

## Handbuch der Arbeitsmedizin

Arbeitsphysiologie, Arbeitspsychologie, Klinische Arbeitsmedizin, Gesundheitsförderung und Prävention

Bearbeitet von  
Dipl.-Ing. Prof. Dr. Stephan Letzel, Prof. Dr. Dennis Nowak

Grundwerk mit 36. Ergänzungslieferung 2015. Loseblatt. Mit CD-ROM. In 3 Ordnern

ISBN 978 3 609 10570 3

Format (B x L): 21,0 x 29,7 cm

[Weitere Fachgebiete > Medizin > Sonstige Medizinische Fachgebiete > Arbeitsmedizin, Flugmedizin, Raumfahrtmedizin](#)

schnell und portofrei erhältlich bei

  
DIE FACHBUCHHANDLUNG

Die Online-Fachbuchhandlung [beck-shop.de](http://beck-shop.de) ist spezialisiert auf Fachbücher, insbesondere Recht, Steuern und Wirtschaft. Im Sortiment finden Sie alle Medien (Bücher, Zeitschriften, CDs, eBooks, etc.) aller Verlage. Ergänzt wird das Programm durch Services wie Neuerscheinungsdienst oder Zusammenstellungen von Büchern zu Sonderpreisen. Der Shop führt mehr als 8 Millionen Produkte.

## B I-1 Einführung in die Arbeitsphysiologie

H. KRUEGER

### Zusammenfassung

Ziel der Arbeitsphysiologie ist es, wissenschaftliche Grundlagen für die Bewertung und die humane Gestaltung des Systems „Arbeit – Gesundheit – Leistung“ zu erarbeiten. Sie liefert damit das Fundament für die praktisch handelnde Arbeitsmedizin und die gestaltende Ergonomie.

Die Arbeitsphysiologie untersucht und bewertet mit empirischen Methoden im Laboratorium und am realen Arbeitsplatz die Auswirkungen von Belastungen auf die individuelle Beanspruchung des tätigen Menschen im Hinblick auf die akuten Reaktionen und die chronischen Folgen. Damit schafft sie die wissenschaftlichen Grundlagen einerseits für die Beurteilung der Arbeitsfähigkeit, andererseits für eine nachhaltige Gesundheitsförderung und für die Gestaltung effizienter Arbeitssysteme.

Die Globalisierung der Wirtschaft, die Automatisierung und die kurzen Innovationszyklen infolge der Durchdringung aller Lebensbereiche mit immer neuen Informationstechnologien wie auch die in wirtschaftlich entwickelten Ländern zunehmende Alterung der Bevölkerung verändern heute die Aufgaben der Arbeitsphysiologie. Die Praxis der Arbeitswelt zeigt, dass sich die Art der Belastungen zunehmend von der physischen hin zur informatorisch geprägten sensomotorischen, psychomentalen und psychosozialen verschiebt. Deshalb sind für die Beurteilung der Arbeitsfähigkeit neue tätigkeitsbezogene mehrdimensionale Verfahren und Methoden zu entwickeln. In transdisziplinärer Zusammenarbeit unter Führung der Arbeitsphysiologie müssen künftig Dimensionen wie Attribuierung und Emotion einbezogen werden.

### Anfänge der Arbeitsphysiologie in Deutschland

Die Arbeitsphysiologie hat ihre Wurzeln in der Physiologie und der Medizin bzw. der Hygiene. In Deutschland ist sie eng mit den Namen Max Rubner (1854–1932) und Edgar Atzler (1887–1938) verbunden.

M. Rubner, habilitiert in München mit einer Arbeit über den Brennwert von Nährstoffen, wurde 1891 als Nachfolger von Robert Koch auf den Lehrstuhl für Hygiene an der Universität Berlin berufen. 1909 folgte er Theodor Wilhelm Engelmann auf den Lehrstuhl für Physiologie. 1912 beschloss die Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft die Gründung eines Instituts zur Erforschung der Physiologie, Pathologie und Hygiene der geistigen und körperlichen Arbeit. 1913 wurde M. Rubner erster Direktor dieses Instituts, das in den Räumen der Physiologie beheimatet war. Damit

kann die Arbeitsphysiologie als Vorläufer arbeitsmedizinischer universitärer Forschung in Deutschland angesehen werden.

E. Atzler war seit 1921 wissenschaftliches Mitglied des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Arbeitsphysiologie. Er leitete von 1921 bis 1926 das sportphysiologische Laboratorium der Deutschen Hochschule für Leibesübungen, bevor er 1926 als Nachfolger von Rubner die Leitung des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Arbeitsphysiologie in Berlin übernahm. Unter seiner Leitung wurde das Institut 1929 nach Dortmund mit einer Außenstelle für Sportphysiologie in Münster verlegt. Die Abteilung in Münster gewährleistete die Anbindung an eine Universität. Mit der Verlegung wurde den Bedürfnissen der im Ruhrgebiet ansässigen Schwerindustrie und ihren arbeitsphy-

siologischen Problemen schwerer körperlicher Arbeit unter ungünstigen Umgebungsbedingungen Rechnung getragen.

Schon in den Anfängen gab es eine enge Verbindung von Sportphysiologie bzw. Leistungsphysiologie (Höchstleistung) und Arbeitsphysiologie (Dauerleistung) als ein Zeichen dafür, dass in der Anfangszeit, den Bedürfnissen der Arbeitswelt folgend, die körperliche Arbeit im Vordergrund des Interesses stand. Fragen der Energetik des menschlichen Körpers waren von besonderem Interesse und wurden durch Analysen zur rationellen Ausführung unterschiedlicher Arbeitsvorgänge bearbeitet. Daneben wurden Arbeiten zum Muskelstoffwechsel und zur Ernährung durchgeführt.

Nach dem 2. Weltkrieg wurde das Institut von 1946 bis 1954 als Max-Planck-Institut für Arbeitsphysiologie fortgeführt. Das heutige Institut für Arbeitsphysiologie der Leibniz-Gemeinschaft an der Universität Dortmund steht in der Tradition des ehemaligen Max-Planck-Instituts für Arbeitsphysiologie. Die Arbeitspsychologie war ein integrierter Teil. Die Mehrzahl arbeitsphysiologisch orientierter Institutionen in Mitteleuropa gehen auf die Wirkung des MPI für Arbeitsphysiologie zurück.

Aktuell haben die skandinavischen Länder international eine führende Rolle in der arbeitsphysiologischen Forschung und in der praktischen Umsetzung arbeitsphysiologischer Forschungsergebnisse.

## Was ist Arbeitsphysiologie?

Der Begriff Arbeitsphysiologie („Occupational Physiology“) ist vor allem in Europa verbreitet (Åstrand et al. 2003). In den angloamerikanischen Ländern wird dagegen vorwiegend der Begriff „Exercise Physiology“ verwendet, was auf die vorwiegende Ausrichtung auf physische, körperliche Tätigkeiten und eine enge Beziehung zur Sportphysiologie hindeutet (Wilmore u. Costill 2005).

Die Arbeitsphysiologie untersucht die physiologischen Funktionen des menschlichen Organismus bei der Arbeit oder treffender bei Tätigkeiten mit vorwiegend naturwissenschaftlichen Methoden. Traditionell stehen Leistungsfähigkeit und Leistungsgrenzen im Vordergrund. Neben dem Erhalt der Gesundheit bzw. der Verhinderung von Krankheit sind neu die Förderung der Arbeitsfähigkeit so-

wie der Gesundheit als Ziel arbeitsphysiologischen Handelns hinzugekommen. Die Arbeitsphysiologie schafft Erkenntnisse zur menschengerechten Gestaltung von Arbeitssystemen.

Traditionell befasst sich die Arbeitsphysiologie mit der Auswirkung physischer Belastungen auf den menschlichen Organismus. Energieumsatz und muskuloskeletale Belastung bei körperlicher Tätigkeit sind seit den Anfängen der Arbeitsphysiologie ein wichtiges Forschungsgebiet (Åstrand et al. 2003, LaDou 2004). Hinzu kommen Fragen der Anpassung an kaltes und heißes Klima mit hohem Energieverlust an die Umgebung bzw. hohem Energieeintrag aus der Umgebung. Der Aufenthalt bei niedrigem Sauerstoffdruck (Höhenphysiologie) oder erhöhtem Luftdruck bei Caisson-Arbeit unter Wasser sowie bei Tunnelbauten sind weitere Themengebiete. Die energetische Wirkung von Lärm am Arbeitsplatz ist weiterhin ein Problem (Schmidt et al. 2005, Ulmer 1985).

Die Arbeitsphysiologie ist eine Systemwissenschaft, die sich allgemein der Methoden Physiologie und im Speziellen der angewandten Physiologie bedient. Ihr Forschungsgegenstand sind Einzelfunktionen des menschlichen Körpers unter äußerer und innerer Belastung durch physische, sensomotorische und psychomentele Tätigkeiten im weitesten Sinne. Darüber hinaus gilt ihr eigentliches Interesse als Systemwissenschaft der Erforschung der kumulativen Wirkung verschiedenster Belastungsarten. Das bedeutet, dass ihr Forschungsgegenstand offene, wenig definierte Systeme sind, nämlich arbeitende Individuen mit vielleicht chaotischem Verhalten.

In der Arbeitsphysiologie ist die Feldforschung neben dem beliebteren Experiment im „geschützten“ Laboratorium eine unabdingbare Notwendigkeit für valide Ergebnisse. Am Arbeitsplatz wirken im Allgemeinen nicht nur einer, sondern eine Vielzahl von Belastungsfaktoren auf den menschlichen Organismus ein. Zusätzlich muss die Fähigkeit des menschlichen Organismus berücksichtigt werden, sich an Bedingungen anpassen oder Defizite kompensieren zu können (Ulmer 1985). Die Ergebnisse von monofaktoriellen Experimenten im Laboratorium mit gut definierten Randbedingungen können deshalb zumeist nur Möglichkeiten aufweisen. Die Erfahrung zeigt, dass die im Experiment gewonnenen Erkenntnisse und die daraus abgeleiteten Maßnahmen in der realen Arbeitswelt, im „Feld“, validiert werden müssen.

Mit der Verlagerung der traditionellen Fertigung nach Osten, mit dem Eindringen der Informatik in alle Lebensbereiche („Embedded Informatics“, „Ubiquitous Informatics“), mit der Zunahme computergestützter Tätigkeiten („Virtual Reality“, „Augmented Reality“) haben sich im letzten Jahrzehnt die Arbeitsanforderungen in den entwickelten Industriestaaten deutlich verändert und werden sich auch weiterhin ändern. In allen europäischen Wirtschaften ist eine Verlagerung der Arbeitsplätze vom zweiten Wirtschaftsbereich (Produktion) zum dritten Wirtschaftsbereich (Dienstleistung) zu beobachten. Aber auch im zweiten Bereich der Fertigung hat die Automatisierung die Arbeitsplätze grundlegend verändert. Es wurde eine Vielzahl neuer büroähnlicher Arbeitsaufgaben geschaffen. Kenntnisse der Informatik sind überall gefragt. Computergestützte Tätigkeiten („Augmented Reality“) entwickeln sich zur Normalität. Damit drängen die Probleme psychomentaler und sensomotorischer Anforderungen am Arbeitsplatz mehr und mehr in den Vordergrund.

Standen am Beginn arbeitsphysiologischer Forschung physische Belastungen im Vordergrund, so verschiebt sich das Schwergewicht heute zu Fragen der Auswirkung psychomentaler und sensomotorischer Belastungen durch die Arbeit oder auch durch Freizeitaktivitäten. Sensomotorische und psychomentale Fähigkeiten und Beanspruchungsreaktionen werden damit die Zukunft arbeitsphysiologischer Forschung bestimmen. Die Probleme moderner Arbeit werden weniger vom Energieeinsatz als von der zu verarbeitenden Information bestimmt. Damit stellen sich der arbeitsphysiologischen Forschung wichtige neue Aufgaben und Perspektiven.

Stressoren, wie mangelnde Anerkennung durch Vorgesetzte, drohende Arbeitslosigkeit oder Arbeitsverdichtung und falsch-flexible Arbeitszeiten gewinnen an Bedeutung in der arbeitsphysiologischen Forschung. Der schnelle technische Wandel und die Möglichkeit, Arbeitsplätze in kürzester Zeit an andere Orte zu verlagern, bringen neue Belastungen im psychosozialen Bereich mit sich. Unspezifische Gesundheitsstörungen, Befindlichkeitsstörungen oder auch Lästigkeitswahrnehmungen können folgen. Tätigkeitsassoziierte Berufskrankheiten sind ein aktuelles Problem. Es gehört zu den Aufgaben der Arbeitsphysiologie, für die Beurteilung solcher Belastungen geeignete empirische Grundlagen zu schaffen. In diesem Sinne gehört die Ar-

beitsphysiologie heute mehr denn je zuvor zu den wichtigsten Grundlagen arbeitsmedizinischen Handelns.

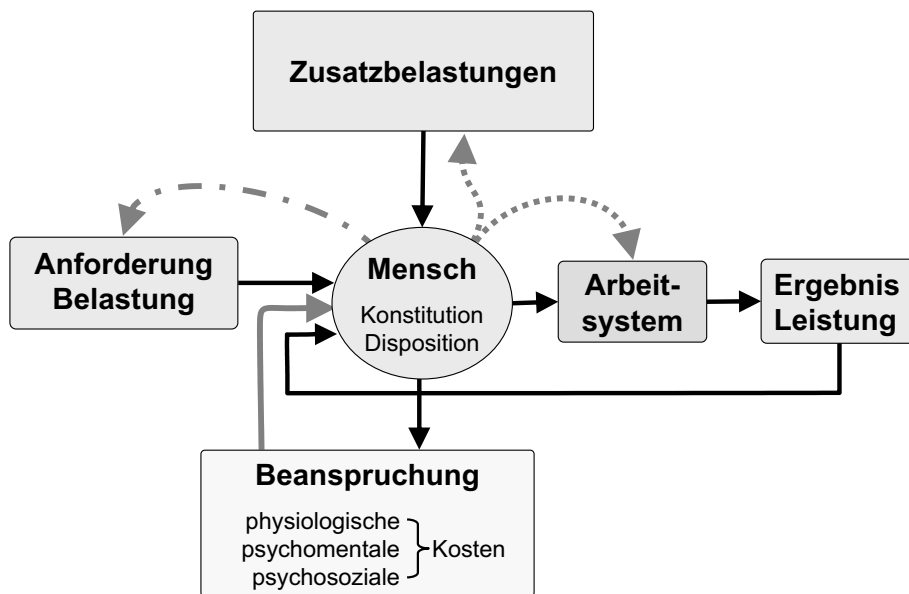
Die Abgrenzung der Systemwissenschaft Arbeitsphysiologie gegenüber anderen Fachgebieten, wie beispielsweise Leistungsphysiologie, Sportphysiologie, Biomechanik und Pathophysiologie sowie auch Psychophysiologie und Arbeitspsychologie ist fließend. So hat sich in den letzten Jahrzehnten die Psychologie in die Arbeitsphysiologie hinein bewegt (Birbaumer u. Schmidt 2006, Frieling u. Sonntag 1999). Ihren umfassenderen Fragestellungen folgend, sollte die Arbeitsphysiologie Methoden und Ergebnisse anderer Fachgebiete (Lindsay u. Norman 1977, Luczak 1989) übernehmen und sie im Sinne einer Transferforschung bewerten. Sie sollte die theoretischen Kenntnisse in die Komplexität der Probleme der Praxis umsetzen. Erfahrungen aus der Feldforschung und transdisziplinäre Zusammenarbeit sind dafür die geeignete Voraussetzung.

## Ziele und Nutzen der Arbeitsphysiologie

Die Arbeitsphysiologie erarbeitet neben der Arbeitshygiene und der Arbeitstoxikologie sowie der inneren Medizin die wissenschaftlichen Grundlagen für arbeitsmedizinisches Handeln im betrieblichen Alltag. Im Hinblick auf die aktuellen Probleme wird die Bedeutung der Arbeitsphysiologie für die Arbeitsmedizin zunehmen.

Die Ergebnisse arbeitsphysiologischer Forschung und Entwicklung sind weiterhin die wissenschaftliche Grundlage der gestaltenden Ergonomie, denn die wichtigste Aufgabe einer technisch orientierten Ergonomie („Ergonomics“) im betrieblichen Alltag ist die Verhältnisprävention, die Gestaltung von Arbeitssystemen auf der Grundlage wissenschaftlicher Erkenntnisse. So nennt Grandjean (1991) seinen klassischen Leitfaden der Ergonomie in der deutschen Originalfassung „Physiologische Arbeitsgestaltung“. Im Englischen steht dafür „Fitting the Task to Man“ („Anpassung der Aufgabe für den Menschen“), was das umgekehrte Verhältnis zum Ausdruck bringt.

Die Arbeitsphysiologie liefert Grundlagen für Messung, Bewertung und Gestaltung physischer und



**Abb. 1:** Konzept „Belastung – Beanspruchung“. Wirkungsgefüge von Belastung und Beanspruchung. Ein Teil der Belastung ergibt sich aus der direkten Arbeitsanforderung und ein zweiter Teil aus den Zusatzbelastungen, die nur mittelbar aus der Arbeitsaufgabe kommen, nämlich aus dem psychosozialen, biologischen, chemischen und dem physikalischen Umfeld. Das Arbeitssystem, z. B. Maschinen, Computerprogramme und Werkzeuge, ermöglichen oder erleichtern die Erfüllung der Arbeitsaufgabe. Die Aufgabe des arbeitenden Menschen ist, Anforderung und Ergebnis in Einklang zu bringen. Nur ein Teil der direkt und indirekt „messbaren Beanspruchung“ ist der direkten Wahrnehmung zugänglich („erlebte Beanspruchung“). Dieser führt zu Reaktionen der Arbeitenden (gestrichelte Linien). Sie werden nach Möglichkeit die Beanspruchung durch Veränderung der Konditionen beeinflussen. Damit bringen sie ein „chaotisches“, schwer im Voraus planbares Element in das Gesamtsystem.

sensomotorischer sowie psychomentaler und psychosozialer Belastungen durch Arbeit. Die Bewertung basiert auf Beanspruchung und Leistung. Im Einzelnen sind das folgende Arbeitsgebiete:

- Entwicklung von Methoden und Maßen für die Erfassung von Belastung, Beanspruchung und Leistung des tätigen Menschen mit naturwissenschaftlichen Methoden.
- Erarbeitung von Grundlagen und Methoden für die Beurteilung und Förderung der Arbeitsfähigkeit im Generellen.
- Erarbeitung von Grundlagen und Methoden für die Beurteilung und Förderung der individuellen Arbeitsfähigkeit und Befähigung.
- Schaffung von Grundlagen für nachhaltige Maßnahmen der Gesundheitsförderung.
- Bereitstellung von Grundlagen für die Gestaltung von Arbeitsmitteln, Arbeitsplätzen, Arbeitsinhalten, Arbeitsabläufen sowie ganzen Arbeitssystemen.

## Konzept der Arbeitsphysiologie: „Belastung – Beanspruchung“

Das Paradigma zur Erfassung der Wechselwirkung „Arbeitssystem – Gesundheit – Leistung“ ist das von Rohmert und Rutenfranz (Luczak 1998, Rohmert u. Rutenfranz 1983) eingeführte, aus der Mechanik entlehnte Konzept von „Belastung – Beanspruchung“ (Abb. 1).

Unter Belastung werden alle die Anforderungen verstanden, die den Menschen bei der Arbeit fordern, fördern und belasten. Die Belastung ist eine bewertungsfreie Bezeichnung für alle Einflüsse auf den tätigen Menschen, z. B. eingesetzte Technologie, Organisation der Tätigkeit oder Zeitdruck. Die Belastung setzt sich aus der Anforderung des eigentlichen Arbeitsauftrags zusammen, wie z. B. dem Heben und Tragen von Gewichten und zusätzliche



Belastungen durch biologische, chemische, physikalische, psychomentele und psychosoziale „Umwelt“-Faktoren. Die Belastung durch Umweltfaktoren kann im Einzelfall größer sein als die Belastung durch die eigentliche Arbeitsaufgabe.

Der menschliche Körper antwortet akut oder verzögert auf die Gesamtheit der Belastungsfaktoren mit summarischen oder faktorspezifischen Beanspruchungsreaktionen (akut) bzw. Beanspruchungsfolgen (chronisch). Die Beziehung zwischen objektiver, mehr oder weniger gut messbarer Belastung und individueller Beanspruchung wird nicht allein durch die Arbeitsaufgaben, sondern gleichermaßen durch die Gestaltung des gesamten Arbeitssystems bestimmt. Eine nachhaltige Verbesserung von „Belastung – Beanspruchung“ kann sich also nicht allein auf eine Anpassung des Menschen („Work Hardening“) beziehen, sondern muss immer auch eine Veränderung der Verhältnisse des Arbeitssystems in Betracht ziehen.

Die Beanspruchung resultiert aus der individuell geprägten Auseinandersetzung des Menschen (Disposition, Konstitution) mit der Belastung. Sie hängt damit von der individuellen Konstitution und Disposition sowie der individuellen Leistungsfähigkeit ab. Jede Belastung führt zu einer Wirkung in biologischen Regelkreisen. Ziel der Arbeitsphysiologie ist es, diese quantitativ zu messen und zu bewerten.

Die Beanspruchung ist nur zum Teil der direkten Wahrnehmung zugänglich. Biomechanische Beanspruchungen können nur dann wahrgenommen werden, wenn entsprechende Mechanorezeptoren vorhanden sind. Wenn diese fehlen, wie in den Bandscheiben, kann die Beanspruchung auch nicht wahrgenommen werden. Die Wahrnehmung folgt erst, wenn ein schwer reparabler Schaden eingetreten ist. So ist die Arbeitsphysiologie besonders da gefordert, wo sich die Kosten der Beanspruchung der direkten Wahrnehmung entziehen.

Grundsätzlich folgt das „Belastung – Beanspruchung“-Konzept dem „Reiz – Reaktion“-Konzept naturwissenschaftlicher Forschung. Der arbeitende Mensch wird belastet, sein Organismus reagiert darauf. Nicht nur die Vorstellungen für physische Belastungen beruhen auf dem „Reiz – Reaktion“-Konzept, sondern auch die in der Praxis eingesetzten Maßsysteme für sensorische Funktionen. In der Akustik wird die Lärmbewertung mit der frequenzbewerteten Energie vorgenommen, die die frequenzabhängige Hörempfindlichkeit des Ohrs

nachbildet. In der Photometrie wird ähnlich die spektrale Verteilung der Energie integriert und für die Bewertung herangezogen. Dasselbe gilt für die Bewertung von Vibrationen und Gerüchen. Bei der traditionellen Beurteilung der Beanspruchung von Arbeitsplätzen hat sich diese Vorgehensweise bewährt.

Für die Messung der Beanspruchung bedarf es direkter und indirekter, auf Modellen beruhender Vorgehensweisen. Die Beanspruchung des Kreislaufsystems bei physischer, mechanischer Arbeit kann mittels Pulsrate direkt bestimmt werden. Zusätzlich kann eine Dauerleistungspulsrate abgeleitet werden, die ein Arbeiten ohne Pause über längere Zeit erlaubt. Ein günstiges „Belastung – Pausen“-Regime kann konstruiert werden. Auch kann mittels Oberflächen-Elektromyogramm die statische und dynamische Beanspruchung einzelner Muskeln ermittelt werden, indem eine aktuell aufgebrachte Kraft mit der maximalen Kraft des Muskels in Beziehung gesetzt wird. Aber auch der direkten Messung nicht zugängliche Beanspruchungen eines Teilsystems können anhand von Modellen abgeschätzt werden. Beispielsweise kann die mechanische Beanspruchung von Wirbelsäule, Bändern und Bandscheibe beim Heben und Tragen mit biomechanischen Modellen berechnet werden, indem die aktuell wirksamen, mechanischen Kräfte zu denjenigen in Beziehung gesetzt werden, die im Experiment akut zu einer Verletzung der tragenden Strukturen (Knochen, Bänder, Bandscheibe) führen. Die computergestützte Modellbildung wird deshalb in der nächsten Zeit an Bedeutung gewinnen.

Grundsätzliche Schwierigkeiten ergeben sich im Detail bei der Integration der Beanspruchung einzelner Systeme zu einer Gesamtbeanspruchung. In welcher Form können Beanspruchungswerte des Kreislaufs zusammengeführt werden, die aus physischer, thermischer und emotionaler Belastung resultieren? Eine weitere grundsätzliche Problematik stellen chronische Beanspruchungsfolgen dar. Minimale Beanspruchungen, die kurzzeitig keine bedeutsame Beanspruchungsreaktion bewirken, können langfristig möglicherweise zu Schäden führen. Für solche Fragestellungen kann die Arbeitsphysiologie immerhin Modelle für die Abschätzung der Belastung liefern.

Der Einfluss individueller Faktoren (Konstitution, Disposition) wird mit der Änderung der Altersverteilung der arbeitenden Bevölkerung an Bedeutung

gewinnen und damit auch die Diagnostik tätigkeitsbezogener Arbeitsfähigkeit. Moderne Informationstechnologien eröffnen auch leistungsgewandelten und behinderten Personen eine Teilnahme am Arbeitsleben in früher nicht gekannter Weise, wenn die Möglichkeiten wirklich genutzt werden.

## „Belastung – Beanspruchung“: Grenzen monofaktorieller Grenzwertkonzepte

Es stellt sich immer die Frage, wie verlässlich können die Ergebnisse arbeitsphysiologischer Methoden und Verfahren in Grenzwerte und Richtwerte übergeführt werden. In der Mehrzahl der Fälle wird eindimensional vorgegangen. Einzelne Werte werden optimiert bzw. begrenzt. Es ist gute arbeitsmedizinische, arbeitshygienische und auch ergonomische Tradition, Grenzwerte oder empfohlene Optimalwerte ohne Berücksichtigung anderer Faktoren festzuschreiben. Die Standards für Bildschirme bieten zahlreiche Beispiele dafür. Den üblichen Vorstellungen entsprechend hoch aufgestellte Bildschirme erschweren den Trägern von Altersbrillen gängiger Konzepte (Bifokalglass, Gleitsichtglas) damit das Sehen und können Anlass für erlebte Beanspruchungsreaktionen sein.

Beanspruchung ist grundsätzlich ein mehrdimensionales Geschehen. Häufig können Defizite in einer Fähigkeit durch Fähigkeiten auf anderen Gebieten kompensiert werden, oder es werden für eine Tätigkeit Fähigkeiten verlangt, die bei geübten Personen nur noch eine untergeordnete Rolle spielen. Dieses ist in der Regel bei visuell kontrollierten feinmotorischen Anforderungen der Fall, die am Ende der Übungsphase hoch automatisiert sind. Partiiell vorhandene Defizite können durch Verlagerung auf andere Fähigkeitsbereiche kompensiert werden. Erfahrung und Übung sind wichtige Faktoren in der Beziehung von „Belastung – Beanspruchung“. Eine in der gewollten Extremsituation eines Tests diagnostizierte Farbsehschwäche muss nicht mit einer Behinderung bei der täglichen Arbeit einhergehen. Das ist immer dann nicht der Fall, wenn der messtechnische Abstand der in der Praxis verwendeten Farben groß ist oder die entsprechenden Objekte redundant kodiert sind, z. B. eine andere Form oder Position haben. Form und Position sind zwei Kodierungsdimensionen, die in der menschlichen Infor-

mationsverarbeitung gleichwertig zu Farben sind. Personen mit einer Farbsehschwäche werden intuitiv auf die anderen Kodierungsdimensionen ausweichen.

Ohne Zweifel spielen die kognitiven Fähigkeiten eine bedeutsame Rolle im Wirkungsgefüge von Belastungsfaktoren und Beanspruchungsreaktionen. Auch bei einfachen physischen Belastungen regulieren die Individuen ihr Verhalten und folgen ihrer persönlichen Wahrnehmung von „erlebter Beanspruchung“ und Arbeitserfolg. Dabei verändern sie die Funktion des Arbeitssystems u. U. in ungeplanter Weise. Das aus individueller Sicht begründete Fehlverhalten kann dazu führen, dass sich die „messbare Beanspruchung“ erhöht. Es ist deshalb aus arbeitsphysiologischer Sicht immer notwendig, sich ein Arbeitssystem nicht nur beschreiben zu lassen, sondern selbst in Augenschein zu nehmen und falls möglich, die Tätigkeit selbst durchzuführen. Nur so lassen sich die wirksamen Faktoren erkennen und verstehen. Weiterhin ist es wichtig, dem Betreffenden die „messbare Beanspruchung“ durch geeignete Methoden erfahrbar zu machen. Hierzu gilt es, geeignete „Bio-Feed-back“-Methoden zu entwickeln, da nur so die Notwendigkeit einer Verhaltensänderung wirklich erfahrbar wird („erlebte Beanspruchung“). Dazu ein Beispiel:

Beim Aufmauern einzelner Ziegelsteine können diese in einer harmonisch ablaufenden, sich langsam beschleunigenden und in Zielnähe langsam abbremsenden Bewegung (sinusförmige Änderung der Geschwindigkeit mit der Zeit) aufgenommen und am Zielort abgelegt werden. Es gibt aber auch die Möglichkeit einer ruckartigen Bewegung, bei der ein Stein am Anfang stark beschleunigt und am Ende abrupt abgebremst wird. Im zweiten Fall ist sowohl die biomechanische als auch die energetische Beanspruchung höher als im ersten Fall. Die Beziehung zwischen geforderter Belastung und Beanspruchung ist deutlich verschieden. Im ersten Fall kann die Tätigkeit mehrere Stunden ohne Erschöpfung durchgeführt werden. Im zweiten Fall ist die Person nach kurzer Zeit erschöpft.

Auch nicht genau vorgegebene Zielvorstellungen beeinflussen Belastung und Beanspruchung. Neben der äußeren Belastung ist in jedem Fall die interne Belastung zu berücksichtigen. Es ist allgemein akzeptiert, dass Heben mit geradem Rücken aus den Beinen heraus die Wirbelsäule weniger belastet als Heben mit gestreckten Beinen und rundem Rücken.

Betrachtet man zusätzlich den energetischen Einsatz, so ist verständlich, dass dieser bei rundem Rücken geringer ist, weil der Oberkörper weniger angehoben werden muss. Die betroffene Person hat also abzuwägen, ob sie der für sie nur kognitiv zugänglichen biomechanisch „messbaren Beanspruchung“ oder der direkt wahrnehmbaren energetisch-physiologischen „erlebten Beanspruchung“ im Hinblick auf den dritten Akteur, der Arbeitsleistung, den Vorrang gibt. Sie wird sich aufgrund Letzterer entscheiden und wahrscheinlich lange Zeit effektiver mit rundem Rücken arbeiten.

In der Praxis werden immer „erlebte Beanspruchung“ und „messbare Beanspruchung“ gegeneinander abzuwägen sein. Planung und Erfahrung haben also in der Praxis einen wesentlichen Einfluss auf die Beziehung von Belastung – Beanspruchung und müssen deshalb bei einer nachhaltigen Umsetzung arbeitsphysiologischer Ergebnisse in die Praxis berücksichtigt werden. Das Regelsystem von Belastung und Beanspruchung muss als wenig stabil angesehen werden, da der arbeitende Mensch das System aufgrund der „erlebten Beanspruchung“ zu optimieren suchen wird. Bei vorwiegend psychomotorischen Aufgaben wird er dann nicht nur das System in sich verändern, sondern immer auch versucht sein, die Arbeitsaufgabe umzuformulieren (Abb. 1, strichpunktierte Linie).

## „Belastung – Beanspruchung“ im Licht moderner Informationstechnologien

Mit dem Einzug der neuen Informationstechnologien und der Automatisierung in praktisch alle Arbeitsbereiche wie auch Freizeitbeschäftigungen haben generell sensomotorische, psychomotorische und psychosozial bestimmte Belastungen an Bedeutung zugenommen. Selbst in der Bauwirtschaft, einem Bereich, in dem nach wie vor stark beanspruchende physische Arbeit geleistet wird, gibt es praktisch keine Maschine mehr, in die nicht moderne Informationstechnologien integriert sind. Der Mensch hat in vielen Bereichen einer stark automatisierten Fertigung mehr und mehr überwachende und steuernde Tätigkeiten übernommen. Jeder Computer verlangt in irgendeiner Form Kontrolle und Eingabe von Daten und stellt somit spezielle Anforderungen an das sensomotorische System in früher nicht ge-

kanntem Umfang. Der Bildschirm als Fenster zur Welt der Information gibt immer nur den Blick wie durch ein Schlüsselloch auf die für die Aufgabebearbeitung häufig notwendige Informationsmenge frei. Damit haben mentale, kognitive Funktionen an Bedeutung zugenommen. Vielfach nicht bewusst ist Fachkräften der Informatik, dass die spezielle Logik von informationstechnischen Systemen nicht selbstverständlich jedermann zugänglich ist. So berichten Lehrer, dass ein nicht zu vernachlässigender Prozentsatz ihrer Schüler im Hinblick auf die Anforderungen moderner Office-Systeme, so wie sie sich heute dem Benutzer darstellen, in gewissem Maße kognitiv behindert zu sein scheint.

Die kognitiven, die psychomotorischen Anforderungen, kurz Anforderungen an das „informationsverarbeitende“ System, bringen eine zusätzliche Dimension in das ursprünglich am Beispiel physischer Belastungen entwickelte Konzept von „Belastung – Beanspruchung“. Das einfache „Reiz – Reaktion“-Konzept, dessen Grenzen schon bei rein physischen Belastungen fraglich ist, sollte nur vorsichtig bei Belastungen im sensomotorischen und im psychomotorischen Bereich angewendet werden, wie im Folgenden gezeigt wird. Die Variabilität der Fähigkeiten ist größer, Erholungsprozesse verlaufen anders, das Lernen ist komplexer. Schmerzen stellen ein besonderes Problem dar.

Es gibt offensichtlich auf der Ebene der Sensomotorik bestimmte, im ersten Hinsehen einfach erscheinende Bewegungsabläufe, die dennoch nicht von jedermann beherrscht werden. Dazu gehört nach heutiger Erkenntnis das verbreitete Quittiersignal der „Windows“-Welt, der Doppelklick auf der Maustaste. So gibt es Personen, die nicht in der Lage sind, zwei Einzelklicks zu einem als einheitliches Bewegungsmuster programmierten Doppelklick zu automatisieren. Sie bleiben trotz täglichen Übens bei zwei Einzelklicks, die dann nur schwer die Erwartungen des Programms erfüllen können. So ist immerhin verständlich, dass sie mit der Maus, unabhängig von deren ergonomischer Qualität, eine überhöhte Belastung erfahren und u.U. ein so genanntes Maussyndrom entwickeln. In einem solchen Fall wird auch der Wechsel der Arbeitshand keine Entlastung bringen.

Von der Informationsverarbeitung bestimmte Prozesse, zu denen auch sensomotorische Aufgaben gehören, können deshalb nicht allein von der energetischen Seite her betrachtet werden, wenn es



gilt, die Beanspruchung zu erfassen. Einfache Kennzahlen oder ergonomisch gestaltete Geräte sind nur bedingt eine adäquate Lösung des Problems.

Die für die Benutzung einer Tastatur oder einer Maus aufzubringende Kraft liegt bei guten Geräten in der Regel deutlich unter der Dauerleistungsgrenze von etwa 15%. Dennoch klagen einige Benutzer nach einiger Zeit über schmerzhaft muskuloskeletale Beschwerden, die die Hand-Arm-Muskulatur betreffen, aber auch die Schulter-Nacken-Muskulatur. Es spricht inzwischen vieles dafür, dass zwar die Belastung des jeweils aktiven Muskels als Einheit unter der Dauerleistungsgrenze bleibt, aber in diesem System dennoch eine partielle Überbelastung vorliegt. Das Spiel abwechselnder Belastung verschiedener motorischer Einheiten funktioniert nicht. Es sind nur wenige motorische Einheiten tätig und diese sind bei der geforderten Belastung überfordert (Cinderella-Hypothese). Damit liegt offensichtlich eine ungeeignete „Programmierung“ der motorischen Einheiten vor, also ein Fehler im Informationssystem des Organismus. Zusätzlich gibt es Personen, die neben der Fingermuskulatur ungewollt den Trapezius mitinnervieren und damit intern eine eigentlich unnötige Zusatzbelastung erzeugen.

Informationsbestimmte Prozesse, die nach traditioneller summarischer Messtechnik unterhalb der Dauerleistungsgrenze liegen, können bei differenzieller Betrachtung im Einzelfall über der Dauerleistungsgrenze liegen und zu einer Überbelastung und Beschwerden führen.

Bei informationsgesteuerten sensomotorischen Tätigkeiten reicht es nicht aus, allein die direkt betroffenen Muskeln bei der Abschätzung der Beanspruchung zu betrachten. Es kann grundsätzlich individuell im Sinne einer „Blindarbeit“ zur Mitinnervation anderer Muskelsysteme kommen.

Bei Belastungen, die über der Dauerleistungsgrenze liegen, müssen definitionsgemäß Erholungspausen eingeplant werden. Für statische Haltearbeit gilt als Faustregel, dass die Belastung eines Muskels mit weniger als etwa 15% der Maximalkraft unterhalb der Dauerleistungsgrenze liegt. Das heißt diese Belastung kann über längere Zeit ohne Erholungspausen verkraftet werden. Wird die Dauerleistungsgrenze überschritten, müssen zunehmend längere Pausen eingelegt werden. Erholungsprozesse laufen bei physischen, energieverbrauchenden Belastun-

gen, wie denen des Kreislaufs oder der Muskeln bei physischer Arbeit mehr oder weniger automatisch ab. Die Erholung ist ein „passiver“ Prozess, der bekannten chemisch-physikalischen Gesetzen folgt. Anders sieht es dagegen bei sensomotorischen Belastungen aus. Es zeigt sich nämlich bei der Feinanalyse der muskulären Beanspruchung beim Benutzen einer Tastatur, dass einzelne Personen die ganze Arbeit mit wenigen motorischen Einheiten leisten, die dann überlastet sind. Es lassen sich motorische Einheiten finden, die in vorgegebenen Erholungspausen trotz eingestellter äußerer Belastung und angenommener Entspannung weiterhin dauerhaft aktiv sind. Erholung in den Pausen ist somit bei informatorisch bestimmter sensomotorischer Belastung im Gegensatz zur physisch-energetischen Belastung nicht ein „passiver“, sondern ein „aktiver“ bewusster Prozess.

Im Bereich informationsgetragener, sensomotorischer und psychomentaler Belastungen ist Erholung ein individueller, aktiver Prozess, dessen Gesetzmäßigkeiten wenig bekannt sind. Die Vorgabe einer Pausendauer allein reicht aus arbeitsphysiologischer Sicht nicht aus.

Es gilt, noch einen weiteren Aspekt zu berücksichtigen. Es ist der mit einer sensomotorischen Überbeanspruchung verbundene Schmerz. Tätigkeitsassoziierte Schmerzen haben mit Einführung der Informationstechnologien offensichtlich zugenommen, wie zahlreiche epidemiologische Studien zeigen. „Weh tuender“ Schmerz ist eine multifaktoriell bedingte kognitive Wahrnehmung. Er hat nicht nur die physiologische Dimension des Schmerzreizes, sondern ist ein kognitives Metaphänomen wie auch Farben es sind. Es spricht vieles dafür, dass Schmerzen nicht nur durch Gewebeverletzungen oder morphologische Veränderungen, sondern z.B. auch durch kognitive Prozesse, durch Schwierigkeiten in der motorischen Koordination, der Programmierung der Abfolge von Muskelaktivitäten, verursacht werden.

Schmerz ist eine kognitive Wahrnehmung, der transdisziplinär gerade im Hinblick auf tätigkeitsassoziierte Erkrankungen und Befindlichkeitsstörungen in der Arbeitsphysiologie mehr forschende Aufmerksamkeit entgegengebracht werden muss. Denn Schmerz ist ein Faktor, der Arbeitsfähigkeit und Arbeitsleistung gravierend beeinflusst.

Arbeitswissenschaftlich sinnvoll eingesetzte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter spielen im Konzept

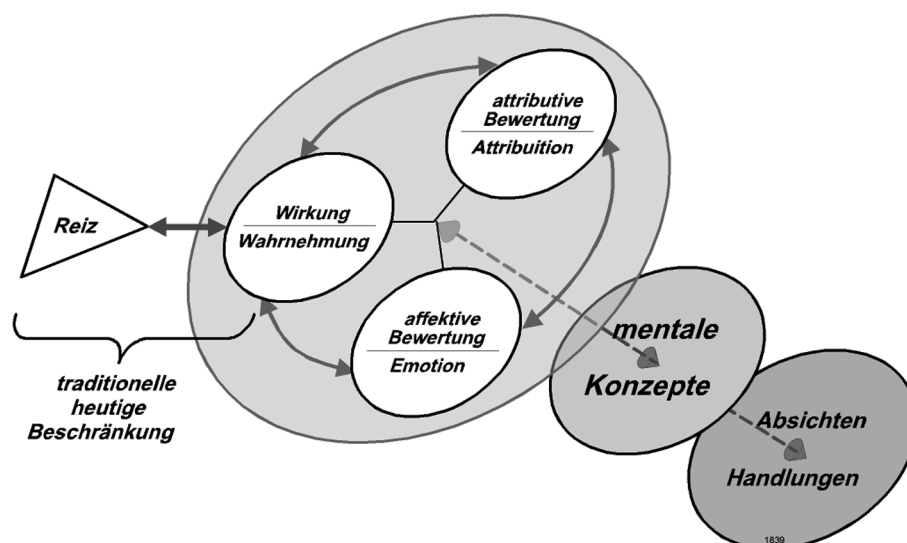


Abb. 2: Schema zur Wechselwirkung von mentalen Konzepten, Wahrnehmung, affektiver Bewertung und Attribuierung

von „Belastung – Beanspruchung“ bei sensomotorischen, psychomentalen und sozialen Belastungen grundsätzlich eine aktive Rolle. Während der Einarbeitungszeit (Training, Übung) lernen sie Bewegungsabläufe zu optimieren und zu automatisieren. Sie sind aber auch in der Lage, neue Strategien zu entwickeln und zu handeln. Immer werden sie ihre kognitiven Fähigkeiten einsetzen. Damit kommen Faktoren wie Attribuierung und Emotion ins Spiel. Eine moderne Arbeitsphysiologie ist deshalb ohne Grenzüberschreitung in benachbarte Spezialgebiete nicht mehr denkbar. Die Komplexität des Geschehens sei am Beispiel Lärm kurz aufgezeigt.

Diagnose und Prävention von Lärmschwerhörigkeit sind wichtige arbeitsmedizinische Aufgaben. Traditionell betrachtet die Arbeitsmedizin die energetische Ebene der Schädigung des Innenohrs durch die Schallenergie. Diese Ebene ist relativ einfach zu behandeln, weil sie dem klassischen naturwissenschaftlichen Vorgehen folgt. Es gibt einen Reiz, dessen Energie durch eine frequenzbewertete Energieverteilung (z. B. dB(A)) beschrieben wird. Weiter gibt es eine Wirkung, die allmähliche Degeneration der Haarzellen im Innenohr (Abb. 2), deren Auswirkung mittels Audiogramm gemessen werden kann. Selbst auf dieser einfachen Ebene der energetischen Schädigung ist die Beziehung zwischen Belastung und Beanspruchung bei näherer Betrachtung nicht ganz einfach. Vorausgesetzt wird, dass der Reiz durch eine Energiedosis (Produkt aus Intensität und Zeit)

beschrieben werden kann. Dieser Zusammenhang gilt aber nicht für beliebig kurz andauernde Schalleignisse, da Zeit und Intensität nicht linear gegeneinander aufgerechnet werden können. Das zeigen entsprechende, systematische Versuche zur lärmbedingten temporären Verschiebung der Hörschwelle. Dennoch hat sich in der epidemiologischen Praxis das einfache Maß bewährt.

Eine andere schon komplexere Bewertungsebene ist diejenige von Aufnahme und Verarbeitung akustischer Information. Sprache ist nur verständlich, wenn sie den Geräuschpegel der Umgebung energetisch übertrifft. Heute wird auch dieses Problem z. B. bei der Festlegung von Obergrenzen des Geräuschpegels in Büroräumen mit der Angabe von maximalen Energiepegeln (dB(A)) gehandhabt. Grundsätzlich muss auf dieser Beurteilungsebene aber richtigerweise die Frequenzverteilung des verdeckenden Umgebungsgeräuschs mitberücksichtigt werden. Neben der Energie ist deren Frequenzverteilung von Signal und Störgeräusch wichtig. Beanspruchung und Leistung können aber grundsätzlich mit physikalischen Messwerten erfasst werden. Das naturwissenschaftliche Paradigma einer einfachen „Reiz – Reaktion“-Beziehung kann angewendet werden.

An modernen Arbeitsplätzen mit hohen psychomentalen Anforderungen, mit einer zunehmenden Verdichtung der Arbeit, mit zahlreichen Stressoren

darf eine dritte Ebene der Lärmbewertung nicht vernachlässigt werden. Lärm hat zusätzlich auch den Aspekt der Anregung oder der Lästigkeit. Alle sensorischen Signale werden von den Empfängern in dieser Hinsicht bewertet. Jedes Geräusch trägt unabhängig von seiner Lautheit zudem Information. Diese hat mindestens zwei Dimensionen. Das Summen einer Wespe stört die Mehrheit der Menschen unabhängig von dessen Lautstärke. Das Tier könnte Stechen und das schmerzt (affektive Bewertung, Emotion). Die Aufmerksamkeit ist an das Geräusch gebunden und die Arbeitsleistung ist vermindert, bis die Wespe beseitigt ist (Handlung). Ähnlich geht es vielen Menschen mit dem Brummen einer Schmeißfliege. Schmutz und Infektion werden assoziiert (Attribuierung). Die Arbeit ist gestört, bis die Fliege erschlagen ist (Handlung). Neben der Energie und der Frequenzverteilung ist es der Informationsgehalt, der zur Aufmerksamkeitsbindung, zu Emotionen und Attribuierungen führt. Deren Wirkung kann indirekt mit psychophysiologischen Methoden operational erfasst werden. Es ist in jedem Fall die Mitwirkung anderer Fachgebiete erforderlich. Neben der physikalischen Reizstärke reguliert die individuelle Bewertung der Information Wahrnehmung, Affekt und Attribuierung, das Beanspruchungserleben und damit Reaktionen und Handlungen der agierenden Personen. Auf der Ebene der Lästigkeit von Umweltgeräuschen erklären naturwissenschaftlich abgestützte Messgrößen (z. B. dB(A)) im besten Falle  $\frac{1}{3}$  der Varianz. Bezieht man affektive Bewertung und Attribuierung in die Betrachtung mit ein, lässt sich der Anteil erklärter Varianz deutlich verbessern.

Bei der Beurteilung der gemessenen und der erlebten Beanspruchung bedarf es in zunehmendem Maße der Integration anderer, kognitiv orientierter Wissenschaft in die Arbeitsphysiologie.

Affektive Bewertung und Attribuierung von subjektiv wahrgenommenen Beanspruchungsgrößen verändern die mentalen Handlungskonzepte. Auf der anderen Seite bestimmen aber mentale Wirkungskonzepte Art und Ausmaß der Attribuierung. Da es sich um Information handelt, verändert sich das System mit jedem Eingriff. Untersuchungen sind nicht ohne weiteres mit denselben Personen wiederholbar.

Bei der Beurteilung der Beanspruchung moderner Arbeitssysteme müssen von der Arbeitsphysiologie in stärkerem Maße mentale Konzepte einbezogen werden.

## Arbeitsphysiologie: Aktuelle Probleme und neue Anforderungen

Die folgende Liste der anstehenden Probleme ist nicht vollständig. Sie zeigt aber deutlich, dass Arbeitsphysiologie keineswegs ein abgeschlossenes Forschungsgebiet ohne Innovation ist, sobald die energetische Belastungsebene verlassen wird. Eine Reihe aktueller Fragen und Aufgaben harren der weiteren Bearbeitung:

- Mitwirkung bei der Integration neuer Technologien in die Arbeitswelt („Augmented Reality“).
- Bewertungskriterien für gestalterische Aspekte physikalischer Umweltgrößen (Klima, Beleuchtung, Akustik, Geruch) und deren Einfluss auf den Menschen.
- Wirkung von Umweltfaktoren (Feinstaub, Nanopartikel, elektromagnetische Strahlung).
- Auswirkung der Verdichtung von Arbeit und Arbeitszeit auf Ermüdung, Erholung und biologische Rhythmik. Entwicklung von geeigneten Grundlagen für die Gestaltung von Arbeitssystemen.
- Entwicklung von Verfahren zur Beurteilung sensomotorischer und psychomentaler Belastungen.
- Beurteilung der Wirkung von Informationsprozessen auf „Belastung – Beanspruchung“.
- Einbezug von Bewertungsdimensionen, wie Lästigkeit, Affekt, Attribuierung in die Beanspruchungsmessung.
- Entwicklung von geeigneten mehrdimensionalen, aber einfachen Methoden und Verfahren zur arbeitsphysiologischen Bewertung der Beanspruchung.
- Methoden zur Bewertung von Stresswirkungen und Stressfolgen.
- Entwicklung von geeigneten mehrdimensionalen Methoden und Verfahren zur Bewertung der Arbeitsfähigkeit, wie z. B. für die Beurteilung der Fahr- und Steuertätigkeit.
- Diagnostik und Entwicklung der „Employability“ im Hinblick auf moderne Technologien und eine alternde Arbeitsbevölkerung.
- Untersuchung zur Einsatzfähigkeit chronisch Kranker, Leistungsgewandelter und Behinderter an modernen Arbeitsplätzen.

- Erarbeitung von Hinweisen, wie die Nutzung moderner Informationstechnologie Personen mit motorischen oder sensorischen Einschränkungen offen gehalten werden kann.

Die Arbeitsphysiologie hat eine wichtige Rolle bei der Entwicklung integrativer Konzepte als Grundlage praktischen, arbeitsmedizinischen Handelns zu spielen und ist bei der Lösung aktueller transdisziplinärer arbeitsmedizinischer Probleme prädestiniert für eine integrative Funktion zwischen den Fachdisziplinen.

## Welche Chancen bieten arbeitsphysiologische Forschung und arbeitsphysiologisches Wissen dem arbeitsmedizinisch tätigen Praktiker?

Arbeitsphysiologie gibt dem vor Ort handelnden Arbeitsmedizinerinnen und Arbeitsmedizinern eine wissenschaftliche Grundlage, unter Berücksichtigung der physiologischen, psychomentalen und der psychosozialen Kosten, die richtigen Entscheidungen zu treffen und zwar im Hinblick auf eine:

- tätigkeitsbezogene integrale Beurteilung der Arbeitsfähigkeit.
- nachhaltige Förderung der Arbeitsfähigkeit.
- Verbesserung der Arbeitsbefähigung durch wissenschaftlich fundierte Mitwirkung bei der Gestaltung von Arbeitssystemen.

- Förderung von Arbeitseffektivität (Quantität, Qualität, Kreativität, Innovationsfähigkeit, Beanspruchung).
- nachhaltige Förderung der Gesundheit.
- Entwicklung und Bereitstellung von Verfahren und Methoden, die spezifisch multifaktoriell bestimmten arbeitsmedizinischen Anforderungen entsprechen.

## Literatur

- Åstrand R, Rodahl K, Dahl H A, Stromme SB (2003). Textbook of Work Physiology. 4. Aufl., McGraw-Hill Book Company, New York
- Birbaumer N, Schmidt RF (2006). Biologische Psychologie. 6. Aufl., Berlin Heidelberg
- Frieling E, Sonntag K (1999). Lehrbuch Arbeitspsychologie. 2. Aufl., Hans Huber, Bern Göttingen Toronto Seattle
- Grandjean E (1991). Physiologische Arbeitsgestaltung. 4. Aufl., ecomed, Landsberg
- LaDou J (2004). Current Occupational & Environmental Medicine. Appleton & Lange, London.
- Lindsay PH, Norman DA (1977). Human Information Processing: Introduction to Psychology. Academic Press Inc., New York
- Luczak H (Hrsg) (1998). Arbeitswissenschaft. 2. Aufl., Springer-Lehrbuch, Berlin Heidelberg New York
- Rohmert W, Rutenfranz J (Hrsg) (1983). Praktische Arbeitsphysiologie. 3. Aufl., Thieme Verlag, Stuttgart New York
- Schmidt RF, Lang F, Thews G (Hrsg) (2005). Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie. 29. Aufl. Springer, Berlin Heidelberg
- Ulmer HV (1985). Arbeitsphysiologie. In: Reichel G, Bolt M, Hettlinger T et al. (Hrsg): Grundlagen der Arbeitsmedizin. W. Kohlhammer, Stuttgart Berlin Köln Mainz
- Wilmore JH, Costill DL (2005). Physiology of Sport and Exercise. 2. Aufl. Human Kinetics, Champaign