

# „Cat Walk“ und Westernheld - was Bewegung ausdrückt

Irren ist menschlich - und in diesem Fall weiblich. Werden Frauen gefragt, welche Geschlechtsgenossinnen Männer attraktiv finden, unterscheiden sich ihre Antworten eindeutig von denen der Männer. Und das allein aufgrund der Gangart. Männer bevorzugen den "cat walk", mit dem Models über den Laufsteg schreiten. Frauen machen sich daraus wenig, sie empfinden schwungvoll und vital als attraktiv. Was Bewegungen außerdem über Menschen verraten, wollen Psychologen mit Strichmännchen herausfinden. Diese Untersuchungen können Ärzten bei Diagnose und Therapie von Nervenkrankheiten, Filmproduzenten bei Computeranimationen oder Hirnforschern beim besseren Verständnis der Reizverarbeitung helfen.

Abb. 1: Im BioMotionLab

N. F. Troje

PD Dr. Nikolaus F. Troje, Biopsychologie, Fakultät für Psychologie

Stellen Sie sich vor, Sie holen einen Freund vom Bahnhof ab. Der Zug ist gerade eingefahren, die Türen gehen auf und die Reisenden überfluten den Bahnsteig. Sie suchen, beobachten die Menge. Auf einmal entdecken Sie ihren Freund. Er war in einem der letzten Waggons und ist noch relativ weit weg. Sie können sein Gesicht noch lange nicht erken-

nen. Auch Frisur, Kleidung, Stimme und andere charakteristische Merkmale nicht sehen oder hören. Ihre einzige Informationsquelle ist die Art und Weise, wie sich die Person bewegt.

Sie haben damit einen Informationskanal genutzt, der evolutionär alt ist. Sehr wahrscheinlich empfangen viele Tiere visuelle Reize überhaupt nur

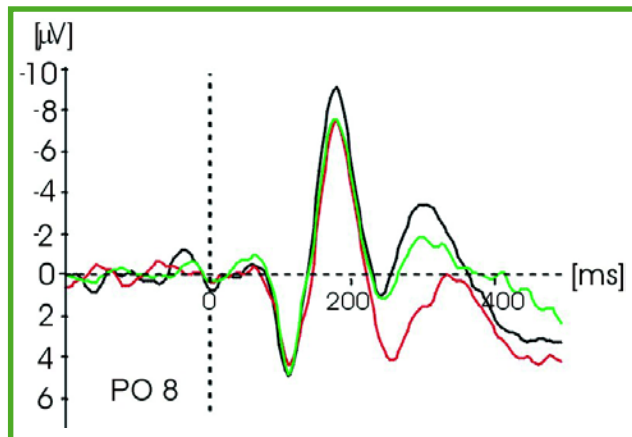
in Form von Bewegungen und sind gegenüber statischen Objekten mehr oder weniger blind. Es ist vorwiegend ein Privileg der Wirbeltiere, still stehende Bilder sehen zu können. Doch nicht bei allen ist diese Fähigkeit so ausgeprägt wie beim Menschen. Tatsächlich gelingt uns das statische Bildsehen auch nur unter Anwendung eines Tricks. Denn die menschlichen Photorezeptoren reagieren nur auf Veränderungen im Lichtfluss und nicht auf dessen absoluten Betrag. Wir erreichen diese Veränderungen durch sog. Mikrosakkaden: Auch wenn wir einen Punkt fixieren, die Augen dabei nicht bewegen, zittern sie doch ständig mit sehr kleiner Amplitude. Die Abbilder der Helligkeitskanten im Gesichtsfeld ändern dabei ständig ihren Ort auf der Netzhaut und sorgen so für visuelle Bewegung. Während dieser Mechanismus in den zentralen Bereichen unseres Gesichtsfeldes gut funktioniert, bleiben die peripheren Teile weitgehend blind, solange sich dort nichts bewegt. Die Dichte der Photorezeptoren und damit die räumliche Auflösung ist in der äußeren Netzhaut viel niedriger. Die kleinen Bewegungen der Mikrosakkaden reichen nicht aus, um die Bilder im Gesichtsfeld genügend zu verschieben. In der Natur spielt Bewegung eine zentrale Rolle. Die Fähigkeit, biologische Bewegung und damit andere Lebewesen schnell zu erkennen und adäquat auf sie zu reagieren, ist in hohem Grade überlebenswichtig. Auf andere Lebewesen muss unter Umständen mit Flucht oder Angriff reagiert werden. In beiden Fällen kommt es darauf an, dies so schnell wie möglich zu tun. Wenn es sich bei dem anderen Tier um einen Artgenossen handelt, sind oft komplexe soziale Verhaltensweisen gefragt. Dafür müssen Geschlecht, Alter, Gesundheit, sozialer Status und viele andere biologisch und sozial relevante Merkmale des Artgenossen richtig eingeschätzt werden. Die Bewegungen eines Lebewesens informieren nicht nur über dessen Handlungen, sondern auch über seine Identität.

Menschen zeichnen sich durch eine hochentwickelte Sozialstruktur und vielleicht das komplexeste kommunikative Verhalten im gesamten Tierreich aus. Eine zentrale Voraussetzung für diese soziale Komplexität ist die Fähigkeit, andere Menschen individuell wiederzuerkennen - an der Stimme, am Geruch, am Aussehen. Während dabei sicherlich das Erkennen des Gesichts an erster Stelle steht, sind auch die Details biologischer Bewegungsmuster wichtig. Wir erkennen einen Bekannten an der Art, wie er sich bewegt. Wir se-

wir in einer breit angelegten Studie, wie unser Gehirn funktioniert, wenn es komplexe biologische Bewegungsmuster verarbeitet. Das von der Volkswagen-Stiftung geförderte Projekt gliedert sich in drei Teilbereiche: Zunächst untersuchen wir, wo genau die Information steckt und wie man sie aus dem komplexen Bewegungsmuster auslesen kann. Weiterhin interessiert uns, welche Bestandteile der Information tatsächlich wahrgenommen werden und welche Mechanismen dabei ablaufen. Schließlich beobachten wir mit verschiedenen physi-



Abb.2 (oben): Dem Gehirn bei der Arbeit zugehört: Während die Testperson eine Serie von Punktlichtläufern betrachtet, messen Elektroden im Elektroenzephalogramm (EEG) die Hirnströme.



unten: Das Ereignis-korrelierte Potenzial (EKP): Die Antwort auf den jeweiligen Reiz liefert die Methode als Mittelwert vieler Wiederholungen des komplexen Signalmusters der Hirnströme.

hen den Bewegungen eines fremden Menschen an, ob es sich um Mann oder Frau, Kind oder Erwachsenen handelt. Bewegungen vermitteln uns einen ersten Eindruck über Emotionen und Persönlichkeitsmerkmale und haben Einfluss darauf, ob wir unser Gegenüber sympathisch oder gar sexuell attraktiv finden. Im Labor "BioMotionLab" der Fakultät für Psychologie untersuchen

ologischen Methoden das menschliche Gehirn bei der Arbeit (s. Abb. 2). Wenn wir in natürlichen Situationen Menschen wiedererkennen, stehen uns in der Regel viele verschiedene Hinweise zur Verfügung. Nur selten müssen wir uns auf Bewegungen als einzige Informationsquelle verlassen. In psychologischen Experimenten können wir die unterschiedlichen Informationsquellen trennen und ihre

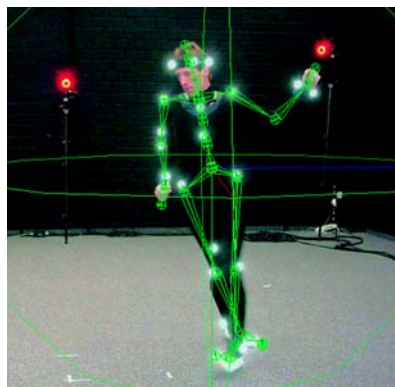
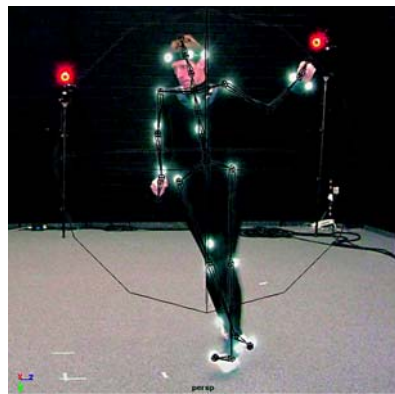
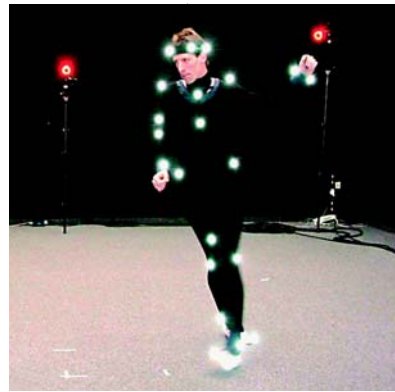


Abb. 3:  
Reflektierende Marker helfen, die Bewegung quantitativ zu erfassen und zu analysieren, um sie später gezielt zu manipulieren.

Bedeutung separat untersuchen. Um Bewegungsmuster von anderen Hinweisen weitgehend zu entkoppeln, bedienen wir uns einer Methode, die der schwedische Psychologe Gunnar Johansson entwickelte. Er führte diese Technik in den 1970er Jahren in die experimentelle Psychologie ein. Johansson hatte Testpersonen dunkel angezogen und sie in einem abgedunkelten Raum so gefilmt, dass von ihnen selbst nichts zu sehen war. Die Zuschauer konnten lediglich die Reflexionen von rückstrahlenden Folien erkennen, die an den zentralen Gelenken des Körpers befestigt waren (s. Abb. 3).

Solange sich die Menschen nicht bewegten, erschienen die ca. 10 bis 15 Reflektionsfolien als isolierte, nicht zusammenhängende Lichtpunkte. Sobald die Personen aber zu laufen begannen, bewegten sich die Reflektionsfolien mit. In den so entstehenden sog. Punktlicht-Displays wurden innerhalb von Sekundenbruchteilen sich bewegende Menschen erkennbar. Nach nur etwa zwei Sekunden ließen sich mit großer Wahrscheinlichkeit Männer und Frauen unterscheiden und den Bewegungsmustern andere biologisch und sozial relevante Merkmale entnehmen.

In unserem Labor machen wir uns eine moderne Variante dieser Technik zunutze, mit der wir Bewegung quantitativ erfassen, um sie dann zu analysieren, eventuell gezielt zu manipulieren und schließlich wieder zu visualisieren (Abb. 3). Am Körper unserer Probanden befestigen wir auch kleine, reflektierende Markierungen. Mit einem Bewegungserfassungssystem, das aus neun Kameras besteht, zeichnen wir die Positionen dieser Marker mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung dreidimensional auf. Unsere Datenbasis umfasst bisher etwa hundert Personen - zu gleichen Anteilen Männer



und Frauen -, von denen wir jeweils eine ganze Reihe von Bewegungen erfassen: vom einfachen Gehen bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten über rennen, werfen, hinsetzen, anklopfen bis zum Aufheben eines Gegenstandes. Zur Zeit untersuchen wir vor allem normales Gehverhalten. Obwohl Gehen primär der Fortbewegung dient, enthält das Bewegungsmuster vielfältige Information über die gehende Person.

### Frontalansicht verrät Geschlecht am sichersten

Wenn wir aus unseren aufgezeichneten Laufdaten Punktlicht-Displays generieren und sie dann Testpersonen auf dem Monitor vorspielen (s. Abb. 2), erkennen diese in drei Vierteln der Fälle das Geschlecht der laufenden Figuren. Die Trefferquote hängt davon ab, aus welcher Richtung wir die Person zeigen. Die beste Erkennungsleistung gibt es bei Frontalansichten (Abb. 4). Offenbar enthält die Frontalansicht geschlechtsspezifische, diagnostische Merkmale, die aus anderen Blickwinkeln schlechter zu sehen sind. Doch was sind das für Merkmale? Mit weiteren psychophysischen Experimenten gehen wir dieser Frage auf den Grund. Dazu zerlegen wir die

Bewegungen zunächst in ihre Bestandteile und setzen sie dann künstlich wieder so zusammen, dass nur noch bestimmte Teile der Gesamtinformation ihre Geschlechtsspezifität behalten, andere aber geschlechtsneutral werden. Wenn eine solche Manipulation die Erkennungsleistung nicht beeinflusst, dann ist der Teil der Information, den die Beobachter nicht gesehen haben, offenbar nicht relevant. Kann die Testperson das Geschlecht nicht mehr identifizieren, dann haben wir offenbar einen sensiblen Teil der geschlechtsspezifischen Information verletzt.

Wir zerlegen die Gesamtinformation auf unterschiedliche Art und Weise in ihre Einzelteile. Zunächst unterscheiden wir zwischen struktureller und dynamischer Information. Obwohl die Punktlicht-Displays nur dann Information preisgeben, wenn sich die Punkte auch bewegen, so ist diese doch nicht nur reine Bewegungsinformation. Mit der Bewegung der Punkte wird auch die Geometrie des Körpers sichtbar und damit strukturelle Merkmale wie Schulterbreite oder Beinlänge. Obwohl durch Bewegung vermittelt, ist dies doch strukturelle und keine dynamische Information. Wir generieren aus diesem Grunde Punktlicht-Displays, bei

denen wir die strukturellen Daten jedes einzelnen Läufers durch den Mittelwert aus allen männlichen und weiblichen Läufern ersetzen. Erkennen die Probanden bei diesen „struktur-normalisierten“ Läufern noch das Geschlecht, so können sie dafür nur rein dynamische Information verwendet haben. Analog konstruieren wir Punktlicht-Displays, bei denen jeder Läufer mit seiner individuellen Struktur gezeigt wird, aber bezüglich aller dynamischen Merkmale „normalisiert“ wurde. Unsere bisherigen Tests haben gezeigt, dass die dynamischen Anteile der Gesamtinformation bei weitem mehr zur Geschlechtererkennung beitragen als die strukturellen (s. Abb. 4).

### Übergänge von „typisch männlich“ zu „typisch weiblich“

Doch in welchen Details unterscheiden sich Männer und Frauen beim Gehen? Um diese Unterschiede herauszuarbeiten und zu charakterisieren, projizieren wir unsere Bewegungsmuster in einen mathematischen Raum, in dem Linearkombinationen aus vorhandenen Laufmustern wieder als natürliche Laufmuster dargestellt werden. In diesem Raum können wir nun mit etablierten Me-

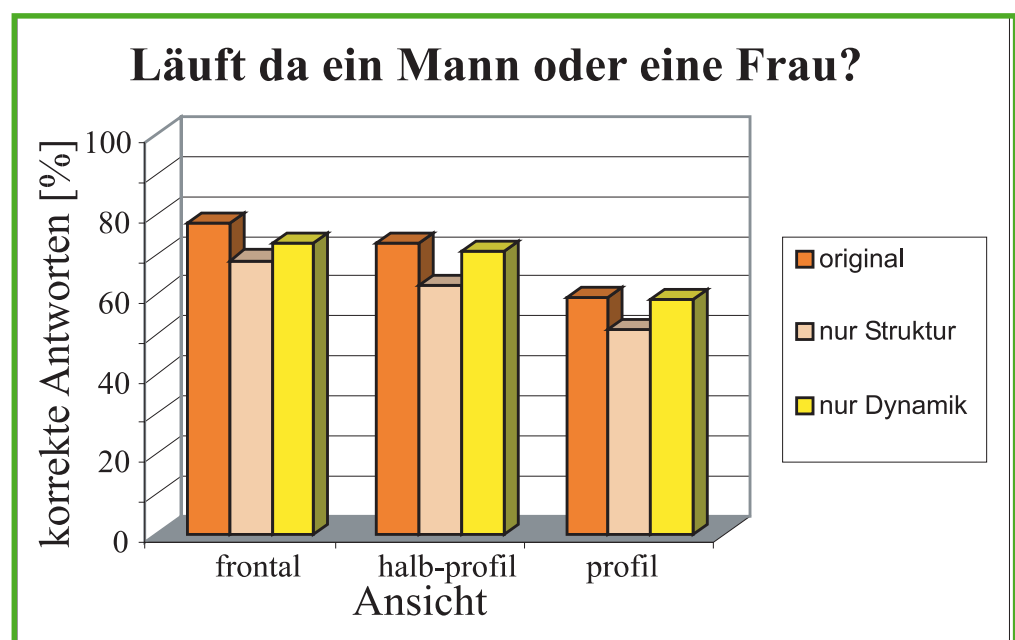


Abb. 4:  
Mann oder Frau  
ist hier die Frage:  
Am besten werden  
Frontalansichten  
klassifiziert. Die  
Trefferquote hängt  
auch davon ab, welche  
Informationen der  
Testperson zur  
Verfügung stehen.  
Fehlt die dynamische  
Information neben  
den "Strukturdaten",  
dann erhöht sich der  
Klassifikationsfehler.

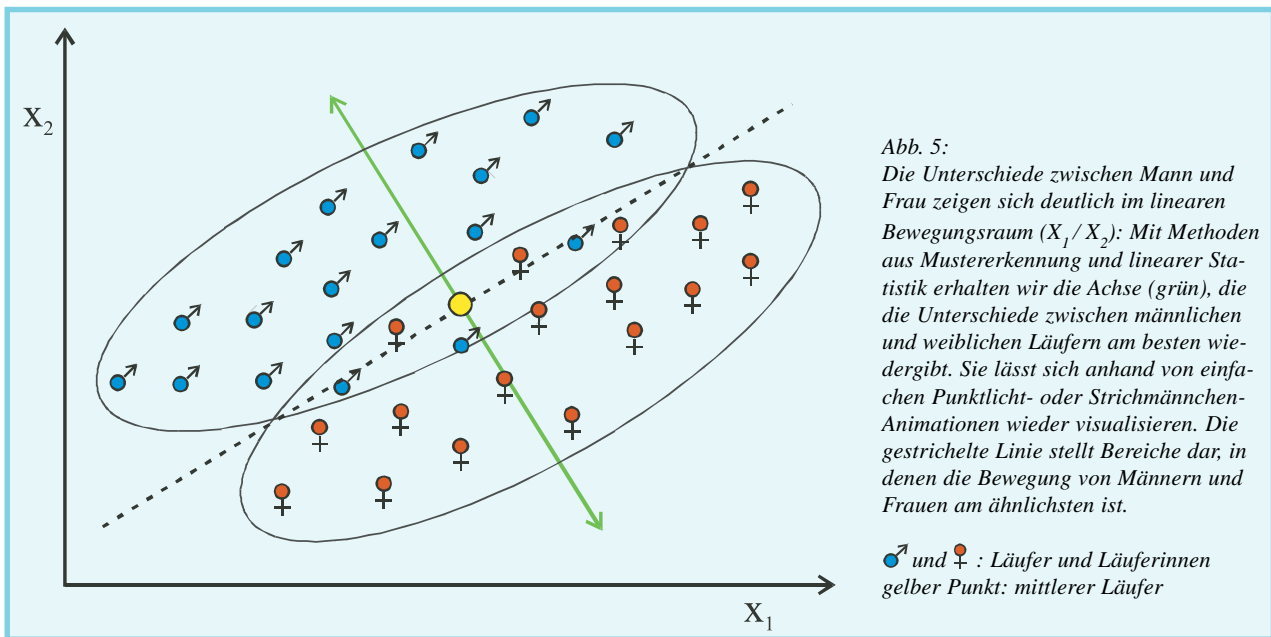


Abb. 5:  
Die Unterschiede zwischen Mann und Frau zeigen sich deutlich im linearen Bewegungsraum ( $X_1/X_2$ ): Mit Methoden aus Mustererkennung und linearer Statistik erhalten wir die Achse (grün), die die Unterschiede zwischen männlichen und weiblichen Läufern am besten wiedergibt. Sie lässt sich anhand von einfachen Punktlicht- oder Strichmännchen-Animationen wieder visualisieren. Die gestrichelte Linie stellt Bereiche dar, in denen die Bewegung von Männern und Frauen am ähnlichsten ist.

♂ und ♀ : Läufer und Läuferinnen  
gelber Punkt: mittlerer Läufer

Methoden aus Mustererkennung und linearer Statistik nach Achsen suchen, die die Differenzen zwischen männlichen und weiblichen Laufmustern am besten wiedergeben (s. Abb. 5). Eine solche Achse kann dann in Form von einfachen Punktlicht- oder Strichmännchen-Animationen wieder visualisiert werden. Damit lassen sich nicht nur die Übergänge zwischen typisch weiblichem und typisch männlichem Gehen veranschaulichen (s. Abb. 6), sondern auch die Unterschiede übertreiben und damit karikieren. Sowohl die Karikatur des männlichen als auch die des weiblichen Läufers bestätigt altbekannte Prototypen: Der Supermann zeigt den Gang des Helden in einem Westernklassiker. Die Ellenbogen werden herausgestellt, der Gang ist breitbeinig und die im Gegensatz zu den Hüften sehr breiten Schultern zeigen eine starke seitliche Bewegung. Die Superfrau hingegen zeigt sich eher schmal. Die Ellenbogen werden nahe am Körper gehalten und der Oberkörper zeigt kaum seitliche Bewegung. Dafür finden wir eine starke Drehbewegung der Hüfte, die noch zusätzlich dadurch betont wird, dass sie der vertikalen Bewegung von Knien und Füßen entgegengesetzt ist (<http://www.bml.psy.rub.de/Demos/BMLwalker.html>). Insgesamt zeigt sich in der statisti-

schon Übertreibung der Unterschiede im Laufverhalten von Frauen und Männern etwas, dass die Spezies Mensch mit vielen Tieren verbindet. Der Mann setzt offenbar alles daran, soviel Platz einzunehmen wie möglich, sich größer und breiter zu machen, als er eigentlich ist. So wie sich das Taubenmännchen aufplustert und der männliche Löwe seine mächtige Mähne sträubt, so finden sich auch bei unserer Art Anzeichen für geschlechtsspezifische Unterschiede im Bewegungsverhalten, die unter anderem dazu führen, dass Männer möglichst groß, breit und mächtig erscheinen. Frauen nehmen sich diesbezüglich zurück und setzen offenbar subtilere Signale ein. Dabei interessiert uns, an wen sich diese Botschaften richten und wie sie im Zusammenhang mit Partnerwahl und sexueller Attraktivität zu deuten sind.

### Testpersonen bewerten sexuelle Attraktivität

In einer Reihe von psychophysischen Experimenten spielen wir Testpersonen Punkt-Licht-Darstellungen unserer Läufer vor und lassen sie deren sexuelle Attraktivität bewerten. Frauen bekommen dabei zunächst nur männliche Läufer zu sehen, Männer nur weibliche. Die Testpersonen wer-

den darüber informiert, dass sie zunächst nur Darstellungen des anderen Geschlechtes sehen und aufgefördert, die sexuelle Attraktivität jedes Einzelnen auf einer Skala von 1 (gar nicht attraktiv) bis 6 (sehr attraktiv) zu bewerten. In einem zweiten Versuchsblock werden den weiblichen Versuchspersonen Frauen gezeigt und den männlichen Männer. In diesem Fall lautet die Aufgabe: "Bewerten Sie die Läufer danach, wie attraktiv sie ihrer Meinung nach auf das jeweils andere Geschlecht wirken".

Mit Hilfe dieser Daten charakterisieren wir in unserem Bewegungsraum Achsen, welche die Bewertungen am besten beschreiben. Diese Achsen können dann wieder visualisiert und auf ihre Eigenschaften untersucht werden. Die Visualisierungen zeigt unsere Webseite unter: <http://www.bml.psy.rub.de/Demos/attractiveness.html>. Die Ergebnisse sind überraschend. Wenn wir Männer über die Attraktivität von Frauen befragen, finden wir im Wesentlichen die bereits beschriebene Geschlechterachse wieder. Eine unattraktive Frau gleicht einem Mann, zeigt dessen breite Schultern und die laterale Bewegung des Oberkörpers. Eine attraktive Frau hingegen bewegt sich typisch weiblich: Sie unterscheidet sich in allen Merkmalen klar vom

Mann, ist schmal, zeigt beim Gehen praktisch keine seitlichen Oberkörperbewegungen, dafür aber einen ausgeprägten, der Bewegung der Füße entgegengesetzten Hüftschwung. Zudem fällt ein neues Merkmal auf, welches nicht zum Repertoire der natürlichen Unterschiede zwischen männlichen und weiblichen Bewegungen gehört, aber ebenfalls vor dem Hintergrund der Eigenschaft "Raum einnehmen" (bzw. nicht einnehmen) interpretiert werden kann: Eine für Männer attraktive Frau macht Schritte, bei denen ihre Füße eng nebeneinander auftreten. Überspielt man dieses Merkmal (s. Animation auf unserer Webseite), dann erhält man den typischen "cat walk", mit dem professionelle Models über den Laufsteg schreiten. Beide Füße werden dabei auf einer geraden Linie aufgesetzt und können sich im Extremfall sogar überkreuzen.

Als wir den weiblichen Versuchspersonen die Punkt-Licht-Darstellungen ihrer Geschlechtsgenossinnen gezeigt und sie darüber befragt haben, wie attraktiv diese ihrer Meinung nach auf Männer wirken, fanden wir ein ganz anderes Muster:

### Weibliche Attraktivität: schwungvoll, aufrecht und entspannt

Attraktivität wird nicht mehr mit der beschriebenen Weiblichkeit verbunden, sondern drückt sich durch schwungvolles, aufrechtes und entspanntes Gehverhalten mit einem großen Anteil an vertikalen Bewegungen aus. Eine unattraktive Frau ist nicht etwa eine männlich wirkende, sondern eine, die sich angespannt und verkrampft bewegt und dabei wenig vertikale Bewegungskomponenten zeigt. Es gibt also einen deutlichen Unterschied zwischen dem, was Männer attraktiv finden und dem, wovon Frauen meinen, was Männer attraktiv finden.

Über die Attraktivität männlicher Läufer fällt das Urteil wesentlich einheitlicher aus: Frauen und Männer bewerten eine Komposition aus

Schwung, Kraft und Entschlossenheit als attraktiv.

Unsere Forschung geht weiter. Neben den Merkmalen, die unser visuelles System über Geschlecht oder Attraktivität einer sich bewegenden Person informieren, gibt es auch Kriterien für andere Eigenschaften. Im Moment arbeiten wir an der Frage, anhand welcher Merkmale Menschen identifiziert werden und wie sich verschiedene Gefühle in Bewegungsmustern ausdrücken. Erst im zweiten Schritt überprüfen wir in psychophysischen Experimenten, ob diese Merkmale tatsächlich eine Relevanz für das Verständnis von Informationsverarbeitungsprozessen in biologischen Systemen, insbesondere im menschlichen Gehirn haben. Dabei helfen uns eine Reihe von physiologischen Methoden, mit denen wir Aktivitätsmuster in der menschlichen Großhirnrinde beobachten können, während unsere Testpersonen unter-

schiedliche Erkennungsaufgaben leisten (Abb. 2).

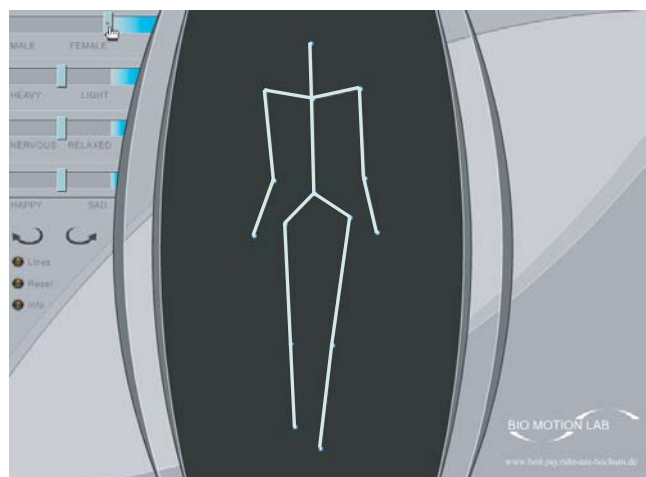
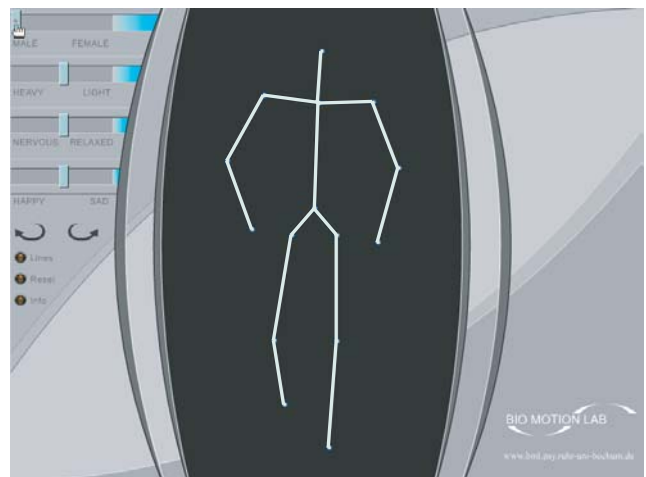
Daneben ergeben sich aus unserer Arbeit eine Reihe von fächerübergreifenden Anwendungen. Unsere sensiblen Methoden eignen sich zum Beispiel auch zur Differentialdiagnose neurologischer Krankheiten, die oft mit Bewegungsstörungen einher gehen.

### Am Bewegungsmuster frühzeitig Erkrankungen erkennen

Gerade im Frühstadium von Erkrankungen wie der sog. Multiplen System Atrophie oder von Morbus Parkinson, wenn eine gezielte Therapie noch besonders gut greifen würde, ist es oft schwer, eine genaue Diagnose zu treffen und daraufhin zu behandeln.

Ein ganz anderer Einsatzbereich betrifft weniger die Analyse biologi-

Abb. 6  
oben und unten:  
Unterschiedliche  
Gangmuster von  
Männern und  
Frauen: Während  
diese statischen  
Bilder die strukturellen  
Unterschiede  
gut illustrieren,  
veranschaulicht  
die interaktive  
Animation die  
dynamischen  
Unterschiede  
(<http://www.biomotionlab.de/Demos/BMLwalker.html>).



scher Bewegung, als vielmehr deren Synthese. Sowohl bei Computerspielen als auch im Filmbereich führt die technische Entwicklung mittlerweile zu einer Realitätstreue, die es oftmals unmöglich macht, eine computergraphische Animation noch als solche zu erkennen - doch das ändert sich meist, wenn sich die Figur bewegt. Die Realitätstreue der Modelle selbst steht immer noch in großer Diskrepanz zur Überzeugungskraft künstlicher Bewegungen. In diesem Phänomen drückt sich die enorme Sensibilität des menschlichen visuel-

len Systems aus, auch kleinste Unstimmigkeiten in Bewegungsmustern aufzuspüren. Auch wird der Mangel an guten theoretischen Modellen, mit denen man Bewegungsmustern Emotion und Individualität verleihen kann, deutlich. Hier versuchen wir, mit unseren Experimenten eine Lücke zu schließen. Das Verständnis der Mechanismen visueller Informationsverarbeitung in unserem Gehirn soll helfen, Algorithmen zu entwickeln, mit denen sich künstliche, computer-generierte Charaktere psychologisch überzeugend bewegen können.

Literaturhinweise:

Troje, N. F. (2002). Decomposing biological motion: A framework for analysis and synthesis of human gait patterns. *Journal of Vision*, 2:371-387, <http://journalofvision.org/2/5/2/>

Jokisch, D. and Troje, N. F. (2003) Biological motion as a cue for the perception of size. *Journal of Vision*. 3:252-264, <http://journalofvision.org/3/4/1/>

## info

### Bewegungs-Experiment: "Vorwissen" über Raum, Zeit und Gravitation

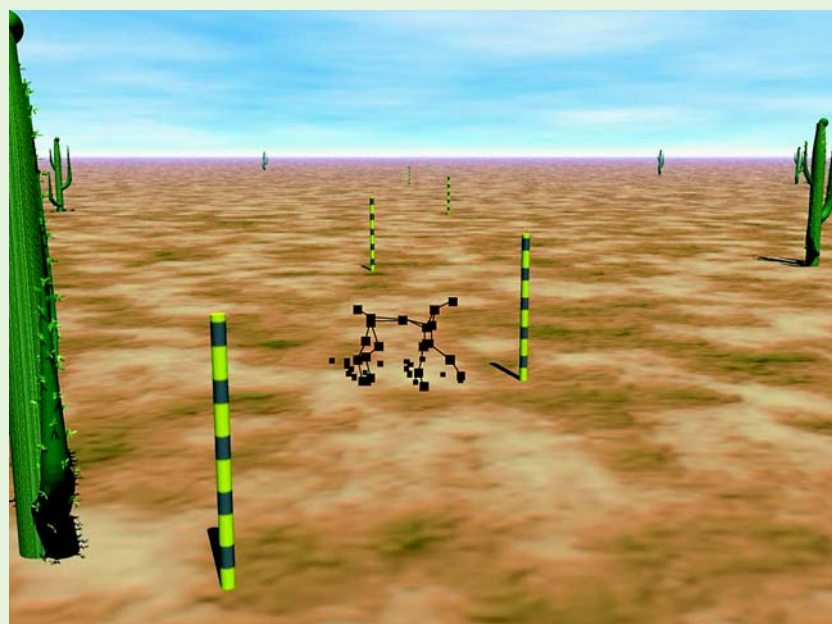
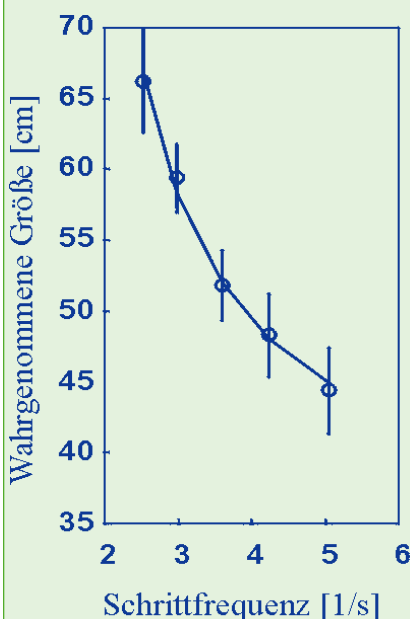
Das visuelle System verwendet implizites Wissen, um fehlende Information zu ersetzen oder mehrdeutige Information aufzulösen. Kann ein Beobachter z.B. den Zusammenhang zwischen zeitlichen und räumlichen Größen unter Bedingungen konstanter Gravitation nutzen? Aus dem gleichen Grunde, aus dem ein langes Pendel langsamer schwingt als ein kurzes, machen große Tiere in der gleichen Zeit weniger Schritte als kleine. Aus diesem Zusammenhang heraus müsste es

möglich sein, von der Schrittfrequenz auf die Größe eines Tieres zu schließen.

Das Experiment: Eine Gruppe von Testpersonen sieht Laufsequenzen eines Hundes in Form von Punktlicht-Displays und soll die Größe des "Strich-Vierbeiners" an Referenzobjekte in der Umgebung des Hundes (Kakteen, Pfeiler) anpassen (s. Abb., unten rechts).

Die Ergebnisse zeigen, dass die von den Beobachtern eingestellte Größe tatsächlich von der Schrittfrequenz

abhängt: Je größer die Schrittfrequenz ist, desto kleiner wird das Tier wahrgenommen (s. Abb., unten links). Die Beziehung zwischen Schrittfrequenz und wahrgenommener Größe spiegelt das umgekehrte quadratische Verhältnis wider, welches dem durch Gravitation vermittelten Zusammenhang zwischen räumlichen und zeitlichen Größen entspricht. Offenbar "kennt" das visuelle System diesen physikalischen Zusammenhang.



Auftrag: 74 -23 -03006 -6  
Fraunhofer Inst. f. Sichere  
180 x 125 mm

Auftrag: 74 - 23 -3006 -7  
Fraunhofer Inst. f. Sichere  
Redaktion  
180 mm x 132 mm