

# C. Aktuelle Forschungsarbeiten

## Recherches actuelles

### 1. Arbeitsunfälle / Accidents du travail

#### Beitrag der Ergonomie zur Unfallverhütung

J. Nemecek<sup>1</sup>, Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH)

##### 1. Einführung

Die Ergonomie ist eine interdisziplinäre Wissenschaft, die das Verhalten und die Reaktionen des Menschen bei seiner Arbeit erforscht. Sie sucht eine menschengerechte Gestaltung sowohl des Arbeitsplatzes wie auch des Arbeitsablaufes zu erreichen. *Die Arbeitsbedingungen sollen den physiologischen und psychologischen Gegebenheiten des Menschen angepasst werden.* Die sachgerechte Anwendung ergonomischer Prinzipien kann das Wohlbefinden fördern, die Gesundheit schützen und zur Verbesserung der Arbeitsqualität beitragen. So dient die Ergonomie nicht nur der Erhaltung der Gesundheit des arbeitenden Menschen, sie kann auch die Leistung verbessern. Die engen Beziehungen zwischen der Berücksichtigung ergonomischer Prinzipien bei der Arbeitsgestaltung einerseits, der Unfallverhütung und der Prävention der Berufskrankheiten andererseits werden nicht bezweifelt.

Im folgenden möchte ich auf einige Problemkreise der Ergonomie hinweisen, deren Erkenntnisse im Fachbereich der Arbeitssicherheit angewendet werden könnten. Ich denke dabei vor allem an Zusammenhänge zwischen der Unfallverhütung und

- der Ermüdung,
- den Umweltfaktoren am Arbeitsplatz,
- dem Mensch-Maschinen-System und
- den antropometrischen Daten.

##### 2. Unfallrisiko und Ermüdung

Es ist bekannt, dass eine hohe Belastung des Menschen zu physischer und mentaler Ermüdung führt, was wiederum eine erhöhte Anfälligkeit für Unfälle zur Folge haben kann. An unserem Institut haben

statistische Analysen über das Unfallgeschehen in der Forstwirtschaft gezeigt, dass die häufigsten Unfälle beim Holzschlag vorkommen. Diese Arbeiten werden mit gefährlichen Motorkettensägen durchgeführt. Die Gefährlichkeit der Säge an sich wird noch erhöht durch die Tatsache, dass die Arbeit mit der Motorsäge sehr anstrengend ist. Das hohe Gewicht der Säge, ihre Handhabung in häufig sehr ungünstigen und unnatürlichen Körperhaltungen, der Lärm, die Vibrationen und die toxischen Abgase des Motors belasten den Organismus in starkem Mass und führen zu einer hohen Ermüdung. Auch Umgebungsfaktoren wie Witterung, Terrain usw. beeinflussen den Waldarbeiter zusätzlich.

Die Annahme, dass Zusammenhänge zwischen der hohen Arbeitsbelastung und Ermüdung einerseits und dem Unfallrisiko andererseits wahrscheinlich sind, wurde in der forstwirtschaftlichen Studie durch eine Untersuchung untermauert. Messungen der Pulsfrequenz bei Waldarbeitern zeigten, dass beim Holzschlag der Grenzwert der zumutbaren körperlichen Belastung weit überschritten wird.

##### 2.1 Die allgemeine Ermüdung

Aus dem Alltag sind die folgenden Symptome der Ermüdung wohl bekannt: subjektive Empfindung der Ermüdung, Schlaflosigkeit, Mattigkeit, Behinderung des Denkens, Herabsetzung der Aufmerksamkeit, Verlangsamung und Dämpfung der Wahrnehmung, Arbeitsunlust, Leistungseinbusse in körperlichen wie in geistigen Tätigkeiten und andere mehr. Insbesondere die Beeinträchtigung des Denkens, der Aufmerksamkeit und der Wahrnehmung stehen in einem engen Zusammenhang mit einem erhöhten Unfallrisiko.

Die Formen und Äusserungen der Ermüdung sind vielfältig, so unterscheidet man:

<sup>1</sup> Dr.-Ing.; Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie der ETH, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich.

- Muskelermüdung und allgemeine körperliche Ermüdung,
- geistige und mentale Ermüdung,
- Augenermüdung,
- Geschicklichkeits- und nervöse Ermüdung,
- Ermüdung durch Monotonie,
- Ermüdung durch Störungen des Tag-Nacht-Systems,
- chronische Ermüdung als Summation langdauernder Ermüdungszustände.

Die Arbeitsphysiologie nimmt an, dass allen Ermüdungserscheinungen gewisse Regulationsvorgänge im Gehirn gemeinsam sind. Im folgenden sollen diese Regulationsvorgänge im Gehirn näher betrachtet werden.

### 2.2 Das neurophysiologische Denkmodell für die Ermüdung

Der Organismus befindet sich in jedem Augenblick in einem gewissen funktionellen Zustand, der zwischen zwei entgegengesetzten Polen, nämlich zwischen dem Schlaf und einem Alarmzustand, situiert werden kann. Zwischen diesen beiden Extremen kommt eine Reihe von Übergangszuständen vor; wie etwa: Tiefschlaf – leichter Schlaf – schläfrig – müde – wenig aufmerksam – entspannt – frisch – motiviert – aufmerksam – angeregt – sehr aufmerksam – Alarmzustand. Die Übergänge zwischen den einzelnen Zuständen sind fließend. Nach neurophysiologischen Theorien werden diese Übergänge durch zwei im Gehirn situierte Regulationssysteme gesteuert, nämlich durch das *Aktivierungssystem* und das *Dämpfungssystem*.

Diese beiden Systeme regeln durch komplizierte neurophysiologische Prozesse und deren Wechselbeziehungen zwei Funktionsbereiche des Organismus: die *Funktion des Bewusstseins* der Hirnrinde und die *Reaktionsbereitschaft der Skelettmuskulatur* im Bewegungsapparat.

Das *Aktivierungssystem* wird durch zwei Arten von Reizen stimuliert: erstens durch *Reize aus den peripheren Teilen des Körpers*, ausgelöst in den Sinnesorganen und in der Muskulatur, zweitens durch *Einströme aus der Sphäre des Bewusstseins*, ausgelöst durch Überlegungen, emotionelle Zustände, Motivationen usw. Das Ziel der Aktivierung ist die Umstimmung der folgenden zwei Funktionsbereiche des Organismus. Erstens wird die Bewusstseinsphäre aktiviert, damit Informationen aus der Aussenwelt bewusster wahrgenommen und interpretiert werden können; auch das Denken ist beschleunigt, die Aufmerksamkeit nimmt zu.

Das zweite Ziel der Aktivierung betrifft die Reaktionsbereitschaft des Bewegungsapparates. Durch *Umstimmung zahlreicher vegetativer Funktionen*, zum Beispiel durch erhöhte Aktivität des Kreislaufsystems und des Stoffwechsels, durch Dämpfung der Verdauungsprozesse, wird der Körper *auf eine Energieverausgabung* vorbereitet.

Das *Dämpfungssystem* wird durch *Zustandsänderungen im Körperinnern*, hauptsächlich durch Änderun-

gen nach Belastung und durch Schwund von Energie-reserven aktiviert. Gleichzeitig kommt eine entgegengesetzte Hemmung des Aktivierungssystems zustande. Das Ziel dieser hemmenden Einflüsse ist die *Umstellung des Organismus auf Erholung*. Im Dienste einer Neugewinnung der Energie erhöhen die Verdauungsorgane ihre Tätigkeit, während die Herzfrequenz und der Blutdruck reduziert werden, die Atmung und der Stoffwechsel gehen zurück, die Muskelanspannung nimmt ab, usw. Die durch das Dämpfungssystem hervorgerufene Hemmung breitet sich auch auf die Bewusstseinsfunktionen in der Hirnrinde aus.

Die Regulationsvorgänge lassen sich in einer groben Vereinfachung folgenderweise zusammenfassen:

- Überwiegen die aktivierenden Einflüsse, dann befindet sich der Organismus in einem Zustand erhöhter Reaktionsbereitschaft, die in Gefühlen der Frische, der Anregung, einer erhöhten Motivation und Aufmerksamkeit zum Ausdruck kommen.
- Überwiegen die dämpfenden Einflüsse oder sind die aktivierenden Einflüsse stark reduziert, dann befindet sich der Organismus in einem Zustand herabgesetzter Reaktionsbereitschaft, die sich in Müdigkeit, Schläfrigkeit, reduzierter Motivation und Aufmerksamkeit äussert.

### 2.3 Ursachen der Ermüdung in betrieblicher Praxis

Die Ursachen der Ermüdung sind sehr vielfältig. Sie können beruhen auf:

- der Intensität und Dauer der körperlichen und geistigen Arbeit,
- Einflüssen der Umgebung wie Klima, Licht, Lärm, Vibrationen usw.,
- Störungen des Tag-Nacht-Rhythmus,
- psychischen Belastungen wie Verantwortung, Sorgen, Konflikte,
- Erkrankungen und Schmerzen,
- Ernährung.

Die verschiedenen Beanspruchungen summieren sich im Laufe des Tages und bestimmen das Ausmass der Ermüdung im Organismus. Im Interesse der Erhaltung der Gesundheit und der Leistungsfähigkeit ist es erforderlich, die Ermüdung durch angemessene *Erholung* zu kompensieren. Wirksamer ist es jedoch, dem Entstehen einer Ermüdung entgegenzuwirken durch *Herabsetzung* der auslösenden *Ursachen*.

### 2.4 Reduktion der Ermüdungsursachen

Die Ergonomie hat zahlreiche Einflüsse von Arbeitsbedingungen auf die Entstehung der Ermüdung erforscht. Im folgenden soll auf die wichtigsten Arbeitsbedingungen hingewiesen werden, welche die Ermüdung fördern.

- Die Beanspruchung der Muskulatur durch *rhythmische (dynamische) Arbeit* wie durch statische Haltearbeit führt zu erhöhter Muskelermüdung.
- *Geschicklichkeitsarbeiten* belasten das Nervensystem und das Bewusstsein. Solche Tätigkeiten stellen hohe Anforderungen an eine rasche und feine Dosierung der Muskelkontraktion, an die Koordi-

- nation und Präzision der Muskelbewegungen, an die Konzentration und an die visuelle Wahrnehmung.
- *Der vorgeschriebene*, das heisst takt- oder zeitgebundene *Arbeitsrhythmus* bedingt einen erhöhten Energieverbrauch, eine höhere Belastung der motorischen Steuerung und eine höhere Ermüdung als ein freier, den individuellen Bedingungen angepasster Arbeitsrhythmus.
  - Reaktionen auf reizarme Situationen oder auf Bedingungen mit geringer Veränderlichkeit der Reize werden als *Monotonie* bezeichnet. Solche Situationen kommen bei folgenden Arbeitsbedingungen vor: langdauernde repetitive Tätigkeiten mit geringem Schwierigkeitsgrad, aber ohne Möglichkeit, sich gedanklich ganz von der Arbeit zu lösen, und langdauernde reizarme Überwachungsaufgaben mit Zwang zu ununterbrochener Wachsamkeit.
  - Die *Nachtarbeit* stellt ein erhöhtes Unfallrisiko dar. Da der Mensch auf einen 24-Stunden-Rhythmus eingestellt ist, sind in der Nacht die Tätigkeit und Reaktionsbereitschaft der meisten körperlichen Funktionen gedämpft. Der Organismus ist dann auf Erholung und auf Restitution der Energiereserven eingestellt.

### 3. Umweltfaktoren am Arbeitsplatz

Grundsätzlich schaffen unverändert andauernde Umweltfaktoren reizarme Situationen und führen zu Ermüdungszuständen, die sich in einer Aktivierung des Dämpfungssystems und in einer gleichzeitigen Hemmung des Aktivierungssystems äussern.

Weitere Umweltfaktoren können zu einer Steigerung besonderer Ermüdungsformen oder zu erhöhten Unfallrisiken führen.

- Störungen der klimatischen Behaglichkeit sind von funktionellen Änderungen begleitet, die den ganzen Organismus treffen. So führt *übermässige Wärme* zunächst zu Müdigkeit und Schläfrigkeit, was unter anderem die Tendenz zu Fehlleistungen erhöht. Mit dieser Dämpfung der Tätigkeit des Menschen will die Natur die Wärmeproduktion im Innern des Körpers reduzieren. Ist umgekehrt der Organismus von *Abkühlung* bedroht, dann tritt ein erhöhter Bewegungsdrang auf, wodurch auch die Aufmerksamkeit und die Konzentration abnehmen. In diesem Fall will die Natur durch die Alarmierung des ganzen Körpers und insbesondere des Bewegungsapparates die Wärmeproduktion im Innern steigern.
- Ungenügende *Beleuchtungsbedingungen* beanspruchen den Sehapparat übermässig und lösen Augenermüdung und nervöse Ermüdung aus. Insbesondere die intensive Beanspruchung der Akkomodationsmuskulatur bei Scharfeinstellung der Linse sowie die Beanspruchung der Netzhaut durch andauernde zeitliche oder örtliche Helligkeitskontraste sind wichtige Ursachen der Augenermüdung.
- *Farben* haben unterschiedliche psychologische Wirkungen. Sie beeinflussen psychische Stimmungslagen und damit auch das Verhalten des Menschen. Verwendet man immer die gleiche Farbe zur Kenn-

zeichnung einer bestimmten Situation, wie Gefahr oder Sicherheit, so kann sich beim Menschen eine automatische Schutzreaktion anbahnen. Aus diesen Gründen werden bestimmte Sicherheitsfarben für bestimmte Gefahren verwendet.

- *Lärmpegel* oberhalb von 85 dB(A) stellen ein erhöhtes Risiko von Gehörschädigungen dar. Sie können ausserdem unter bestimmten Situationen akustische Warnsignale überdecken und deren Missachtung verursachen. Aus diesem Grund wird in zu lärmigen Betrieben der persönliche Gehörschutz häufig abgelehnt: die Verständlichkeit der akustischen Warnsignale sei stark beeinträchtigt. Intermittierende Lärmpegel mittlerer und niedriger Intensitäten führen zu einer Stimulierung des Aktivierungssystems und zur Belebung der Bewusstseinsphäre im Gehirn. In der Folge können, je nach Situation, die Aufmerksamkeit und Konzentration bei mentalen wie bei psychomotorischen Tätigkeiten gestört werden.
- Zu den physiologischen Wirkungen von *Vibrationen*, die die Arbeitssicherheit beeinträchtigen können, gehören nicht nur Einschränkungen des Sehvermögens: die Sehschärfe wird reduziert, und das Bild wird verwackelt oder verschwommen. Starke Vibrationen beeinträchtigen auch die Durchführung motorischer Bewegungsabläufe. So ist zum Beispiel die Handgeschicklichkeit nach dem Gebrauch von Motorsägen herabgesetzt. Ausserdem wird auch die mentale Verarbeitung der Informationen durch Vibration verschlechtert.

### 4. Wechselbeziehungen zwischen Mensch und Maschine

Eine andere Art von Unfallgefahr schaffen Fehlleistungen bei der Bedienung von Maschinen und der Steuerung von Anlagen. Grundsätzlich beruht eine Steuerung auf Wechselbeziehungen zwischen der Maschine und dem sie bedienenden Menschen. Dabei besteht die Aufgabe des Menschen in:

- der Wahrnehmung der Informationen über den Maschinenablauf,
- der Interpretation und Verarbeitung der Anzeige,
- dem Entscheid über die weitere Betätigung der Maschine,
- der Bedienung der Maschine.

Daraus ergibt sich die Forderung nach

- einer fehlerlosen, schnellen und mühelosen Ablesemöglichkeit der *Informationen von Anzeigegeräten*,
- einer fehlerlosen, schnellen und mühelosen *Handhabung der Bedienungselemente*.

In zahlreichen Untersuchungen sind ergonomische Empfehlungen und Richtlinien für die Gestaltung und Anordnung von Anzeigegeräten erarbeitet worden. Ebenso kennt man Richtwerte und Empfehlungen für Bedienungselemente.

### 5. Anthropometrische Daten

Die Körpermasse einer grossen Anzahl von Menschen sind ermittelt worden. Sie dienen als Richtwerte für

eine ergonomisch gerechte Bemessung von Arbeitsplätzen, Maschinen und Geräten. Ebenso sind die Körpermasse für Zwecke der Arbeitssicherheit von grossem Nutzen. Sie werden für Bemessungen der Sicherheitsabstände von gefährlichen Stellen, der Höhen von Schutzgeländern, Durchgängen, Wartungsöffnungen usw. verwendet.

\*\*\*

Die Ergonomie hat einen breiten Katalog von Massnahmen und Empfehlungen für die menschengerechte Planung, Konstruktion und Organisation der Arbeitsplätze, Maschinen und Arbeitsabläufe ausgearbeitet.

#### Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit berichtet über die Wechselbeziehungen zwischen dem arbeitenden Menschen und seinen Arbeitsbedingungen. Zahlreiche Erkenntnisse der Ergonomie können im Fachbereich der Arbeitssicherheit verwendet werden. Zusammenhänge zwischen der Arbeitssicherheit einerseits und der Ermüdung und deren Ursachen andererseits sind aufgezeigt worden. Im weiteren ist auf Umweltfaktoren am Arbeitsplatz und Wechselbeziehungen zwischen Mensch und Maschine hingewiesen worden.

#### Résumé

##### Contribution de l'ergonomie à la prévention des accidents

Ce travail présente les relations mutuelles entre l'ouvrier et ses conditions de travail. La connaissance de l'ergonomie peut être appliquée dans le secteur de la sécurité au travail. Les rapports entre la sécurité au travail d'une part, et la fatigue et ses raisons d'autre part, sont présentés. En plus, les facteurs environnementaux à la place de travail et les corrélations entre homme et machine sont examinés.

#### Summary

##### Contribution of Ergonomics Towards Accident Prevention

The present article reports on the interrelation between the working man and his work conditions. The knowledge of ergonomics can be used in the field of working security. Connections between working security on one hand and fatigue and its causes on the other have been presented. Furthermore environmental factors at the work place and interrelations between man and machine have been pointed out.

#### Literatur

- Butora, V.*, Das Unfallgeschehen in der Forstwirtschaft, eine Auswertung der Arbeitsunfälle in den öffentlichen Waldungen der Schweiz 1973 und 1974, Forstwirtschaftliche Zentralstelle der Schweiz, Solothurn (1978).
- Grandjean, E.*, Physiologische Arbeitsgestaltung, 3. Auflage (Ott Verlag, Thun 1979).
- Nemecek, J.*, Ergonomisch gerecht konstruieren, Seminar über Arbeitssicherheit für Konstrukteure, Suva, Luzern (1981).



Le C.I.H.A.C. (Centre d'Information en Hygiène Appliquée et Comparée), association à but non lucratif créée le 12 juin 1981 sous l'égide de la Fondation Marcel Merieux à Lyon, propose:

un Centre d'information: M<sup>me</sup> M. L. Poggi-Dufaud, pharmacien IFFA-CREDO, B.P. 109, 69210 L'Arbresle;

un enseignement annuel en hygiène hospitalière: sous la direction du Professeur A. Roussel, assistance publique, 3, avenue Victoria, 75100 Paris.

Le premier cours, destiné à toute personne diplômée de l'enseignement supérieur, se déroulera à l'Ecole nationale vétérinaire de Lyon du 19 au 24 avril 1982.

#### Thème des cours:

- Généralités. Bactériologie. Voie de transmission.
- Stérilisations.
- Désinfection de l'environnement, du matériel, de la peau, des muqueuses, du champ opératoire.
- Asepsie. Méthodes de soins.
- Etudes de cas: porteurs, dépiégeage, contrôle d'épidémiologie, circuits, reconnaissance des problèmes, pharmacie.

Nombre de participants: limité à 25.

Montant des droits d'inscription: 3000 FF.

Prise en charge par la Formation professionnelle Continue.

Programme définitif communiqué ultérieurement.

Pour tout renseignement, s'adresser au:

**Docteur Vétérinaire J. Bonnod**  
secrétaire du C.I.H.A.C., IFFA-CREDO, B.P. 109  
69210 L'Arbresle, N° de téléphone (74) 01-13-99.