

## **330: Belastung und Beanspruchung, Beanspruchungsregulation und Zielantizipation**

von H.-V. ULMER (Mainz)\*

### **Kurzfassung**

In der Arbeitsmedizin hat sich im Gegensatz zur Sportmedizin seit über 30 Jahren ein Vorschlag von ROHMERT und RUTENFRANZ bezüglich einer strikten Trennung der Begriffe Belastung (für vorgegebene Leistung) und Beanspruchung (für erbrachte Leistung) bewährt. Damit läßt sich das Wechselfeld zwischen Aufgabe und tatsächlicher Leistung (als individueller Verhaltensaspekt) und zwischen Leistung und Beanspruchung (in Abhängigkeit von der individuellen Leistungsfähigkeit) besonders realitätsnah nachvollziehen. Beim Verhaltensaspekt geht es um die Spannbreite von Leistungsverweigerung bis Übererfüllung einer Vorgabe, letzteres besonders im Rehabereich; beim Einfluß der Leistungsfähigkeit geht es um die individuell gerechte bzw. angemessene Vorgabe einer Leistungsintensität. Im Sport ist die Leistungsintensität aber meist nicht fremd-, sondern selbstbestimmt. Ein Ausdauersportler muß dabei seinen Metabolismus (physiologisch gesehen) bzw. seine Anstrengung (psychologisch gesehen) optimal auf das durch das Reglement vorgegebene zeitliche oder räumliche Ziel abstimmen. Hierzu wird u.a. Erfahrung in der Selbsteinschätzung der aktuellen Anstrengung benötigt, aber auch das rückgekoppelte, sinnvolle Anpassen des Leistungseinsatzes an die augenblickliche Anstrengung bzw. den Grad der Ermüdung oder gar Erschöpfung. Letztlich muß der Sportler von Beginn an die zurückzulegende Zieldistanz antizipieren und adäquat mit seinem aktuellen Leistungseinsatz verrechnen. Bei selbstbestimmtem Leistungseinsatz gelingt es so den meisten Sportlern, ihre Leistungsreserven im Ziel optimal ausgeschöpft zu haben. Mit Untersuchungen anhand der BORG-Skala und Verhaltensstudien über einen zieladäquaten Leistungseinsatz läßt sich diese *Zielantizipation* als Teil des motorischen Lernens veranschaulichen. Insgesamt sind motorische Programme und motorisches Lernen nicht nur auf biomechanische Weg-, Zeit- und Kraftparameter zu beziehen, sondern auch auf die adäquate Ansteuerung des Stoffwechsels. Dieser begrenzt ebenso wie biomechanische Parameter die Beliebigkeit einer motorischen Aktivität.

### **Einleitung**

In der Arbeitsmedizin hat sich im Gegensatz zur Sportmedizin seit etwa 30 Jahren ein Vorschlag von ROHMERT (4) bewährt, 2 Begriffe strikt zu trennen: *Belastung* (für vorgegebene Leistung) und *Beanspruchung* (für die individuelle Reaktion beim Erbringen einer Leistung). Damit läßt sich das Wechselfeld zwischen Aufgabe und tatsächlich erbrachter Leistung (als individueller Verhaltensaspekt) sowie zwischen Leistung und Beanspruchung (in Abhängigkeit von der individuellen Leistungsfähigkeit) besonders realitätsnah beschreiben. Beim Verhaltensaspekt geht es um die Spannbreite von Leistungsverweigerung bis Übererfüllung sowie um die optimale Einteilung des Leistungseinsatzes mit Bezug zur gestellten Aufgabe. Letztlich ist der arbeitende Mensch mehr als eine energienumsetzende physiologische Maschine. Die präzise Handhabung der Begriffe Belastung, Leistung und Beanspruchung ermöglicht es, die damit verbundenen psychophysiologischen Zusammenhänge gut zu veranschaulichen.

### **Definitionen (12)**

*Belastung:* (wie beim Auflegen einer Last), = Vorgabe, Aufgabe, unabhängig vom Individuum.

*Leistung:* Erfüllte Aufgabe, Aktivität–physikalisch, physiologisch-metabolisch oder psychisch (mental, emotional, kreativ).

*Beanspruchung:* Individuelle (physiologische) Reaktion beim Erbringen einer Leistung, psychologisches Äquivalent: *Anstrengung*.

*Leistungsfähigkeit:* Fähigkeit zur Erfüllung einer Aufgabe, nicht zwingend als (sportliche) Höchstleistungsfähigkeit. Nicht identisch mit der *Belastbarkeit*, mit der angegeben wird, inwieweit ein Mensch ohne erhöhtes gesundheitliches Risiko belastet werden darf bzw. sich nicht stärker belasten sollte.

<http://www.uni-mainz.de/FB/Sport/physio>

\* Vortragsmanuskript auf der 4. Jenaer Arbeitstagung Motodiagnostik-Mototherapie vom 20.-21.7.2001  
– überarbeitete Fassung zum Text des Referatebands (S. 82 - 87)

### **Physiologische Interaktionen**

*Einfluß der Leistungsfähigkeit:* Das Ausmaß der individuellen Beanspruchung hängt nicht nur von der Intensität einer vorgegebenen Belastung ab, sondern auch von der individuellen Leistungsfähigkeit: Je geringer die Leistungsfähigkeit mit all ihren maßgeblichen Einflußgrößen ist, desto größer wird bei gleicher erbrachter Leistung die individuelle, resultierende Beanspruchung und umgekehrt. Will man eine Fehlbeanspruchung vermeiden, genügt es demnach nicht, sich an Belastungsnormativen zu orientieren. Solche normativen Richtwerte müssen auf ein Kollektiv bezogen werden; legt man eine „durchschnittliche“ Leistungsfähigkeit an, werden viele Menschen überbeansprucht (7). Bezieht man auf den denkbar Leistungsschwächsten, kämen für viele Menschen eine Unterforderung und eine zu geringe Leistung heraus.

### **Psychophysiologische Interaktionen**

*Zwischen vorgegebener Belastung und erbrachter Leistung:* Hier gibt es 4 Möglichkeiten: 1. Üblicherweise wird angenommen, daß eine vorgegebene Belastung auch adäquat erfüllt wird. Dies ist jedoch keineswegs zwangsläufig. Der Mensch reagiert nicht wie ein Motor auf die Betätigung des Gaspedals, sondern hat weitere 3 Möglichkeiten: 2. er leistet gar nichts, weil beispielsweise in Unkenntnis der individuellen Leistungsfähigkeit eine inadäquate Belastung vorgegeben wird. Der mitdenkende Mensch tut dann gut daran, die Leistung zu verweigern, um eine Überforderung einschließlich eventueller, gesundheitlich nachteiliger Konsequenzen zu vermeiden; Leistungsverweigerung aus präventiver Einsicht ist somit als sinnvoller Vorgang einzustufen, nicht als Böswilligkeit. 3. Ähnliches gilt, wenn zwar eine Leistung erbracht wird, aber nicht mit belastungsadäquater, sondern mit geringerer Intensität. Die 4. Variante nachzuvollziehen, dürfte einigen schwerfallen: daß nämlich mehr geleistet als gefordert wird. Bei den „Arbeitssüchtigen“ ist dies aber der Fall, und bei Herzsportgruppen gehört es zur Sorgfaltspflicht der Betreuer, dafür zu sorgen, daß sich die Teilnehmer in ihrer Begeisterung nicht übernehmen.

*Zwischen Leistung und Anstrengung:* Das Sich-Anstrengen ist als aktiver psychophysischer Vorgang einzustufen. Ohne den Willen zum Sich-Anstrengen gibt es auch keine Anstrengung und somit auch keine Leistung.

Dieser Wille hängt zweifellos von psychischen, sozialen und weiteren nicht-physiologischen Einflüssen, aber auch von physiologischen, ab: Leisten oberhalb der individuellen Dauerleistungsgrenze geht mit physischer Ermüdung oder gar Erschöpfung einher, die damit verbundenen Empfindungen bzw. Mißempfindungen bleiben nicht ohne Auswirkungen auf die Bereitschaft zum Sich-Anstrengen bzw. Sich-weiter-Anstrengen. Ansonsten gilt wie bei der physiologischen Beanspruchung: Je geringer die Leistungsfähigkeit, desto mehr muß sich ein Mensch bei gleicher Leistung anstrengen.

### **Komplexität der motorischen Programmierung**

*Physiologische Einflüsse:* Physiologisch kann die Motorik als Gesamtheit aller Aktivitäten des Nerv-Muskel-Systems gesehen werden. Die üblichen Betrachtungen beziehen sich dabei auf das Erzeugen neuronaler Aktivierungsmuster eines sensomotorischen Regelkreises (Dia 1), mit denen die biomechanischen Kenngrößen Kraft, Weg und Zeit eines motorischen Ziels angesteuert sowie Haltung und Bewegung koordiniert werden. Neben der Sensomotorik kommt dabei dem Motorischen Lernen einschließlich Motorischem Gedächtnis sowie der Antizipation wesentliche Bedeutung zu (10, 12).

*Psychophysiologische Einflüsse:* Wie unter dem Stichwort „Anstrengung“ dargelegt, ist die motorische Programmierung nicht unabhängig von psychischen Faktoren. Mit den efferenten Impulsmustern der Motoneurone werden ja nicht nur die biomechanischen Kenngrößen einer Motorik angesteuert, sondern auch metabolische des Skelettmuskels: Schließlich ergibt das Produkt aus Kraft und Weg physikalische Arbeit und pro Zeit gesehen physikalische Leistung. Physikalische Leistung und Metabolismus sind über den Wirkungsgrad miteinander verknüpft. Insofern steuern die Motoneurone auch die Intensität des Muskelstoffwechsels an (10). Die Beliebigkeit sinnvoller efferenter Impulsmuster ist deshalb nicht nur durch biomechanische, sondern auch durch metabolische Rahmenbedingungen eingeschränkt. Kraft, Weg und Zeit des Muskels können auch aus metabolischer Sicht nicht beliebig kombiniert werden.

Es stellt sich die Frage, ob ähnlich wie bei der Sensomotorik mit ihrer Rückkopplung biomechanischer Parameter während der motorischen Programmierung auch eine „metabolische“ Sensomo-

torik vorliegt, bei der das Ausmaß des motorisch erzeugten Muskelstoffwechsels auf die motorische Programmierung zurückwirkt. Hierbei würde es sich dann um eine extrazelluläre Regelung des Muskelstoffwechsels handeln. Hierauf soll nachfolgend unter Beanspruchungsregulation und Zielantizipation eingegangen werden.

*Soziale und sonstige Einflüsse:* Bei Gruppenarbeit in Beruf und Sport kommen soziale Einflüsse wie Gruppenzwänge, Geltungsbedürfnis, Selbstverwirklichung, Magie, sich selbst erfüllende Prophezeiung und weitere Einflußgrößen hinzu. Diese Aufzählung soll die Ausführungen über die Komplexität der motorischen Programmierung ohne Anspruch auf Vollständigkeit nur abrunden. Auf Einzelheiten kann hier nicht eingegangen werden.

### **Beanspruchungsregulation und Anstrengungsregulation**

Die physiologische Beanspruchung ist zunächst die Konsequenz muskulären Leistens, sie hängt daher vom Ausmaß der erbrachten Leistung und dem zugehörigen Wirkungsgrad ab. Somit läge lediglich eine Steuerung der Beanspruchung vor. Beanspruchungsregulation als negativ rückgekoppelter Prozeß ergäbe sich, wenn die Beanspruchung auf die Leistungserbringung negativ rückgekoppelt wird. – Ausdauersportler sind in der Lage, bei anstrengender Aktivität im Erschöpfungsbereich eine Leistung rechtzeitig zu reduzieren, um noch im Ziel anzukommen. Gelingt dies nicht, steigen sie vor dem Ziel wegen zu großer Beanspruchung aus. Solche Betrachtungen zeigen zunächst, daß es Situationen gibt, bei denen tatsächlich die Beanspruchung auf erbrachte Leistungen im Sinne einer Regulation rückgekoppelt wird.

Diffizilere Untersuchungen hierzu wurden durch die BORG-Skala (1, Dia 2) möglich, mit der die erlebte Anstrengung (psychometrisch als psychophysiologisches Korrelat zur physiologischen Beanspruchung) anhand von Zahlenwerten erhoben werden kann. Diese so einfach erscheinende Skala wird weltweit erfolgreich eingesetzt (s. 9, 13), sie stellt also in ihren vielen Sprachvarianten ein taugliches Instrument dar. Das Erstaunliche ist, daß es bei tausenden Versuchen in unserem Labor den Probanden nie Probleme bereitete, auf folgende Instruktion prompt zu antworten: *Bitte geben Sie denjenigen Skalenwert an, der Ihrer augenblicklichen Anstrengung entspricht.* Das gradierte Abschätzen der individuellen Anstrengung erscheint so als eine Fähigkeit, die aufgrund von Alltagserfahrung nicht erst für Experimente mit der Skala erlernt werden muß. Hierfür sprechen auch Ergometrieversuche mit Kindern, die zeigen, daß die Reliabilität beim Schätzen mit der BORG-Skala vom 7. bis 11. Lebensjahr deutlich besser wurde (3). Bei Retests geben Erwachsene meistens den gleichen Skalenwert an und nur ganz selten treten Abweichungen von mehr als  $\pm 1$  Skalenwert auf. Die Linearität zur erbrachten Leistung und zu physiologischen Beanspruchungskriterien (13) rechtfertigen die Handhabung der BORG-Skala als äquidistante Intervallskala, was den statistischen Umgang mit den Skalenwerten erleichtert. Dabei zeigten zahlreiche Labor- und Feldexperimente, 1. wie reliabel und valide mit der BORG-Skala die erlebte Anstrengung erfaßt werden kann und 2., daß sich die erlebte Anstrengung bei Arbeit oberhalb der Dauerleistungsgrenze auch rückgekoppelt auf die Programmierung körperlicher Arbeit im Sinne einer programmierten Leistungseinstellung auswirkt (5, 6).

### **Programmierte Leistungseinstellung**

Auf verschiedene Belege für eine programmierte Leistungseinstellung auf der Basis der Rückmeldung über das Anstrengungserlebnis kann hier nicht eingegangen werden (vergl. hierzu 10, 11), allerdings mit einer Ausnahme: Wenn ein rückgekoppeltes System vorliegt, dann müßte man nicht nur mit der BORG-Skala das Anstrengungserlebnis gradiert erfassen können, sondern auch umgekehrt mit der BORG-Skala gradierte Anstrengungen programmieren können. Und genau dies ließ sich ebenfalls mit Labor- und Feldversuchen nachweisen (10, 15, Dia 4 u. 5).

### **Zielantizipation**

Antizipation gehört zu den wichtigen Prozessen beim Motorischen Lernen. Durch Vorausschau und Verrechnung biomechanischer oder situativer Gegebenheiten können motorische Programme optimiert werden, vor allem dann, wenn die Laufzeit für rückgekoppelte Prozesse zu lange andauert. Insofern wird die Antizipation bei der Motorik üblicherweise auf kurzzeitige Vorgänge bezogen.

Hinsichtlich der Beanspruchungsregulation haben besonders Wettkampfsportler im Ausdauerbereich ein besonderes Problem zu lösen (8): Laufen (rudern, radeln usw.) sie zu schnell los, tritt Erschöpfung zu früh ein und sie müssen ihren Leistungseinsatz überproportional reduzieren, falls sie nicht schon vor dem Ziel aufgeben. Laufen sie zu langsam los, verschenken sie Energiereserven und die Leistung fällt geringer als gewünscht aus. Anzustreben wäre, die Leistungsreserven mit Zieldurchlauf optimal ausgeschöpft zu haben, also maximale Erschöpfung im Ziel, aber keinen Meter zu früh. – Eine entsprechend optimale Leistungseinteilung ist nur denkbar, wenn nach zentral nicht nur die aktuelle Beanspruchung bzw. Anstrengung rückgekoppelt wird, sondern auch eine Abstimmung des aktuellen Leistungseinsatzes mit den Leistungsreserven und der zurückgelegten bzw. noch zurückzulegenden Zeit erfolgt (11, 16).

Hierzu lassen sich trainingsbedingte, verhaltensbezogene psychophysiologische Anpassungsprozesse nachweisen, bei denen die Abstimmung der aktuellen Beanspruchung bzw. Anstrengung auf verschiedene zeitliche Ziele deutlich erkennbar wird (11). Antizipation ist bei dieser Art motorischer Programmierung auch auf zeitliche (Fern)ziele zu beziehen. Sie zeigt sich beim erfahrenen Sportler darin, daß er von Beginn an je nach zeitlich/räumlicher Zieldistanz mit verschiedenem Leistungseinsatz startet, wie sich am Beispiel von 100-m-, 400-m und 1500-m-Läufern nachweisen ließ (Dia 6), deren Schrittparameter sich schon beim ersten Halbschritt eines Schrittzklus unterschieden (2).

*Selbst- und fremdbestimmte Leistungseinstellung:* Die dargelegte, rückgekoppelte Leistungseinstellung unter Einschluß einer Zielantizipation setzt voraus, daß der Mensch seine Einteilung selbstbestimmt vornehmen kann (6). Eine Fremdbestimmung ist nicht immer so eklatant ersichtlich, wie bei Langstreckenrennen im Radsport. Dabei spielt das Windschattenfahren eine ausschlaggebende Rolle und zumindest im Hauptfeld muß man so lange mitfahren, bis es nicht mehr geht. Allein gegen den Wind ist man verloren, und deshalb steigen bei solchen Rennen mit überwiegend fremdbestimmtem Tempo so viele Sportler unterwegs aus. Bei selbstbestimmter Leistungseinstellung verfügen erfahrene Sportler offensichtlich über ein gutes Zeit- und Geschwindigkeitsgefühl, wie sich bei Schwimmern am Beispiel des „Auftragsschwimmens“ zeigte (14, Dia 7 u. 8).

*Leistungseinteilung als Gratwanderung zwischen optimaler Ausschöpfung der Leistungsreserven und vorzeitiger Erschöpfung:* Dem erfahrenen Ausdauersportler gelingt die zieladjustierte Leistungseinstellung offensichtlich sehr gut, und er kann seine Leistungsreserven dabei optimal ausschöpfen: Erfahrene „Alte Hasen“ können damit „physisch-leistungsmäßig“ bessere, aber noch nicht so erfahrene Jüngere taktisch ausmanövrieren (9, 16) und die zu beobachtenden Erschöpfungszustände im Ziel sind beträchtlich. Es stellt sich die Frage, ob unter der extremen psychosozialen Stimulation eines Wettkampfs beim erfahrenen Ausdauersportler überhaupt noch autonom mobilisierbare Leistungsreserven vorliegen. Zusammenbrüche vor dem Ziel unter Einsatz klassischer Dopingmittel sprechen eher für ein beim Erfahrenen weitgehend ausgereiztes System der programmierten Leistungseinstellung ohne zusätzlich mobilisierbare Leistungsreserven.

## Fazit

Man sollte von Belastung sprechen, wenn Einwirkungen gemeint sind und diesen Begriff von der Aktivität abgrenzen, bei der eine Arbeit verrichtet bzw. eine Leistung erbracht wird. Aus der Aktivität resultieren dann Beanspruchung bzw. Anstrengung als individuelle Phänomene.

Ein differenzierter Umgang mit den Begriffen Belastung, Leistung, Beanspruchung und Anstrengung zeigt, wie komplex die motorische Ansteuerung der Skelettmuskulatur durch das ZNS zu sehen ist. Körperliches Leisten ist nicht nur ein physiologischer Prozeß, leistungsphysiologische Betrachtungen müssen daher die sonstigen leistungsrelevanten Rahmenbedingungen mit einschließen, um nicht in einer reduktionistischen Sackgasse stecken zu bleiben.

## Literatur

(weitere auch unter: <http://www.uni-mainz.de/FB/Sport/physio/pdf/files/arbmed7.pdf> )

1. BORG, G.: Physical performance and perceived exertion (Thesis). Lund 1962
2. FÜRDERER, S., ULMER, H.-V.: Programmierung der Laufgeschwindigkeit. TW Sport + Medizin 9 (1997), 195 - 198

3. KAHLE, CH., ULMER, H.-V., RUMMEL, L.: The reproducibility of BORG's RPE-scale of femal pupils from 7 to 11 years of age. Pflügers Arch. 368 (1977), Suppl. R 26
4. ROHMERT, W.: Pulsfrequenz und Dauerleistungsgrenze. In: DUPUIS, H., HAMMER, W. (eds.): Pulsfrequenz und Arbeitsuntersuchungen. Schriftenreihe >Arbeitswissenschaft und Praxis<, Bd. 28, Beuth , Berlin, Köln, Frankfurt/M 1973, S. 21-33
5. ULMER, H.-V.: Konzept einer programmierten Leistungseinteilung beim Menschen unter Einschluß der Leistungsrückmeldung: In: BRENNER, W., ROHMERT, W., RUTENFRANZ, J. (eds.): Verh. Dt. Ges. Arbeitsmed. - 15. Jahrestg., Gentner, Stuttgart 1976, S. 343-349
6. ULMER, H.-V.: Modelluntersuchungen zur Einteilung des Leistungseinsatzes bei selbst bestimmtem Arbeitsablauf . In: LOSKANT, H., (ed.): Verh. Dt. Ges. Arbeitsmed. - 18. Jahrestg. Gentner, Stuttgart 1978, S. 341-348
7. ULMER, H.-V.: Belastung und Beanspruchung unter Berücksichtigung von Toleranzgrenzen bei körperlicher Arbeit. Zbl. Arbeitsmed. 31 (1981), 14 - 16
8. ULMER, H.-V.: Zur Komplexität menschlicher Zielmotorik bei Ausdauerleistungen. In: RIEDER, H., BÖS, K., MECHLING, H., REISCHLE, K. (eds.): Motorik- und Bewegungsforschung - Ein Beitrag zum Lernen im Sport, Schriftenreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, Bd. 50, Hofmann, Schorndorf 1983, S. 62 - 67
9. ULMER, H.-V.: Perceived exertion as a part of a feedback system and its interaction with tactical behaviour in endurance sports. In: BORG, G., OTTOSON, D. (eds.): The perception of exertion in physical work. Wenner-Gren Int. Symp. Ser., vol 46, MacMillan Press LTD, Houndmills, Basingstoke, Hampshire, London 1986, S. 317-326
10. ULMER, H.-V.: Concept of extracellular regulation of muscular metabolic rate during heavy exercise of awake men by psychophysiological feedback. Experientia 52 (1996), 416 - 420
11. ULMER, H.-V.: Die Zeit: Vierte Dimension einer Langzeit-Zielmotorik. In: HIRTZ, P., NÜSKE, F. (eds.): Bewegungskoordination und sportliche Leistung integrativ betrachtet - gemeinsames Symposium der dvs-Sektionen für Biomechanik, Sensomotorik und Trainingswissenschaft, Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft, Bd. 87, Cwalina, Hamburg 1997, S. 105-109
12. ULMER, H.-V.: Arbeits- und Sportphysiologie. In: SCHMIDT, R.F., THEWS, G., LANG, F.(eds.): Physiologie des Menschen. Springer, Berlin, Heidelberg, New York... 2000, S. 672-696
13. ULMER, H.-V., JANZ, U., LÖLLGEN, H.: Aspects of the validity of BORG's scale. Is it measuring stress or strain? In: BORG, G. (ed.): Physical Work and Effort. Wenner-Gren-Center, Int. Symp. Ser., Vol 28. Pergamon Press, Oxford, New York 1976, S. 181 - 196
14. ULMER, H.-V., SCHNEIDER, A., NEUMAHN, S., FREITAG, W.: Precision of time and velocity estimation as a base of teleoanticipation. Pflügers Arch. - Eur. J. Physiol. 431 (1996), Suppl. R 48
15. ULMER, H.-V., WIESBERG, K.: Einteilung des Leistungseinsatzes bei vorgegebenen Anstrengungsgraden (BORG-Skala). Z. Arb. wiss. 32 (4NF) (1978), 77 - 80
16. WASTL, P., ULMER, H.-V., DEFORTH, J.: Leistungsempfinden und Taktik beim 400- und 1.500-m-Lauf. Leistungssport 12 (1982), 378 - 382

**Kontaktadresse:**

Prof. Dr. med. H.-V. ULMER, Sportphysiologische. Abteilung, FB 26, Johannes Gutenberg-Universität, D 55099 MAINZ, [Sportphysiologie@uni-mainz.de](mailto:Sportphysiologie@uni-mainz.de)