



# fit.

FORSCHUNG · INNOVATION · TECHNOLOGIE

## Digitale Sportspiele



Deutsche  
Sporthochschule Köln  
German Sport University Cologne

**Biotestverfahren**

**Kreatin und Gehirn**

**Neuronale Netze**

**Treppennutzung**

**PACE-Studie**

# Editorial

Liebe Leserin, lieber Leser,

können wir videospieldend Bewegungen lernen? Kann die Gehirnleistung von älteren und alten Menschen durch Kreatinzufuhr verbessert werden? Fragen, denen unsere Autorinnen und Autoren im aktuellen Wissenschaftsmagazin auf den Grund gehen. In sechs spannenden Beiträgen bieten wir Ihnen einen Einblick in die Arbeit unserer Universität. Die enge Kooperation von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Deutschen Sporthochschule Köln mit anderen Forschergruppen steht dabei ebenso im Vordergrund wie die Darstellung des facettenreichen Themenspektrums des Sports und der Sportwissenschaft.

Der erste Beitrag führt Sie in die digitale Welt der Computer- und Konsolenspiele. Digitale Spiele erfreuen sich großer Beliebtheit und haben sich zu einem bedeutenden Wirtschafts- und Gesellschaftsfaktor entwickelt. Ob Singen, Skifahren, Gedächtnistraining oder Yoga, in Form digitaler Spiele sind sie für viele ein attraktives Freizeitvergnügen. Durch die stetige Weiterentwicklung der Gerätehardware können komplexe Bewegungen realitätsnah dargestellt werden. Daher erscheint der Einsatz und die Erforschung der Effekte digitaler Spiele aus sportwissenschaftlicher Sicht besonders attraktiv. Videospieldend Bewegungen lernen?, fragen Thomas Heinen, Konstantinos Velentzas, Marco Walther und Ruben Goebel und präsentieren ihre Ergebnisse.

Aus der digitalen Sportwelt kehren wir im nächsten Beitrag in die reale zurück: in die reale Welt des Dopings im Sport. Um Dopingsündern auf die Spur zu kommen entwickeln Arbeitsgruppen der Deutschen Sporthochschule Köln gemeinsam mit der Technischen Universität Dresden biologische Nachweisverfahren für anabole Steroide. Genetisch veränderte Hefen, einzellige Lebewesen, die vor allen Dingen zur Produktion von Alkohol und als Backtriebmittel Verwendung finden, sind dabei die neuen Helfer im Kampf gegen das Doping. Das Forscherteam erläutert den biologischen Nachweistest und nennt Vorzüge gegenüber der herkömmlichen Methode der Gaschromatographie und Massenspektrometrie.

Auch Kreatin ist ein häufig eingesetztes Mittel zur Leistungssteigerung im Sport. Im Beitrag „Kreatin und Hirnleistung“ geht es jedoch nicht um Muskelzuwachs oder die Erhöhung der Kurzzeitleistung. Julia Diehl, Wildor Hollmann, Andreas Mierau, Stefan Schneider und Heiko K. Strüder untersuchen den Einfluss von Kreatin auf kognitive und psychomotorische Leistungen des älteren und alten Menschen. Kreatin ist eine körpereigene Substanz, die hauptsächlich in der Leber und in der Bauchspeicheldrüse synthetisiert wird. Besonders in Fisch und Fleisch sitzt der Energielieferant, der vor allem für die Muskelkontraktion, aber auch für Hirn- und Nervenfunktion benötigt wird. Ausgangspunkt der Untersuchung ist die Überlegung, dass der Effekt einer Kreatinzufuhr in einer vergrößerten ATP-Resynthese bestehen könnte. Vor allem für ältere Menschen könnte dies von Vorteil sein, da infolge des Alterungsprozesses die Kreatin-

und Phosphokreatinkonzentrationen im Körper abnehmen.

Taktische Fähigkeiten spielen im modernen Fußball eine bedeutsame Rolle. Neben fußballspezifischen Individualtaktiken werden im Leistungsfußball insbesondere die Gruppentaktiken stark diskutiert. Welche Akteure müssen zu welchem Zeitpunkt und unter welchem Einfluss der gegnerischen Akteure wie zusammenspielen, damit Torgefahr entsteht? Dieser Frage gehen Daniel Memmert vom Institut für Kognitions- und Sportspiel-forschung und Kollegen der Universität Mainz und Universität Heidelberg nach. Sie analysieren fußballspezifische Gruppentaktiken mit Hilfe adaptiver Neuronaler Netze. Der Beitrag „Weltstandsanalyse im Spitzen-Fußball“ beschreibt die Ergebnisse des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Projekts.

Treppensteigen ist gesund – das weiß jeder. Es aktiviert das Herz-Kreislauf-System, regt den Stoffwechsel an und verbraucht Kalorien. Doch wer setzt dieses Wissen im Alltag tatsächlich um? Birgit Wallmann und ihr Team vom Zentrum für Gesundheit haben das getestet. Über acht Wochen hinweg haben sie die hochsteigenden bzw. fahrenden Personen innerhalb eines Kölner Einkaufszentrums von einer parallel angeordneten Rolltreppe zur Treppe erfasst. Das Ergebnis: Lediglich 6,6% nehmen die Treppe. Können spezielle Plakate mit Gesundheitsbotschaft die Treppennutzung fördern?, hat sich das Forscherteam gefragt, zwei unterschiedliche Plakate aufgestellt und erneut gezählt. Die Ergebnisse der Plakatinterventionen können Sie hier lesen.

Um körperliche Gesundheit und ihre Aufrechterhaltung geht es auch im letzten Beitrag. Durch die verlängerte Lebensarbeitszeit, den demographischen Wandel und die starke Verbreitung von Bewegungsmangel und Übergewicht gewinnt sie seit geraumer Zeit weiter an Bedeutung. Doch was sind die entscheidenden Kriterien für den Erhalt von Gesundheit und Leistungsfähigkeit und wie lassen sich Präventionsmaßnahmen optimieren? Die PACE-Studie der Deutschen Sporthochschule Köln liefert Antworten. Als leistungsphysiologisches Untersuchungsmodell dient Dieter Leyk, Max Wunderlich, Alexander Sievert und Thomas Rüter vom Institut für Anatomie und Physiologie der Marathon.

Ich wünsche Ihnen eine spannende und erkenntnisreiche Lektüre!



Ihr

**Univ.-Prof. mult. Dr. Walter Tokarski, Rektor**

# Inhaltsverzeichnis

## Editorial

Univ.-Prof. mult. Dr. Walter Tokarski

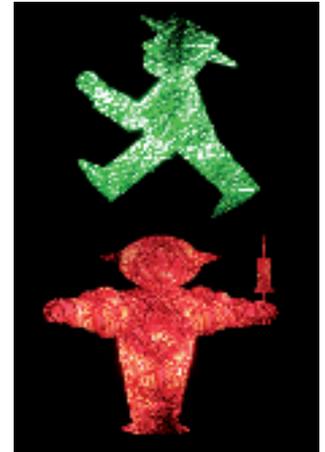
Seite 1



## (Video-)Spielend Bewegungen lernen?!

Thomas Heinen, Konstantinos Velentzas, Marco Walther, Ruben Goebel

Seite 4



## Mikroorganismen im Kampf gegen Dopingsünder

Sylvi Lehmann, Patrick Diel, Wilhelm Schänzer, Oliver Zierau

Seite 8

## Kreatin und Hirnleistung

Julia Diehl, Wildor Hollmann, Andreas Mierau, Stefan Schneider, Heiko K. Strüder

Seite 16



## Weltstandsanalyse im Spitzen-Fußball

Daniel Memmert, Andrea Schmidt, Jürgen Perl, Julian Bischof, Stefan Endler, Andreas Grunz, Markus Schmid

Seite 24



## Treppe statt Rolltreppe

Birgit Wallmann, Sara Mager, Ingo Froboese

Seite 32



## Die Pace-Studie

Dieter Leyk, Max Wunderlich, Alexander Sievert, Thomas Rüter

Seite 38



# (Video-)Spielend Bewegungen lernen ?!

## Einsatz und Erforschung der Effekte digitaler Sportspiele

Ein Beitrag von  
**Thomas Heinen<sup>1</sup>**  
**Konstantinos  
 Velentzas<sup>1</sup>**  
**Marco Walther<sup>1</sup>**  
**Ruben Goebel<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Psychologisches  
 Institut Sportinternat  
 Knechtsteden

<sup>2</sup>Institut für Bewe-  
 gungswissenschaft  
 in den Sportspielen

**Digitale Spiele sind ein attraktives Freizeitmedium und der Sektor hat sich unlängst zu einem bedeutenden Wirtschafts- und Gesellschaftsfaktor entwickelt (KELLER 2007). Digitale Spiele sind Spiele, die mit Hilfe von Medien mit Mikroprozessoren realisiert werden. Diese umfassen u. a. Computer-, Konsolen-, aber auch Handy- und PDA-Spiele (WIEMEYER 2009). Mit der Weiterentwicklung innovativer Eingabegeräte (z. B. Nintendo Wii-Remote Controller) haben sich neue Interaktionsmöglichkeiten mit virtuellen Agenten in virtuellen Umgebungen ergeben. Mit der Weiterentwicklung der Gerätehardware (z. B. neuere Graphikprozessoren) können komplexe Bewegungen realitätsnah hinsichtlich ihrer Struktur- und Oberflächenmerkmale dargestellt werden. Daher erscheint der Einsatz und die Erforschung der Effekte digitaler Spiele aus sportwissenschaftlicher Sicht besonders attraktiv.**

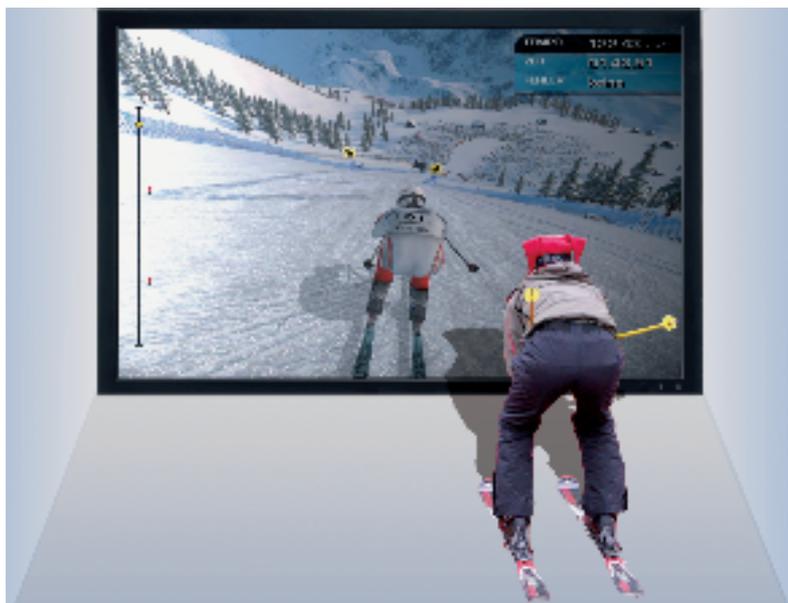


Foto:  
 DSHS/ Pressestelle

### Digitale Spiele als Trainingstool im Sport?

Digitale Spiele beinhalten in variabler Form immer Bewegungen (WIEMEYER 2009). Die Spielsteuerung kann dabei kleinmotorisch (z. B. über Maus, Tastatur oder Joystick) oder großmotorisch (z. B. über neuere Controllersysteme mit integrierten Beschleunigungssensoren, Kontaktmatten, Kraftmessplatten oder Kameras zur Bewegungserkennung) erfolgen.

Insbesondere in neueren digitalen Sportspielen werden vom Spieler Bewegungsausführungen verlangt, welche sich deutlich an sportlichen Bewegungstechniken orientieren. Der Controller der Nintendo-Wii® Konsole kann beispielsweise wie ein Tennisschläger oder ein Golfschläger bewegt werden. Aus den Beschleunigungs-Zeit-Verläufen des

Controllers werden Bewegungen eines virtuellen Agenten berechnet, welcher dann einen gespielten Tennisball oder einen ruhenden Golfball schlägt. Im Spiel *Eyeto Kinetic Combat*® lernt der Spieler Grundtechniken des Kung-Fu. Seine Bewegungen werden von einer Kamera aufgezeichnet und in Echtzeit mit den Bewegungen eines Modells verglichen. Je genauer der Spieler die Bewegungen des Modells imitiert, desto besser ist seine Spielleistung. Im Spiel *Walabers' Trampoline* steuert der Spieler die Bewegungen eines Trampolinturners mit der Tastatur. Über die Eingabe von Tastaturkombinationen führt der virtuelle Trampolinturner unterschiedlich komplexe Bewegungen aus (Basis-sprünge, Salti und Schrauben). Je korrekter und je schwieriger die Sprünge sind, desto mehr Punkte erhält der Spieler.

Unterschiedliche Schwierigkeitsstufen oder Komplexitätsgrade in den genannten Spielen können beispielsweise mit den Phasen des sportmotorischen Lernens assoziiert werden (z. B. MAGILL 2008). Ungeübte Personen könnten daher mit Hilfe von digitalen Spielen zunächst eine Bewegungsvorstellung erlangen (kognitive Phase), während geübte Personen gezielt Bewegungsmöglichkeiten ausprobieren (assoziative Phase) oder optimieren könnten (autonome Phase). Ein Vorteil von solchen digitalen Spielen könnte deshalb gerade darin bestehen, dass der Spieler die Effekte einer Bewegung in einem Umfeld mit definierten Einflussfaktoren explorieren kann.

Werden digitale Spiele in systematischer Weise zur Unterstützung perzeptuell-kognitiver und/oder motorischer Lernprozesse im Sport eingesetzt, dann sprechen wir von einem sogenannten *Digital-Game-Training* (DGT). Für die Sportwissenschaft stellt sich die grundlegende Frage, welche Transferwirkungen dabei zu erwarten sind (WIEMEYER 2009).

## Transferwirkungen von digitalen Spielen

Transferwirkungen von digitalen Spielen beinhalten zunächst *aufgabenunspezifische Wirkungen*, wie beispielsweise die Verbesserung der räumlichen Wahrnehmung oder der Reaktionsfähigkeit, welche durch ein Training mit digitalen Spielen einen hohen Grad an Generalisierung erfahren können (z. B. GREEN & BAVELIER 2007). *Aufgabenspezifische Transferwirkungen* zeigen sich dann, wenn digitale Spiele gezielt zur Verbesserung bestimmter (Bewegungs-)Aufgaben eingesetzt werden (z. B. FERY & PONSERRE 2001). Für den Bereich des Sports sind dabei aufgabenspezifische Effekte in erster Linie auf perzeptuell-kognitiver und motorischer Ebene zu erwarten.

Mit Blick auf den aktuellen Forschungsstand wird deutlich, dass im Bereich der Sportwissenschaft primär die Effekte von einem DGT isoliert oder in Kontrastierung mit motorischem Training überprüft wurden. FERY und PONSERRE (2001) untersuchten beispielsweise die Transferwirkung eines Golfsimulationsspiels auf die Leistung beim Putting. In ihrer Studie wurden 62 Versuchspersonen ohne Vorerfahrung im Golf auf fünf Gruppen aufgeteilt. Zwei der fünf Gruppen sollte das Golfputting mit Hilfe eines virtuellen Agenten (Methode 1) im Golfsimulationsspiel üben. Weitere zwei Gruppen übten das Putting unter Zuhilfenahme einer dynamischen Balkengraphik im Golfspiel (Methode 2). Die fünfte Gruppe diente als Kontrollgruppe und erhielt kein spezifisches Training.

Die Autoren fanden einen positiven Transfer auf die Puttingleistung unter realen Bedingungen, für die Methode 2 (Balkengraphik). Die Methode 1 (virtueller Agent) brachte keine Vorteile hinsichtlich der realen Puttingleistung. Es ist anzunehmen, dass die Versuchspersonen durch die Golfsimulation auf perzeptuell-kognitiver Ebene eine adäquate Effektrepräsentation hinsichtlich der Kraftdosierung beim Golfschwung entwickelten und diese bei der realen Ausführung des Puttens nutzen konnten.

Allerdings ist auch anzunehmen, dass sich bei Nutzung von Methode 1 (virtueller Agent) gerade deshalb kein positiver Transfer zeigte, weil die Versuchspersonen beim virtuellen Putten im Vergleich zu Methode 2 eine zusätzliche Transformation von horizontaler Mauseingabe (Eingabe) und vertikaler Schwungbewegung (Effekt) herstellen mussten. Eine im digitalen Spiel umgesetzte Symmetrie zwischen realem und virtuellem (Bewegungs-)Effekt könnte im Umkehrschluss dazu führen, dass sich deutliche Transferwirkungen finden lassen, welche im optimalen Fall einem motorischen Training vergleichbar sind.

Zur Überprüfung der skizzierten Annahme, sollten Versuchspersonen in einer Serie von eigenen, aufeinander aufbauenden Experimenten sportliche Bewegungen mit dem Nintendo Wii-System erlernen



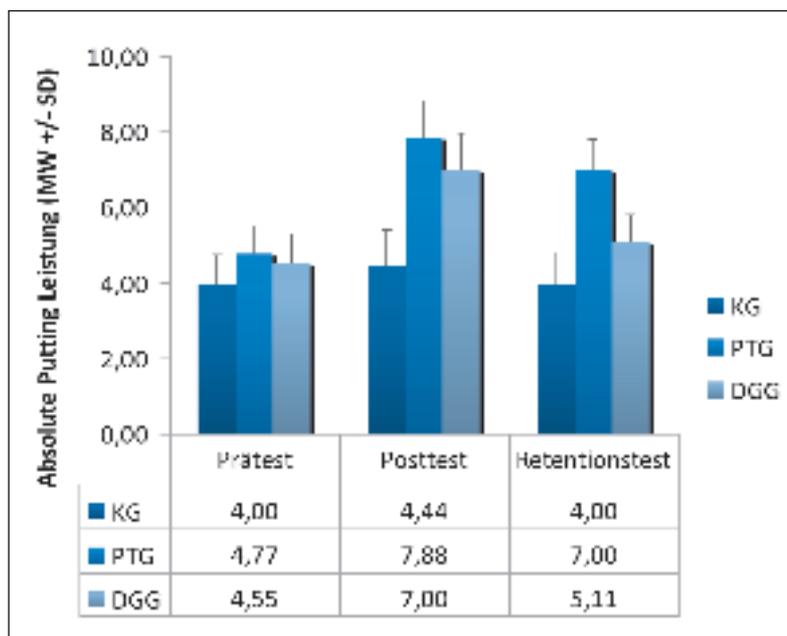
Abb. 1:  
Foto einer Versuchsperson beim DGT der skizzierten Untersuchung zum Erlernen und Optimieren des Golf-Puttings.

und optimieren. Die Forschungsleitende Hypothese in der nachfolgend dargestellten Untersuchung war: Wenn Personen Golf-Putting mit einem digitalen Golfspiel lernen, dann verbessern sie ihre Leistung in gleicher Weise wie Personen welche Golf-Putting motorisch lernen. Obwohl im virtuellen Golf-Putting ein verändertes sensomotorisches Feedback (u. a. fehlende taktile Informationen über das Treffen des Balles) vorliegt, die Bewegung jedoch keine hohe Komplexität aufweist, wurde ferner vermutet, dass die Lernpersistenz beim Videospiel-Training ebenfalls einem motorischen Training vergleichbar ist.



Abb. 2:  
Fotos vom Versuchsaufbau (Putting-Test).

N = 27 Sportstudierende (Alter: 26 +/- 2 Jahre) ohne Vorerfahrung im Golf nahmen an einer Untersuchung zur Verbesserung ihrer Putting-Leistung teil. Die Studierenden wurden zufällig einer von drei Gruppen zugeordnet: 1. Digital-Game-Gruppe (DGG), 2. Putting-Training-Gruppe (PTG) und 3. Kontrollgruppe (KG). Die Versuchspersonen der DGG spielten das Golfspiel Tiger Woods PGA Tour 08 im sogenannten MiniPutt-Modus auf der Nintendo Wii-Konsole (Abbildung 1). Der Wii Remote Controller wurde dazu an einem Golfschläger befestigt. Die Versuchspersonen der PTG übten das Putten auf einem Putting-Green im Labor mit einem Puttingschläger (Abbildung 2). Die Versuchspersonen der KG erhielten kein Putting Training.



**Abb. 3:** Absolute Puttingleistung (Mittelwert und Standardabweichung) der Digital-Game-Gruppe (DGG), der Putting-Training-Gruppe (PTG) und der Kontrollgruppe (KG) im Prä-, Post- und Retentionstest.

Das Design der Untersuchung bestand aus vier Phasen: 1. Prätest, 2. Intervention, 3. Posttest und 4. Retentionstest. In allen Testphasen (Prä, Post und Retention) sollten die Versuchspersonen 30 Putts (inklusive 4 Übungsversuche) auf einem 4.20 m langen Putting-Green ausführen. Als abhängige Variable wurde die Anzahl eingelochter Bälle erfasst.

Für die Versuchspersonen der DGG und der PTG bestand die Intervention aus sechs 25-minütigen Sitzungen welche über einen Zeitraum von 3 Wochen (2 Sitzungen pro Woche) durchgeführt wurde. In jeder Übungssitzung fand eine fünfminütige Erwärmung und Beweglichmachung statt. In einer anschließenden 20-minütigen Übungsphase sollten die Versuchspersonen insgesamt 50 Putts durchführen. Die Versuchspersonen der DGG spielten dazu den MiniPutt Modus des Spiels Tiger Woods PGA Tour 08. Die Versuchspersonen der PTG übten die Putts auf einem Putting Green (siehe Abbildung 2). In beiden Gruppen wurden von Sitzung zu Sitzung die Anforderungen beim Putting (unterschiedliche Distanzen zum Loch, unterschiedliche Neigungswinkel) systematisch variiert. Die Versuchspersonen erhielten die gleichen standardisierten In-

struktionen zur Technik des Golfputts, jedoch kein zusätzliches verbales Feedback. Der Posttest wurde drei Tage nach Abschluss der letzten Trainingssitzung durchgeführt. Der Retentionstest fand zwei Wochen nach dem Posttest statt.

Die Versuchspersonen der DGG und der PTG zeigen im Prätest keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich ihrer Puttingleistung im Vergleich zur Kontrollgruppe (Kontrastschätzer = 4.11,  $p = .03$ , siehe Abbildung 3), jedoch eine höhere absolute Puttingleistung im Posttest (Kontrastschätzer = 6.00,  $p = .02$ ) und Retentionstest (Kontrastschätzer = 4.11,  $p = .02$ ). Ferner existiert kein signifikanter Unterschied zwischen DGG und PTG beim Prä-, Post- und Retentionstest (Kontrastschätzer Prätest = 0.22,  $p = .83$ , Kontrastschätzer Posttest = 0.88,  $p = .52$  und Kontrastschätzer Retentionstest = 1.88,  $p = .07$ ). Die DGG weist jedoch im Vergleich zur PTG eine größere Abnahme in ihrer Puttingleistung vom Post- zum Retentionstest auf. Beim Test aller Effekte konnte ein signifikanter Interaktionseffekt zwischen Gruppe und Testzeitpunkt,  $F(4,48) = 2.79$ ,  $p = .04$ , Cohens'  $f = 0.48$ , gefunden werden. Ferner fand sich ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor Zeitpunkt,  $F(1,39, 33.41) = 13.19$ ,  $p < .05$ , Cohens'  $f = 0.74$ , jedoch kein signifikanter Haupteffekt für den Faktor Gruppe,  $F(2,24) = 2.77$ ,  $p = .08$ , Cohens'  $f = 0.48$ , power = .70.

## Diskussion und Fazit

Digital-Game-Training (DGT) hat einen positiven Einfluss auf das Bewegungsklernen bei kleinsten Bewegungen, welcher einem motorischen Training vergleichbar ist, insbesondere dann, wenn das DGT auch motorische Komponenten beinhaltet, welche die reale Bewegung zumindest in Teilen abbilden. Dies ist insbesondere deshalb interessant, da Probanden durch das Videospiel ein – gegenüber dem motorischen Training – unterschiedliches propriozeptives Feedback in Kombination mit begleitendem visuellen Feedback erhalten (vgl. FERY & PONSERRE 2001). Die Befunde anderer Autoren (z. B. HEBBEL-SEEGER 2008; SOHNSMEYER 2009) unterstützen diese Schlussfolgerung.

Durch die prinzipiell beliebige Ausgestaltung virtueller Umgebungen in Kombination mit einer Möglichkeit zur sportnahen Interaktion mit virtuellen Agenten könnte ein DGT in Zukunft zu einer Unterstützung für traditionelle Verfahren des sportlichen Trainings werden.

So ist es vorstellbar, dass zukünftige digitale Spiele die Option beinhalten, reale Daten des Spielers in Form von anthropometrischen, kinematischen und dynamischen Kenngrößen bei Bewegungen unterschiedlicher Komplexität zu importieren und diese in Echtzeit auf einen virtuellen Agenten zu übertragen. Der Spieler könnte dann den virtuellen Agenten durch seine eigenen Bewegungen steuern. Dies heißt, dass DGT im Sinne der Selbstmo-

dellierung (z.B. MCCULLAGH & WEISS 2001) und Bewegungsexploration (z. B. BERNSTEIN 1967) zur Unterstützung psychomotorischer Trainingsverfahren eingesetzt werden kann.

Die Spielindustrie könnte bereits jetzt stärker von der Expertise der Sportwissenschaft (und angrenzender Disziplinen) profitieren. So könnte beispielsweise die Sportpsychologie oder Sportbiomechanik dazu beitragen, bestehende Spielkonzepte oder Interfacesysteme weiter zu entwickeln, die den Grad an simulierter Realität erhöhen (z.B. durch den vermehrten Einsatz von Feedback Systemen, oder durch die Implementierung experimentell abgesicherter Effekte in den Spieleengines).

Allgemein ist zu erwarten, dass sich in Zukunft eine differenziertere Forschung zu den Mechanismen und Ebenen des Transfers digitaler Spiele im Sport entwickeln wird (WIEMEYER 2009).

#### Literatur bei den Autoren.



**Dr. Thomas HEINEN**, Diplom-Sportwissenschaftler (DSHS), Promotion in Sportwissenschaft mit den Fächern Psychologie und Biomechanik (DSHS). Seit 04/2007 Post-Doktorand in der Abteilung Leistungspsychologie (Leitung: Prof. Dr. Dr. Markus Raab) am Psychologi-

schen Institut der Deutschen Sporthochschule Köln. Schwerpunkt in der Forschung: Visuelle Wahrnehmung bei komplexen Bewegungen, Übungsbedingungen beim motorischen Lernen.

**E-Mail:** [t.heinen@dshs-koeln.de](mailto:t.heinen@dshs-koeln.de)

# Mikroorganismen im Kampf gegen Dopingsünder

## Biologisches Nachweisverfahren für anabole Steroide

Ein Beitrag von  
Sylvi Lehmann<sup>1</sup>

Patrick Diel<sup>2</sup>

Wilhelm Schänzer<sup>3</sup>

Oliver Zierau<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Zoologie, Technische Universität Dresden

<sup>2</sup>Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin

<sup>3</sup>Institut für Biochemie

Der Missbrauch anaboler Substanzen wird von den meisten Sportverbänden und auch vom Olympischen Komitee verurteilt und sanktioniert. Trotzdem bleibt die Einnahme solcher Substanzen weiterhin ein schwerwiegendes Problem, sowohl im Leistungs- als auch im Freizeitsport. Beim Leistungssport waren 2008 knapp 2% der von der Welt-Anti-Doping-Agentur (WADA) durchgeführten Dopingkontrollen positiv. Im Freizeitsport gibt es eine Konzentration des Missbrauchs dieser verbotenen Substanzen vor allem im Bodybuilding. Bei einer Studie in norddeutschen Sportstudios gaben 24% der befragten Männer und 8% der Frauen an, anabol wirkende Medikamente zu sich zu nehmen. In 94% der Fälle handelte es sich um potentiell hoch lebertoxische Substanzen, die hauptsächlich auf dem Schwarzmarkt besorgt und nur zu 14% von Ärzten verschrieben wurden (BOOS et al. 1998). Erschwerend kommt hinzu, dass auch unter Jugendlichen Doping ein wachsendes Problem darstellt. In einer 2007 veröffentlichten Studie unter 2319 Thüringer Schülern gaben 15% an, im Vorjahr, von der WADA verbotene Substanzen genommen zu haben (WANJEK et al. 2007). Bisher erfolgte der Nachweis von Anabolikamissbrauch mittels der kosten- und zeitintensiven Methode der Gaschromatographie und Massenspektrometrie (GC/MS). Diese Methode kann nun durch ein biologisches Nachweisverfahren ergänzt werden, welches im vorliegenden Beitrag dargestellt wird.

Genetisch veränderte Hefen, einzellige Lebewesen, die vor allen Dingen zur Produktion von Alkohol und als Backtriebmittel Verwendung finden, sind die neuen Helfer im Kampf gegen das Doping. Mit Ihrer Hilfe können in Zukunft Urinproben zeitsparend und kostengünstig vor-

analysiert werden, um die klassische Methode der GC/MS gezielter einsetzen zu können. Zudem ermöglichen sie das Aufspüren von Substanzen, deren chemische Struktur den Dopinganalytikern noch gar nicht bekannt ist. Seit dem Jahre 2005 entwickeln Arbeitsgruppen der Deutschen Sporthochschule Köln und der Technischen Universität Dresden gemeinsam, mit finanzieller Unterstützung der Welt-Anti-Doping-Agentur (WADA), derartige Testsysteme.

### Was sind anabole Substanzen?

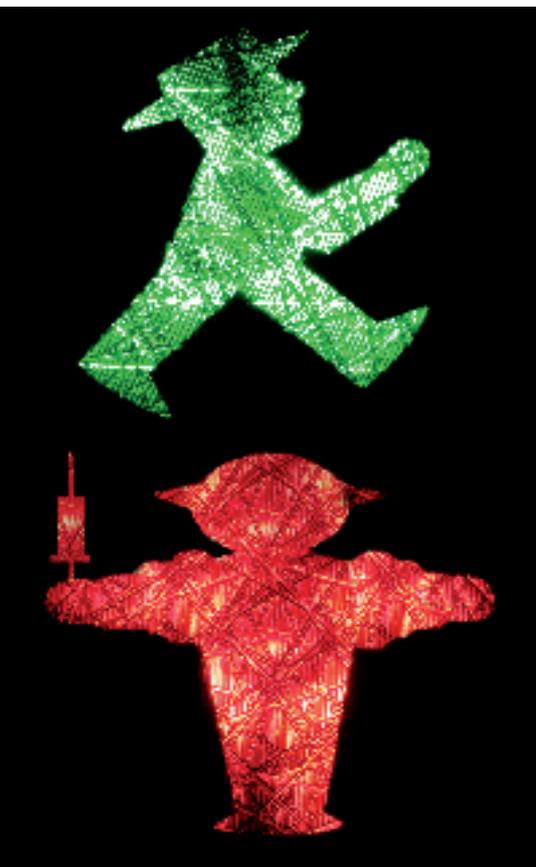
Anabole Substanzen werden neben Cannabinoiden und Stimulanzien am häufigsten zum Doping missbraucht. In den von der WADA 2008 positiv getesteten Proben wurden in ca. 60% anabole Substanzen nachgewiesen.

Die Klasse der anabolen Substanzen besteht unter anderem aus beta-2-sympathomimetischen Substanzen, Wachstumshormonen und anabolen Steroiden. Beta-2-sympathomimetische Substanzen wirken stimulierend auf den Sympathikus – ein Anteil des vegetativen Nervensystems. Dadurch werden eine Erhöhung des Blutdruckes und der Herzfrequenz, eine Erweiterung der Atemwege, eine allgemeine Leistungssteigerung und ein erhöhter Energieverbrauch bewirkt. Wachstumshormone sind Substanzen, die das Wachstum unter anderem des Muskelgewebes stimulieren. Die höchstwahrscheinlich an meisten konsumierten anabolen Steroide sind vom Testosteron abgeleitete Steroidhormone.

### Anabole Steroidhormone

Diese Hormone sind relativ kleine Moleküle, die die Zellmembran passieren können. In der Zelle binden sie nach dem so genannten Schlüssel-Schloss-Prinzip an spezifische Rezeptoren. Das heißt, ein spezieller Rezeptor erkennt meist nur ein für ihn spezielles Hormon. Testosteron bindet zum Beispiel nur an den Androgenrezeptor. Durch diese Bindung wird der Rezeptor aktiviert, wandert in den Zellkern und lagert sich dort an regulierende Bereiche der DNA an. Dadurch werden spezielle, durch das entsprechende Steroidhormon regulierte Gene, abgelesen und eine Kopie dieser Gene, die sogenannte messenger RNA (mRNA) als „Blaupause“ gebildet. Die mRNA wandert aus dem Zellkern in das Zellplasma. Dort wird sie an spezifischen Zellorganellen, den Ribosomen, in Protein übersetzt.

Foto:  
TU Dresden/Institut  
für Zoologie



Die so entstandenen Proteine können entweder eine direkte Wirkung haben oder regulatorisch wirken und zum Beispiel zu verstärktem Zellstoffwechsel oder Zellteilung führen. Steroidhormone die an den Androgenrezeptor binden erhöhen die zelluläre Proteinsynthese, was zu einem Gewebenaufbau, vor allem im Muskelgewebe, führt.

Die Einnahme oder Injektion von anabolen Steroiden zur Leistungssteigerung bringt die empfindliche körpereigene Regulation durcheinander und verursacht eine Reihe von Nebenwirkungen, die in Beeinträchtigungen des Herz-Kreislauf-Systems, Leberschäden, Vermännlichung von Frauen, aber auch in Brustwachstum beim Mann münden können. Um den Missbrauch anaboler Substanzen, der gleichzeitig schwerwiegende Nebenwirkungen hervorruft, zu verhindern, so die einhellige Meinung, müsste die Anzahl der Dopingtests erhöht werden. Wenn das Doping im Leistungssport reduziert werden kann, könnte auch der Missbrauch unter Freizeitsportlern zurück gehen, denn unter Doping erzielte Erfolge im Leistungssport steigern auch den Missbrauch verbotener Substanzen im Freizeitsport.

## Klassischer Dopingtest für anabole Steroide

Der klassische Nachweis für anabole Substanzen erfolgt mittels der Methode der Gaschromatographie und Massenspektrometrie (GC/MC) (BORGES et al. 2007). Bei dieser Methode werden die Urinproben zuerst durch die Gaschromatographie in die einzelnen Bestandteile zerlegt und anschließend werden die einzelnen Fragmente durch Massenspektrometrie bestimmt. Grundlage der Identifizierung ist jedoch die genaue Kenntnis der Verstoffwechslung (Metabolisierung) der jeweiligen Dopingsubstanz. Im Urin nachgewiesen werden nämlich die im Körper aus der Muttersubstanz gebildeten Abbauprodukte, die Metabolite. Genau hier liegt jedoch ein grundlegendes Problem der GC/MS-Analytik. Ist die chemische Struktur des eingenommenen anabolen Steroids nicht bekannt, oder sein Metabolismus nur ungenügend aufgeklärt, ist ein Nachweis erschwert.

Auf dieses Problem wurde man zum ersten Mal im Fall des so genannten Designer-Steroids Tetrahydrogestrinon (THG) aufmerksam. Diese Substanz wurde ausschließlich zum Zwecke des Missbrauchs synthetisiert und illegal an Athleten verkauft. Zu diesem Zeitpunkt war weder die Existenz, der Einsatz oder gar die chemische Struktur dieser Substanz den Dopingkontrolllaboratorien bekannt. Die amerikanische Sprinterin Marion Jones konnte so THG jahrelang zum Doping missbrauchen ohne jemals in einer einzigen Dopingkontrolle positiv getestet zu werden (Abb. 1). Nur ihr eigenes Geständnis überführte sie schließlich. Der Nachweis von THG konnte damals nicht erfolgen, weil gar nicht bekannt war, dass diese Substanz zum Doping missbraucht wird, dementsprechend wurde auch

nicht nach auffälligen THG-Metaboliten gesucht. Heute stellt der Nachweis von THG kein analytisches Problem mehr dar. Jedoch ist mittlerweile bekannt, dass neben THG noch eine Vielzahl weitere Designer-Steroide teilweise unbekannter Struktur zum Doping missbraucht werden und die Zahl dieser Substanzen steigt kontinuierlich.

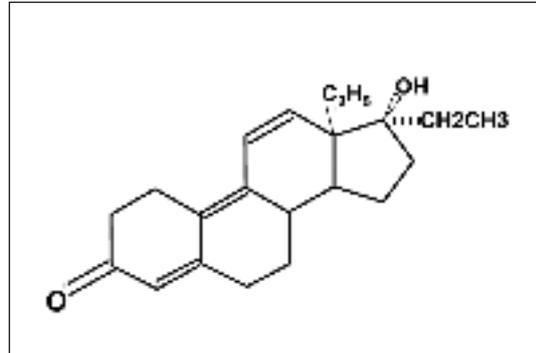


Abb. 1: Die amerikanische Sprinterin Marion Jones konnte jahrelang unentdeckt mit dem Designer-Steroid Tetrahydrogestrinon (THG) dopen, da nicht bekannt war, dass dieses Steroid zu Dopingzwecken eingesetzt wurde.

Darüber hinaus befinden sich zurzeit eine neue Klasse von anabolen Steroiden in der Entwicklung, die sogenannten Selektiven Androgen Rezeptor Modulatoren (SARMs). Hierbei handelt es sich um Moleküle die an den Androgenrezeptor binden, ihn aktivieren, aber im Gegensatz zu den bisherigen anabolen Steroiden fast ausschließlich anabole Wirkung entfalten. Nebenwirkungen wie Störungen der Fertilität oder Vermännlichungserscheinungen bei Frauen (Virilisierung) treten bei diesen Substanzen nicht auf. Daher können sie auch in der Frau Anwendung finden. Ihre Einsatzgebiete sollen die Behandlung von Muskeldystrophieerkrankungen, altersbedingter Muskelschwund sowie das metabolische Syndrom sein. Derartige Substanzen befinden sich bereits in klinischen Studien. Natürlich können sie auch zum Doping missbraucht werden. Der Nachweis dieser Substanzen mittels GC/MS ist zurzeit problematisch. Zum einen wird die chemische Struktur dieser Substanzen von den Firmen aus patentrechtlichen Gründen nicht offen gelegt. Zum anderen weisen viele der Substanzen chemische Strukturen auf, die sich deutlich von denen klassischer anaboler Steroide unterscheiden. Einige der Substanzen haben noch nicht einmal eine steroidale Struktur.

Ein weiterer Nachteil der klassischen GC/MS-Methodik ist der relativ hohe Zeit- und Kostenaufwand und die Tatsache, dass Kontrolllaboratorien mit den teuren und komplexen Analysegeräten ausgestattet sein müssen. Aus diesem Grund konnte die GC/MS-Methodik bisher nicht für einen großflächigen Einsatz in Trainingskontrollen genutzt werden.

## Biologischer Nachweistest für anabole Steroide

Eine Ergänzung zur strukturgeleiteten Identifizierung von anabolen Steroiden stellt die aktivitätsgeleitete Identifizierung dar. Hier wird die Anwe-

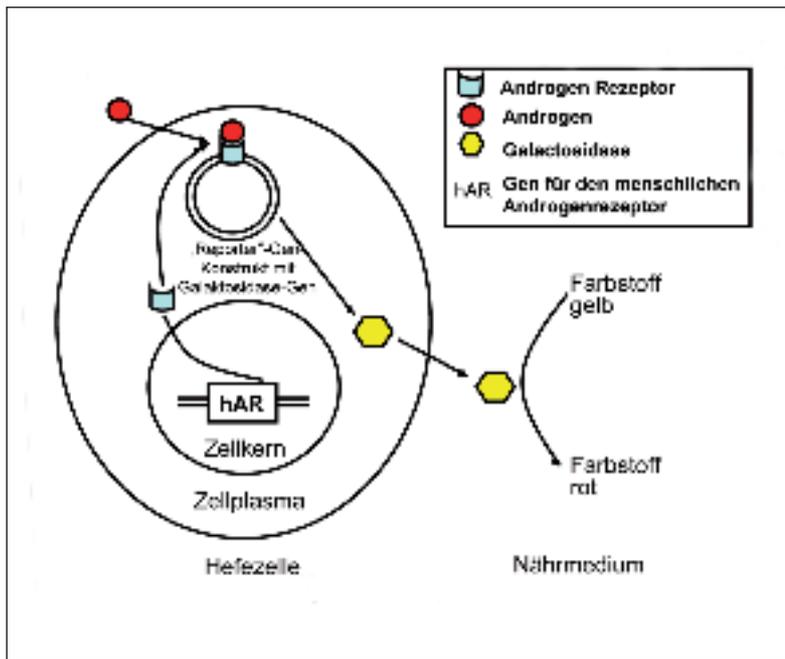


Abb. 2:  
Schematische Darstellung des Hefesystems.

senheit einer Substanz nicht mittels dem Nachweis ihrer Metabolite detektiert sondern anhand ihrer biologischen Wirkung. Da die Aktivität eines anabolen Steroids, wie oben beschrieben, auch über die Bindung und Aktivierung des Androgenrezeptors (AR) gemessen werden kann, ist es möglich die androgene Wirkung von Substanzen mittels eines künstlichen, durch einen AR gesteuerten so genannten „Reporter“-Gens nachzuweisen. Solch ein System existiert bereits auf Basis der genetisch veränderten Bierhefe *Saccharomyces cerevisiae* (SOHONI und SUMPTER 1998).

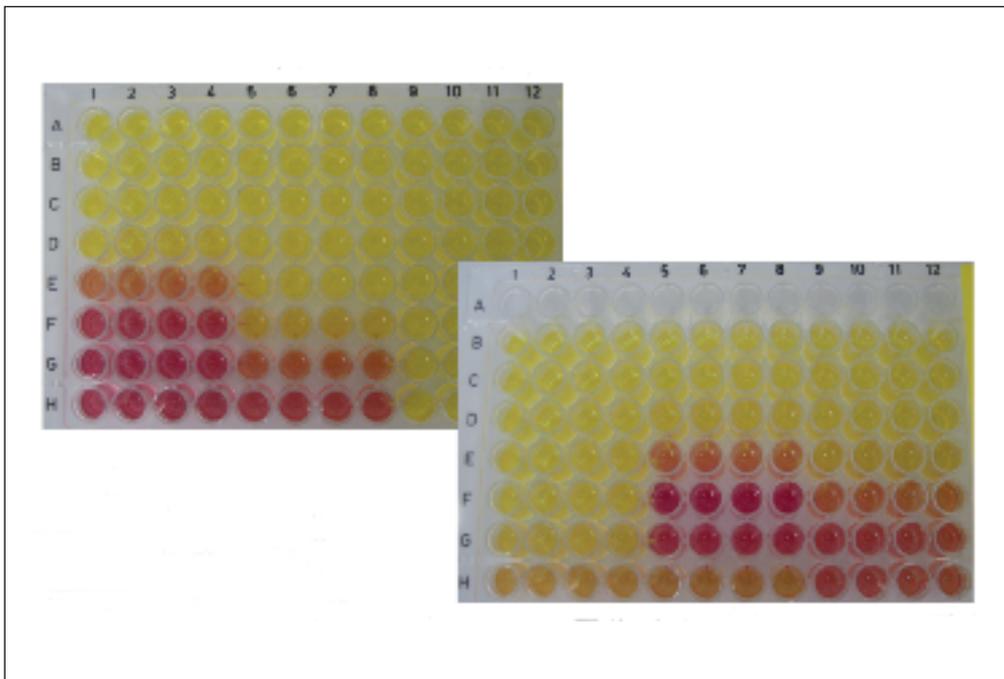
Abb. 3:  
96-Lochplatten mit je drei getesteten Substanzen in Vierfachbestimmung (1-4, 5-8, 9-12) in acht aufsteigenden Konzentrationen (B-H).

Bei diesem System ist in die Hefe das normalerweise nicht vorhandene Gen für den menschlichen Androgenrezeptor fest eingebaut. Die Hefe kann dementsprechend den Rezeptor bilden, der dann

in der Zelle vorliegt. Außerdem ist in die Zelle ein ringförmiges DNA-Konstrukt integriert worden, das das so genannte „Reporter“-Gen trägt. Ein „Reporter“-Gen ist dadurch gekennzeichnet, dass es nur unter bestimmten Umwelteinflüssen, in diesem Fall dem Vorhandensein von Androgenen, abgelesen wird und sein Genprodukt sehr leicht nachzuweisen ist. Häufig verwendete „Reporter“-Gene produzieren ein grün leuchtendes (fluoreszierendes) Protein oder ein Enzym wie die Galactosidase, die einen Farbstoff umwandelt. Werden anabole Substanzen dem Hefenährmedium zugesetzt, gelangen diese passiv durch die Zellwand der Hefe und binden an den „künstlichen“ Androgenrezeptor. Durch diesen Kontakt wird der Rezeptor aktiviert und bewirkt in diesem Fall die Synthese der Galactosidase. Dieses Enzym gelangt in das die Hefezellen umgebende Nährmedium und wandelt dort einen gelben Farbstoff in einen roten um (Abb. 2). Die Intensität dieser Farbänderung kann man nach zwei Tagen messen und so quantitativ bestimmen. Ein Beispiel für eine solche Messung in einer 96-Lochplatte ist in Abbildung 3 dargestellt. Derartige Testsysteme werden bereits erfolgreich zur Identifizierung pharmakologisch interessanter Naturstoffe und in der Umweltanalytik, z. B. zum Nachweis von Hormonen in Abwässern eingesetzt.

### Ist dieses System als Dopingtest verwendbar?

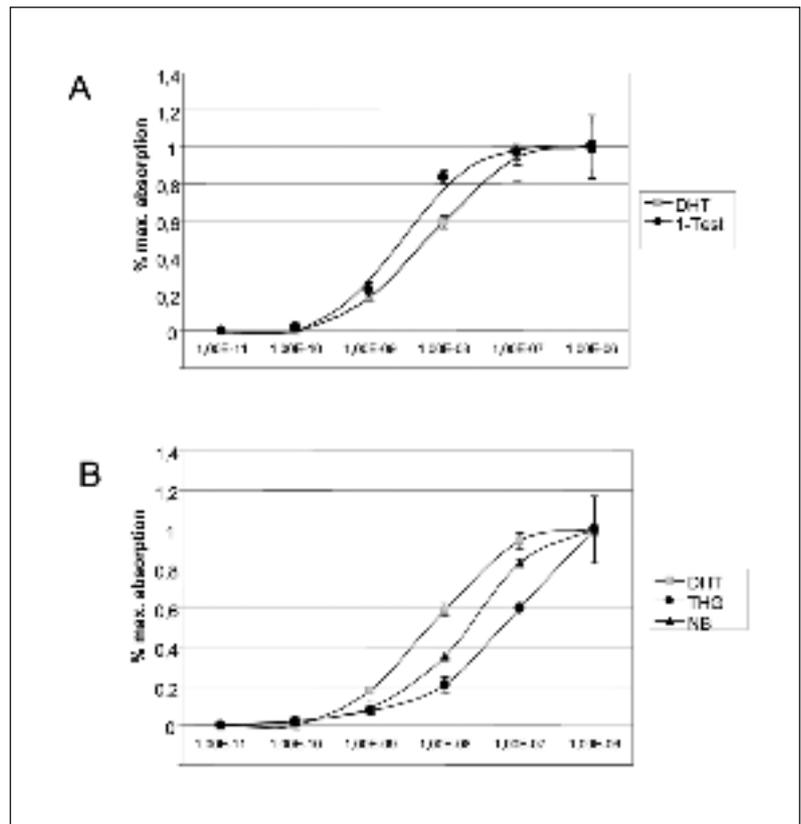
Ziel unseres gemeinsamen Projektes ist es einen schnellen, leistungsstarken und preisgünstigen biologischen Dopingtest für anabole Steroide mit Hilfe des bereits bestehenden Systems zu entwickeln und zu validieren. Nach ersten Tests mit verschiedenen anabolen Steroiden konnten wir zeigen, dass das Hefesystem eine Vielzahl dieser Steroide, wie 1-Testosteron, Norbolethon und das Designer-Steroid Terahydrogestrinon erkennt. Dabei wurden die zu testenden Substanzen in dem Lösungsmittel DMSO verdünnt und in einer Endkonzentration von  $10^{-6}$  bis  $10^{-11}$  Molar eingesetzt. Indem sechs verschiedene Konzentrationen verwendet wurden, erhält man eine Konzentrations-Wirkungs-Kurve (Abb. 4). In dem Hefetest konnte keines der getesteten Steroide so gut wie Dihydrotestosteron (DHT), das stärkste natürliche anabole Steroid, nachgewiesen werden. 1-Testosteron und Norbolethon waren jedoch nur 5-fach und Terahydrogestrinon 10-fach schwächer als DHT. Somit konnte gezeigt werden, dass das Hefesystem unab-



hängig von der chemischen Struktur anabole Steroide wie Norbolethon und sogar das Designer-Steroid Terahydrogestrinon erkennt.

Da die Dopingtests vorrangig mit Urinproben durchgeführt werden, wurde die Verträglichkeit der Hefen mit Urin getestet. Hierfür wurde der Urin von zehn zufällig ausgewählten Männern gemischt und steril filtriert. Dieses Uringemisch nennt man Sammelurin und wird auch für die Negativkontrollen benutzt. Dem Hefenährmedium wurden bis zu 50% mit  $10^{-8}$  Molar DHT (anaboles Steroid) versetzter Sammelurin zugegeben. Es konnte gezeigt werden, dass selbst die Zugabe von 50% Urin keinen negativen Einfluss auf das Hefesystem hat.

Um zu prüfen, ob das Hefesystem anabole Steroide auch im Urin von Athleten erkennt, wurden acht positiv getestete anonyme Urinproben, die zuvor vom Institut für Biochemie der Deutschen Sporthochschule Köln durch GC/MS charakterisiert wurden, getestet. Die Urinproben stammen von Athleten, die unterschiedliche anabole Steroide genommen haben. Dementsprechend sind auch in den Urinproben unterschiedliche Substanzen enthalten. Für den Test wurden die Urinproben der Athleten mit Sammelurin verdünnt und so in den Hefetest eingesetzt, dass die Urinkonzentration im Hefenährmedium immer 10% betrug. Durch den Einsatz von immer stärker verdünnten Urinproben in den Hefetest, kann wieder eine Konzentrations-Wirkungs-Kurve aufgenommen werden (Abb. 5). Außerdem wurde der Sammelurin als Negativkontrolle verwendet. In einigen positiven Urinproben betrug die Konzentration der Abbauprodukte von den eingenommenen anabolen Steroiden laut



GC/MS-Analyse nur 5 bis 200 ng/ml Urin. Trotzdem wurden diese Proben von dem Hefesystem als positiv erkannt. In sechs von acht Proben haben wir den Steroidmissbrauch mit unserem Hefesystem nachweisen können. Zwei Proben hat das Hefesystem nicht erkannt. In diesen beiden Urinproben war die Konzentration der Abbauprodukte ca.

Abb. 4: Konzentrations-Wirkungs-Kurven von 1-Testosteron (1-Test) (A), Terahydrogestrinon (THG) und Norbolethon (NB) (B) im Vergleich zu Dihydrotestosteron (DHT).

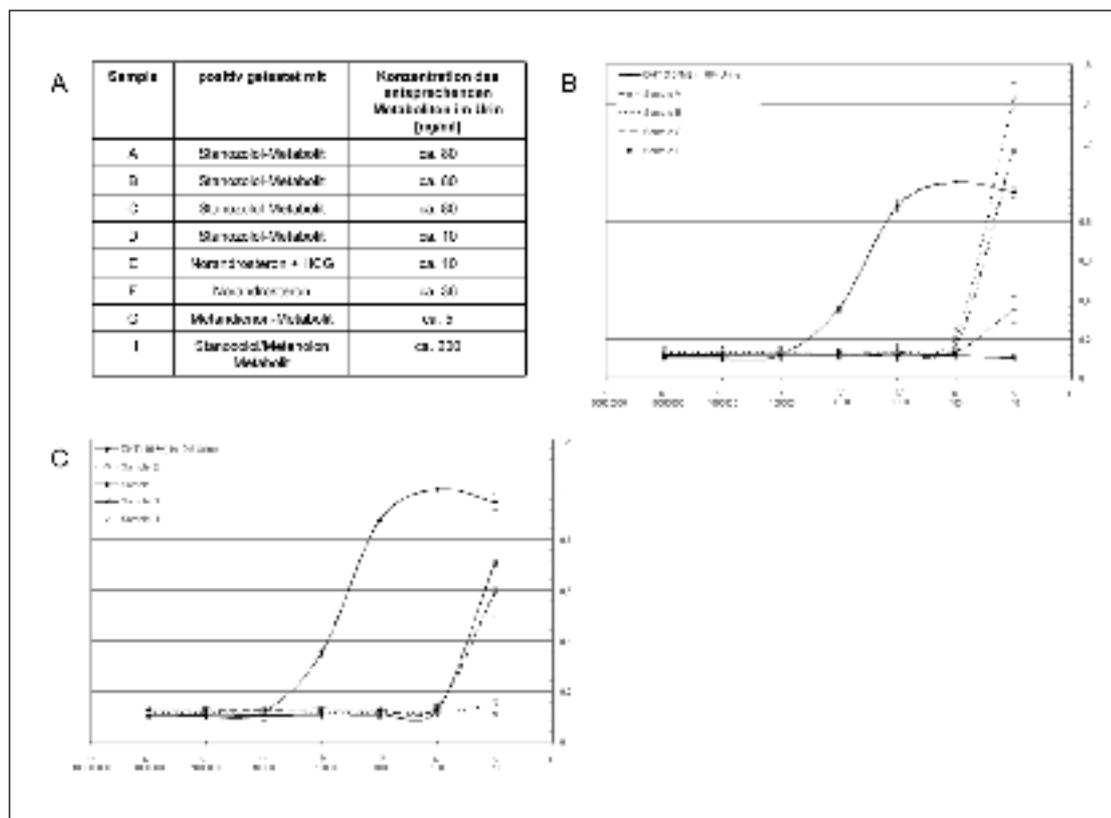
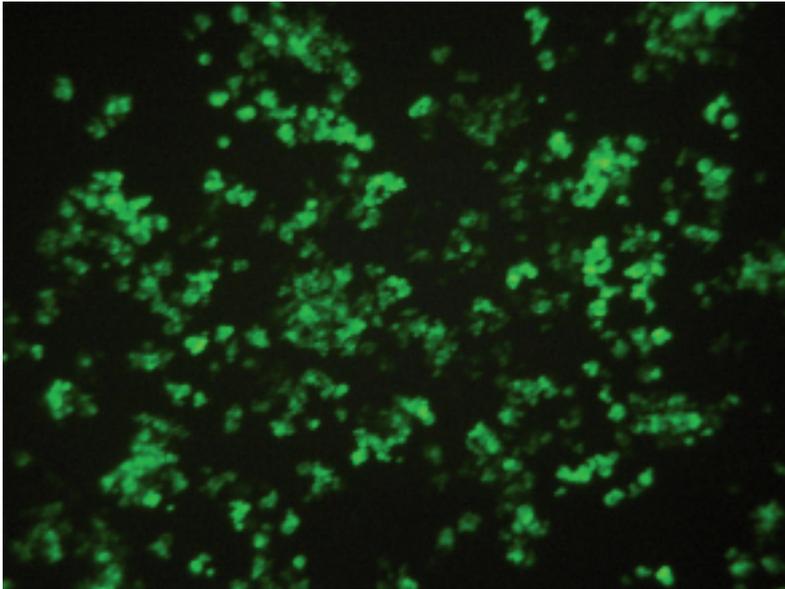


Abb. 5: Konzentrations-Wirkungs-Kurven (B und C) von acht Urinproben von Dopingtätern (Sample A-H) im Hefetest. Zum Vergleich wurde DHT mitgeführt. Die Proben wurden zuvor mit GC/MS analysiert und die Konzentrationen der vorhandenen Metaboliten bestimmt (A).



**Abb. 6:** Leuchtende Hefezellen als Antwort auf einen Androgenreiz. Bei diesen Zellen wurde das „Grün Fluoreszierenden Protein“ als „Reporter“-Gen verwendet.

10 ng/ml. Für diese beiden speziellen Substanzen ist die Nachweisgrenze in unserem Hefesystem offensichtlich höher. Die Abbauprodukte einer anderen Substanz konnten allerdings schon in einer Konzentration von 5 ng/ml Urin nachgewiesen werden.

Mit diesen Experimenten konnte gezeigt werden, dass das Hefesystem sehr sensitiv anabole Steroide und deren Abbauprodukte erkennt und dass dieses System auch für den Dopingnachweis geeignet ist. Hierbei ist von besonderer Bedeutung, dass sich die Kosten für einen Test mittels Hefe nur bei ca. 10% der GC/MS-Kosten bewegen dürften und dass dieser Test auch in kleinen Laboratorien ohne aufwändige Geräteausstattung durchgeführt werden kann. Selbst Testungen unter Feldbedingungen sind möglich.

## Perspektiven

Zurzeit wird das Testsystem von uns in vielfältiger Weise validiert, weiterentwickelt und verbessert. So gehen wir z. B. der Frage nach, ob das System durch die Anwesenheit körpereigener Steroidhormone beeinflusst wird und wie sich der Menstruationszyklus der Frau mit seinen schwankenden Hormonspiegeln auf die Nachweisgrenzen auswirkt. In Langzeituntersuchungen wird die Zuverlässigkeit des Tests an ausgewählten Probanden analysiert. In Trainingsstudien werden Trainingseinflüsse untersucht. In Ausscheidungsstudien werden die Nachweisgrenze und die Nachweisbarkeit von anabolen Steroiden im Vergleich zur GC/MS bestimmt. Auch versuchen wir durch die gezielte Vorbereitung der Urinproben die Sensitivität weiter zu steigern. Allerdings funktioniert das System auch mit völlig unaufgereinigtem Urin, ein großer Vorteil mit Bezug auf Kosten und Testgeschwindigkeit.

Um den Test schneller und sensitiver zu gestalten, wurde das „Reporter“-Gen ausgetauscht. Statt einer Farbveränderung erfolgt der Nachweis nun

durch ein fluoreszierendes Protein (Abb. 6). Hierdurch können die Tests nun schon nach 18 Stunden ausgewertet werden. Dies stellt eine Zeiterparnis von über einem Tag, im Vergleich zu dem vorherigen System, dar. Auch mit diesem neuen System wurde eine Vielzahl anaboler Steroide getestet, die die Hefen ohne Probleme erkannten.

Unser zurzeit größtes Projekt stellt die Generierung einer völlig neuen genetisch veränderten Hefe dar. Hierbei arbeiten wir eng mit dem Institut für Genetik der TU Dresden zusammen. Statt der Bierhefe *Saccharomyces cerevisiae* kommt hier die Spaltheife *Schizosaccharomyces pombe* zum Einsatz. Hiervon versprechen wir uns weitere Vorteile. So ist das bisherige System zwar bereits in der Lage die Anwesenheit von SARMs in Urinproben nachzuweisen, durch die Verwendung der neuen Anti-Dopinghefe soll die Sensitivität für derartige Substanzen jedoch noch um ein Vielfaches gesteigert werden. Die finanzielle Unterstützung für die zukünftigen Vorhaben ist uns bereits von der WADA zugesichert worden.

## Fazit

Die Standardmethode für den Nachweis von anabolen Steroiden ist die Gaschromatographie gefolgt von einer Massenspektrometrie. Dieses Verfahren ist das einzige mit dem zurzeit rechtlich verwertbare Nachweise zum Dopingmissbrauch mit anabolen Steroiden erbracht werden können. Jedoch weist auch dieses Verfahren Nachteile auf. Es ist relativ teuer. Daher ist der intensive Einsatz der GC/MS-Analytik im Bereich der Trainingskontrollen, insbesondere in niedrigeren Leistungskadern, limitiert. Zudem können anabole Steroide mit unbekannter chemischer Struktur nur sehr eingeschränkt nachgewiesen werden. Eine hervorragende Ergänzung zu dieser Methodik stellt unser aktivitätsgeleitetes Biotestverfahren dar. Dieses Biotestverfahren auf der Grundlage genetisch veränderter Hefen kann Substanzen nachweisen, die an den Androgenrezeptor binden und somit anabole Wirkung besitzen, ohne dass ihre chemische Struktur bekannt sein muss. Hierdurch können auch neuartige Substanzen, die zum Beispiel speziell für Dopingzwecke hergestellt und über illegale Kanäle verbreitet wurden, identifiziert werden. Zudem ist das Verfahren kostengünstig. Es kann in kleinen Laboratorien ohne aufwendige Geräteausstattung durchgeführt werden. Hiermit ist es bestens geeignet um gerade bei Trainingskontrollen zum Einsatz zu kommen. Sinnvoll erscheint zurzeit das System als einen Vortest für die GC/MS-Methode zu verwenden. Große Probenumfänge können somit untersucht werden. Bei Auffälligkeiten erfolgt eine genaue Analyse der Probe mittels GC/MS. Darüber hinaus bieten sich aber noch weitere Einsatzmöglichkeiten an. So kann das System z. B. auch eingesetzt werden um Nahrungsergänzungsmittel auf Verunreinigungen mit anabolen Steroiden zu testen. Wie in der Vergangenheit dokumentiert wurde, sind einige Dopingsperren der



**Sylvi LEHMANN**, geboren 1981 in Dresden, studierte von 2000 bis 2005 Biologie mit dem Schwerpunkt „Genetik“ an der Technischen Universität Dresden. Erfahrungen in der Kultivierung und Differenzierung von Knochenzellen hat sie 2006 in den Universitätskliniken in Dresden und Heidelberg gesammelt. Ab Februar 2007

ist Sylvi Lehmann als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin der DSHS, ab 2008 im Institut für Zoologie, Professur für Molekulare Zellphysiologie und Endokrinologie an der TU Dresden angestellt und forscht dort im Rahmen ihrer Promotion an der Entwicklung eines androgen-sensitiven Hefetests zur Dopinganalyse und außerdem an der Aufreinigung der Östrogenrezeptoren alpha und beta.

**E-Mail:** [sylvi.lehmann@tu-dresden.de](mailto:sylvi.lehmann@tu-dresden.de)



**Dr. Patrick DIEL**, geboren 1963 in Offenbach, studierte Biologie und Biochemie an der Universität Frankfurt und promovierte dort 1993 zum Dr. rer.nat. im Fachbereich Biochemie/Pharmazie. Seit 1995 an der DSHS angestellt, seit seiner Habilitation 2003 an der TU Dresden ist er auch dort als Privatdozent tätig. An der DSHS leitete er eine Arbeitsgruppe mit dem Forschungs-

schwerpunkt molekulare Endokrinologie in der Abteilung für molekulare und zelluläre Sportmedizin. Er ist Mitglied des Zentrums für präventive Dopingforschung der DSHS und als Berater zum Themenkomplex Gendoping für den Deutschen Bundestag und den Europarat tätig. Zudem gehört er der Senatskommission für Lebensmittelsicherheit der Deutschen Forschungsgemeinschaft an.

**E-Mail:** [diel@dshs-koeln.de](mailto:diel@dshs-koeln.de)

vergangenen Jahre auf die unbewusste Einnahme anaboler Steroide über kontaminierte Nahrungsergänzungsmittel zurückzuführen. Auch bei der Weiterentwicklung der GC/MS-Analytik kann unser System hilfreich sein. So können die Hefen in Ausscheidungsversuchen helfen besonders langlebige Metabolite anaboler Steroide zu identifizieren. Hiermit könnte die Nachweisdauer der GC/MS-Analytik deutlich gesteigert werden. Zusammenfas-

send lässt sich feststellen, dass Biotestverfahren in der Zukunft eine wichtige Ergänzung zur klassischen GC/MS-Analytik darstellen könnten. Durch den gezielten und kombinierten Einsatz der Verfahren werden sich Kosten sparen lassen und wird sich gleichzeitig die Nachweissicherheit deutlich erhöhen lassen.

**Literatur bei den Autoren.**

# Kreatin und Hirnleistung

## Der Einfluss von energiereichen Phosphaten auf kognitive und psychomotorische Leistungen des älteren und alten Menschen

Ein Beitrag von  
Julia Diehl<sup>1</sup>

Wildor Hollmann<sup>2</sup>

Andreas Mierau<sup>1</sup>

Stefan Schneider<sup>1</sup>

Heiko K. Strüder<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Bewegungs- und Neurowissenschaft

<sup>2</sup>Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin

**Im Vordergrund der Untersuchungen stand die Frage, inwieweit es durch eine artifizielle Kreatin-gabe möglich ist, kognitive und psychomotorische Leistungen bei älteren und alten Menschen im Vergleich zu jungen Kontrollpersonen beeinflussen zu können. In einem placebo-kontrollierten Doppelblindversuch mit Cross-over-Design erhielten die Probanden über sechs Wochen 5 g täglich Kreatin-Monohydrat bzw. die gleiche Dosis Placebo. Die Auswaschzeit zwischen den beiden Einnahmephasen betrug ebenfalls sechs Wochen.**

Zur Bestimmung der kognitiven Leistungsfähigkeit diente das „Wiener Testsystem“ (WTS) mit Messung der Langzeit-Aufmerksamkeit (Signal-Detection-Test), der sprachfreien Intelligenz (Raven's Advanced Progressive Matrices), dem Kurzzeitgedächtnistest (Fortlaufende Visuelle Wiedererkennungsaufgabe) und der Reaktionszeit (Wiener Reaktionstest). Zusätzlich absolvierten die Probanden nach der ersten Einnahmephase einen motorischen Test mit sensomotorischer Diskordanz.

dem Serum-Kreatinin-Spiegel und den Leistungen im Reaktionszeittest bei den älteren Probanden sowie den Leistungen im Kurzzeitgedächtnistest bei den jüngeren Probanden. Im motorischen Test mit sensomotorischer Diskordanz war nach Kreatinsupplementation die motorische Lernleistung bei den jüngeren Probanden signifikant erhöht, nicht jedoch bei den älteren Probanden.

### Ausgangslage

Eine grundlegende Aufgabe der sportmedizinischen Forschung besteht in Untersuchungen über den Einfluss von akuter Arbeit und chronischem Training auf Herz, Kreislauf, Atmung, Stoffwechsel und hormonelle Steuerung. Bis Mitte der 1980er Jahre entzog sich jedoch ein Organ des menschlichen Körpers spezifischeren leistungsdiagnostischen Fragestellungen: das Gehirn.

Das änderte sich Ende der 1980er/Anfang der 1990er Jahre mit der Einführung und technischen Weiterentwicklung bildgebender Verfahren. Diese erlaubten erstmals Einblicke in hämodynamische und metabolische Reaktionen des menschlichen Gehirns bei dosierter Arbeit sowie vor und nach körperlichem Training.

Eine der ersten Arbeitsgruppen auf diesem neuen interdisziplinären Forschungsgebiet „Bewegungs-Neurowissenschaft“ war der Arbeitskreis um Hollmann und Strüder von der Deutschen Sporthochschule Köln. In Zusammenarbeit mit dem Forschungszentrum Jülich und dem Max-Planck-Institut für Hirnforschung begannen sie 1985 mit experimentellen Untersuchungen von Hämodynamik und Metabolismus des menschlichen Gehirns in Körperruhe, bei dosierter Ergometerarbeit sowie nach körperlichem Training. Aus den Untersuchungen ist eine Vielzahl neuer Befunde hervorgegangen.

Die Relevanz der aus dieser Arbeitsgruppe entstandenen Ergebnisse geht weit über den Sport



**Foto:**  
DSHS/Institut für Bewegungs- und Neurowissenschaft

In beiden Altersgruppen stiegen der Serum-Kreatin-, Serum-Kreatininspiegel und der Kreatin/Kreatinin-Quotient im Urin nach Kreatinsupplementation hochsignifikant an, fielen in der Auswaschphase wieder auf den Ausgangswert zurück und blieben in der Placebo-Einnahmephase unverändert. Die orale Kreatinsupplementation hatte keinen Einfluss auf die kognitiven Leistungen älterer und alter sowie junger Personen. Allerdings ergab sich eine signifikant positive Korrelation zwischen

hinaus. Nimmt man z.B. an, dass bestimmte Metabolite und energiereiche Phosphate im Gehirn nicht nur bei körperlicher, sondern auch bei kognitiver Arbeit eine leistungsbegrenzende Rolle spielen, so wäre es denkbar, durch gezielte orale Zufuhrmaßnahmen auch die kognitive Leistung verbessern zu können.

So wurde z. B. bei jungen Frauen, die über 16 Wochen lang hinweg Eisen als Nahrungsergänzung zu sich genommen hatten, Konzentrationsgrad, Arbeits- und Langzeitgedächtnis verbessert (MURRAY-KOLB et al. 2004).

Weitere Untersuchungen dieser Art betrafen den Gehirnstoffwechsel und mentale Leistungen unter dem Einfluss von zusätzlicher Glukosezufuhr. Es ergab sich eine signifikante Steigerung verschiedener Formen geistiger Leistungsfähigkeit (SIEBERT et al., 1987; BENTON et al. 1994; PARKER und BENTON 1995; KENNEDY und SCHOLEY 2000; SCHOLEY et al. 2001).

Es besteht die Möglichkeit, dass man mit gezielter oraler Supplementierung von Kreatin ähnliche Leistungsverbesserungen auf kognitiver Ebene erzielen kann. Folgende Überlegungen und einige wenige internationale Studien geben darauf einen Hinweis.

Kreatin ist eine körpereigene Substanz, wobei die tägliche Umsatzrate bei ca. 2 g liegt. Die endogene Biosynthese von ca. 1 g Kreatin/Tag findet hauptsächlich in der Leber und in der Bauchspeicheldrüse statt. Die exogene Zufuhr erfolgt über die Nahrungsaufnahme tierischer Produkte, vor allem über Fleisch und Fisch (WALKER 1979). Vegetarier weisen durchweg eine niedrigere Kreatinkonzentration in der Skelettmuskulatur auf (DELANGHE 1989). Kreatin bzw. Kreatinphosphat wird im menschlichen Körper durch eine spontane und nicht-enzymatische irreversible Reaktion zu Kreatinin abgebaut und über die Nieren mit dem Urin ausgeschieden.

Eine mehrtägige Supplementierung mit Kreatin (ca. 20 g/d) führte in kontrollierten Studien sowohl zu einer Erhöhung der Plasmakonzentration als auch zu einem Anstieg des Gesamtkreatins (freies und phosphoryliertes Kreatin) in der Muskulatur (durchschnittlich 15-20%) (HARRIS et al. 1992; BALSOM et al. 1993). Vergleichbare Kreatinkonzentrationen können jedoch auch bei niedrigeren Dosierungen über einen längeren Zeitraum (3g/d über 30 Tage) erreicht werden (HULTMAN et al. 1996). Bei erfolgter Steigerung der Kreatinkonzentrationen in der Muskulatur konnte in den meisten placebo-kontrollierten Untersuchungen nach Kreatingabe eine signifikante Verbesserung der Kraftausdauer und Intervalleistungsfähigkeit nachgewiesen werden. Dies gilt jedoch nur für kurzzeitige, maximale anaerobe Belastungen vor allem bei schneller Wiederholungsfrequenz (Übersicht bei TERJUNG et al. 2000).

## Grundsätzlich stellt sich in den Neuronen des Gehirns dieselbe Situation dar wie in der Muskelzelle

Das Enzym Kreatinkinase sowie dessen Substrate Kreatin und Kreatinphosphat sind auch in Hirn- und Nervenzellen in relativ hohen Konzentrationen zu finden. Die höchsten Konzentrationen treten dabei in denjenigen Zellen auf, die für die Koordination von Bewegungen (Purkinje-Zellen im Kleinhirn) und für Lernen und Gedächtnis (Pyramidenzellen des Hippocampus) verantwortlich sind (KALDIS et al. 1996). Dies lässt darauf schließen, dass Kreatin für die Energetik dieser Hirnfunktionen eine wichtige Rolle spielt, und dass Kreatinsupplementierung diese Leistungen des Gehirns verbessern kann.

So stellten DECHENT et al. (1999) mittels Protonen-Magnet-Resonanz-Spektroskopie (1-H-MRS) einen Anstieg der Kreatinkonzentration im Gehirn von Probanden fest, die vier Wochen lang täglich 20 g Kreatin zu sich nahmen. Eine erneute Messung 12 Wochen nach Abbruch der Supplementierung ergab, dass die Werte wieder auf das Ausgangsniveau zurückgegangen waren.

WATANABE et al. (2002) verabreichten Probanden in einem Doppelblindversuch fünf Tage lang täglich 8 g Kreatin. Nach der Einnahmephase konnten verschiedene Rechenaufgaben besser gelöst werden. Mit Infrarot-Spektroskopie konnte zudem eine Verbesserung in der Energieversorgung und der Sauerstoffaufnahme in den entsprechenden Regionen des Gehirns gezeigt werden.

In einem anderen Fall wurde Vegetariern sechs Wochen lang täglich 5 g Kreatin verabfolgt. Eine zweite Vegetariengruppe bediente sich eines Placebos. Nach sechs Wochen wurden die Rollen getauscht. Unter Einfluss von Kreatin hatten Kurzzeit- und Langzeitgedächtnis sowie das Reaktionsvermögen eine hochsignifikante Leistungszunahme erfahren (RAE et al. 2003).

Hingegen sind bisher noch keine vergleichenden Untersuchungen durchgeführt worden über den Einfluss von Kreatingabe auf Faktoren geistiger Leistungsfähigkeit beim älteren und alten Menschen im Vergleich zu jungen Menschen als Vergleichsgruppe.

## Methodik

Für die Untersuchungen stellten sich 24 Personen zur Verfügung. Das mittlere Alter der männlichen und weiblichen Probanden der Gruppe A betrug  $69,5 \pm 5,8$  Jahre, die mittlere Körpergröße  $168,4 \pm 8,4$  cm und der mittlere Body-Mass-Index  $25,5 \pm 4,4$  ( $n = 11$ ). In der Gruppe B belief sich das mittlere Alter der männlichen und weiblichen Proban-

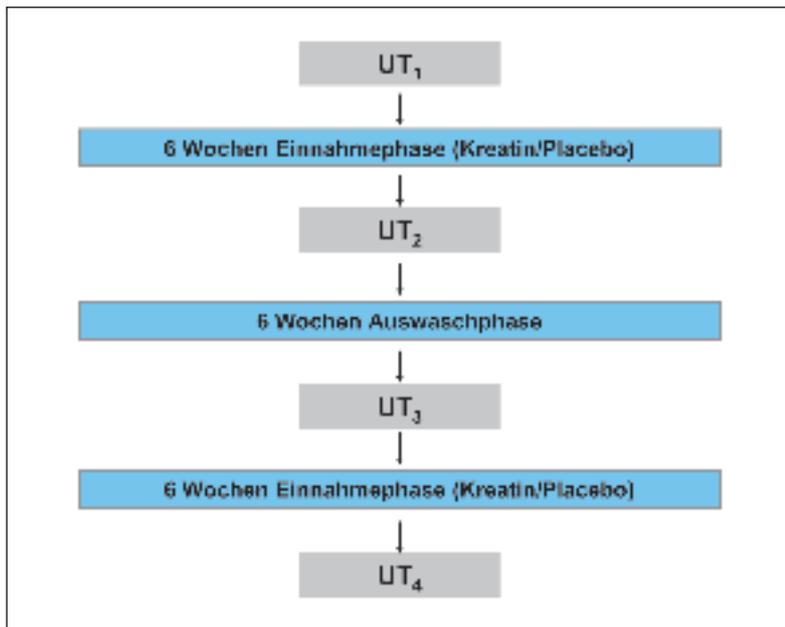


Abb. 1:  
Übersichtsdarstellung  
des Untersuchungs-  
ganges (UT<sub>x</sub> = Unter-  
suchungstag<sub>x</sub>).

den auf  $26,4 \pm 2,8$  Jahre, die mittlere Körpergröße auf  $181,1 \pm 7,1$  cm und der mittlere Body-Mass-Index auf  $23,7 \pm 2,2$  ( $n = 13$ ).

Durch eine eingangs vorgenommene Anamnese und eine anschließende klinische Untersuchung stellten wir den einwandfreien Gesundheitszustand der Probanden fest. Laborchemische Blut- und Urinuntersuchungen sicherten diese Feststellung zusätzlich ab. Personen mit Nierenschäden und/oder Erkrankungen des Gehirns wurden generell von der Teilnahme an der Studie ausgeschlossen. Keiner der Probanden war Vegetarier oder nahm zusätzliche Nahrungsergänzungsmittel ein, was anhand eines Ernährungsfragebogens festgestellt wurde.

Der Untersuchungszeitraum betrug 18 Wochen und gliederte sich in drei Phasen à sechs Wochen: Einnahmephase – Auswaschphase – Einnahmephase. Vor und nach jeder Einnahmephase stellten sich die Probanden zwecks Untersuchungen am Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin vor (insgesamt vier Untersuchungstage; Abb. 1).

In einem Doppelblindversuch mit Cross-Over-Design erhielt eine zufällig aufgeteilte Hälfte der Probanden über sechs Wochen 5 g Kreatin-Monohydrat täglich („Creapure“, Fa. Degussa). Die restlichen Probanden bekamen über denselben Zeitraum die gleiche Dosis Placebo (Maltodextrin, Fa. SHS International). Es schloss sich eine sechswöchige Auswaschphase an. Der Zeitraum von sechs Wochen scheint dabei eine adäquate „Auswachszeit“ für Kreatin zu sein (HARRIS et al. 1992). In den letzten sechs Wochen wurden die Rollen getauscht: Probanden, die in der ersten Einnahmephase Kreatin bekamen, erhielten nun Placebo und umgekehrt.

Über den gesamten Untersuchungszeitraum wurden in regelmäßigen Abständen Urinproben gesammelt, mit Hilfe von deren Analyse die Einnahme des Kreatins kontrolliert werden konnte. Die Proban-

den waren weiterhin aufgefordert, ihren normalen Lebens- und Essstil fortzuführen.

Die Untersuchungsdauer an den Untersuchungstagen betrug jeweils 120 Minuten und war für alle Probanden identisch. Jeweils zur gleichen Tageszeit erschienen sie im Institut. Es erfolgten zunächst eine venöse Blutentnahme sowie Blutdruckmessung und Feststellung des Körpergewichts und -fetts. Im Anschluss daran absolvierten sie die kognitive Testbatterie des „Wiener Testsystems“ (Fa. Schuhfried GmbH, Mödling/Österreich), mit der Aufmerksamkeits- und Differenzierungsleistung, Gedächtnisleistung, Intelligenz und Reaktionsfähigkeit überprüft wurden (Abb. 2)



Abb. 2:  
Das „Wiener Testsystem“. Zu sehen ist die universale Probandentastatur und der 17“-Monitor der Firma Fujitsu-Siemens.

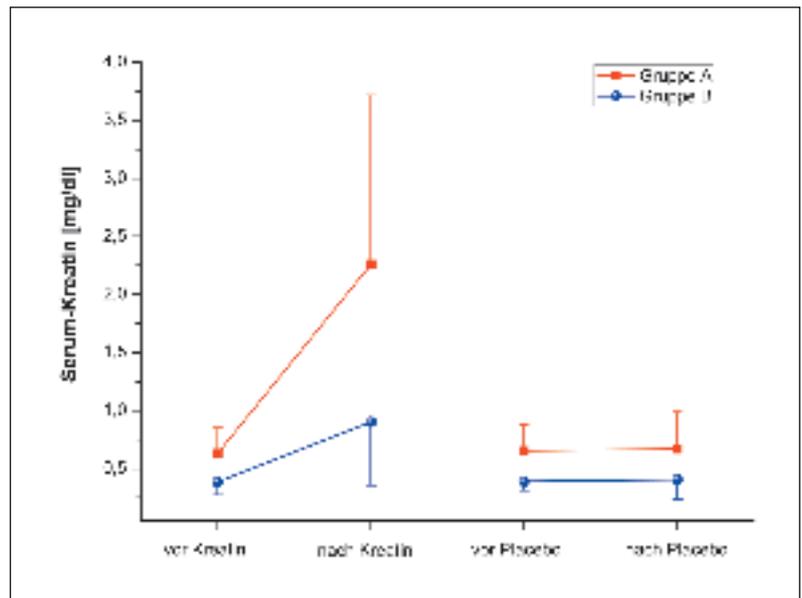
## Ergebnisse

Die wesentlichen Ergebnisse lauten:

- In beiden Altersgruppen stieg der Serum-Kreatin Spiegel nach der Einnahmephase von Kreatin hochsignifikant an (Gruppe A:  $p < 0,001$ ; Gruppe B:  $p < 0,001$ ). Nach Placebogabe hingegen traten keine Unterschiede auf. Die älteren Probanden der Gruppe A wiesen zudem über den gesamten Untersuchungsverlauf hinweg höhere Serum-Kreatinwerte auf als diejenigen der Gruppe B ( $p < 0,001$ ; Abb. 3)
- Der Serum-Kreatininspiegel stieg in beiden Gruppen nach der Einnahmephase von Kreatin hochsignifikant an (Gruppe A:  $p < 0,01$ ; Gruppe B:  $p < 0,001$ ). Nach Placebogabe konnte wiederum kein Unterschied festgestellt werden. Über den gesamten Untersuchungsverlauf hinweg hatten die Probanden der Gruppe A einen niedrigeren Kreatininspiegel im Blutserum als die jungen Probanden der Gruppe B.
- Der Kreatin/Kreatinin-Quotient im Urin lag in der Einnahmephase von Kreatin in beiden Gruppen hochsignifikant über dem in der Einnahmephase von Placebo (Gruppe A:  $p < 0,01$ ; Grup-

pe B:  $p < 0,001$ ). Die älteren Probanden der Gruppe A hatten über den gesamten Untersuchungsverlauf hinweg einen höheren Quotienten von Kreatin zu Kreatinin im Urin als die Probanden der Gruppe B ( $p < 0,01$ ).

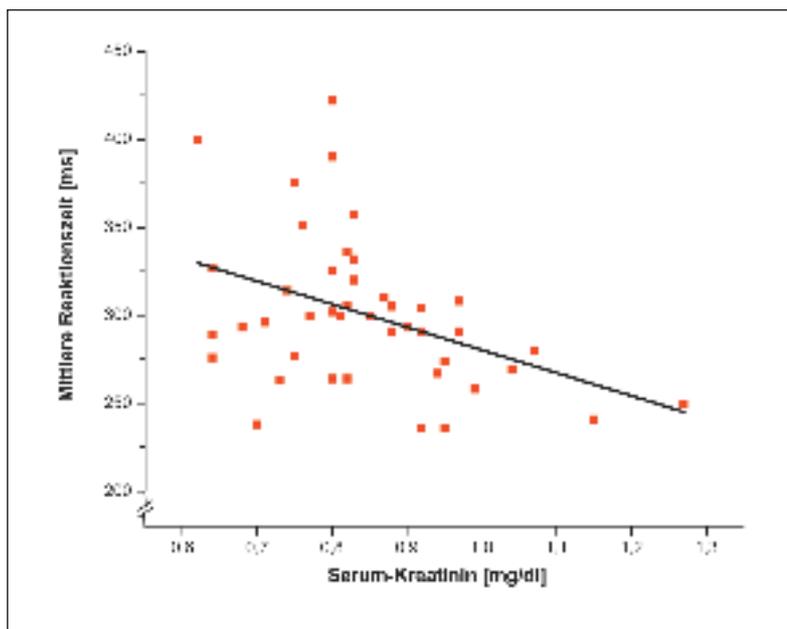
- Das Körpergewicht in Gruppe A veränderte sich weder nach Einnahme von Kreatin noch von Placebo; auch der Body-Mass-Index blieb unverändert. Bei den jungen Probanden der Gruppe B stiegen das Körpergewicht und der Body-Mass-Index nach der Kreatingabe hochsignifikant an (Körpergewicht:  $p < 0,01$ ; BMI:  $p < 0,01$ ). Nach Placebogabe hingegen war kein Unterschied festzustellen.
- Im Rahmen des Aufmerksamkeitsstests (Signal-Detection-Test) wurden die Variablen „Anzahl Richtige und Verspätete“, „Median Detektionszeit“ und „Anzahl Falsche“ gemessen. Bei keinem dieser Werte konnte ein Einfluss von Kreatingabe festgestellt werden. Im Vergleich der jüngeren mit den älteren Personen ergab sich jedoch ein hochsignifikanter Unterschied im „Median der Detektionszeit“ ( $p < 0,001$ ).
- Im Gedächtnistest („Fortlaufende Visuelle Wiedererkennungsaufgabe“) wurden die Variablen „Treffer“, „Reaktionszeit Treffer“, „Anzahl Falsch Positiver“ und „Bearbeitungszeit“ untersucht. Die Kreatingabe hatte in allen drei Variablen keinen Einfluss auf die Testergebnisse. Festzustellen war jedoch die größere Leistungsfähigkeit innerhalb der jüngeren Gruppe im Vergleich zur älteren („Treffer“:  $p < 0,05$ ; „Anzahl Falsch Positiver“:  $p < 0,001$ ).
- Im Rahmen des Intelligenztests („Raven's Advanced Progressive Matrices“) wurden die Variablen „Anzahl Richtige“, „Intelligenzquotient“ und „Bearbeitungszeit“ gemessen. Die Kreatin-



**Abb. 3:** Serum-Kreatin [mg/dl] vor und nach Einnahme von Kreatin bzw. Placebo in beiden Altersgruppen (Mittelwerte und Standardabweichungen). Nach Einnahme von Kreatin war der Kreatinwert im Blutserum hochsignifikant erhöht. Die älteren Probanden der Gruppe A hatten im gesamten Untersuchungszeitraum signifikant höhere Kreatinwerte als die jungen Probanden der Gruppe B.

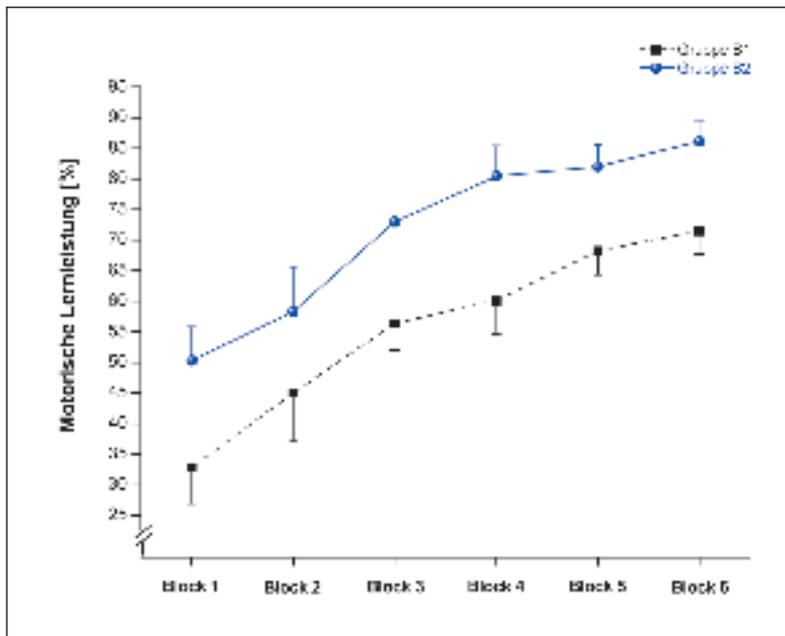
supplementation hatte keinen Einfluss auf die Leistungen in beiden Gruppen. Die erbrachte Leistung fiel allerdings bei den Jüngeren hochsignifikant besser aus als bei den älteren („Anzahl Richtige“:  $p < 0,001$ ; „Intelligenzquotient“:  $p < 0,001$ ; „Bearbeitungszeit“:  $p < 0,01$ ).

- Im „Wiener Reaktionstest“ untersuchten wir die Variablen „mittlere Reaktionszeit“ und „mittlere motorische Zeit“. Die Kreatingabe hatte auf beide Variablen keinen signifikanten Einfluss. Hingegen ergab sich die theoretisch zu erwartende verkürzte Reaktionszeit hochsignifikanter Natur bei den jüngeren Probanden der Gruppe B („mittlere Reaktionszeit“:  $p < 0,001$ ; „mittlere motorische Zeit“:  $p < 0,001$ ).
- In Gruppe A ergab die einfache Regressionsanalyse einen hochsignifikanten Korrelationseffekt zwischen Serum-Kreatininspiegel im Blut und der mittleren Reaktionszeit ( $r = 0,4$ ,  $p < 0,01$ ) sowie einen signifikanten Effekt zwischen Serum-Kreatininspiegel und mittlerer motorischer Zeit ( $r = 0,34$ ,  $p < 0,05$ ). Je höher der Serum-Kreatininspiegel im Blut ausfiel, desto kürzer waren Reaktionszeit und motorische Zeit (Abb. 4)



**Abb. 4:** Korrelation zwischen dem Serum-Kreatinin-Spiegel im Blut [mg/dl] und der mittleren Reaktionszeit [ms] im „Wiener Reaktionstest“. Dargestellt sind die älteren Probanden. Die einfache Regressionsanalyse ergab einen hochsignifikanten Korrelationseffekt beider Größen ( $p = 0,006$ ;  $r = 0,413$ ).

- Im Gedächtnistest ließ sich für die Gruppe B in der Korrelation zwischen „Anzahl Treffer“ und Serum-Kreatininspiegel im Blut ebenfalls ein signifikanter Effekt nachweisen ( $r = 0,3$ ,  $p < 0,05$ ). Je höher der Serum-Kreatininspiegel im Blut lag, desto größer war die Anzahl der Treffer.



**Abb. 5:** Dargestellt ist die motorische Lernleistung [%] der jungen Probanden (B1 = Placebo; B2 = Kreatin). Das Maß der Adaptation wurde in sechs aufeinander folgenden Blöcken berechnet. Alle Probanden verbesserten ihre Lernleistung von Block 1 zu Block 6 hochsignifikant ( $p = 0,000$ ). Der Verlauf der beiden Lernleistungskurven ist nicht signifikant unterschiedlich ( $p = 952$ ). Es konnte jedoch gezeigt werden, dass die Probanden, welche Kreatin verabfolgt bekamen (Gruppe B2), über den gesamten Testverlauf hinweg eine signifikant höhere Lernleistung erzielten als diejenigen Probanden, welche Placebo zu sich nahmen (Gruppe B1) ( $p = 0,011$ ).

- Untersuchte man die Korrelation zwischen der „Anzahl Falsch-Positiver“ mit dem Serum-Kreatininspiegel im Blut der Gruppe B, so ergab sich ebenfalls für die Regressionsanalyse ein signifikanter Effekt ( $r = 0,3$ ,  $p < 0,05$ ). Je höher der Serum-Kreatininspiegel im Blut war, desto niedriger fiel die „Anzahl Falsch Positiver“ aus.
- Im motorischen Test mit sensomotorischer Diskordanz führte die Kreatingabe zu keiner signifikanten Beeinflussung des gemessenen RMS-Fehlers. Hingegen zeigte sich ein hochsignifikanter Unterschied zwischen den Altersgruppen im Sinne einer Überlegenheit wiederum der jüngeren Gruppe ( $p < 0,001$ ).
- Die tatsächliche motorische Lernleistung ergab hinsichtlich der prozentualen Adaptation bei den älteren Probanden nach Kreatingabe keinen Unterschied, während in der jüngeren Gruppe B die Kreatingabe zu einer signifikant höheren motorischen Lernleistung führte ( $p < 0,05$ ; Abb. 5). Wiederum erbrachte die ältere Gruppe einen niedrigeren Leistungswert als die jüngere ( $p < 0,001$ ).

## Diskussion

Es gehörte zu den theoretischen Eingangsüberlegungen, dass der Effekt einer artifiziellen Kreatinzufuhr in einer vergrößerten ATP-Resynthese bestehen könnte. Vor allem für ältere Menschen könnte dies von Vorteil sein, da infolge des Alterungsprozesses die Kreatin- und Phosphokreatinkonzentrationen im Körper abnehmen (CAMPBELL et al. 1999; FORSBERG et al. 1991; TARNOPOLSKY 2000). Gleichzeitig erfordern ältere Personen für vergleichbare kognitive Aufgaben eine größere zerebrale Energiemenge (BEHZADI u. LIU 2005; TOE-SCU 2005).

Im Gegensatz zu dieser Aussage konnte jedoch z.B. von PFEFFERBAUM et al. (1999) mit Magne-

tresonanzspektroskopien festgestellt werden, dass die Kreatinmengen im Gehirn mit dem Alter zunehmen, wenn es sich um gesunde Personen handelt. Daher lässt sich nicht ausschließen, dass ein möglicher energiesteigernder Effekt einer Kreatingabe nur einer von möglichen Ursachen für eine potentielle Leistungssteigerung darstellt.

Ein zusammenfassender Vergleich zwischen unseren Ergebnissen und denen in der Literatur vorhandenen führt zu dem Schluss, dass Menschen mit pathologischen Befunden im Sinne zerebraler bzw. nervlicher Beeinträchtigungen von einer Kreatingabe profitieren könnten (z. B. Patienten mit Parkinson, Alzheimer, Huntington). Auch bei temporärer zentraler Ermüdung oder nach Schlafentzug dürfte von außen zugeführtes Kreatin den vorübergehenden Leistungsabfall verlangsamen. Weiterhin scheint bei Vegetariern oder älteren Personen mit niedrigen Kreatinkonzentrationen im Gehirn eine zusätzlichen Kreatingabe positiven Einfluss auf kognitive und psychomotorische Leistungen auszuüben. Weitere Forschungen auf diesem Gebiet sind durchaus wünschenswert auch bezüglich der Frage, inwieweit die Dosis einer Kreatingabe für Gehirnleistungen eine Rolle spielt.

Abschließend ist festzustellen, dass eine sechswöchige orale Kreatinverabreichung von täglich 5g in unseren Untersuchungen überwiegend zu keinen signifikanten Veränderungen der gemessenen Leistungsparameter führte. Unter Zugrundelegung der einschlägigen Literatur kann man jedoch davon ausgehen, dass bei pathologischen Fällen – im Gegensatz zu unseren gesunden Probanden – positive Einflüsse metabolischer und psychischer Art ausgelöst werden können. Die zugrundeliegenden biochemischen Mechanismen bedürfen noch der Abklärung.

## Literatur bei den Autoren.



**Dr. Julia DIEHL**, geboren 1979 in Offenbach, studierte von 1999 bis 2004 Sportwissenschaften an der Deutschen Sporthochschule Köln. Anschließend begann sie ihre Promotion am Institut für

Kreislaufforschung und Sportmedizin, für die sie von der Deutschen Sporthochschule mit dem Graduiertenstipendium unterstützt wurde und 2009 abschloss. Seit 2001 ist sie zunächst als studentische und wissenschaftliche Hilfskraft, inzwischen als Lehrkraft für besondere Aufgaben am Institut für Bewegungs- und Neurowissenschaft tätig.

**E-Mail:** [diehl@dshs-koeln.de](mailto:diehl@dshs-koeln.de)

# Weltstandsanalyse im Spitzen-Fußball

## Analyse und Simulation von fußballspezifischen Gruppentaktiken mit Hilfe adaptiver Neuronaler Netze

Ein Beitrag von  
**Daniel Memmert**<sup>1</sup>  
**Andrea Schmidt**<sup>1</sup>  
**Jürgen Perl**<sup>2</sup>  
**Julian Bischof**<sup>2</sup>  
**Stefan Endler**<sup>2</sup>  
**Andreas Grunz**<sup>2</sup>  
**Markus Schmid**<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institut für Kognitions- und Sportspielforschung

<sup>2</sup>Institut für Informatik, Universität Mainz

<sup>3</sup>Institut für Sport und Sportwissenschaft, Universität Heidelberg

In einem aktuellen von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Projekt (Koperation: Prof. Perl, Universität Mainz; Prof. Memmert, Deutsche Sporthochschule Köln) werden Fußballspiele auf höchstem internationalen Niveau hinsichtlich der Effektivität von gruppentaktischen Prozessen untersucht. Dazu werden in einem ersten Schritt Spielsequenzen des WM-Finals von 2006 (Italien gegen Frankreich) unter dem Einsatz spezieller Neuronaler Netze hinsichtlich semantischer Auffälligkeiten analysiert. Zusammenfassend wird der generellen Forschungsfrage nachgegangen, welche Akteure zu welchem Zeitpunkt und unter welchem Einfluss der gegnerischen Akteure wie zusammenspielen müssen, damit Torgefahr entsteht. Nachfolgend kann nach einer kurzen Darstellung des theoretischen Hintergrunds (Problemgegenstand) das umfassende Forschungsprogramm nur ansatzweise skizziert werden, welches sich insgesamt durch ein dreistufiges methodisches Vorgehen strukturieren lässt: 1) Weltstandsanalyse nach konventioneller und netzgestützter Positionsdaten-basierter Vorgehensweise, 2) Übereinstimmungsbestimmungen beider Verfahren (Validierungsstudie), 3) netzbasierte erfolgsabhängige Analysen. Der Schwerpunkt des Artikels liegt auf dem ersten und dem dritten Schritt.

### Problemgegenstand

Taktische Fähigkeiten spielen im modernen Fußball in allen Altersbereichen und jedem Leistungsniveau eine bedeutsame Rolle. Eine Reihe von Experten sieht in der Taktik sogar die Größe, der bis jetzt im Trainingsprozess am wenigsten Aufmerksamkeit gewidmet wurde. Aus diesem Grund scheinen im taktischen Bereich die größten Potenziale zu schlummern. Neben fußballspezifischen Individualtaktiken, wie beispielsweise dem Lösen von 1:1 Situationen, werden im Leistungsfußball seit

einiger Zeit verstärkt gruppentaktische Maßnahmen diskutiert, die insbesondere in höheren Ligen mittlerweile von besonderem Interesse sind. Für den Bereich der Gruppentaktik existieren zwar einzelne Zeitschriftenartikel, eine systematische Zusammenfassung ist jedoch noch nicht erhältlich. Noch schwerer wiegt jedoch, dass empirisch abgesicherte inhaltliche Ausdifferenzierungen gruppentaktischer Anforderungen im Fußball gänzlich fehlen. Anders formuliert: Natürlich sind vereinzelt Systematiken über Gruppentaktiken in Lehrbüchern zu finden, jedoch wurde noch nicht gezeigt, ob diese irgendeine Relevanz im Amateur- bzw. Profi-Fußball haben.

Ziel eines Forschungsprojektes („Optimales Taktiktraining im Leistungsfußball“, MEMMERT 2006) aus dem Jahre 2000 bis 2005 war es, die aufgezeigten Defizite dahingehend aufzuarbeiten, dass eine fundierte Analyse fußballspezifischer Gruppentaktiken geleistet wird. Ausgehend von Pilotstudien beim SV Waldhof Mannheim (2. Bundesliga) wurde auf der Basis von 27 Regionalliga-Heimspielen von 1899 Hoffenheim in den Spielzeiten 2002-2003 und 2003-2004 die Trainerphilosophie von Hansi Flick (aktueller Co-Trainer der Deutschen Fußball-Nationalmannschaft) indirekt ermittelt. Beide wähl-

**Foto:**  
 DSHS / Institut für Kognitions- und Sportspielforschung



ten während des Spiels, das videotecnisch aufgezeichnet wurde, für sie bedeutsame positive und negative Aktionen einzelner Mannschaftsteile aus, ohne zu wissen, dass ihre Trainerkompetenz evaluiert werden sollte. Im Nachhinein konnten 585 Spielausschnitte vom Trainergespann verbal beurteilt werden. Das über diese Einzelfallanalyse gewonnene implizite Expertenwissen (Videoszenen und Kommen-

ture) wurde mit Hilfe qualitativer Inhaltsanalysen weiter verdichtet. Die daraus resultierenden offensiven und defensiven gruppentaktischen Aufgaben wurden mittels induktiver Kategorienbildung in übergeordnete Basiskategorien eingeordnet.

Generell wurden dadurch Gruppentaktiken gefunden, die durch das Zusammenwirken von mehreren

<b>Defensiver Bereich</b>	
Umschalten	= Gruppentaktische Anforderung, bei der es darauf ankommt, dass Positionen durch einen möglichst schnellen Wechseln von Angriffs- auf Abwehraufgaben gegnerische Offensivaktionen unterbinden.
Pressing	= Gruppentaktische Anforderung, bei der es darauf ankommt, dass Positionen den Spielaufbau des Gegners bereits in seiner Spielfeldhälfte stören.
Zuordnung	= Gruppentaktische Anforderung, bei der es darauf ankommt, dass klare Aufgabenverteilungen (z. B. bei Eckbällen) innerhalb von Positionen existieren (z. B. Manndeckung) und umgesetzt werden.
Eroberung des 2. Balles	= Gruppentaktische Anforderung, bei der es darauf ankommt, dass bei abprallenden Bällen (z. B. Abschlägen) bestimmte Positionen sich so um ein Spielgeschehen (Zweikampf) positionieren, dass der Ball gesichert werden kann.
Kommunikation	= Gruppentaktische Anforderung, bei der es darauf ankommt, dass sich Positionen durch die situationsgerechte Nutzung von im Vorfeld vereinbarter Codewörter auf dem Spielfeld orientieren.
Absicherung	= Gruppentaktische Anforderung, bei der es darauf ankommt, dass Positionen sich durch situationsgerechtes Stellungsspiel bzw. (Tiefen-)Staffelung den Gegner vom Tor fernhalten oder den Ballbesitz erlangen.
<b>Offensiver Bereich</b>	
Spielaufbau	= Gruppentaktische Anforderung, bei der es darauf ankommt, dass Positionen durch systematische Handlungen (z. B. Vertikalspiel) eine Angriffsaktion einleiten.
Kombinations-spiel	= Gruppentaktische Anforderung, bei der es darauf ankommt, dass Positionen durch Pässe (z. B. Doppelpass, Kurzpässe, Dreiecksspiel) den Ballbesitz sichern.
Spielver-lagerung	= Gruppentaktische Anforderung, bei der es darauf ankommt, dass Positionen durch das Passen des Balles von der einen zu anderen Spielfeldseite Platz für Angriffsaktionen bewirken.
Räume schaffen	= Gruppentaktische Anforderung, bei der es darauf ankommt, dass Positionen durch die Wahl entsprechender Laufwege (z. B. Kreuzen, Hinterlaufen, Binden von Gegenspielern) sich gegenseitig Platz für Aktionen ermöglichen.
Flügel-spiel	= Gruppentaktische Anforderung, bei der es darauf ankommt, dass Positionen über die Außenseiten (z. B. Pass in die Gasse) torgefährliche Situationen vorbereiten.
Konterspiel	= Gruppentaktische Anforderung, bei der es darauf ankommt, dass bei einem abgefangenen Angriff des Gegners Positionen das Spielfeld möglichst schnell (u. a. durch Stellpässe) überbrücken.
Standard-situationen	= Gruppentaktische Anforderung, bei der es darauf ankommt, dass Positionen durch Eckbälle, Freistöße oder Einwürfe eine torgefährliche Situation vorbereiten.
Torabschluss vorbereiten	= Gruppentaktische Anforderung, bei der es darauf ankommt, dass Positionen versuchen, einen Mitspieler so anzuspielen, dass er aus kurzer oder größerer Distanz ein Tor erzielen kann.

Tab. 1: Darstellung von 14 offensiven und defensiven Gruppentaktiken, die durch die induktive Kategorienbildung und weitere qualitative Auswertungsschritte resultieren (MEMMERT 2006).



**Abb. 1:** Darstellung des Software-Systems (Eigenentwicklung) zur konventionellen (a) und positionsdatengestützten Analyse (b) von Sportspielen (hier: Fußball).



Spielern einer Mannschaft (= Positionsgruppen) gelöst werden müssen. Solche Positionsgruppen sind beispielsweise Angriffsspieler oder Mittelfeldspieler, aber auch Spieler in bestimmten Aktionsräumen (u. a. linke/rechte Außenseite) oder Spieler mit unterschiedlichen Aufgaben, die zufällig in bestimmten Räumen zur gleichen Zeit agieren. Aufgrund dieser Analyse konnten die in Tabelle 1 dargestellten gruppentaktischen Kategorien empirisch validiert werden.

Diese Gruppentaktiken bilden jetzt den theoretischen Rahmen für das aktuelle DFG-Projekt, in dem Auswertungs-Tools zur Analyse von Gruppentaktiken entwickelt werden. Dazu werden Fußballspiele auf höchstem internationalem Niveau (Weltstandsanalyse) auf der Basis von Positionsdaten hinsichtlich der Effektivität von gruppentaktischen Prozessen untersucht. „Welche Akteure müssen zu welchem Zeitpunkt und unter welchem Einfluss der gegnerischen Akteure wie zusammenspielen, damit Torgefahr entsteht?“ oder spezifischer: „Wie lassen sich gruppentaktische Verhaltensprozesse im Fußball modellieren und zu charakteristischen Typen verdichten?“ Dieser Frage wird in Abschnitt 2 des Beitrages nachgegangen. Anhand eines Beispiels wird dargestellt, welche Probleme dabei auftreten

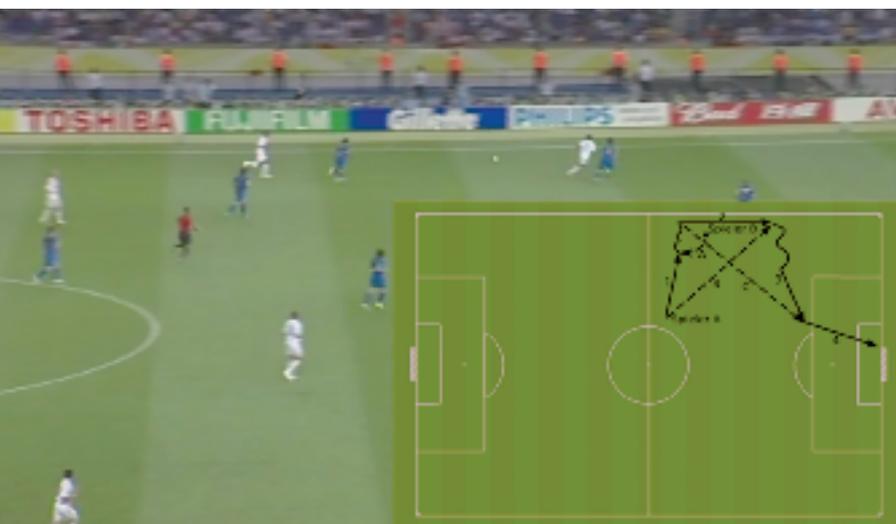
können, und es werden mögliche Lösungen vorgestellt. Zudem wird auch kurz von ersten vorläufigen Ergebnissen berichtet, die eine netzgestützte Positionsdaten-bezogene Vorgehensweise mit einer konventionellen Methode vergleicht (Validierungsstudie). Im Abschnitt 3 wird beschrieben, wie sich Verhaltensprozesse bewerten lassen, wie man einen Zugang zur Erkennung der kreativen Verhaltensprozesse erhält und wie die Simulation zur prognostischen Überprüfung der Wirksamkeit eingesetzt werden kann.

## Modellierung und Typisierung von gruppentaktischen Verhaltensprozessen anhand von Positionsdaten (Schritt 1)

Zurzeit werden in verschiedenen Sportarten (z. B. Fußball, Handball, Basketball oder Volleyball) Sportspiele anhand von Video-Szenen analysiert (konventionelle Analyse; vgl. Abb. 1a). Aktuelle technische Entwicklungen machen es jedoch möglich, Positionsdaten aller Spieler und des Balles für komplette Spiele zu erfassen (vgl. Abb. 1b). Das heißt, dass man auf die xy-Koordinaten von 22 Spielern sowie des Spielballs über 90 Minuten zurückgreifen kann. Bei einer Abtastfrequenz von 25 Frames pro Sekunde hat man so von jedem Spieler 135.000 xy-Daten. Betrachtet man alle Spieler einschließlich Ball, dann erhält man entsprechend insgesamt 135.000 Datensätze aus jeweils 23 xy-Daten. Insgesamt ergibt das 3.105.000 xy-Daten.

Über das in Abbildung 1b ebenfalls dargestellte Software-System lassen sich einzelnen Spielsequenzen verschiedene Kategorien zuordnen. Über diese Kategorien kann man die zugehörigen Positionsdaten extrahieren und damit Neuronale Netze trainieren (MEMMERT & PERL 2005). Dies wird anhand eines Beispiels im Folgenden dargestellt.

**Abb. 2:** Darstellung der Videosequenz eines Flügelspiels sowie eine schematische Darstellung, wie sie üblicherweise zur Darstellung von Aktionen verwendet werden.

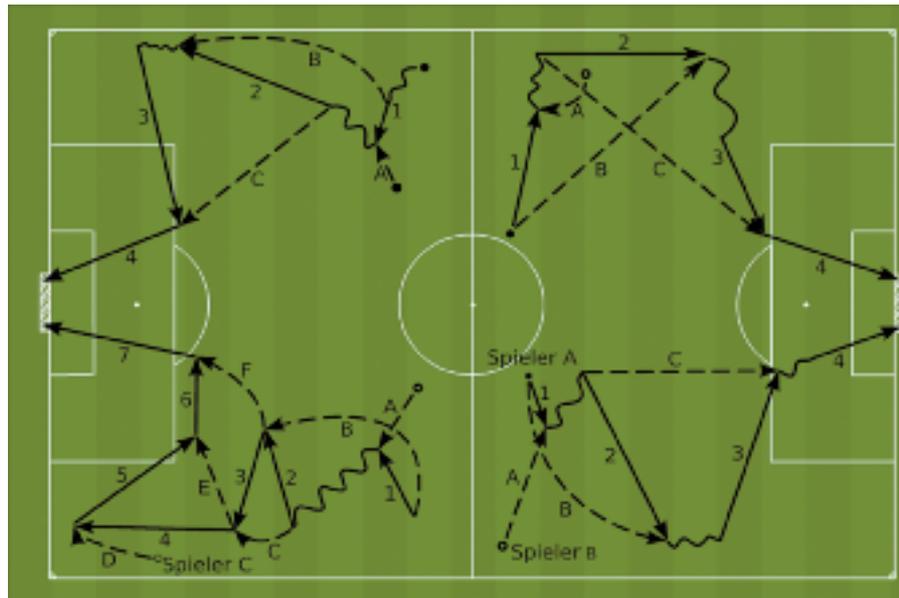


Im Videobild wird ein Flügelspiel ausgemacht (vgl. Abb. 2, oben). Die betroffene Spielsequenz wird nun im Software-System der Kategorie „Flügelspiel“ zugewiesen. Dazu werden auch die beteiligten Spieler festgehalten. Auf einem graphischen Spielfeld kann das Flügelspiel mit Hilfe der extrahierten Positionsdaten schematisch dargestellt werden (vgl. Abb. 2, rechts unten). Abbildung 2 zeigt nur eine mögliche Realisierung eines Flügelspiels. Einige weitere Variationen sind in Abbildung 3 schematisch dargestellt. Die von mehreren solchen Flügelspielen erhaltenen Positionsdaten der beteiligten Spieler sollen nun im Folgenden dazu verwendet werden, ein Neuronales Netz zu trainieren und so das Muster „Flügelspiel“ einzuprägen.

Beim Betrachten der Flügelspiele stellt sich in ihrer Erfassung durch ein Neuronales Netz ein erstes Problem. Die Anzahl der beteiligten Spieler kann variieren. Links unten in Abbildung 3 sind es drei Spieler, in den anderen Fällen zwei. Dementsprechend umfasst der aus den Positionsdaten der Spieler und des Balls konstruierte xy-Datensatz im linken unteren Fall 4 xy-Daten und in den übrigen Fällen 3 xy-Daten. Ein Neuronales Netz hat jedoch eine feste Dimension, es kann nur Datensätze einer festen Länge verarbeiten.

Eine Lösung kann darin bestehen, dass man für die verschiedenen Anzahlen an beteiligten Spielern jeweils ein eigenes Neuronales Netz trainiert. Auf die Abbildung 3 bezogen: eines für zwei Spieler und eines für drei Spieler. Es könnte natürlich auch noch mehr beteiligte Spieler geben, dann wären entsprechend mehr Netze nötig.

Ein zweites Problem entsteht dadurch, dass auf Netzen mit fester Neuronen-Struktur Bereiche des Neuronalen Netzes mit viel Information im Training nicht mehr Neuronen zur Verfügung haben als Bereiche mit wenig Information. Dadurch könnte der höhere Informationsgehalt schlechter aufgelöst

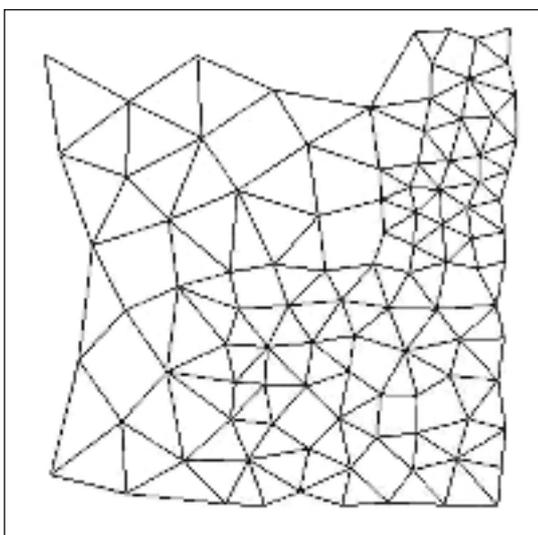


**Abb. 3:** Darstellung von Variationen des Flügelspiels.

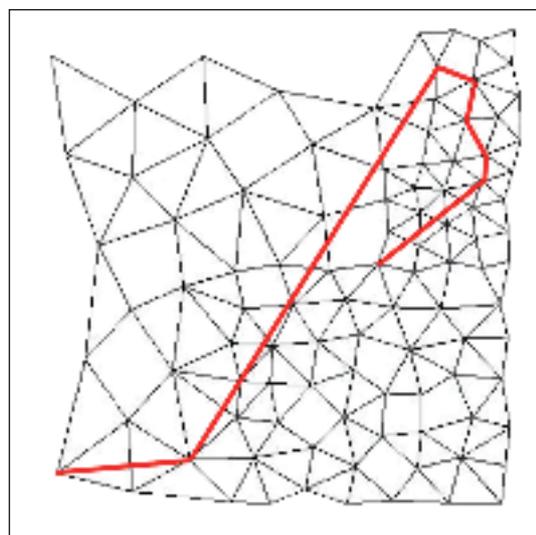
werden als der niedrigere. Für das Beispiel „Flügelspiel“ könnte das bedeuten, dass bestimmte Konstellationen der beteiligten Spieler häufiger auftreten als andere und dass dann gerade die wichtigen häufigeren auf dem Netz schlechter repräsentiert sind.

Dieses Problem kann beispielsweise mit Hilfe einer dynamischen Generierung und Verwaltung von Knoten gelöst werden. Anhand eines 2-dimensionalen Neuronalen Netzes ist dies exemplarisch in Abbildung 4 dargestellt: Ganz links gibt es einen Bereich in dem keine Neuronen zu finden sind. Rechts bzw. unten rechts erkennt man dagegen eine Häufung an Neuronen. Von links nach rechts lässt sich so ein Übergang in der Dichte der Neuronen feststellen.

Nachdem das Training der Netze abgeschlossen ist, lassen sich die Bewegungsmuster einzelner Spieler, von Mannschaftsteilen oder der ganzen Mann-



**Abb. 4:** Exemplarische Darstellung eines Neuronales Netzes mit variabler Neuronendichte (PERL, MEMMERT, BISCHOF & GERHARZ 2006).



**Abb. 5:** Exemplarische Darstellung einer Trajektorie als Bild einer Spielsequenz auf dem Neuronalen Netz (PERL et al. 2006).

schaft als Trajektorien auf dem Netz darstellen (vgl. Abbildung 5).

Dabei wird durch jeden Datensatz in einer Spielsequenz ein Neuron im Netz aktiviert. Verbindet man die nacheinander aktivierten Neuronen, dann erhält man die Trajektorie. Klassen ähnlicher Muster von Spielsequenzen sollen nun durch ein Neuronales Netz einer höheren Ebene einem gemeinsamen Neuron oder einem Cluster benachbarter Neuronen zugeordnet werden. Zum Beispiel sollen alle Realisierungen eines Flügelspiels durch ein Neuron oder ein Neuronen-Cluster „Flügelspiel“ erkannt werden. Dazu muss das Netz vorher mit hinreichend vielen verschiedenen Flügelspiel-Mustern trainiert worden sein.

Hieraus entsteht ein drittes Problem: Für gewöhnlich steht nur eine begrenzte Anzahl an Realisierungen eines Musters zur Verfügung, da diese aus aufgezeichneten Spielen extrahiert werden. Dadurch könnte zum Beispiel der Fall eintreten, dass für einige der möglichen Variationen eines Flügelspiels keine Positionsdaten vorhanden sind. Eine Lösung könnte darin bestehen, dass man die verschiedenen Variationen des Bewegungsmusters schematisch in die graphische Darstellung des Spielfeldes einzeichnet und das Programm mit Hilfe von Monte-Carlo-Simulation daraus die Positionsdaten für das Training berechnet. Dieser Ansatz klingt zunächst etwas „abenteuerlich“, hat sich aber aufgrund der speziellen Trainingstechniken als außerordentlich erfolgreich und wirksam erwiesen (PERL 2004).

Bei der Verarbeitung der Trajektorien stellen sich schließlich im Wesentlichen die oben bereits angesprochenen Probleme: Zum einen können Trajektorien zu lang sein. Man bekommt dann zu hoch

dimensionale Netze. Zum zweiten können Trajektorien auch unterschiedlich lang sein. Man erkennt anhand der schematischen Darstellung in Abbildung 3, dass sich die zurückgelegte Strecke der beteiligten Spieler und die des Balles zwischen den verschiedenen Ausführungen unterscheiden. Werden die von der Strecke längeren Bewegungsmuster nicht schneller ausgeführt, dann ergeben sich hieraus über den zeitlichen Verlauf der Sequenzen längere Trajektorien. Für jede Länge spezifische Neuronale Netze zu trainieren, ist – wie oben bereits ausgeführt wurde – nicht praktikabel. Durch das systematische Entfernen überzähliger Vektoren könnten zu lange Trajektorien auf eine einheitliche Länge gekürzt werden. Dieses Vorgehen wäre aber durchaus problematisch, da es implizit die Geschwindigkeiten der Aktionen beschleunigt. Eine praktikable Lösung für dieses Problem besteht in der „Sliding Window“-Technik, bei der aus den Sequenzen variabler Länge fortlaufend Sequenzen fester Länge herausgeschnitten werden.

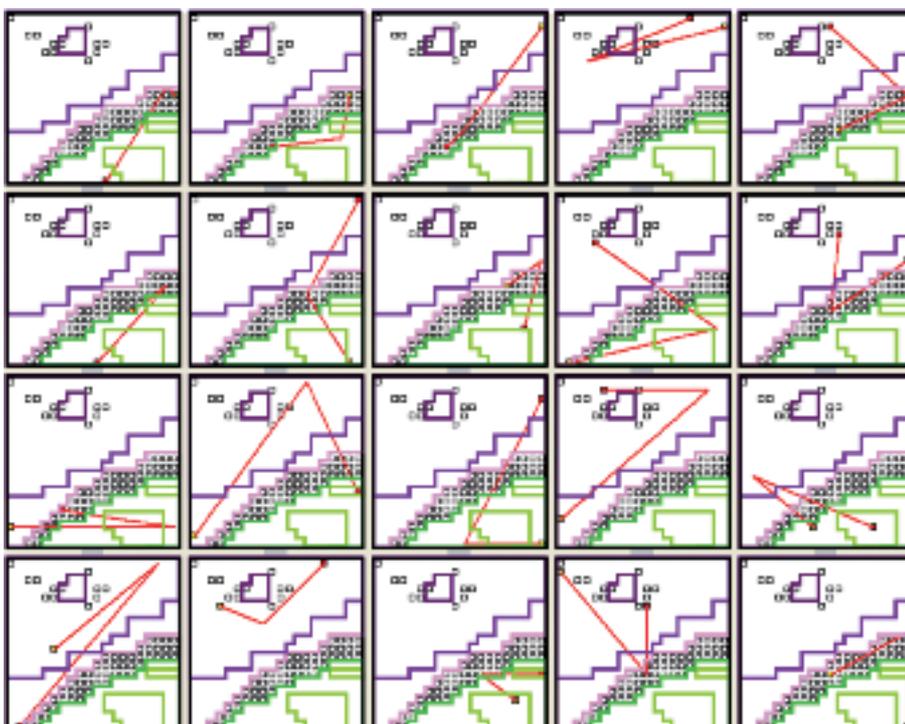
## Validierungsstudie (Schritt 2)

Zur Validierung der trainierten Neuronalen Netze müssen nun die aus der traditionellen Spielanalyse („golden standard“) einerseits und die aus der netzgestützten Positionsdaten-basierten Vorgehensweise andererseits erzielten Ergebnisse miteinander verglichen werden. In ersten Vorstudien zeigt sich, dass fast 90% von den durch die traditionelle Spielanalyse erkannten Spielereignissen durch unsere Neuronalen Netze hinsichtlich der in Tabelle 1 definierten Gruppentaktiken wie Spieleröffnung, Standardsituationen (weiter ausdifferenziert in Einwurf, Freistoß und Eckball) und Torabschluss erkannt wurden. Zurzeit finden weitere Optimierungsschritte statt, um Übereinstimmungs-raten von über 95% zu erhalten.

## Bewertung, Kreativität und Simulation (Schritt 3)

Durch die trainierten Neuronalen Netze ist es möglich, sich für ein nicht kategorisiertes Spiel automatisch die einzelnen, zu den verschiedenen Kategorien gehörenden, Spielsequenzen bestimmen zu lassen. Zum Beispiel möchte man alle Flügelspiele einer Begegnung automatisch ermitteln, im Video anfahren und für die übergreifende Analyse in einer Datenbank erfassen lassen. Hier kann man dann zum Beispiel für die durch die Netz-basierte Typisierung gewonnenen Aktionsmuster statistische Analysen durchführen. So kann zum einen die Häufigkeit bestimmt werden, mit der ein bestimmtes Muster auftritt. Zum anderen können auch die Übergangshäufigkeiten zwischen verschiedenen Mustern festgestellt werden.

**Abb. 6:** Repräsentation der intraindividuellen Trajektorien eines Fußballtrainings. Der Lernprozess beginnt im roten und endet im gelben Quadrat (vgl. MEMMERT & PERL 2009b).



Dazu wurden in Vorstudien bereits Neuronale Netze entwickelt und validiert, die den individuellen Trainingsprozess insbesondere kreativer Verhaltensweisen von Fußballspielern repräsentieren können (vgl. MEMMERT & PERL 2009b): Beginnend mit einem roten und endend mit einem gelben Quadrat sind in Abbildung 6 auf den einzelnen Netz-Exemplaren die Zeitschritte des jeweiligen Prozesses als rote Kanten auf dem Netz dargestellt. In den drei Schritten des Prozesses durchläuft die Trajektorie dabei die entsprechenden farbig markierten Qualitätsbereiche des Netzes (hellgrün – sehr gut bis dunkel violett – extrem schlecht). Im Ergebnis zeigt die Entwicklung der Kreativität der 20 in Abbildung 6 repräsentierten Fußballspieler über die 15 Trainingsmonate sehr unterschiedliche Ausprägungen: In 5 von 20 Fällen (25%) steigt die Leistung anfangs, ist aber am Ende dann schlechter als in der Mitte des Trainingprozesses (up-down-Fluktuations-Prozess). Das umgekehrte Verhalten war bei 30% der Probanden zu beobachten (down-up-Fluktuations-Prozess). In 25% der Fälle stieg die Leistung monoton, während sie in 10% der Fälle monoton fiel. In 10% der Fälle blieb die Leistung (fast) völlig unverändert.

Schließlich ist für die qualitative Einordnung einer Aktion bzw. eines Aktions-Typs eine Bewertung erforderlich, die allerdings in der Regel nicht aus der Aktion allein, sondern nur aus der jeweiligen Interaktion mit der gegnerischen Mannschaft ableitbar ist. Die Netz-basierte Lösung für dieses Problem besteht in der Verwendung Mannschafts-spezifischer Netze für die Aktionen, die dann in einem hierarchisch übergeordneten Netz die Erkennung und Analyse der Interaktions-Typen ermöglichen. Auf diese Weise lassen sich den Aktionen bzw. den Aktions-Typen der Mannschaften im Kontext der jeweiligen Interaktion Bewertungen zuordnen.

Abbildung 7 verdeutlicht die dabei verwendete Methodik: Die Sequenz der Angriffsaktionen der Mannschaft A wird vom entsprechenden Angriffs-Netz (links-oben) in eine farblich codierte Folge sog. Phasen umgesetzt (Phasendiagramm „Angriff“, oben), die zeitlich mit den entsprechenden Abwehr-Phasen der Mannschaft B korrespondiert (Phasendiagramm „Abwehr“, unten). Diese korrespondierenden Phasenfolgen werden auf das Interaktions-Netz übertragen und liefern dort das Material für Interaktions- und Bewertungsanalysen.

Aus diesem Ansatz ergeben sich u. a. zwei wesentliche Einsatzmöglichkeiten: Zum einen kann die Wirksamkeit eines Verhaltensprozesses mit Hilfe der Simulation prognostisch überprüft werden. Dabei wird das Spiel angehalten und statt des nächsten Aktionstyps ein anderer Typ, mit einer höheren Bewertung für die zu untersuchende Mannschaft, gewählt. Anschließend wird das Spiel fortgesetzt und eine Ist-Soll-Analyse durchgeführt, um den möglichen Vorteil der simulierten Aktion zu ermitteln. Auf diese Weise können zum Beispiel tak-

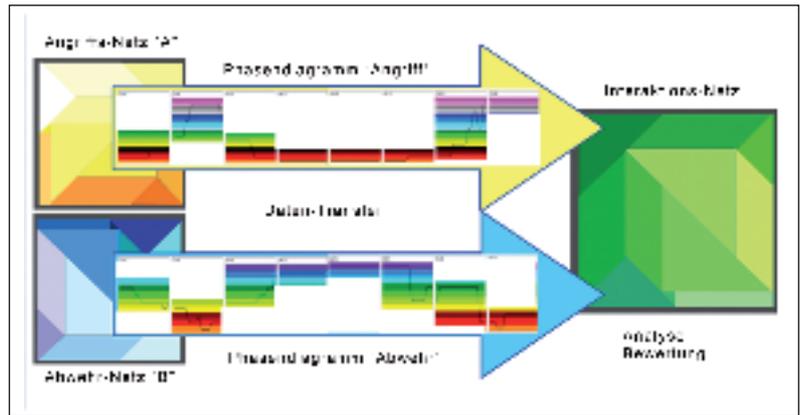


Abb. 7: Hierarchische Interaktions- und Bewertungsanalyse (GRUNZ, MEMMERT & PERL 2009).

tische Varianten simulativ erprobt und gegebenenfalls rechtzeitig verworfen werden. Zum anderen lassen sich so Handlungen, die kreativ im Sinne von informationstheoretisch relevant (überraschend, temporär selten) sowie adäquat (erfolgreich im situativen Kontext) sind, erkennen und insbesondere auch in den simulativen Analyse-Prozess einfügen.

In Abbildung 8 ist schematisch ein Verhaltensprozess mit einem gegenüber Abbildung 5 neuen, kreativen Anteil dargestellt. Der Verlauf aus Abbildung 5 wird durch den gestrichelten Teil der Trajektorie veranschaulicht. Durch den kreativen Anteil wird ein neues Neuron aktiviert und die Trajektorie bekommt an dieser Stelle eine deutliche Abweichung vom erwarteten Verlauf.

MEMMERT und PERL (2009a,b) konnten solche Neuronale Netze, die kreative Aktionen identifizieren können, bereits mit Hilfe von Daten einer Längsschnittstudie im Rahmen eines BISP-Projektes validieren. Dazu wurden spezielle Neuronale Netze konstruiert, die sich aus DyCoN-Komponenten und „Neuronal-Gas“-Komponenten zusammensetzen. Mit ihnen war es möglich, sowohl seltene als auch relevante taktische Verhaltensweisen aus einer Vielzahl von taktischen Verhaltensweisen zu selektieren.

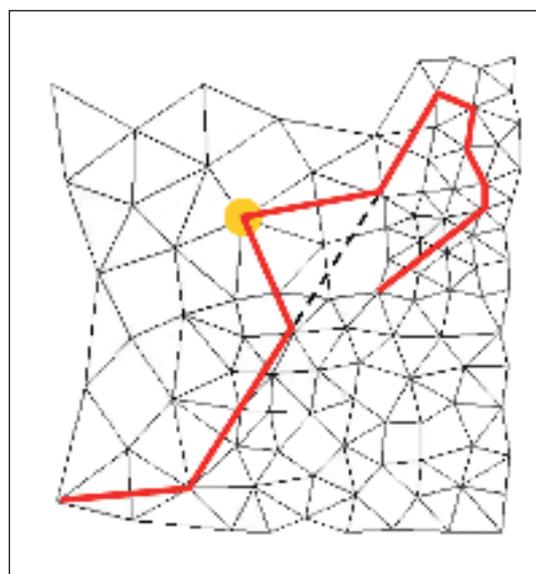


Abb. 8: Exemplarische Darstellung einer kreativen Verhaltensweise im Rahmen des neuronalen Netzwerkes (vgl. Abb. 5).

Mit Hilfe dieser Vorarbeiten (MEMMERT & PERL 2009a,b) wird in dem 3. Forschungsabschnitt im Rahmen verschiedener Gruppentaktiken (vgl. Tabelle 1) nach seltenen, aber erfolgreichen Aktionen gesucht. Konkret – und anhand dieses Beispiels beschrieben – wird der insbesondere für die Fußballpraxis wichtigen Frage nachgegangen, ob es ungewöhnliche Aktionen in einer Reihe von Flügelaktionen gibt, die Torgefahr erzeugt haben.

## Zusammenfassung und praktische Einsatzmöglichkeiten im Spitzensfußball

Die entwickelten Neuronalen Netze ermöglichen es, Spielszenen aus einem Spiel oder aus verschiedenen Spielen miteinander zu vergleichen, um herauszufinden, welche Konstellationen auf dem Platz zu welchen Resultaten führen. Ziel ist es, dass das Selektieren einzelner Spielsequenzen aus Fußballspielen nicht mehr manuell durchgeführt werden muss (konventionelle Analyse), sondern von Neuronalen Netzen übernommen und so automatisiert werden kann. Damit wird es möglich, dass auch sehr umfangreiche Datenmengen im Zeitrahmen von Minuten nach Unterschieden und Gemeinsamkeiten klassifiziert werden können. Das auf Neuronalen Netzen basierende Analyse-System kann so in Sekunden unüberschaubar viele Spielsituationen nach Erfolg und Misserfolg ordnen – und zum Beispiel herausfinden, ob ein 4-2-3-1-System gegen eine Mannschaft in einem 4-4-2-System unter bestimmten Voraussetzungen überlegen ist. Weiter ließe sich, durch den Einsatz von Simulation, die Beantwortung der Frage unterstützen, welche Veränderungen in Angriff und Abwehr, ob personell oder im System, zu welchen Veränderungen der Erfolgswahrscheinlichkeit bestimmter Spielzüge führen würden. Schließlich hilft der Netz-basierte Ansatz nicht nur, Standard-Spielsequenzen zu analysieren, sondern ist insbesondere auch in der Lage, seltene und überraschende Sequenzen zu erkennen und bezüglich ihres Erfolges und ihrer Adäquatheit im situativen Kontext zu bewerten. So werden oft außergewöhnliche Aktionen oder seltene Typen von Torerfolgen als Zufall abgetan, die bei genauerer Analyse als

nicht-zufällige, sondern spontane kreative Prozesse erkannt werden könnten.

Dabei werden Neuronale Netze Experten natürlich niemals ersetzen können. Sie bieten aber die Möglichkeit, mit hoher Geschwindigkeit und damit online in einer interaktiven Kommunikation dem Trainer gezielt Daten und Informationen zu präsentieren, die dieser dann mit seiner Expertise interpretieren und einordnen kann. Auf diese Weise können schnell und komfortabel Ergebnisse bereitgestellt werden, die zur Vorbereitung auf gegenwärtige Mannschaften hilfreich sind, wie etwa, welche Spielsysteme eher als andere geeignet sind, gegen eine bestimmte Mannschaft mit einer bestimmten Taktik und Aufstellung erfolgreich zu spielen.

### Literatur bei den Autoren.



**Prof. Dr. Daniel MEMMERT**, geboren 1971 in Nürnberg, studierte von 1991 bis 1997 an der Universität Konstanz und Heidelberg die Fächer Sportwissenschaft und Mathematik, mit Abschluss (1999) des Zweiten Staatsexamen für das

Lehramt an Gymnasien (Pädagogik, Mathematik, Sport und Ethik). Er promovierte 2003 („Kognitionen im Sportspiel“) und habilitierte („Kreativität im Sportspiel“) 2008 an der Universität Heidelberg. Er ist seit 2009 Institutsleiter und Universitätsprofessor am Institut für Kognitions- und Sportspielforschung an der Deutschen Sporthochschule Köln. Seit 2009 ist er Geschäftsführer der Arbeitsgemeinschaft für Sportpsychologie (asp).

**E-Mail:** [memmert@dshs-koeln.de](mailto:memmert@dshs-koeln.de)

# Treppe statt Rolltreppe

## Fördern spezielle Plakate die Treppennutzung?

Ein Beitrag von  
**Birgit Wallmann**  
**Sara Mager**  
**Ingo Froboese**  
 Zentrum  
 für Gesundheit

**Trotz eindeutiger Belege über eine positive gesundheitliche Wirkung von körperlicher Aktivität fällt die praktische Umsetzung eines aktiven Lebensstils vielen Menschen schwer. Abgesehen vom fehlenden Sport, werden Bewegungsmöglichkeiten des Alltages nicht genutzt oder gar nicht erst wahrgenommen. Die Steigerung der Aktivitäten im Alltag kann einen Beitrag zur Erhaltung der Gesundheit liefern und neben einer Erhöhung des Kalorienverbrauchs den Stoffwechsel nachhaltig anregen (HASKELL et al. 2007). Aus diesem Grund ist vor allen Dingen wichtig bisher inaktiven Menschen Möglichkeiten aufzuzeigen, wie sie körperliche Aktivität in den Alltag integrieren können. Diese Aktivitätsgelegenheiten sollten ihnen des Weiteren wiederkehrend ins Bewusstsein gerufen werden. Eine solche Gelegenheit stellt die Nutzung von Treppen statt Rolltreppen oder Aufzügen dar.**



Foto:  
 Helmut J. Salzer/  
 PIXELIO

### Körperliche Aktivität als Gesundheitsgut

Der Bewegungsmangel in den Industrieländern und dessen gesundheitliche Folgen stellen ein massives Problem der derzeitigen Zeit dar. In Deutschland sind 41,4% der Männer und 44,2% der befragten Frauen des telefonischen Gesundheitssurveys 2004 des Robert Koch Institutes sportlich nicht aktiv (ELLERT et al. 2006). Neben der sportlichen Inaktivität reduziert sich im Verlaufe der letzten Jahrzehnte zusätzlich immer deutlicher die Notwendigkeit der spontanen Aktivität im Alltag. Eine innovative Technologisierung und Modernisierung mündet nicht selten in einer zunehmenden menschlichen Bequemlichkeit, was in mangelnden Bewegungsreizen resultiert. Aus diesem Grund zielen die Aktivitätsempfehlungen zur Aufrechterhaltung der Gesundheit nicht nur auf die sportliche Aktivität, sondern vor allem auch auf die körperliche Aktivität in Form von sogenannten Lebensstilaktivitäten oder Alltagsaktivitäten ab (PHYSICAL ACTIVITY GUIDELINES ADVISORY COMMITTEE 2008; HASKELL et al. 2007). Diese Aktivitätsempfehlun-

gen besagen mindestens fünf Mal pro Woche mindestens 30 Minuten moderate Aktivität, wobei diese in mindestens zehn Minuten dauernden Umfängen akkumuliert werden sollte.

Das Treppensteigen gilt dabei unter den Lebensstilaktivitäten wohl als intensivste Belastung, die man im Alltag bewältigen kann (HOLLMANN & STRÜDER 2009). Obwohl diese meist nur eine kurze Dauer einnimmt und somit nicht die empfohlenen zehn Minuten Umfänge erreicht, wird dem Treppensteigen eine wichtige gesundheitliche Bedeutung beigemessen (LÖLLGEN et al. 2006). Das Treppensteigen provoziert zum einen eine deutliche Aktivierung des Herz-Kreislauf-Systems und zum anderen eine ausgeprägte Aktivierung des Muskelskelettsapparats, welches zusammen in einer Stoffwechselaktivierung resultiert. Zusätzlich erhält die Wissenschaft immer mehr Evidenz darüber, dass lange Inaktivitätszeiten wie z. B. das Sitzen als unabhängiger Risikofaktor einzuschätzen ist (OWEN et al. 2009; HAMILTON et al. 2007; TREMBLAY et al. 2007). Dem Sitzen kommt aufgrund der Ausschaltung von großen Muskelgruppen der Beine und des Rumpfes eine besondere Rolle als Risikofaktor zu. Das längere Nicht-Aktivieren dieser Muskelgruppen führt zu einer Reduktion des Grundumsatzes sowie des Stoffwechsels, was Zivilisationserkrankungen wie Adipositas, Diabetes Typ 2 und Herz-Kreislauf Erkrankungen zur Folge haben kann (HAMILTON et al. 2007; ZDERIC & HAMILTON 2006). Somit erhält eine Unterbrechung von Inaktivität beispielsweise durch das einfache kurze Gehen oder das Treppensteigen im Alltag eine zusätzlich gesundheitliche Bedeutung aufgrund einer Durchbrechung von längeren Inaktivitätszeiten.

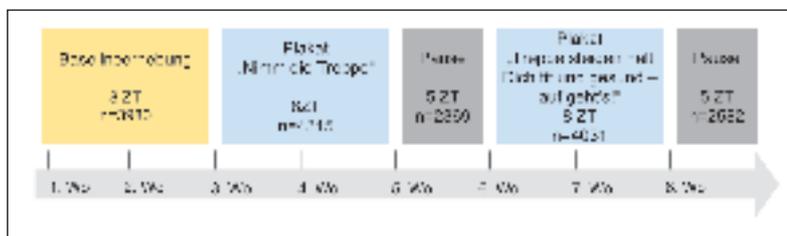
Ziel dieser Studie ist es einerseits eine Bestandsaufnahme zur Nutzung von Treppen in einem Kölner Einkaufszentrum durchzuführen sowie andererseits den Effekt zweier unterschiedlicher Plakate mit Aufforderung zur Treppennutzung zu untersuchen. Hierbei soll der Effekt eines reinen Aufforderungsplakates gegenüber einem Plakat bei dem eine Aufforderung mit einer Gesundheitsbotschaft kombiniert wird untersucht werden.

## Methodik

Mit Hilfe eines paper-pencil Zählprotokolls werden über insgesamt acht Wochen die hochsteigenden bzw. fahrenden Personen innerhalb eines Einkaufszentrums von einer parallel angeordneten Rolltreppe zur Treppe erfasst (siehe Abb. 1). Hierzu werden 34 Zähltermine von jeweils 1,5 Stunden an verschiedenen Wochentagen und Uhrzeiten ausgewählt (dienstags, mittwochs und samstags jeweils von 11 bis 12.30 sowie dienstags und samstags von 17 bis 18.30 Uhr) (siehe Abb. 2). Die ersten zwei Wochen dienen der Basiserhebung, daran schließt sich eine zweiwöchige Intervention mit dem Plakat „Nimm die Treppe“ an (siehe Abb. 3), gefolgt von einer Woche ohne Plakat zur Kontrollerhebung. Die zwei folgenden Wochen erfolgen mit Hilfe der Plakatintervention „Treppen steigen hält Dich fit und gesund, auf geht's“ (siehe Abb. 4) und wird durch eine abschließende Kontrollwoche abgerundet. Die Kontrollwochen dienen dazu, um Überlagerungseffekte der Plakate auszuschließen.



**Abb. 1:** Treppe und Rolltreppe des Kölner Einkaufszentrums.



**Abb. 2:** Zeitlicher Studienablauf (ZT = Zähltermine).

Im Gesamtuntersuchungszeitraum werden insgesamt 17.277 Personen gezählt, die die Treppe aufwärts gehen bzw. die Rolltreppe hoch nutzen. Hinsichtlich der Zählung wird das Geschlecht berücksich-

sichtigt sowie geschätzt, ob es sich um Kinder, um Erwachsene (bis 60 Jahre) bzw. um ältere Erwachsene (über 60 Jahre) handelt. Zusätzlich werden offensichtliches Übergewicht notiert. Innerhalb dieser Stichprobe sind 9.243 Personen weiblich (53,5%), 1.028 Kinder (6%), 4.679 ältere Erwachsene (27,1%) sowie 10% der gezählten Personen offensicht-

lich übergewichtig. Von der Zählung ausgeschlossen werden Personen mit Gehhilfen, Kinder- oder Einkaufswagen bzw. Personen, die sichtbar schweres Gepäck oder zwei und mehr Tüten tragen.



**Abb. 3:** Plakatintervention I.



**Abb. 4:** Plakatintervention II.

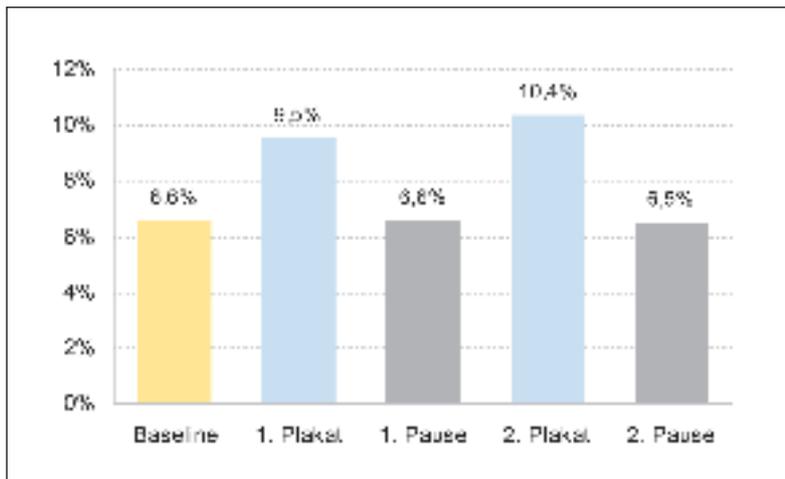


Abb. 5: Prozentuale Treppennutzung der Gesamtstichprobe während des gesamten Untersuchungszeitraumes.

## Ergebnisse

- Treppennutzungsverhalten der Gesamtstichprobe

Während der Basiserhebung zur Bestandaufnahme des Treppennutzungsverhaltens nehmen 6,6% der beobachteten Personen die Treppe (262 von 3980). Durch die beiden Plakatinterventionen erhöht sich der Anteil der Treppenbenutzer signifikant ( $p < 0,001$ ). Innerhalb der ersten Plakatphase („Nimm die Treppe“) gehen 9,5% die Treppe, während innerhalb der zweiten Phase („Treppen steigen hält Dich fit und gesund, auf geht’s“) 10,4% der gezählten Personen die Treppe hochgehen. Einen Unterschied zwischen den beiden Plakatinterventionen ist nicht festzustellen (siehe Tab. 1 und Abb. 5).

- Treppennutzungsverhalten im Geschlecht- und Altersvergleich sowie von übergewichtigen Personen

Die Treppennutzung im Geschlechtervergleich zeigt keine Unterschiede. Im Laufe des Altersganges zeigt sich, dass mit steigendem Alter die Treppenaktivität nachlässt. Kinder nutzen die Treppe im Vergleich zu Erwachsenen am häufigsten. Die Plakatinterventionen sprechen alle Altersgruppen in ähnli-

chem Maße an (siehe Abb. 6). 3% der offensichtlich übergewichtigen Personen nutzen während der Baseline-Erhebung die Treppe. Allerdings verdoppelt sich dieser Anteil auf 6,6% bzw. 5,6% während der beiden Plakatinterventionen (siehe Abb. 7). Alle Treppen- bzw. Rolltreppennutzungswerte sind Tab. 1 im Überblick zu entnehmen.

- Chance zur Treppennutzung

Die Plakate „Nimm die Treppe“ und „Treppen steigen hält Dich fit und gesund, auf geht’s“ haben beide einen signifikanten Einfluss auf die Entscheidung die Treppe zu nutzen und erhöhen die Chance um ca. 50% (OR = 1.5 [1.27-1.75]) für das erste Plakat bzw. um fast 70% (OR = 1.7 [1.43-1.98]) für das zweite Plakat. Es bestehen keine Unterschiede zwischen den Plakataktionen. Während

Zeitraum		Gesamt [n]	Treppe [n] / [%]	Rolltreppe [n] / [%]
Baseline	Alle	3.980	262 / 6,6	3.718 / 93,4
	Kinder	249	31 / 12,4	218 / 87,6
	< 60 Jahre	2.636	185 / 7,0	2.451 / 93,0
	> 60 Jahre	1.095	48 / 4,2	1.049 / 96,9
	Übergewicht	361	11 / 3,0	350 / 97,0
1. Plakat	Alle	4.315	412 / 9,5	3.903 / 90,5
	Kinder	273	36 / 13,2	237 / 86,8
	< 60 Jahre	2.935	291 / 9,9	2.644 / 90,1
	> 60 Jahre	1.107	85 / 7,7	1.022 / 92,3
	Übergewicht	348	23 / 6,6	325 / 93,4
1. Kontrolle	Alle	2.369	158 / 6,8	2.213 / 93,4
	Kinder	106	4 / 3,8	102 / 96,2
	< 60 Jahre	1.589	114 / 7,2	1.475 / 92,8
	> 60 Jahre	674	38 / 5,6	636 / 94,4
	Übergewicht	222	6 / 2,8	217 / 97,7
2. Plakat	Alle	4.031	421 / 10,4	3.610 / 89,6
	Kinder	243	39 / 16,0	204 / 84,0
	< 60 Jahre	2.720	297 / 10,9	2.423 / 89,1
	> 60 Jahre	1.066	85 / 8,0	983 / 92,0
	Übergewicht	497	28 / 5,8	469 / 94,4
2. Kontrolle	Alle	2.582	169 / 6,5	2.413 / 93,5
	Kinder	157	12 / 7,6	145 / 92,4
	< 60 Jahre	1.890	112 / 6,8	1.778 / 93,4
	> 60 Jahre	735	45 / 6,1	690 / 93,8
	Übergewicht	305	8 / 2,8	297 / 97,1
Gesamt	Alle	17.277	1420 / 8,2	15.857 / 91,8
	Kinder	1.029	122 / 11,9	908 / 88,1
	< 60 Jahre	11.570	989 / 8,8	10.571 / 91,4
	> 60 Jahre	4.679	299 / 6,4	4.380 / 93,6
	Übergewicht	1.734	76 / 4,4	1.658 / 95,6

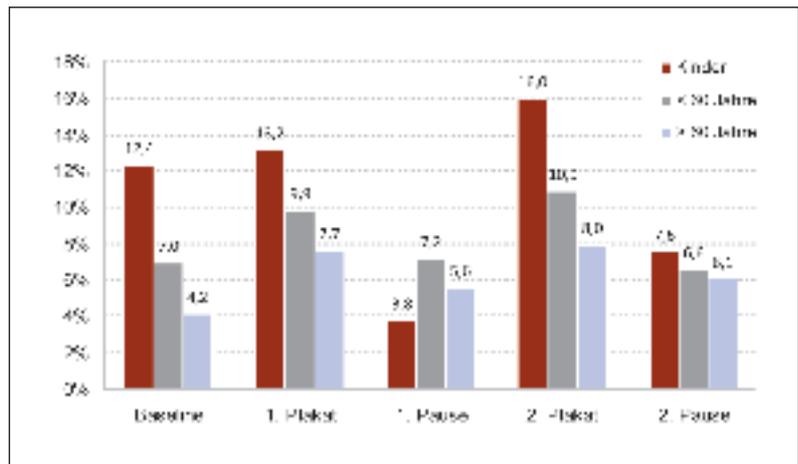
Tab. 1: Häufigkeitsverteilung der Treppen- und Rolltreppennutzung der Gesamtstichprobe, der Altersgruppen sowie von offensichtlich übergewichtigen Personen über den Gesamtuntersuchungszeitraum.

der Kontrollmessungen gibt es zur Baseline keine Veränderung. Zusätzlich beeinflusst das Alter die Nutzung der Treppe. Kinder steigen zu 40% mehr die Treppen als Erwachsene unter 60 Jahren ( $OR = 1.4 [1.13-1.7]$ ) und diese wiederum häufiger als die über 60-jährigen Personen ( $OR = 0.8 [0.67-0.88]$ ). Offensichtlich normalgewichtige Personen haben mit über 90% eine signifikant höhere Aussicht die Treppe zu steigen als Personen mit Übergewicht ( $OR = 1.9 [1.53-2.46]$ ).

## Diskussion & Fazit

Ein wichtiger Beitrag zur Steigerung des Bewegungsverhaltens stellt unter anderem die Alltagsbewegung dar. Alltagsaktivitäten durchbrechen problemlos länger andauernde Inaktivitätszeiten und üben somit kurzfristige aber bedeutende Effekte auf verschiedene Körpersysteme wie die Muskulatur oder den Stoffwechsel aus (LEVINE et al. 2006). Die vorliegenden Ergebnisse zeigen eine sehr geringe Treppennutzung innerhalb des beobachteten Baseline-Zeitraumes und spiegelt somit die allgemein herrschende Bequemlichkeit im Alltagsverhalten wider, die unter anderem durch Technik und Innovation der modernen Welt hervorgerufen wird. Die Baseline-Untersuchung zum Treppennutzungsverhalten zeigt ein Ausgangsniveau von 6,6% auf, welches einerseits vergleichbar ist mit korrespondierenden Studien (WEBB & EVES 2007), andererseits auf ein hohes Entwicklungspotenzial zur Förderung der Alltagsaktivität hindeutet.

Hinweise auf Schildern zählen unter Gesundheitsförderungsmaßnahmen dabei zu den kosteneffizientesten Interventionen (DUNN et al. 1998). Mit Hilfe von einfachen Plakataufrufen konnte der Anteil von Treppenbenutzern in dem Kölner Einkaufszentrum signifikant erhöht werden und insgesamt betrachtet von 6,6% auf 9,5% bzw. 10,4% gesteigert werden. Hierbei zeigen die Ergebnisse, dass es nicht von Bedeutung ist, ob es sich um einen einfachen Appell oder um einen Appell kombiniert mit einer Gesundheitsbotschaft auf dem Plakat handelt. Die erste und zweite Kontrollmessung zwischen den Plakaten bestätigen zum einen die Nutzungszahlen der Baseline-Untersuchung und zeigen zum anderen, dass ein Nachhaltigkeitseffekt von zwei Wochen Plakataktion nicht vorhanden ist. Zusätzlich wird deutlich, dass offensichtlich übergewichtige Personen weniger die Treppe nutzen als normalgewichtige Personen. Allerdings kann das Nutzungsverhalten durch Plakate für diese Zielgruppe nahezu verdoppelt werden. Allerdings ist hierbei darauf hinzuweisen, dass der Prozentsatz insgesamt von offensichtlich übergewichtigen Personen mit ca. 10% als gering einzustufen ist. Im telefonischen Gesundheitssurvey des Robert-Koch-Institutes sind 70% der Männer und 50% der Frauen mit einem BMI > 25 übergewichtig und davon 17% der Männer und 19% der Frauen adipös (ELLERT et al. 2006). Diese Daten als Referenzwerte genommen deuten darauf hin, dass in der vorliegenden Beobachtungsstudie vor allen Dingen adipöse Personen als offensichtlich übergewichtig



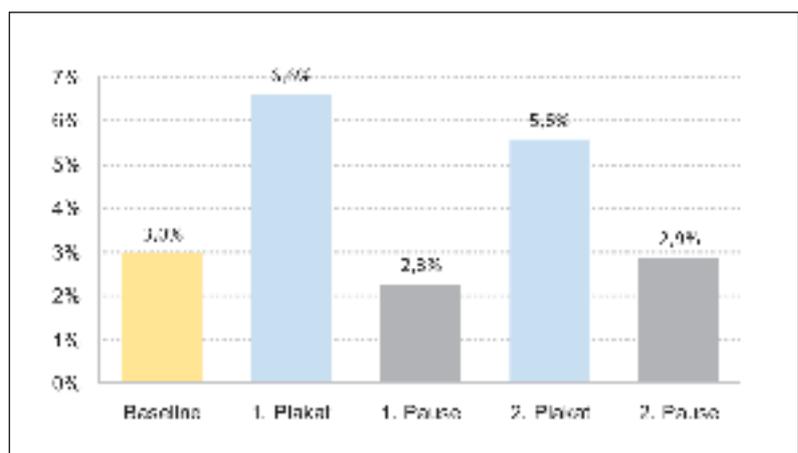
eingestuft wurden und weniger Personen mit einem BMI zwischen 25-30kg/cm<sup>2</sup>.

**Abb. 6:** Prozentuale Treppennutzung im Altersvergleich während des gesamten Untersuchungszeitraumes.

Das geschätzte Alter der Kunden des Einkaufszentrums beeinflusst zudem das Treppensteigen. Kinder nutzen signifikant häufiger die Treppe als Erwachsene. Vergleichsstudien bezüglich des Treppennutzungsverhaltens von Kindern sind selten, da Kinder bei Beobachtungsstudien häufig von der Zählung ausgeschlossen werden (IVERSEN et al. 2007; RUSSEL & HUTCHINSON 2000). Im Gegensatz zu Studien anderer Arbeitsgruppen (EVES 2007; KERR 2001) sind in der vorliegenden Beobachtungsstudie keine Genderunterschiede zu erkennen.

Vieles spricht dafür, dass die Rolltreppennutzung eine feste Gewohnheit und somit eine automatisierte Handlung darstellt (OUELETTE & WOOD 1998), die durch einfache Plakate durchbrochen werden kann. Der Vorteil von Hinweisen an Treppenaufgängen besteht darin, dass die Gesundheitsförderungsmaßnahme in der natürlichen Umgebung der Menschen präsent ist. Angesprochene Zielgruppen innerhalb des Settings müssen keinen finanziellen oder zeitlichen Aufwand in Kauf nehmen, um diese kurzfristige Bewegungspause in ihren Alltag zu integrieren, womit eine hohe Niederschwelligkeit der Maßnahme gewährleistet wird. Um Treppensteigen wiederum zur Gewohnheit der Bevölkerung werden zu lassen, können Hinweisschilder in verschiedenen Settings hilfreich sein.

**Abb. 7:** Prozentuale Treppennutzung von offensichtlich übergewichtigen Personen während des gesamten Untersuchungszeitraumes.





**Birgit WALLMANN**, geboren 1979 in Bonn, studierte von 2000 bis 2005 Sportwissenschaften mit dem Schwerpunkt „Prävention und Rehabilitation“ an der Deutschen Sporthochschule Köln. Seit April 2005 arbeitet sie zunächst als wissenschaftliche Hilfskraft später als wissenschaftliche Mitarbeiterin im Zentrum für Gesundheit und seit 2008 zusätzlich mit einer halben Stelle am Institut für Bewegungstherapie und bewegungsorientierte Prävention und Rehabilitation der Deutschen Sporthochschule Köln. Im Rahmen ihrer Tätigkeit bearbeitet sie Projekte im Bereich der Gesundheitsförderung und Prävention. Innerhalb ihres Promotionsthemas beschäftigt sich Birgit Wallmann mit den gesundheitlichen Effekten von körperlicher Aktivität, im speziellen mit der Alltagsaktivität.

**E-Mail:** [wallmann@dshs-koeln.de](mailto:wallmann@dshs-koeln.de)

Kommunen, öffentliche Gebäude, Schulen, Seniorenheime etc. könnten mögliche Settings sein und somit die Gelegenheiten der Alltagsaktivität stärker ins Bewusstsein rufen. Zusätzlich kann durch das Ergreifen der sich bietenden Möglichkeiten im Alltag auch die Einstellung insgesamt zur körperlichen Aktivität positiv beeinflusst werden.

Eine aktive Gesundheitsförderung fängt somit bereits im unmittelbaren Wohn-, Freizeit bzw. Arbeitsumfeld an. In öffentlichen sowie privaten Gebäuden spielt beispielsweise die Innenarchitektur eine nicht zu unterschätzende Rolle. Zum einen ist die Platzierung von Treppen in Gebäuden wichtig, zum anderen spielt auch die Attraktivität von Treppenhäusern eine wichtige Rolle um aktivitätsfördernd zu sein und sollte zunehmend Beachtung geschenkt werden.

**Literatur bei den Autoren.**

# Die Pace-Studie

## Lifestyle, Gesundheit und Leistungsfähigkeit

Ein Beitrag von  
**Dieter Leyk**  
**Max Wunderlich**  
**Alexander Sievert**  
**Thomas Rüther**  
 Institut für  
 Physiologie und  
 Anatomie

**Durch die verlängerte Lebensarbeitszeit, den demographischen Wandel und die starke Verbreitung von Bewegungsmangel und Übergewicht gewinnt die Aufrechterhaltung von Gesundheit und Leistung seit geraumer Zeit weiter an Bedeutung. Dies gilt nicht nur für die wachsende Zahl von älteren Personen und das soziale Sicherungssystem. Auch in der Arbeitswelt finden die Aspekte Alter, Gesundheit und Leistung zunehmend mehr Aufmerksamkeit: Gesunde und leistungsstarke ältere Beschäftigte werden für viele Betriebe auch deshalb immer wichtiger, da eine Vielzahl der übergewichtigen und untrainierten Jüngeren alltäglichen Arbeitsbelastungen kaum noch genügen. Bedingt durch einen überwiegend inaktiven Lebensstil und gesundheitlich ungünstige Alltagsgewohnheiten (z.B. Fehlernährung, übermäßiger Alkohol- bzw. Tabakkonsum) können bereits im mittleren Lebensalter deutliche Leistungseinbußen eintreten.**



Foto:  
 Marco Kröner / PIXELIO

### Alterungsprozesse vs. Lifestyle-Faktoren

Oftmals werden Leistungsreduktionen auf einsetzende Alterungsprozesse zurückgeführt. Auch zahlreiche sportmedizinische Studien gehen von früh eintretenden altersbedingten Leistungsminderungen aus: So soll beispielsweise die Ausdauerleistungsfähigkeit nach dem 30. Lebensjahr um 10% bis 15% pro Dekade abnehmen. Ohne Zweifel ist das Altern ein unausweichlicher biologischer Vorgang, der letztlich auch zu objektivierbaren Leistungsverlusten führt. Wie aber der Vergleich zwischen „Altersleistungssportlern“ und gleichaltrigen Pflegeheimbewohnern zeigt, verläuft der Alterungsprozess individuell sehr unterschiedlich und unterliegt zudem einer Vielzahl von Einflussfaktoren.

Die Ermittlung tatsächlich altersbedingter Leistungsänderungen ist nicht trivial und gelingt auch nicht ohne weiteres mithilfe von Längsschnittuntersuchungen. Ein generelles Problem ist nämlich die Abgrenzung altersbedingter Einflüsse gegenü-

ber Effekten, die in erster Linie durch veränderte Lebensgewohnheiten oder Erkrankungen bedingt sind. Selbstverständlich kann eine Minderung der körperlichen Leistungsfähigkeit die Folge biologischer Alterungsvorgänge sein. Im Laufe der Jahre kann es aber auch zu deutlichen Leistungsverlusten kommen, weil z.B. bedingt durch berufliche und/oder familiäre Verpflichtungen (Kindererziehung, Karriere, etc.) kaum noch Zeit für ein regelmäßiges Training bleibt.

### Der „Marathon“ als leistungsphysiologisches Untersuchungsmodell

In diesem Zusammenhang ist der Marathon ein hervorragendes leistungsphysiologisches und präventivmedizinisches Untersuchungsmodell. Im Gegensatz zu kurzen/kürzeren Laufdistanzen (z.B. 5.000m oder 10.000m), die auch ohne intensive Vorbereitung von „Untrainierten“ bewältigt werden können, wird ein Marathonlauf aufgrund der Streckenlänge und der hohen körperlichen Belastung üblicherweise nur dann erfolgreich absolviert, wenn über einen längeren Zeitraum ausreichend trainiert wird und im Alltag eine deutliche Ausrichtung auf den Sport erfolgt. Daher ist es nicht erstaunlich, dass die in der Bevölkerung verbreiteten, ungünstigen gesundheitsrelevanten Merkmale wie Rauchen, Bewegungsmangel und Adipositas bei Marathonläufern nur selten zu finden sind. Somit lassen sich beim Marathon auftretende altersassoziierte Leistungsminderungen eher auf den biologischen Alterungsprozess und weniger auf ungünstige Alltagsgewohnheiten zurückführen.

„Marathon-Events“ besitzen zudem noch einen weiteren großen methodischen Vorteil: Über die Ergebnislisten der großen Marathonveranstaltungen sind epidemiologisch relevante Daten mit Alter, Geschlecht und elektronisch gemessene Laufzeiten der Sportler verfügbar.

Studienteilnehmer „Laufzeitanalyse“						
	Marathon		Halbmarathon		Gesamt	
	(n)	%	(n)	%	(n)	%
Männer	284.686	51,5	149.043	71,3	433.729	77,7
Frauen	64.778	18,5	58.516	28,7	123.294	22,3
Gesamt	349.464	100	207.559	100	557.023	100

Tab. 1: Absolute und relative Anzahl der Teilnehmer von 121 Marathon- und 100 Halbmarathonwettbewerben in Deutschland in den Jahren 2002 bis 2008 (n = 558.423).

## Alterseinfluss auf Ausdauerleistungen

Unsere Forschungsgruppe hat mittlerweile mehr als 220 Marathon-/Halbmarathonveranstaltungen und über 800.000 Marathon- und Halbmarathonlaufzeiten 20- bis 79-jähriger Sportler analysiert (siehe Tab. 1). Etwa 45% (Marathon) bzw. 55% (Halbmarathon) der Ausdauertrainierten waren „Mehrfachläufer“. Wiederholungsläufe wurden für die Auswertung nicht berücksichtigt. Wie in Tabelle 1 aufgeführt, ist der Frauenanteil beim Marathon (18,5%) deutlich niedriger als beim Halbmarathon (28,7%). Die größten Teilnehmerzahlen sind für beide Laufstrecken sowie für Männer und Frauen in der Altersgruppe der 40- bis 49-Jährigen zu finden.

Die primär altersbedingte Laufzeitverschlechterung bei den über 50-Jährigen fällt zudem erstaunlich gering aus (siehe Abb. 1). Ein beachtlicher Teil der Seniorsportler erzielt im höheren Lebensalter sogar bessere Ausdauerleistungen als die meisten jüngeren Athleten: So sind die besten 25% der 60- bis 69-jährigen Marathon- und Halbmarathonläufer schneller als die Hälfte der 20- bis 50-jährigen Sportler.

## Das „PACE-Projekt“ – ein multizentrischer und mehrstufiger Studienansatz

Ergebnislisten von Laufveranstaltungen liefern wichtige Daten über Leistung, Geschlecht und Alter der Teilnehmer. Weitere relevante und repräsentative Informationen fehlten allerdings bislang. Im Rahmen des PACE-Projektes (Performance-Age-Competition-Exercise) werden weiterhin Laufzeitanalysen durchgeführt. Es ist zwischenzeitlich eine erhebliche inhaltliche Erweiterung erfolgt: Über

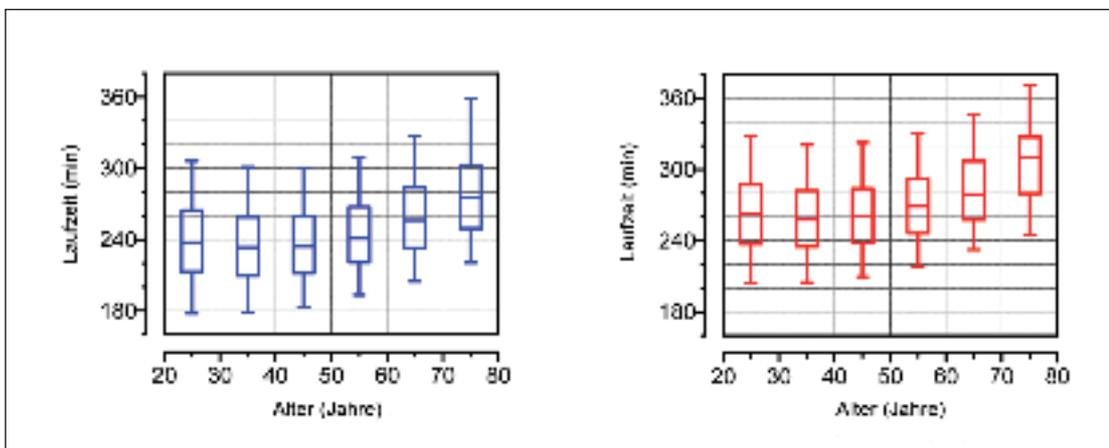


Abb. 1: Laufzeiten von männlichen (linke Seite; n = 284.686) und weiblichen (rechte Seite; n = 64.778) Teilnehmern von 121 Marathonwettbewerben. Dargestellt sind Median und 5., 25., 75. und 95. Perzentil.

Abbildung 1 zeigt am Beispiel der Marathonlaufzeiten die Verteilungscharakteristik der Laufleistungen der 20- bis 79-Jährigen. Frauen benötigen für den Marathon im Durchschnitt 26 Minuten (10%) und für den Halbmarathonlauf durchschnittlich 15 Minuten (13%) länger als Männer ( $p < 0,01$ ).

Aus den weiterführenden Laufzeitanalysen geht hervor, dass erst nach dem 50. Lebensjahr signifikante Leistungseinbußen auftreten. Auch unsere Laufzeitanalysen beim Halbmarathon belegen, dass durch regelmäßiges Training eindrucksvolle Leistungen erzielt werden können und vor dem 50. Lebensjahr keine statistisch signifikanten Leistungsverluste auftreten.

eine internationale Online-Umfrage ([www.dshs-koeln.de/pace](http://www.dshs-koeln.de/pace)) mit einem skalierten, mehrsprachig vorliegenden Fragebogen werden seit geraumer Zeit weltweit Sportler zum durchgeführten Training, zur Motivation zum Sporttreiben, zur Gesundheit, zur sportärztlichen Betreuung, zu Alltagsgewohnheiten, aber auch hinsichtlich biometrischer Angaben (Größe, Gewicht) befragt (siehe Abb. 2).

Inzwischen haben sich über 10.000 Ausdauer-sportler an der Internet-Befragung beteiligt. Zusätzlich wurden etwa 10% der Teilnehmer auf Laufveranstaltungen persönlich befragt, um Fehler bei der Online-Eingabe bzw. Auswirkungen einer potenziellen „Online-Selektion“ abschätzen zu können (Abb. 3).



Abb. 2: Datenerfassung bei der PACE-Studie im Online-Portal (www.dshs-koeln.de/pace).

Die PACE-Studie wurde durch die Ethikkommission der Deutschen Sporthochschule Köln sowie vom Landesbeauftragten für den Datenschutz Nordrhein-Westfalen als unbedenklich eingestuft und zur Durchführung genehmigt.

lichen und weiblichen Studienteilnehmern ist in den Untersuchungskollektiven („Laufzeitanalyse“ vs. „Online-Befragung“) sowohl bei den Marathonteilnehmern wie auch beim Halbmarathon nahezu identisch (vgl. Tab. 1 und Tab. 2).

■ Training

Die wöchentliche Trainingshäufigkeit sowie die wöchentlichen Trainingskilometer liegen bei den Marathonläufern signifikant über den Vergleichszahlen der Halbmarathonsporler (Tab. 3). Sowohl beim Marathon- wie auch beim Halbmarathontraining treten allerdings zwischen Läuferinnen und Läufern ( $p > 0,01$ ) und im Altersgang ( $p >$

$0,01$ ) keine nennenswerten Unterschiede auf. Die Häufigkeitsverteilungen der Tabelle 3 zeigen, dass die Halbmarathonläufer im Jahresmittel 10 Kilometer und Marathonläufer 13 Kilometer je Trainingseinheit absolvieren ( $p < 0,01$ ). Bei einer mittleren Trainingsdauer von 59 Minuten bzw. 68 Minuten (Halbmarathon- vs. Marathonläufer;  $p < 0,01$ ) ergibt sich rechnerisch eine durchschnittliche Laufgeschwindigkeit von 10,5 km/h bzw. 10,9 km/h (Halbmarathon- vs. Marathonläufer;  $p < 0,01$ ). Bezüglich der mittleren Trainingsgeschwindigkeiten bestehen keine signifikanten geschlechts-, alters- oder wettbewerbsspezifischen Unterschiede.

■ Sportliche Selbsteinstufung und Vorerfahrung

Die Antwortverteilung zur Beurteilung der sportlichen Ambitionen zeigt, dass sich 77% der Läufer als Freizeitsportler und 23% als Leistungssportler einstufen. Signifikante Kollektiv-, Alters- und Geschlechtsdifferenzen konnten nicht ermittelt werden. Rückblickend geben 36% der Befragten an, vor

Studienteilnehmer „Onlinebefragung“						
	Marathon		Halbmarathon		Gesamt	
	(n)	%	(n)	%	(n)	%
Männlich	8.058	82,1	1.972	71,7	8.028	79,8
Weiblich	1.318	17,9	770	20,3	2.088	20,7
Gesamt	7.372	100	2.762	100	10.127	100

Tab. 2: Geschlechts- und laufstreckenbezogene Verteilung des befragten Läuferkollektivs (n = 10.127).

Befragungsergebnisse

Im Rahmen dieses Beitrages für das f.i.t. Wissenschaftsmagazin werden einige Ergebnisse aus den Befragungen der Langstreckenläufer näher vorgestellt. An der durchgeführten Befragung nahmen 10.127 Läufer im Alter von 20 bis 69 Jahren teil (Tab. 2).

Der Vergleich zwischen den Studienpopulationen (Laufzeitanalysen vs. „Onlinebefragungen“) zeigt, dass die Kollektive hinsichtlich Alters- und Geschlechtsverteilung sowie der Teilnahmequoten beim Marathon und Halbmarathon gut übereinstimmen. Analog zur Altersverteilung beim Studienkollektiv „Laufzeitanalyse“ liegen bei den Befragungen die höchsten Teilnehmerzahlen in der Gruppe der 40- bis 49-Jährigen. Auch der Anteil von männ-

Marathon-Training							
Strecke	Training	Geschlecht	Perzentile				
			5	25	50	75	95
Marathon	Umfang (km/Woche)	Männer	20	26	45	60	81
		Frauen	23	26	45	56	80
	Einheiten (Woche)	Männer	1,7	3	3,5	4,5	5,5
		Frauen	2,3	3,5	3,5	4,5	5,5
Halbmarathon	Umfang (km/Woche)	Männer	10	21	30	40	60
		Frauen	13	24	30	40	60
	Einheiten (Woche)	Männer	1,5	2,5	3	3,5	5
		Frauen	1,5	2,5	3	3,5	4,5

Tab. 3: Umfang und Häufigkeit des wöchentlichen Lauftrainings der befragten Marathon- (Männer n = 5.991, Frauen n = 1.310) und Halbmarathonläufer (Männer n = 1.968, Frauen n = 774). Dargestellt sind Median und 5., 25., 75. und 95. Perzentil.

Aufnahme des Lauftrainings keinen Sport regelmäßig betrieben zu haben. Die weiterführende Analyse zeigt, dass hier ein starker Alterseinfluss vorliegt: Bezogen auf die jüngste Altersgruppe haben in der ältesten Läufergruppe deutlich weniger Personen eine Sportanamnese (OR 3,0; 95% KI: 2,34-3,83).

#### ■ Lauftrainingserfahrung

Abbildung 4 zeigt die Verteilung der kontinuierlichen Trainingsjahre der Langstreckenläufer. Hierbei wird deutlich, dass lediglich 50% aller Läufer seit mehr als 5 Jahren regelmäßig aktiv sind. Mit zunehmendem Alter nimmt zwar der Anteil der „Neueinsteiger“ ( $\leq 5$  Jahre Lauftraining) ab, dennoch sind es unter den 50- bis 59-Jährigen noch etwa 40%.

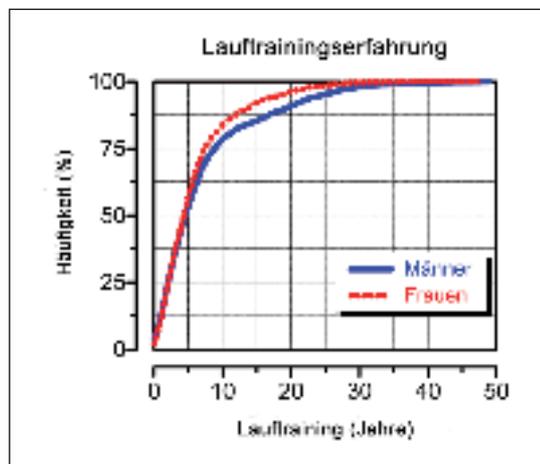


Abb. 4: Verteilung der Lauftrainingsjahre der Marathon- und Halbmarathonläufer als kumulierte Prozentdarstellung (Männer n = 7.898, Frauen n = 2.071).

## Motivation zum Lauftraining

Eine Übersicht mit Angaben zur Motivation der Langstreckenläufer liefert Abbildung 5. Der Erhalt bzw. die Verbesserung der körperlichen Leistungsfähigkeit ist unabhängig von Alter und Geschlecht der stärkste Attraktor (83,3% Zustimmung). Sport als „Stressabbau bzw. Ausgleich“ (76,5%) wie auch der „Spaß am Sport“ (73,3%) werden deutlich häufiger als „Gesundheitliche Gründe“ (54,2%) genannt. Interessanterweise treten bei diesen Motiven altersbezogene Veränderungen auf ( $p < 0,01$ ). So werden „Spaß am Sport“ und besonders „Gesundheitliche Gründe“ mit zunehmendem Alter immer häufiger als Motiv für ein Lauftraining genannt. Demgegenüber verliert der Aspekt „Stressabbau bzw. Ausgleich“ ab dem 50. Lebensjahr an Bedeutung.

#### ■ Body-Mass-Index (BMI) und Raucherquote

Neben den bereits genannten Häufigkeiten zur sportlichen Aktivität wurde mit der Körpergewichtseinstufung nach WHO (BMI-Einteilung) und



Abb. 3: Persönliche Befragungen im Rahmen von Laufveranstaltungen.

der Raucherquote zwei weitere präventivmedizinisch bedeutsame Indikatoren analysiert.

Die Raucherquote liegt im Läuferkollektiv bei 6,2%. Als ehemalige Raucher stufen sich 23,3% der Befragten ein; 70,5% haben nie regelmäßig geraucht. Alters- oder geschlechtsspezifische Differenzen ( $p > 0,01$ ) liegen nicht vor.

Läuferinnen ( $21,7 \pm 2,3$ ) haben deutlich niedrigere BMI-Werte ( $p < 0,01$ ) als Läufer ( $23,7 \pm 2,3$ ). Im Altersgang nimmt der BMI lediglich bei den Männern geringfügig zu ( $p < 0,01$ ). Die BMI-Werte der befragten Ausdauersportler verteilen sich hinsichtlich der WHO-Einteilung wie folgt: 1,3% mit BMI  $< 18,5$ ; 77% mit BMI  $\geq 18,5$  und  $< 25$ ; 20,5% mit BMI  $\geq 25$  und  $< 30$ ; 1,2% mit BMI  $\geq 30$ .

## Schlussfolgerungen

Mit Blick auf den Erhalt der Ausdauerleistungsfähigkeit liefern die Befragungen erstaunliche Erkenntnisse. Die Vorstellung, dass eine hohe

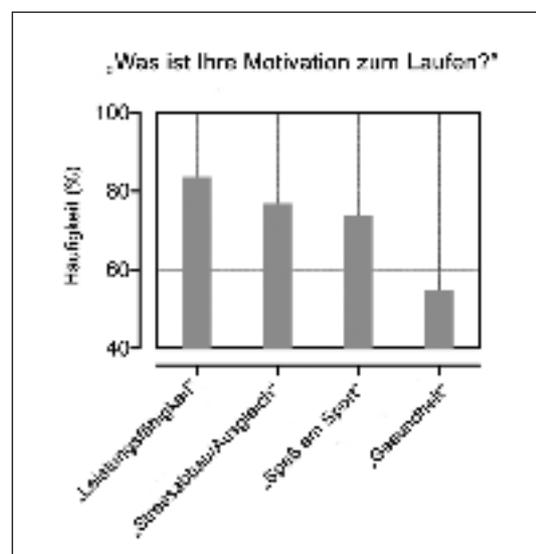


Abb. 5: Anteil (%) der am häufigsten genannten Motive zum Laufen (Männer n = 7.964, Frauen n = 2.079).



**Prof. Dr. Dr. Dieter LEYK** hat in Köln Sport (DSHS) und Medizin (Universität zu Köln) studiert und war als wissenschaftlicher Assistent an der DSHS und an der Johann-Goethe-Universität Frankfurt tätig. Als promovierter Diplom-Sportlehrer und approbierter Mediziner (Facharzt für Physiologie, Weiterbildungsbefugnis für Sportmedizin) leitet er die Forschungsgruppe „Leistungsphysiologie und Public Health“ an der DSHS und die Abteilung „Ergonomie und Leistungsphysiologie“ im Zentralen Institut des Sanitätsdienstes der Bundeswehr in Koblenz.

E-Mail: [leyk@dshs-koeln.de](mailto:leyk@dshs-koeln.de)



**Dr. Max Wunderlich**, geboren 1979 in Hannover, studierte von 1999 bis 2004 Sportwissenschaften an der DSHS und promovierte 2009 an der Medizinischen Fakultät der Uni Köln. Seit 2004 arbeitet er als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für Physiologie und Anatomie. Neben der Durchführung von epidemiologischen Studien mit Kindern, Jugendlichen und jungen Erwachsenen („Fit-fürs-Leben-Studie“) ist er für die Entwicklung und Pflege einer interinstitutionellen SQL-Datenbank verantwortlich.

Einen besonderen Schwerpunkt seiner Forschungstätigkeit nimmt die Arbeitsmedizin ein.

E-Mail: [m.wunderlich@dshs-koeln.de](mailto:m.wunderlich@dshs-koeln.de)

Leistungsfähigkeit im Alter nur durch umfangreicheres Training zu erzielen ist, wird durch die Angaben der Langstreckenläufer widerlegt: Die 20- bis 70-Jährigen unterschieden sich nicht hinsichtlich der relevanten Trainingsparameter (wöchentliche Laufkilometer, Trainingshäufigkeit und -intensität). Darüber hinaus wird deutlich, dass die meisten Langstreckenläufer ein regelmäßiges und moderates Training durchführen, dass sogar nicht wesentlich über die von der WHO präventivmedizinisch empfohlenen sportlichen Aktivitäten (5x Sport/Woche für mindestens 30 Minuten) hinausgeht. Etwa 50% der Ausdauertrainierten laufen nicht mehr als 3- bis 4-mal pro Woche bei einer mittleren Trainingsdauer von etwa 1 Stunde.

Die PACE-Studie hat außerdem gezeigt, dass mehr als 40% der 50- bis 60-jährigen Marathonläufer erst in den vergangenen 5 Jahren mit einem regelmäßigen Lauftraining begonnen hat. Auch die Daten aus Abbildung 4 lassen vermuten, dass eine beträchtliche Anzahl von Langstreckenläufern tatsächliche „Sport-Neueinsteiger“ sind. Der Nachweis, dass sich die Aufnahme eines regelmäßigen Trainings auch für ältere Nichtsportler lohnt, wurde kürzlich in einer umfangreichen Längsschnittuntersuchung erbracht: Über 50-jährige „Sport-Neueinsteiger“ konnten ihr Mortalitätsrisiko im

Vergleich zu gleichaltrigen Nichtsportlern halbieren. Auch aus den PACE-Befragungen geht hervor, dass die in der Bevölkerung weitverbreiteten kardiovaskulären Risikofaktoren Rauchen, Übergewicht und Bewegungsmangel bei den untersuchten Langstreckenläufern kaum vorliegen.

Die Motivation zum Sporttreiben hat insbesondere mit Blick auf Präventionsmaßnahmen und deren Zielgruppe, die „Nicht-Sportler“, große Bedeutung. Diesbezüglich liefern die Befragungsergebnisse überraschende Ergebnisse. Motive wie „Gesundheitliche Gründe“ gewinnen zwar mit zunehmendem Alter an Bedeutung, werden aber im Vergleich zu den Motiven „Leistungsfähigkeit“, „Stressabbau“ und „Spaß am Sport“ deutlich seltener genannt. Dieser Sachverhalt steht im Gegensatz zur Ausrichtung zahlreicher Gesundheitsinitiativen, die vermehrt auf Krankheitsvermeidung und Risikofaktoren fokussieren. Mit Blick auf den demographischen Wandel sprechen die vorliegenden Ergebnisse dafür, dass künftige Präventionskampagnen stärker leistungs-, arbeits- und freizeitrelevante Aspekte berücksichtigen sollten.

## Ausblick

Die weiterhin laufende „PACE-Studie“ zielt letztlich auch auf eine Optimierung von Präventionsmaßnahmen ab und hat keineswegs nur Langstreckenläufer im Fokus. Seit 2008 werden die PACE-Befragungen auch in anderen Sportbereichen (Walken, Schwimmen, Radfahren, Ballspiele, Gymnastik etc.) durchgeführt.

Ein Ziel ist es u. a., ein umfassendes Bild zu den Motiven der unterschiedlichen Sportlergruppen zu erhalten. Mit diesem Ansatz wird jedoch eine wichtige Zielgruppe der Prävention, die mit gesundheitlichen Risikofaktoren behafteten und leistungsgewandelten Nichtsportler, kaum erreicht. Um detaillierte Angaben über die Hintergründe der Sportabstinenz zu erhalten, aber auch um potenzielle Attraktoren zum Sparteinstieg zu ermitteln, werden derzeit im Rahmen der PACE-Studie umfangreiche Befragungen von Inaktiven durchgeführt.

Angesichts der zunehmenden Verbreitung von Bewegungsmangel, Übergewicht und der geringen körperlichen Leistungsfähigkeit in der Bevölkerung wird es für das Gesundheitssystem wie auch für Unternehmen immer wichtiger, über adressatengerechte Interventionsmaßnahmen zu verfügen. Nur auf diese Weise kann es gelingen, Betroffene zu einer körperlich aktiven und gesundheitsorientierten Lebensgestaltung zu motivieren. Das „Untersuchungsmodell Marathon“ unterstreicht, dass die körperliche Leistungsfähigkeit und die Ausprägung kardiovaskulärer Risikofaktoren stärker durch Alltagsgewohnheiten als durch die Alterung per se beeinflusst werden.

**Literatur bei den Autoren.**