthalt in der Nähe von kalten Wänden wird mit Recht als unangenehm empfunden, weil unter diesen Bedingungen der Körper durch starke Abgabe von Strahlungswärme an die

kalten Wände abgekühlt wird. Noch unangenehmer sind große Wärmeeinstrahlungen (Öfen, Maschinen, Beleuchtungskörper usw.), gegen die der Arbeitnehmer geschützt werden muß.

In Arbeitsräumen, die von Kopfarbeitern belegt sind, rühren die Luftverunreinigungen meistens vom Menschen selbst her. Diese vor allem durch die Ausdünstung verursachten Luftveränderungen lösen subjektive Unlustgefühle, Unbehagen, Abneigung und Ekel aus. Belästigungen dieser Art können ebenfalls die Konzentration, die Geschicklichkeit und die Arbeitslust ganz allgemein beeinträchtigen.

Um diese durch den Menschen verursachten Luftverunreinigungen auf ein zumutbares Maß herabzusetzen, wird man sich bezüglich der Lüftung an folgende Richtlinien halten müssen:

Tabelle 3 Notwendige Frischluftzufuhr für Büroräume

	bei Luftraum pro Person von:	Frischluftzufuhr von:	
		Minimum	wünschenswert
Räume mit Rauchverbot	15 m ³	20 m ³ /h/Person	30 m ³ /h/Person
Räume mit Raucherlaubnis . . .	15 m ³	30 m ³ /h/Person	40 m ³ /h/Person

Ist die Besetzungsdichte eines Arbeitsraumes größer als 15 m³/Person, dann müssen höhere Frischluftzufuhren gefordert werden, die in der Regel die Installation einer Klimaanlage wünschbar machen.

Der Lärm

Wir wissen, daß der Lärm nicht nur auf das Ohr, sondern auch auf zahlreiche Zentren und Funktionen des Gehirns, und damit auch des ganzen Organismus, Wirkung haben kann. Je nach seiner Stärke können vier Arten von Lärmwirkungen auseinandergehalten werden:

- Hörschäden
- vegetative Reaktionen
- Störungen der Leistungsfähigkeit
- subjektive Belästigung

Bei Lärmstärken von 90 Phon und mehr kann es nach langer Einwirkung zu Erkrankungen des Innenohrs mit bleibender Schwerhörigkeit kommen.

Bei Lärmstärken von 70 Phon und mehr kommt es über eine Reizwirkung des vegetativen Nervensystems zu Erhöhungen des Blutdruckes, Beschleunigungen der Herztätigkeit, Änderungen der Hautdurchblutung, Steigerungen des Stoffwechsels, Störungen der Tätigkeit der Verdauungsorgane, Erhöhungen des Liquordruckes im Gehirn und zu nervös bedingten Spannungszunahmen der Muskulatur. Diese vegetativen Reaktionen sind Ausdruck einer allgemei-

nen Alarm- oder Schreckreaktion des Organismus. Das täglich und oft sich wiederholende Auftreten solcher vegetativer Alarmreaktionen ist für die Gesundheit ungünstig und ist als eine Teilursache der heutigen Zunahme von nervösen Störungen, von Herz- und Gefäßkrankheiten, von Magengeschwüren und von andern modernen Zivilisationsschäden zu bewerten.

Lärmstärken von 60 Phon und mehr verursachen Störungen und Einbußen der Leistungsfähigkeit bei jeder Arbeit, welche Anforderungen an das Denken, an die Konzentration, an die geistige Regsamkeit und an die Geschicklichkeit stellt.

In Laboratoriumsuntersuchungen wurde festgestellt, daß mit zunehmender Erhöhung des Lärmpegels die Fähigkeit zum Rechnen, die Geschwindigkeit des Maschinenschreibens, die Fähigkeit zur Konzentration beeinträchtigt und die Reaktionszeiten verlängert werden. Ferner lehrt uns die tägliche Erfahrung, daß der Lärm vielfach subjektiv als lästig und unbehaglich empfunden wird und daß die Durchführung von schwierigen Aufgaben unter Lärmbedingungen immer mit einem Gefühl größerer Anstrengung und mit größerem Willensaufwand verbunden ist. Wir sind wohl in der Lage, Arbeiten, die hohe Anforderungen an das Denken, an die Konzentration und an die Geschicklichkeit stellen, auch in einer lärmigen Umgebung durchzuführen; dabei sind aber ein gewisser nervöser Aufwand und eine gewisse geistige Anstrengung notwendig, um sich vom Lärm zu isolieren, um ihn gewissermaßen nicht zu hören.

Aus diesen Betrachtungen kann abgeleitet werden, daß der Lärm eine nervöse Belastung für den geistig arbeitenden Menschen darstellt und daß er deshalb sicherlich einen beträchtlichen Anteil an der Ermüdung und Begrenzung der Leistungsfähigkeit des Kopfarbeiters hat.

Für die subjektiven oder psychologischen Wirkungen des Lärms sind nicht so sehr die Lärmstärken, sondern vielmehr die individuelle Einstellung und die Assoziationen, die die Menschen unbewußt oder bewußt mit dem Lärm verbinden, entscheidend.

Physiologische Lichtgebung

Auf Grund unserer heutigen physiologischen Kenntnisse können wir folgende Postulate an die Lichtgebung stellen:

1. *Beleuchtungsstärke*

Durch die natürliche und künstliche Lichtgebung muß eine Beleuchtungsstärke gewährleistet werden, die ein müheloses und dauerndes Erkennen aller nötigen Einzelheiten zuläßt. Die heute gültigen Normen sind in den meisten Handbüchern und in vielen andern Publikationen veröffentlicht.

Die Beleuchtungsstärke ist nur «Ursache», die Leuchtdichte hingegen «Wirkung». Je größer die diffuse Reflexion einer Wand oder eines Objekts,

um so geringer muß die Beleuchtungsstärke sein. So erfordert zum Beispiel das Erkennen eines schwarzen Fadens auf weißem Stoff eine Beleuchtungsstärke von 12 Lux, während das Erkennen des selben Fadens auf schwarzem Stoff eine Beleuchtungsstärke von 20 000 Lux nötig macht.

2. *Leuchtdichten*

Im ganzen Gesichtsfeld¹ sollten die Leuchtdichten aller Flächen und Gegenstände möglichst gleicher Größenordnung sein. Untersuchungen haben gezeigt, daß die Kontraste zwischen der unmittelbaren Umgebung des Arbeitsobjektes und dem mittleren Gesichtsfeld zwischen 1:1 und 1:3 variieren sollen. Die Kontraste zwischen der unmittelbaren Umgebung des Arbeitsobjektes und dem äußern Rand des Gesichtsfelds dürfen hingegen zwischen 1:1 und 1:10 schwanken. Größere Kontraste beeinträchtigen das Sehvermögen. Die Erfahrung hat ferner gezeigt, daß der Kontrast von der größeren Leuchtdichte im Zentrum zur geringeren Leuchtdichte an der Peripherie angenehmer ist als der umgekehrte Kontrast. Einen sehr großen Leuchtdichtenkontrast brauchen wir lediglich zwischen einem kleinen Arbeitsobjekt (Buchstaben, Nadeln usw.) und seiner unmittelbaren Umgebung.

Die Forderung nach ausgeglichenen Leuchtdichten bedeutet ferner, daß ein Fenster, eine weiße Fläche, ein reflektierender Tisch oder ein blanker Teil einer Maschine nicht im Gesichtsfeld einer lesenden oder arbeitenden Person liegen darf. So sollten beispielsweise alle Arbeiten, die mit hohen Anforderungen an die Augen verbunden sind, nicht frontal zu einem Fenster, sondern schräg vom Fenster abgewendet durchgeführt werden.

3. *Blendungsfreiheit*

Einen extremen Fall von Leuchtdichtenkontrasten stellt die Blendung im Gesichtsfeld dar. Wenn die Lichtstrahlen einer hellen Fläche oder einer blendenden Lichtquelle auf die seitlichen Teile der Netzhaut fallen, dann wird reflektorisch die Pupille verengt und die Empfindlichkeit der gesamten Netzhaut herabgesetzt. Die Folge ist eine Herabsetzung der Sehschärfe und der Leistungsfähigkeit des Sehapparates. Versuche haben gezeigt, daß die Sehschärfe mit zunehmender Annäherung einer Lichtquelle an die optische Achse abnimmt.

4. *Zeitliche Schwankungen der Leuchtdichten*

Genau so wie die örtlichen Leuchtdichtenkontraste den Sehapparat belasten, führen auch die zeitlichen Schwankungen von Leuchtdichten zu einer Überbeanspruchung des Sehapparates. Als Beispiel hiefür seien genannt: das

¹ Unter Gesichtsfeld verstehen wir das ganze Gebiet, welches von den auf einen Punkt fixierten Augen erfaßt werden kann.

Flimmern einer Lichtquelle (z. B. einzelner Leuchtstoffröhren), die Bewegungen von blanken Teilen einer Maschine, oder eine Beschäftigung, bei welcher der Blick rhythmisch von einer dunklen auf eine helle Fläche und zurück wandern muß. Bei allen diesen zeitlichen Schwankungen der Leuchtdichten kann die Anpassung der Netzhautempfindlichkeit den Leuchtdichtenvariationen nicht folgen, so daß die Netzhaut überlastet und das Sehvermögen stark herabgesetzt wird.

Wenn die Lichtschwankungen sehr rasch sind und in den Größenbereich der Verschmelzungsfrequenz des Auges fallen, dann entsteht das sogenannte *Bewegungsflimmern*, das man auch kurz als *stroboskopischen Effekt* bezeichnet. Dieses Bewegungsflimmern setzt ebenfalls das Sehvermögen herab und führt gelegentlich zu unangenehmen subjektiven Symptomen, wie Kopfschmerzen, Schwindelgefühle u. a. m.

Ist die Lichtgebung ungenügend, sei es, daß die Beleuchtungsstärken zu gering, die Leuchtdichten unzuweckmäßig verteilt oder daß andere Fehler vorhanden sind, dann wird der Sehapparat und ein großer Teil des Nervensystems überlastet. Subjektiv wird die Überlastung des Sehapparates als Ermüdung empfunden, welche gelegentlich von folgenden Symptomen begleitet sein kann: Unlustgefühle und Mattigkeit, Reizbarkeit, Kopfschmerzen, Brennen in den Augen, Doppeltsehen, Schwindel, Übelkeit und Erbrechen. Objektiv kann die Ermüdung an der Abnahme der Sehschärfe, der Kontrastempfindlichkeit, der Wahrnehmungsgeschwindigkeit, der Konvergenzreserve und der Verschmelzungsfrequenz für intermittierende Lichtreize festgestellt werden. Im Verwaltungsbetrieb führt die ungenügende Lichtgebung zu einer Zunahme der Arbeitsfehler, zu Arbeitsunlust und zur Verlangsamung der Arbeit.

Zusammenfassung

In der vorliegenden Übersichtsarbeit werden drei Umweltfaktoren, die die Leistungsfähigkeit des arbeitenden Menschen zu beeinträchtigen vermögen, besprochen. Es sind dies:

von der Behaglichkeit abweichendes Raumklima
Lärm
inadäquate Beleuchtungsverhältnisse

Im weiteren werden aus den heutigen Kenntnissen die physiologischen und hygienischen Forderungen an die Gestaltung der Umgebung der Arbeitsplätze abgeleitet.

Résumé

Le travail présente traités sommairement des divers problèmes posés par l'influence du milieu ambiant sur l'homme au travail. Les facteurs particulièrement susceptibles d'entraver le bien-être et la capacité de travail de l'ouvrier sont:

les conditions climatiques inconfortables
les bruits
les conditions d'éclairage insuffisantes

L'auteur déduit de nos connaissances actuelles les exigences physiologiques envers le conditionnement climatique, acoustique et optique des postes de travail.

Summary

The paper gives a survey of the main environmental factors interfering with comfort and performance of workers. These factors are

climatic influences
noise
inadequate lighting conditions

The requirements for a climatic, acoustical and optical conditioning of the environment of the work place are deduced from the present physiological knowledge.

Warum wachsen unsere Kinder uns über den Kopf? ¹

Von *R. Nold*, Freiburg Br.

Die Zwillingsforschung

Eine Ureigentümlichkeit des Lebendigen ist das Wechselspiel zwischen der von den Eltern mitgebrachten Eigengesetzlichkeit und den äußeren Gegebenheiten; je reger und vollkommener dieses Wechselspiel stattfindet, desto mehr entspricht die lebendige Gestalt der Idee, die sie darstellt. Auch die Verwirklichung einer bestimmten Größe eines Lebewesens ergibt sich aus der wechselseitigen Verbundenheit von inneren und äußeren Gegebenheiten.

Trennt man einen Löwenzahn in zwei Teile und versetzt die eine Teilpflanze ins Hochgebirge und die andere ins Tiefland, so wird die Hochgebirgspflanze von ihrer Zwillingschwester an Wüchsigkeit bald erheblich übertroffen. Mästet man die eine Hälfte eines Schweinewurfes, während man die andere Hälfte knapp bei Futter hält, so wird der Nahrungseinfluß bald sehr in die Augen springen. Beim Menschen gestatten die Zwillinge, die Einflüsse der Umwelt in das Erbgut zu erkennen. Man vergleicht jene Zwillinge, die von Natur aus die gleichen innern Gesetzmäßigkeiten mitbringen, die Eineiigen, mit jenen, die in den Anlagen von vornherein verschieden sind, den Zweieiigen, um den Anteil der Umwelt an der Gestaltung abzugrenzen. Auch die Untersuchung von anlagemäßig gleichen Zwillingen, die in verschiedenen Bedingungen aufwachsen, gibt gute Einblicke in das Kräftespiel von Erbe und Umwelt. Es ergibt sich dabei, daß die Außeneinwirkungen die einzelnen Eigenschaften des Menschen in unterschiedlicher Stärke prägen. Man fand beispielsweise, daß bei eineiigen Zwillingen in 71 % der Fälle gleiches Verhalten gegen Kropf besteht und zweieiige Zwillingspaare in 70 % der Fälle sich gleich verhalten; dieser Unterschied ist belanglos, und wir dürfen schließen, daß eine besondere Erbveranlagung für die krankhafte Vergrößerung der Schilddrüse nicht besteht; die Ursachen dafür müssen jeweils von außen kommen.

¹ Mit dieser Publikation über ein interessantes Phaenomen unserer Zeit hoffen wir, den Anstoß zu einer breiteren Diskussion zu geben, auch wenn wir die hier geäußerten Ansichten nicht unbedingt teilen. (Red.)