

Größen des Sports



10 Bis das Blut gefriert

Atemlose Tauchtour unter Eis

16 Der süße Punkt

Aus oder Nichtaus? Messgeräte helfen bei der Entscheidung

24 Im Banne der Sekunden

Von der Stoppuhr bis zur lautlosen Startpistole

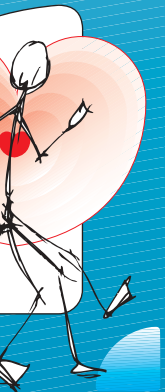
39 Fit wie ein Turnschuh

Der Lebenslauf eines Sportschuhs

48 Der Ballon-TÜV

Ein Heißluftballon auf dem Prüfstand

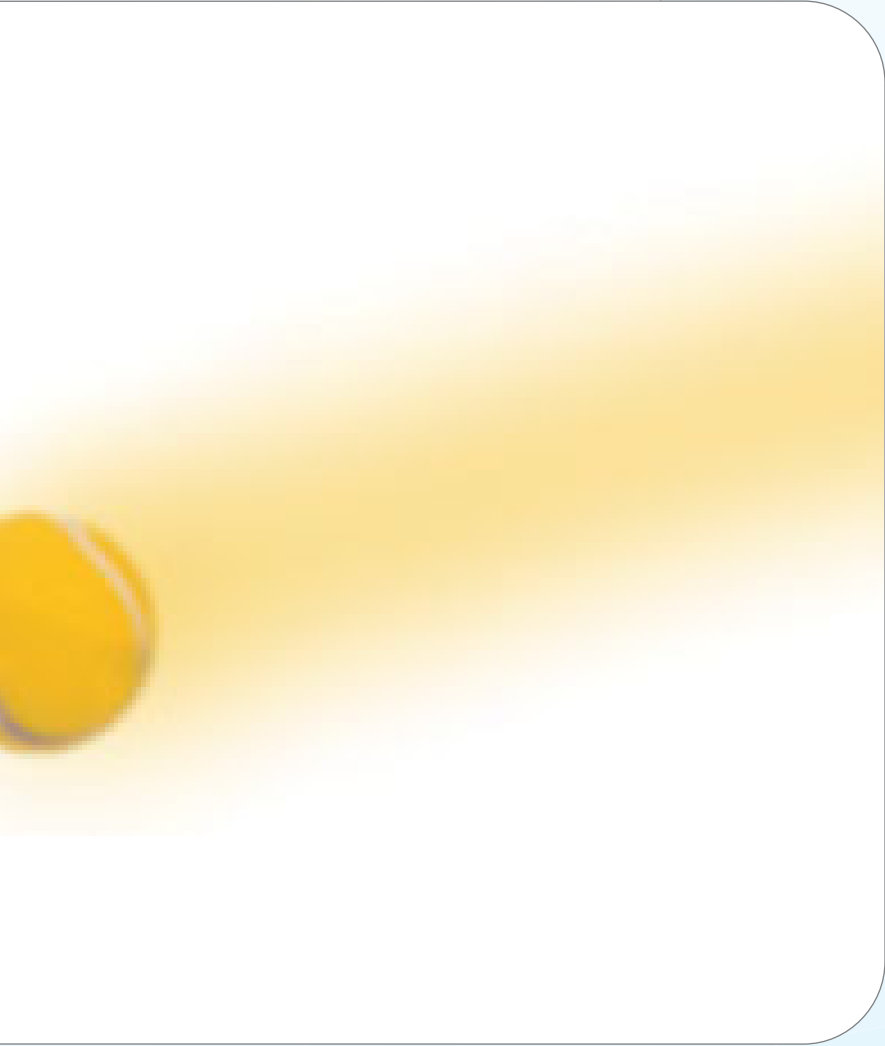
Heft 2: Juni 2002



m a p s t ä b e

Magazin der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt

PTB



Vorwort

Liebe Leserin, lieber Leser,

nein, die PTB hat nicht die *Prime Time Baskets*, eine Basketballmannschaft aus dribbelstarken 2-Meter-Physikern, aufgestellt. Sie hat auch keinen Beratervertrag mit den technischen Entwicklungsabteilungen der Formel 1 ausgehandelt. Und sie ist auch nicht in das Schiedsrichterkomitee der nächsten Olympischen Spiele berufen. Und dennoch widmet sie diese Ausgabe der *maßstäbe* den „Größen des Sports“.

Was zunächst vielleicht abwegig und unvereinbar klingt, Sport auf der einen Seite und Metrologie, die Kunst des Messens, auf der anderen Seite, das ist auf den zweiten Blick eine ganz innige Beziehung. Denn der Sport, zumindest in seiner Form als Hochleistungs- und Profisport, lebt davon, dass vor ihm, in ihm und nach ihm gemessen wird, was nur irgend zu messen ist. Da ist der Wettkampf selbst, etwa in der Leichtathletik, in dem kleinste Zeit- und Weitenunterschiede über Medaillen und Platzierungen entscheiden. Da ist das Sportgerät, das nicht nur im Falle des Motorsports, sondern vielmehr vom Schwimmanzug über den Fußball bis hin zum Weitsprung-Ski ein Hightech-Produkt ist. Und da ist der Sportler selbst, dessen körperliche Fitness ständig kontrolliert, dessen Körper auf unerlaubte Dopingmittel getestet wird. Hat man diesen Gedanken des Messens im Sport erst einmal gefasst, fallen einem immer mehr Beispiele ein, aus denen klar wird: Die Leistungsspitze des Sports ist überhaupt nur vorhanden und auflösbar, weil eine entsprechende Messtechnik dahinter steht.

Die „Größen des Sports“ sind mithin ein ideales *maßstäbe*-Thema. Denn ein Ziel der Redaktion ist es, nicht nur von feinsinnigsten Forschungsergebnissen der Metrologie zu berichten, sondern diese Forschung auch im Spiegel des Alltags und der Anwendungen zu betrachten. In dieser Ausgabe also: die Spiegel des Sports mit einer Auswahl der unterschiedlichsten Sportarten zu Wasser, zu Lande und in der Luft.

Ein Ergebnis dieser *maßstäbe*-Ausgabe könnte sein, dass Sie sich als Zuschauer beim nächsten Tennismatch zu erinnern versuchen, wie denn noch einmal die Geschwindigkeit des Balles gemessen wird – falls Sie sich dann nicht mehr erinnern können, schlagen Sie doch in diesem Heft nach oder fragen Sie uns. Bei diesem ersten Ergebnis wären Sie am Zuge – wenn Sie wollen, schreiben Sie es uns. Wir freuen uns über Ihre Zuschriften! Ein anderes Ergebnis dieser *maßstäbe*-Ausgabe könnte sein, dass sich die *Prime Time Baskets* tatsächlich zusammen finden. In diesem Fall sind wir mit Schreiben dran: Über die aktuellen Korberfolge werden wir Sie auf dem Laufenden halten.

Bis dahin grüßt Sie herzlich im Namen der gesamten Redaktion und wünscht Ihnen einen „sportlichen Lesespaß“

Ihr JENS SIMON



Jörn-Uwe Barz



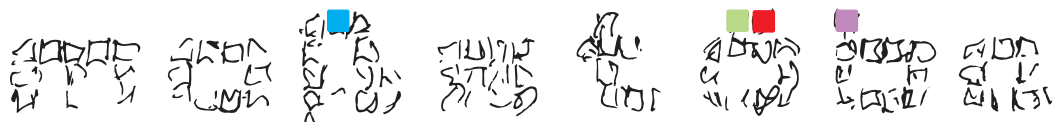
Jens Simon



Erika Schow



Björn Helge Wysfeld

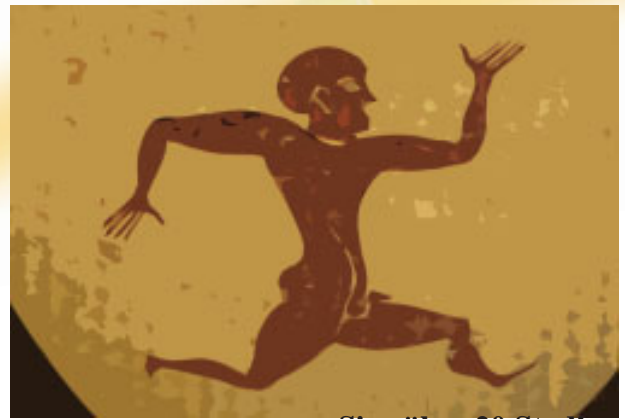


Inhaltsverzeichnis



Der süße Punkt

Richtig getroffen?
Aus oder Nichtaus?
Messgeräte helfen dort,
wo das menschliche Auge
nicht schnell genug ist.



Sieg über 20 Stadien

Nach 3840 Metern als Erster ins Ziel –
der Lohn: kostenlose Speisung bis ans
Lebensende

Im Banne der Sekunden

Von der Stoppuhr bis zur
„lautlosen“ Startpistole



27

24

23

19

Boxenstopp

Alles unter Kontrolle oder was?



Prinzip Pingu

Ein Unterwassertretboot entsteht

16

Hightech-Becken und Haifischhaut

Pfeilschnell durchs
Wasser – nicht nur eine
Sache des Trainings

13

9

10

Bis das Blut gefriert

Atemlose Tauchtour unter Eis



Innenleben: streng geheim!

Wie die ausgefeilte Technik in
einem Formel-1-Rennwagen
wirklich aussieht, das weiß nur das
eigene Team. Über 100 Sensoren
helfen dabei.

Vorwort

1

Sorglos ins
Tauchabenteuer

2

maß



Nicht der kleinste Hal-
tungsfehler von „Hanni
und Co. entgeht den
Kameras der Sport-
wissenschaftler

„Big Brother“ im Baumwipfel

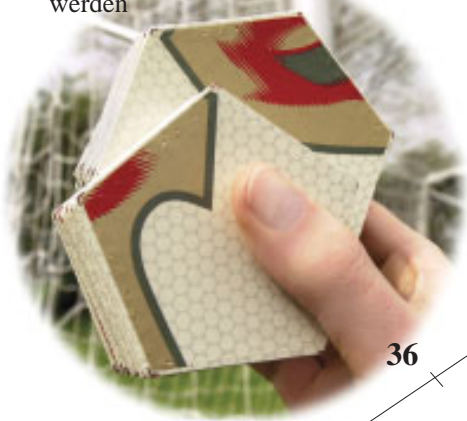


Das Letzte
Auf der Suche nach
dem Runden

52

**Das Eckige muss ins
Runde**

Dies könnte ein WM-Fußball
werden



36

33

Verräterische Spuren

Doping – immer auf der Grenze
zwischen erlaubt und verboten,
harmlos und tödlich

Ein Interview mit Prof. Wilhelm
Schänzer



30



48

Der Ballon-TUV Ein Heißluftballon auf dem Prüfstand



Kreisen im Thermikschlauch

Höhenrausch und Rechenkünste – für
Gleitschirmflieger gehört beides
zusammen



Marathon-Mess-Marken

Vom Fluch des Verlangens und
der Suche nach den eigenen
Leistungsgrenzen



**Fit wie ein
Turnschuh**

Vom Designbrief bis zum
Massentest – der Lebens-
lauf eines Sportschuhs



Sydney 2000

Foto: dpa

Hightech-Becken und Haifischhaut

„Sydney hat das schnellste Wasser der Welt“ – in vollkommener Einigkeit schwärmten Schwimmer und Sportreporter über die Wettkampfbedingungen im Aquatic Centre bei den letzten Olympischen Sommerspielen. Hinter den 14 Weltrekorden, die während der zwei Wochen in der australischen Wunderwanne aufgestellt wurden, steckt viel Hightech und Messtechnik.

Wie kann – bei streng eingehaltenen internationalen Standards – ein Schwimmbad „schnell“ und ein anderes „langsam“ sein? – Indem man das Strömungsverhalten des Wassers beeinflusst.

Je gleichförmiger das Nass am Schwimmer vorbeirauscht, desto weniger Widerstand setzt es dem Athleten entgegen und er gewinnt wertvolle Zehntelsekunden. Beim Bau des Aquatic Centre von Sydney haben die Konstrukteure peinlich genau darauf geachtet, dass abbremsende Turbulenzen im Wasser möglichst vermieden werden. Speziell geformte Trennschnüre zwischen den acht Wettkampfbahnen „verschlucken“ die vom benachbarten Schwimmer erzeugten Wellen. Dazu waren aufwändige Strömungsmessungen und Computersimulationen nötig, in denen sich langsam die richtige Form der Schwimmkörper an den Leinen herauschälte.

An den Beckenrändern werden die Wellen sogar nahezu komplett ausgelöscht. Dabei wirkt ein physikalisches Grundprinzip. Wellenberge und Wellentäler reflektieren so geschickt an der Wand, dass sie oft zusammenfallen und sich gegenseitig auslöschen – ein Phänomen, das Interferenz genannt wird. Wo vorher Turbulenzen waren, bleibt nur glatte Wasseroberfläche übrig. Und auch von störenden Turbulenzen unter Wasser bekommt der Schwimmer kaum noch etwas zu spüren, weil das Olympiabecken nirgends flacher ist als zwei

Me-
ter. Tur-
bulenzen
können also nicht
vom nahen Boden reflek-
tiert werden. Damit die Schwim-
mer auch noch möglichst schnell
ins Wasser hineinkommen, sind die
Startblöcke leicht zur Wasserfläche
abgeschrägt und mit rutschfester
Noppenbeschichtung versehen.

Nachdem die Becken-Konstrukteure ihr Werk vollbracht hatten, waren die Bade-
meister dran. Mit chemischen Analysen
wachen sie über die Wasserqualität. Hier
werden die Bakterien nicht, wie sonst
üblich, durch Chlor abgetötet, sondern
durch die aktive Sauerstoffverbindung
Ozon. Rote Augen und Atemprobleme
wie in manchen öffentlichen Bädern
können die Schwimmer daher nicht
mehr irritieren.

Winzige Spoiler

In Sydney hatten Hightech-
Badeanzüge aus „Haifisch-
haut“ ihren ersten großen
Auftritt. Galten bisher rasierte
Beine und Glatzenschnitt als
Garanten für einen turbulenz-
freien Sieg, zeigte sich nun, dass
mikrostrukturierte Gummistoffe
das Wasser geordneter vorbeigleiten lassen als möglichst
glatte Oberflächen. Bei diesen
neuen Stoffen reihen sich
V-förmige Erhebungen aneinan-
der, die an winzige Spoiler oder
Tragflächen erinnern. Acht
Prozent Strömungswiderstand
sollen die in Kunstharz einge-
hüllten Sportler so einsparen

Den Haien nachempfunden: Neue Hightech-
Schwimmanzüge sollen den Athleten im Wett-
kampf wichtige Zehntelsekunden bringen.

opapech.com

können. Das Geheimnis der Haifischhaut entdeckten die Materialwissenschaftler mit Hilfe von zahlreichen Messungen im Strömungskanal: viele kleine Hautzähnnchen. Ausgangspunkt war die Erkenntnis, dass sich die Fische viel schneller durch die Meere bewegen, als das Zusammenspiel aus Körpergröße, Form und Muskelmasse theoretisch erlauben. In millionenteuren Projekten kopierten Sportartikelhersteller die Natur und schufen die bionischen Ganzkörper-Anzüge wie denjenigen, in dem der australische Wunderknabe Ian Thorpe seine vier Medaillen gewann. Mit ihrem hohen Anteil an Elastan-Gewebe schmiegen sich diese Anzüge wie eine zweite Haut an den Sportler und verringern auch störende Vibrationen der Muskeln –



Foto: Speedo, digital verfremdet



Foto: zela, Norbert Wu, digital verfremdet

sie könnten ja die perfekte Strömungslinie zerstören. Zum Anpassen reichen die gewöhnlichen Konfektionsgrößen nicht aus. Ein „Body-Scanner“ nimmt aus acht Positionen digitale Bilder des Körpers auf, und ein Computer erstellt aus diesen Daten eine dreidimensionale Körperkarte – die Vorlage für die Maßanfertigung der schnellen Gummihülle.

Netzwerk aus winzigen Blasen

Den tieferen Grund für das Strömungsverhalten dieser mikrostrukturierten Stoffe könnten nun australische Physiker gefunden haben: Vermutlich lassen winzige Blasen das Wasser besser abgleiten. Mit einem hochauflösenden Rasterkraftmikroskop entdeckten sie die zwanzig bis dreißig Nanometer (millionstel Millimeter) großen Blasen, die ein engmaschiges und unregelmäßiges Netzwerk auf der

Oberfläche bilden. Selbst wenn ein Wasserdruck auf diese Blasen ausgeübt wird, verflüchtigen sie sich nicht direkt, sondern werden eher platt gepresst. Wie winzige Pfannkuchen schützen sie die Oberfläche und verhindern, dass eine Wasserströmung auf einen größeren Widerstand stößt. Dieser Effekt konnte bisher nicht entdeckt werden, da die Blasen für normale Lichtmikroskope zu klein und für

minder faszinierenden Nebeneffekt könnten diese Blasen neben der Wasserschnittigkeit von Oberflächen auch die unerwartet große Haftkraft erklären, die auftritt, wenn zwei Oberflächen in Wasser sehr nah aneinander liegen.

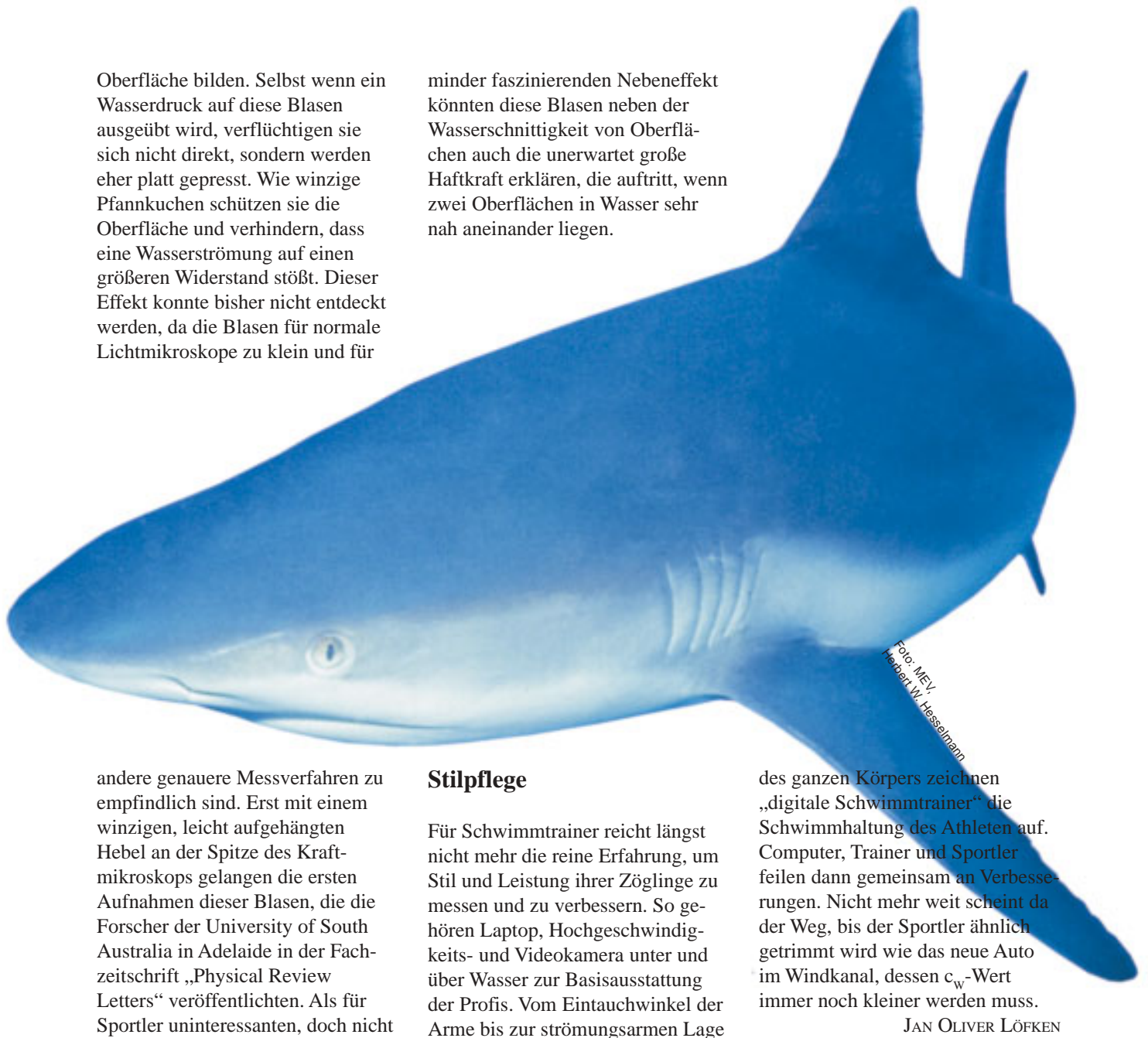


Foto: MEV, Herbert W. Hesselmann

andere genauere Messverfahren zu empfindlich sind. Erst mit einem winzigen, leicht aufgehängten Hebel an der Spitze des Kraftmikroskops gelangen die ersten Aufnahmen dieser Blasen, die die Forscher der University of South Australia in Adelaide in der Fachzeitschrift „Physical Review Letters“ veröffentlichten. Als für Sportler uninteressanten, doch nicht

Stilpflege

Für Schwimmtrainer reicht längst nicht mehr die reine Erfahrung, um Stil und Leistung ihrer Zöglinge zu messen und zu verbessern. So gehören Laptop, Hochgeschwindigkeits- und Videokamera unter und über Wasser zur Basisausstattung der Profis. Vom Eintauchwinkel der Arme bis zur strömungsarmen Lage

des ganzen Körpers zeichnen „digitale Schwimmtrainer“ die Schwimmhaltung des Athleten auf. Computer, Trainer und Sportler feilen dann gemeinsam an Verbesserungen. Nicht mehr weit scheint da der Weg, bis der Sportler ähnlich getrimmt wird wie das neue Auto im Windkanal, dessen c_w -Wert immer noch kleiner werden muss.

JAN OLIVER LÖFKEN

Messgröße: Länge in der Nanotechnologie			
10^{-10} m	10^{-9} m (1 Nanometer = 1 nm)	10^{-8} m	10^{-7} m
Atome (10^{-10} m bis 10^{-9} m)		organische Moleküle (20 nm bis 30 nm)	Strukturen auf einem Mikrochip (ca. 10^{-7} m und größer)
<p>Wunderschöne bunte Buckellandschaften – solche Bilder liefern moderne Messverfahren (und der Computer, der aus den Daten die farbigen Bilder erzeugt) von der Oberfläche einzelner Atome. Das ist beileibe keine Technik-Spielerei: Immer kleiner werden die Strukturen auf Computerchips, immer genauer möchte man in der Nanotechnologie wissen, wie Oberflächen beschaffen sind, oder neue Oberflächen atomgenau modellieren. Möglich wurde das erst mit der Erfindung der Rastersondenmikroskope.</p> <p>Messgeräte: Ausgehend vom „Urvater“ – dem Rastertunnelmikroskop – ist eine ganze Familie entstanden. Der heute am meisten verbreitete „Spross“ ist das Rasterkraftmikroskop. Mit beiden ist es möglich, das jeweilige Untersuchungsobjekt nanometergenau abzubilden.</p> <p>Das Messprinzip: Alle diese Geräte basieren auf demselben Prinzip: Sie besitzen eine sehr feine Spitze, die immer dichter an das Untersuchungsobjekt herangeführt wird – so weit, bis quantenmechanische Wechselwirkungen auftreten: Beim Rastertunnelmikroskop beginnt ein</p>		<p>Tunnelstrom zu fließen, beim Rasterkraftmikroskop beginnen zwischenatomare oder -molekulare Kräfte zu wirken. Führt man die Spitze rasterartig über die Oberfläche und hält dabei die Stärke der Wechselwirkung konstant, dann muss die Spitze, der Oberfläche folgend, sehr fein gehoben und gesenkt werden, und damit bekommt man ein genaues Bild von der Oberfläche – bis hin zu einzelnen Atomen.</p> <p>Die Aufgabe der PTB: Die PTB ist sozusagen an vorderster Forschungsfront dabei, immer exaktere Messmethoden zu entwickeln. Außerdem hält sie verschiedene Normale bereit, mit denen Rastersondenmikroskope kalibriert werden können. Siliziumscheiben, in die Löcher mit einer genau definierten Tiefe geätzt sind, dienen beispielsweise als Stufenhöhennormale.</p> <p>Messgenauigkeit: Die PTB hat Rastersondenmikroskope mit Messunsicherheiten unter einem Nanometer entwickelt und kalibriert damit Normale mit einer Messunsicherheit im Bereich von einem Nanometer.</p>	



Foto: MEV, Harald Langenfeld

Sorglos ins Tauchabenteuer

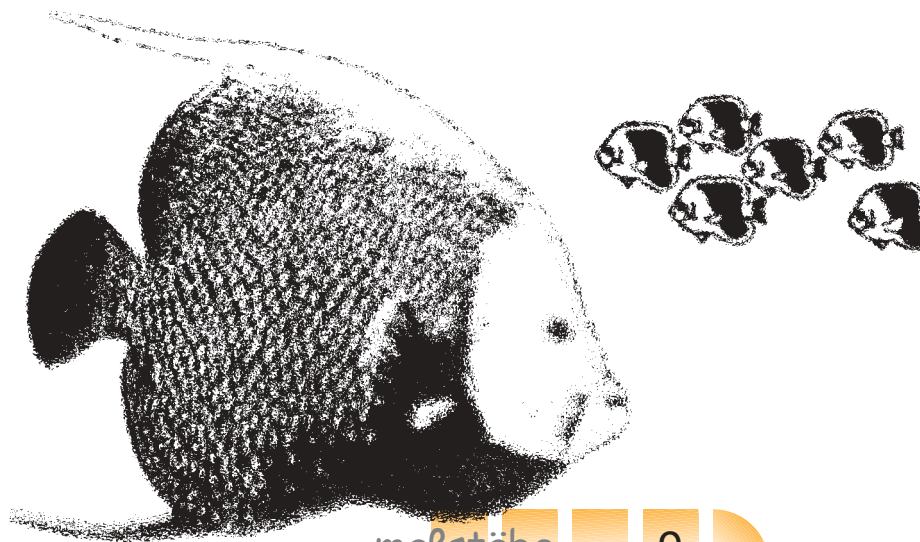
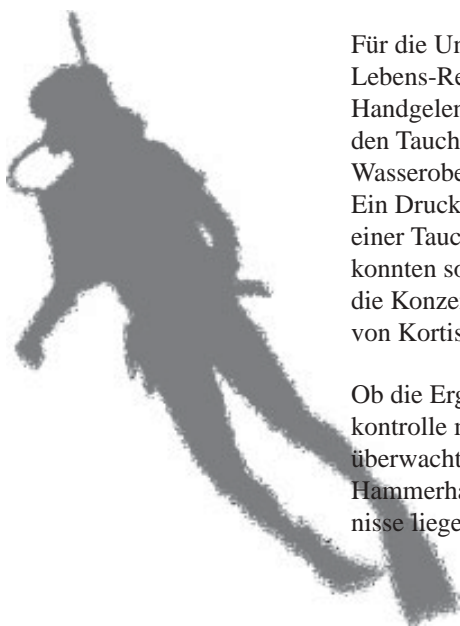
Dem Alltagsstress entfliehen und im Urlaub so richtig was erleben, wer möchte das nicht? Wie wäre es damit: „Zwischen Hammerhaien und riesigen Mantarochen tauchen“ (aus der Werbung für ein Taucherlebnis in Mexiko). Doch so ein Abenteuer kann gefährlich werden. Rund 50 Deutsche sterben in jedem Jahr bei Tauchunglücken, mehr als die Hälfte von ihnen aufgrund von Panikattacken und Erschöpfung, schätzt das Divers Alert Network (DAN), eine amerikanische Organisation von Tauchmedizinern.

Ein einfaches, aber wirkungsvolles Panik-Kontrollsystem für ungeübte Taucher zu entwickeln, das ist das Ziel eines Forschungsprojekts an der Freien Universität Berlin. Die Wissenschaftler hoffen, durch einfache Messungen der Herzfrequenz darauf schließen zu können, wie es um die Stresshormone der Probanden bestellt ist. Stresshormone im Blut sind das Frühwarnsystem des Körpers. Bereits drei bis fünf Minuten vor einer kritischen Belastung schlagen sie Alarm. „Wenn sich allein durch die Änderung der Herzfrequenz Panik-Attacken anzeigen ließen, könnte ein einfaches Pulsmessgerät jeden Tauchtrip sicherer machen“, erklärt der wissenschaftliche Koordinator des Projekts und Profitaucher Frank Weist.

Für die Untersuchungen haben sich achtzehn Taucher der Deutschen Lebens-Rettungs-Gesellschaft Berlin – eine Kanüle zur Blutentnahme im Handgelenk, ein Herzfrequenzmessgerät um den Brustkorb – mehrmals in den Tauchturm der Berliner DLRG begeben. Sie blieben nur knapp unter der Wasseroberfläche und hielten ihre Hand zur Blutentnahme aus dem Wasser. Ein Druckpolster über der Wassersäule im Turm sorgte für Bedingungen, die einer Tauchtiefe von 44 Metern entsprachen. Die Herzfrequenzmessungen konnten sofort ausgewertet werden, die Blutproben wanderten ins Labor, um die Konzentrationen der Stresshormone Adrenalin und Noradrenalin sowie von Kortisol zu messen.

Ob die Ergebnisse der Berliner Studie letztlich eine unkomplizierte Panikkontrolle möglich machen und Urlaubstaucher sich schon bald sicher überwacht fühlen können, wenn sie sich plötzlich Auge in Auge einem Hammerhai gegenübersehen, bleibt jedoch noch abzuwarten. Erste Ergebnisse liegen voraussichtlich im Sommer vor.

ANDREA HOFERICHTER



Bis das Blut gefriert

Von einem „Highlight“ in Tirols Bergen mit artenreicher Flachwasserzone und einem großem Steinkrebsbestand schwärmt der Prospekt des Tauchercamps. Doch die Wissenschaftler, die im Februar an den österreichischen Plansee kamen, interessierten sich nicht für die Krebse und wollten auch nicht die Unterwasserwelt genießen. Sie wollten Blut. Blut von ganz besonderen Tauchern.

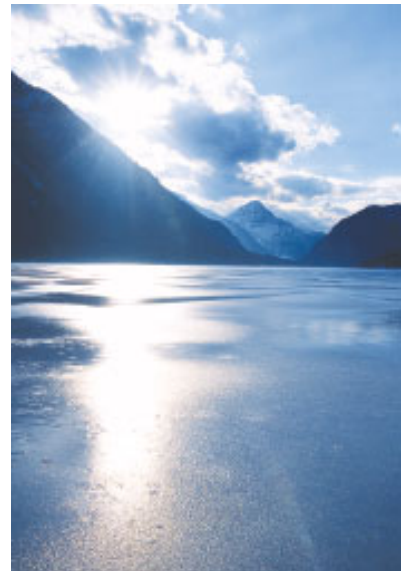
Einen umständlicheren Aderlass hat es wohl noch nie gegeben: Es ist Februar. Zwei Taucher, Kerstin und Benjamin, plantschen in einem rechteckigen, quadratmetergroßen Wasserloch in der Eisdecke. Über ihnen spannt sich eine pyramidenförmige Konstruktion: ein Tauchschlitten, der sie gleich in die Tiefe ziehen wird. Um das Eisloch herum drängen sich viele Helfer, Zuschauer, Kameraleute. Es herrscht Tauwetter, die nur 25 Zentimeter dicke spiegelglatte Fläche ächzt und knarrt unter der Menschenlast.

Plötzlich kommt Bewegung in die Menge. Alle treten beiseite, machen Platz für einen Arzt, der am Eisrand niederkniet und beiden Tauchern Blut abnimmt. Dann geht es los: Benjamin und Kerstin ergreifen die Griffe des Tauchschlittens, atmen konzentriert ein und aus. Benjamin entriegelt den Schlitten: Mit dem Kopf voran stoßen beide ins dunkle, nur 4 Grad Celsius „warme“ Wasser hinab. Ein Gewicht an einer Führungsleine zieht sie in die Tiefe. Eine Weile geschieht nichts, das schäumende Wasser beruhigt sich wieder. Dann schießt ein luftgefüllter Kunststoffsack aus dem Wasser, gefolgt von Kerstin und Benjamin. Während beide noch nach Luft ringen, wird ihnen wiederum Blut abgezapft. Helfer bringen die Ampullen ans nahe Seeufer.

Eine merkwürdige Szene, die sich noch mehrfach wiederholte, an diesem Februartag auf dem Plansee. Das Spitzenereignis blieb allen Zuschauern jedoch verborgen: Nur ein Arzt, einige Begleittaucher und ein Unterwasserkameramann waren dabei, als Benjamin in 30 Metern Tiefe ebenfalls Blut abgenommen wurde.

Benjamin und Kerstin sind Apnoetaucher. Sportler, die ohne Druckluft weite Strecken unter Wasser zurücklegen oder in enorme Tiefen herabtauchen können – mit einer einzigen Lungenfüllung. Die beiden „Blutspender“ vom Plansee zählen sogar zu den besten ihrer Zunft: Kerstin Mattes ist Mitglied der deutschen Damen-Nationalmannschaft und bereits 46 Meter tief und 110 Meter weit apnoegetaucht. Benjamin Franz hat schon eine Tiefe von 120 Metern erreicht, fünf Weltrekorde verbessert und trainiert bereits für den nächsten. Im August möchte er 165 Meter tief ins Rote Meer hinabtauchen. Ein Vergleich: Der welthöchste Kirchturm – der des Ulmer Münsters – ist 161 Meter hoch.

Dass einige Apnoetaucher in solch extreme Tiefen gelangen können, ohne dabei körperlichen Schaden zu nehmen, kann nicht bloß an ihrer antrainierten Kondition liegen. Wissenschaftler nehmen an, dass in großen Tiefen „körpereigenes Doping“ stattfindet, dass sich Blutgase im Körper an- oder abreichern, dass sich „Körpersäfte“ verlagern und den Tauchvorgang begünstigen. Oder auch beeinträchtigen: Rätselhafte Tauchunfälle, Ohnmachten und sogar Todesfälle sind bei Apnoetauchern leider keine Seltenheit. Die letzten fundierten tauchmedizinischen Untersuchungen an Apnoetauchern unter Realbedingungen liegen Jahrzehnte zurück. Andere wurden an den geheimnisvollen japanischen Ama-Frauen vorgenommen, die traditionell apnoetauchen. Diese gehen jedoch keinerlei Risiken ein, tauchen „nur“ zum Lebensunterhalt nach Meeresschnecken. Ob die an ihnen gewonnenen Erkenntnisse auf westliche „Funsportler“ übertragbar sind, ist fraglich.



Der Plansee



Ausloten der Einstiegsstelle



Öffnen des Eislochs



Die Sicherheits-Tauch-Crew

Untersuchungen an Apnoetauchern unter Realbedingungen sind überaus gefährlich: Nur in großer Tiefe versprechen sie interessante Ergebnisse – dorthin muss der Taucher aber erst einmal gelangen. Das Abtauchen „raubt“ Zeit, erst unten kann mit den Untersuchungen begonnen werden. Und sie müssen extrem rasch und dennoch präzise erfolgen. Stress wiederum könnte dazu führen, dass der Apnoetaucher in Panik gerät: Der Atemreflex könnte einsetzen. Und nur der Apnoetaucher selbst darf entscheiden, wann er wieder an die Wasseroberfläche hinauf muss – ihn festzuhalten hieße ein Tabu brechen! Sollte er nicht rechtzeitig genug an die Luft gelangen, droht eine Ohnmacht. „Ein erschütterndes Erlebnis, das jeder Apnoetaucher unbedingt vermeiden sollte, obwohl eine künstliche Beatmung unter Wasser theoretisch möglich wäre“, erläutert Benjamin, der bei seinen Tauchgängen immer Gerätetaucher mit dabei hat, die ihn notfalls hinauf geleiten könnten.

Benjamin und sein langjähriger tauchärztlicher Betreuer Urs Braumandl (Institut für Überdruck-Medizin, Regensburg), die Initiatoren des „Eis-Event“, ließen sich von diesen ungünstigen Vorgaben nicht schrecken. Sie tüftelten und planteten, bis eine gefahrlose Blutabnahme unter Wasser gelingen musste. Und sie konnten Kerstin mit ihrem „Schnell und trotzdem sicher“-Konzept zur Teilnahme gewinnen.

Vor den Tauchgängen wurde Kerstin und Benjamin eine feste Kanüle mit Ampullen-Steckverbindung ans linke Handgelenk angelegt und fixiert, um eine mehrfache und schnelle Blutabnahme zu ermöglichen. „Das tat aber unglaublich weh“, berichtete Benjamin später. Um zusätzlich Zeit für die eigentliche Blutabnahme zu gewinnen, nutzten die Apnoetaucher den Tauchschlitten, der sie in präzise 30 Meter Tiefe hinabzog. Braumandl, der sie dort erwartete, blieben dennoch nur 30 Sekunden für die Blutentnahmen an Benjamins Arterie: „Kennen Sie das Spiel mit der eingepackten Tafel Schokolade, die man mit Messer, Gabel und dabei Handschuhe tragend verspeisen muss? So gehandikapt kam ich mir vor.“

Armin Kemmer (Anästhesie-Oberarzt und Leiter des Druckkammerzentrums der Unfallklinik Murnau), der „Blutnehmer“ an der Wasseroberfläche, hatte mit anderen Widrigkeiten zu kämpfen: Kerstins Arterien verengten sich kältebedingt, machten die Probenahmen unerträglich schmerzhaft und schließlich unmöglich.

Die gewählte Untersuchungstiefe ist eine „magische Marke“ des Apnoetauchens: Beim Abtauchen geben die Lungen Sauerstoff ans Blut ab, „schnurren“ zusammen und haben in 30 Metern Wassertiefe – wo ein Druck von 4 bar herrscht – nur noch ein Viertel ihres Ausgangsvolumens. Weiter können sie nicht zusammenschrumpfen. Bei gut trainierten Apnoetauchern setzt nun der „Bloodshift“ ein: Blut aus den Armen und Beinen drängt in ihre Körpermitte, vor allem in die Lungen, stützt das Körperinnere und ermöglicht ein noch tieferes Abtauchen. Braumandl hoffte, diesen Effekt mit Hilfe von Auffälligkeiten in Benjamins Unterwasser-Blutproben nachweisen zu können.

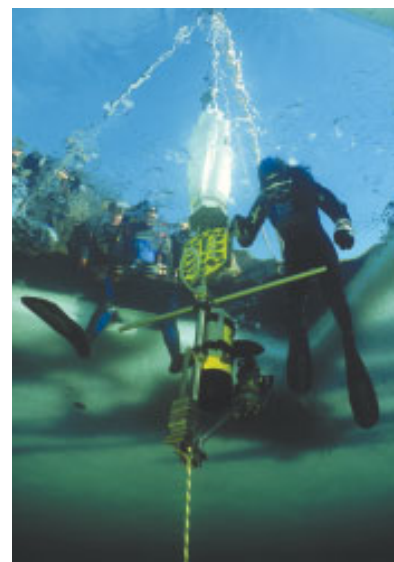
Für den Plansee als „Versuchslabor“ sprach unter anderem sein glasklares Wasser. „Wir haben die Zuschauer auf dem Eis sehen können und hatten einen super Lichteinfall“, beschreibt Kerstin die „Stimmung“ unter Wasser. Außerdem gilt der See als eissicher. Eis war als Standfläche für den Tauchschlitten, die Helfer und Zuschauer wichtig, aber auch für die Untersuchungen erwünscht. Die Herzfrequenz eines Apnoetauchers sinkt nämlich auf durchschnittlich neun bis zwölf Schläge pro Minute, sobald sein Kopf ins Wasser eintaucht. Das Tauchreflex genannte Phänomen wird von kälteempfindlichen Rezeptoren im Mund- und Nasenbereich ausgelöst. Mit einem handelsüblichen, in eine Druckkammer eingesetzten EKG-Aufzeichnungsgerät, das Benjamin bei den Tauchgängen auf dem Rücken trug, wollte Braumandl den Reflex belegen.



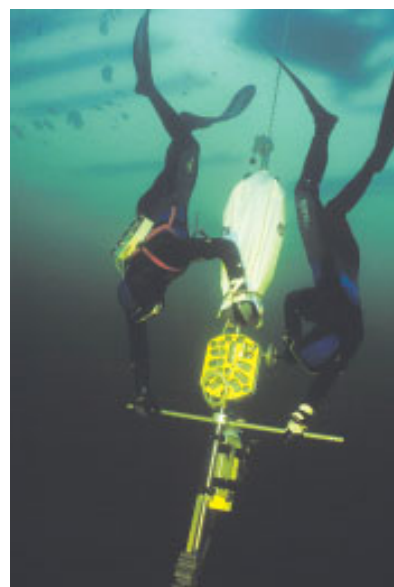
Der Chef der Tauch-Crew



Vorbereitungen unter dem Eis



Kerstin mit den Messgeräten



Abtauchen

Mysteriös: Den „Bloodshift“ kennt man auch von Meeressäugern, den Tauchreflex hat man bei Wasservögeln nachweisen können. Vielleicht stellen sie eine Art Sauerstoff sparendes „Unterwasserprogramm“ aus grauer Vorzeit dar, mutmaßen Wissenschaftler. Ist der Mensch doch (noch) ein Wasserwesen, zumindest ein ganz kleines bisschen? Alles Leben entstammt schließlich dem Meer. Entwickeln wir uns gar zu Unterwasserbewohnern (zurück), wie Jacques Mayol, der kürzlich verstorbene „Guru“ der Apnoetaucher, vermutete? In wenigen Generationen, so glaubte er, werden wir mit Delfinen um die Wette schwimmen und tauchen.



Kerstin und Benjamin

Die Ergebnisse des „Eis-Event“ will Braumandl im Herbst vorstellen, ähnliche „Events“ sind bereits geplant. Vorab verrät der Tauchmediziner nur so viel: Die Verkabelung des EKG-Aufzeichnungsgeräts mit Benjamins Herzachse war vermutlich unzureichend isoliert. Es gab einen „Wackelkontakt“, so dass die Kurven leider nicht auswertbar waren. Und die Blutwertergebnisse? „Kerstins und Benjamins Kohlendioxidwerte vor dem Abtauchen waren leicht erniedrigt, vermutlich weil sie vor Aufregung etwas hyperventiliert haben“, teilte Braumandl mit. Benjamins Blutsauerstoffgehalt in 30 Metern Tiefe sei dagegen erwartungsgemäß hoch gewesen. Erstaunlich sei aber, dass die Sauerstoff- und die Kohlendioxidgehalte in den nach den Tauchgängen gewonnen Blutproben im Normalbereich gelegen hätten. „Die CO₂-Gehalte hätten deutlich erhöht, die O₂-Werte stark erniedrigt sein müssen“, wundert sich der Mediziner – und hat eine mögliche Erklärung parat: Zumindest Benjamin sei bei der Tiefe von 30 Metern nicht einmal annähernd an seine Leistungsgrenze gelangt.



Abendstimmung am Plansee

Fotos: www.cr-photo.de

Aber eine körperliche Leistungsgrenze hat Benjamin beim „Tauch-Event“ dennoch überschritten, die sich allerdings erst Tage später unangenehm bemerkbar machte: Er bekam eine tüchtige Erkältung.

RUDOLF ITES

Messgröße: Signale des Herzens

Typische Merkmale eines EKG:
P-Welle (a): Ausbreitung der Erregungswelle vom Sinusknoten kommend in den Vorhöfen
QRS-Komplex (b): Depolarisation beider Herzkammern
T-Welle (c): Repolarisation der Kammern

Nach der T-Welle ist eine elektrische Herzaktion beendet. Nach kurzer Pause beginnt ein neuer Zyklus.

Will ein Arzt etwas über die Herzfunktion seines Patienten wissen, genügt es ihm nicht, den Puls zu fühlen. Der Arzt zeichnet die komplexen Signale des Herzens vielmehr in Form eines Elektrokardiogramms (EKG) auf. Das EKG zeigt die elektrischen Spannungen, welche das schlagende Herz auf der Hautoberfläche hervorruft, in ihrem zeitlichen Verlauf.

Komplexer „Messwert“: Die Messgröße „Herzsignal“ ist ungleich komplizierter als eine gewöhnliche physikalische Messgröße, bei der eine einzige Zahl (plus physikalische Einheit) den Messwert angibt. Im EKG „versteckt“ sind zahlreiche Merkmale, etwa die konkrete Form einzelner Spannungsspitzen, ihre zeitliche Variabilität oder das Verhältnis der Amplituden in verschiedenen Zeitabschnitten zueinander. Die Aufgabe ist es, aus diesen Merkmalssätzen eine ganzheitliche Aussage zur aktuellen Herzfunktion abzuleiten.

EKG-Signaldatenbank: Um die Diagnose zu erleichtern und zu verbessern, hat die PTB eine Datenbank der EKG-Signalmuster aufgebaut, wobei jedem dort abgelegten Muster ein Befund zugeordnet ist. Mittels eines in der PTB entwickelten und patentierten Auswerteverfahrens kann für ein neu aufgenommenes EKG eine Diagnose erstellt werden, indem ein Mustervergleich dieses EKG mit den „befundeten“ EKG der Datenbank durchgeführt wird. Denn: Ähnliche EKG haben auch ähnliche kardiologische Diagnosen. Das gesamte Verfahren besteht aus der Signalaufbereitung, dem Mustervergleich, der Klassifizierung und schließlich der Darstellung der Ergebnisse für die medizinische Praxis.

Das Verfahren ist zur Anwendung auf Einzelrechnern, in lokalen Netzwerken und als telemedizinische Lösung im Internet einsetzbar.

Prinzip Pinguin

Aus dem (fiktiven) Tagebuch des Strömungstechnik-Studenten Bertram Seydell, der eines Tages eine (keineswegs fiktive) Idee hatte.

19. Dezember: Ein Unterwassertretboot – das ist mein Thema. Mit was für Kisten (okay, nennen wir sie beim Namen: „Human Powered Submarines“) die in Florida zur letzten WM angetreten sind. Da bau ich locker ein schnelleres Boot.

4. Januar: Prof. Fiedler findet das Thema gut. Und Prof. Rechenberg stellt mir seinen Windkanal zur Verfügung. Dann kann es ja losgehen.

6. Januar: Das Fax mit der Teilnahmebestätigung für die „International Submarine Races“ ist gekommen: Atlantik vor Palm Beach, Florida, 15. bis 23. Juni 1991. Bis dahin wird's knapp: Unterwassertretboot konstruieren, rechnerisch und im Windkanal strömungstechnisch optimieren und trainieren, bis ich 600 Watt im Rennen Boot gegen Boot an die Antriebswelle bringen kann. Die anderen Teams haben immerhin Tour-de-France-Teilnehmer oder „Marines“ in ihren Reihen; ein Spaß wird das sicher nicht.

11. Januar: Großvater und Papa als Sponsoren gewonnen, Scubapro stellt die komplette Tauchausrüstung. Das muss in Deutschland leider reichen, von der Industrie ist nichts zu erwarten – wir sind ja nicht in Amerika.

13. Januar: Jetzt geht's los. Zunächst der Körper. Prinzip Pinguin. Allerdings, ein echter „Pinguin“ ist vorne und hinten spitzer, da passt kein Tretbootantrieb rein. Und ein Linearantrieb hätte einen geringeren Antriebswirkungsgrad. Das glorreiche „MIT“ und die Uni Hamburg scheiterten mit diesem Antrieb und sind in keiner Weltrekordliste vertreten. Also wird mein Boot etwas walförmiger. Den Pinguin- c_w -Wert müsste es trotzdem schaffen: Vorne und hinten stumpfer, aber die Reibung gleichmäßiger verteilt, das gleicht sich ziemlich genau aus.

15. Februar: Ersten Vergleichskörper auf der selbstkonstruierten Widerstandswaage im Windkanal gemessen: $c_w = 0,030$. Genau Pinguin-Wert. Bei der rechnerischen Optimierung lag der c_w -Wert noch schlechter: 0,033. Aber den Differentialgleichungen für die Strömungsgrenzschicht und den laminar-turbulenten Übergang sollte man nicht bedinglos vertrauen – haben wir schon in der Vorlesung gelernt.

22. Februar: Bin noch nicht sicher, welches Material es sein soll. Kevlarlaminat? Nein, Haie brauchen wir wohl nicht zu fürchten. Carbonlaminat? Auch nicht nötig, so leicht braucht es nicht zu sein. Das Boot wird eh geflutet und muss im Flugzeug nur als normales Gepäck durchgehen (32 kg und 3 m Länge sind ja nicht schlimm, und das Boot passt in eine große Surfboardtasche). Also, das ist es: Glasfaserlaminat, 6 mm dick.

Sagenhaft effizient: Pinguine mit ihrem besonders strömungsgünstigen Körper stehen inzwischen Modell für eine ganze Reihe von technischen Entwicklungen.

28. Februar: Negativform fertig. Erste Sitzprobe mit zwei Personen plus kompletten Tauchausrüstungen: Enger geht es nun wirklich nicht, also genau richtig.

4. März: Das Boot liegt im Wintergarten und wartet aufs Laminieren.

5. März: Mein Mitbewohner ist aus der WG ausgezogen. Das Polyesterharz stinkt aber auch fürchterlich!

8. März: Freunde kommen nicht mehr zu Besuch oder drehen schon im Hausflur um – ist wohl nicht die richtige Jahreszeit, in der eigenen Wohnung ein U-Boot zu bauen.

5. April: Mit Prof. Rechenbergs Hilfe den 1,60-m-Propeller fertiggebogen. Falls ich den nicht mit 60 U/min drehen kann, müssen die Spitzen abgeschnitten werden.

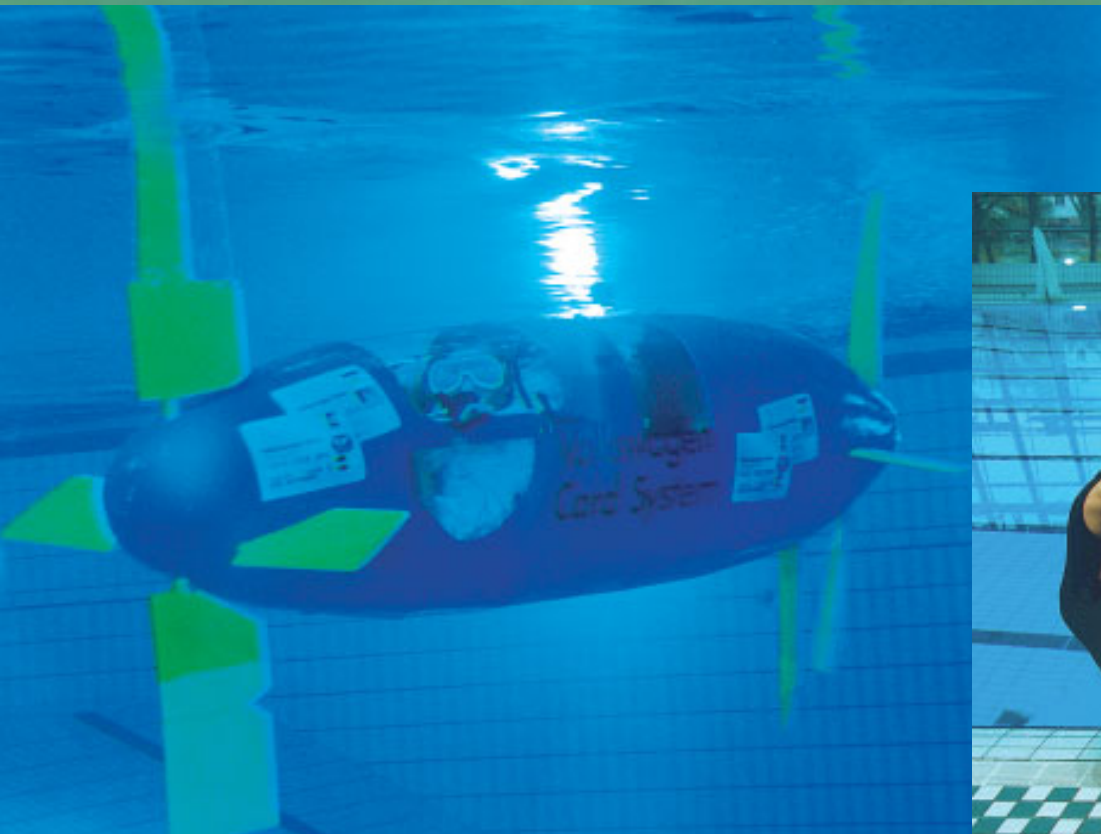
20. April: Stapellauf im Olympiabad: Klappt gut mit Anne und der kompletten Ausrüstung an Bord. Das Boot hat einen Auftrieb von 1 kg, so werden wir im Atlantik in Notsituationen sicher nicht untergehen. Nur die Einstiegs- und Sichtluken fehlen noch.

12. Mai: Probefahrt in Müritzt, vorbei an den Datschen, super kalt und nur 1 m Sicht. Dann ein Crash – ein erster „Kontakt“ mit einem Bootssteg.

20. Mai: Vorstellung des Unterwassertretbootes in Hohenschönhausen vor Prof. Fiedler: Das erste Mal schneller als Weltrekordtempo gefahren (1:02 min auf 100 m) – ein gutes Omen für die WM? Nur die Lenkung will nicht so richtig funktionieren, ab 10 Grad Lenkfinneinschlag geht es nur noch in Richtung Wand. Zum Glück hat das Boot eine 20 cm dicke Styrodurspitze.

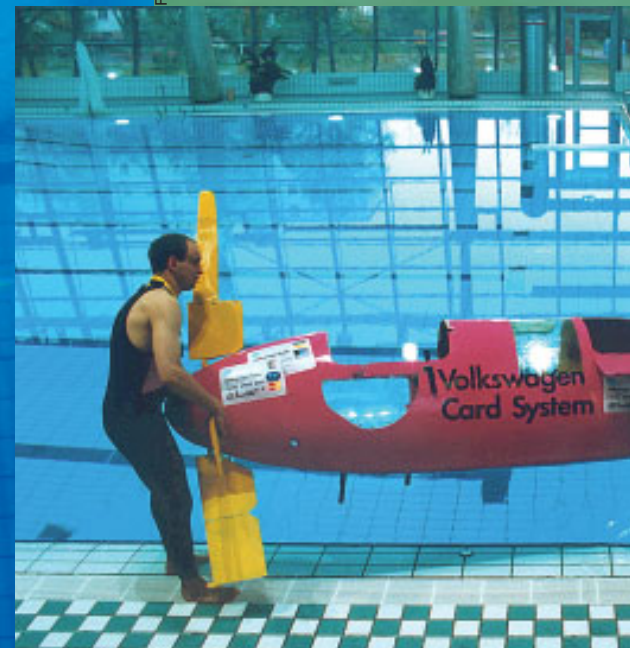
12. Juni: Alles eingepackt – fünf Personen mit je 64 Kilogramm Gepäck. Das klappt gerade, wenn wir die kleinen Notflaschen mit ins Handgepäck nehmen.

Stapellauf im Olympiabad Berlin: Steuerfrau Anne Schneider schaut heraus, hinter ihr tritt der „Motor“ Bertram Seydell, ihr heutiger Mann, kräftig in die Pedale.



Fotos: privat

Testfahrt: Unterwassertretboot „Böti II“ wird im Heidbergbad Braunschweig zu Wasser gelassen.



14. Juni: Verdammt heiß in Florida. Auf dem Flughafen waren sie cool. Die Sauerstoffflaschen im Handgepäck sahen aus wie kleine Bomben. Aber die Sicherheitsleute fragen nur, was das ist und ob sie auch wirklich leer sind. Nichts überprüft. –

Endlich im Atlantik ein paar Runden gedreht: Ganz schön starke Strömung und auch keine gute Sicht, aber angenehm warm. Nur die „Tommies“ aus Southhampton brauchen Neoprenanzüge und werden auch noch seekrank – keine wirklichen Gegner. „MIT“, Florida Atlantik University, die californischen Universitäten, die Navy und „Disney“ haben da schon mehr aufgefahren. 20 Personen je Team und 100 000 Dollar Etat, Kein Problem in den USA. Dort gehört es zum guten Ton, Unversitäten nach Leistung zu unterstützen.

15. Juni: 100-m-Rennen gegen die Uhr: Wieder Probleme mit der Lenkung. Nach 80 m touchieren wir den Boden und schleppen uns mit abgeknickten Lenkfinnen in 68 Sekunden ins Ziel (Die Sieger brauchen 48 Sekunden, neuer Weltrekord).

18 Juni: 400-m-Rundkursrennen gegen „Killer Instinct“ – die sind erstmal auf Grund gelaufen – wir fahren locker das Rennen zu Ende. Da alle Rennen live im Fernsehen übertragen werden, haben wir abends keine Probleme, gute Plätze im Restaurant zu bekommen: Man kennt uns!

19. Juni: Thunderstorms in Florida: kein Spaß, bei Regen und Sturm U-Boot zu fahren. Nur noch ein Rennen gegen Disneys „Submoussible“ und dann noch Außenbahn. Aber dann: Was ist das? – Disney rammt uns – das war’s für dieses Jahr.

Das Unterwassertretboot entstand als Diplomarbeit am Hermann-Föttlinger-Institut für Strömungsmechanik an der Technischen Universität Berlin. Heute arbeitet Bertram Seydell als Strömungsberechner für ein großes Automobilunternehmen.

ERIKA SCHOW

Messgröße: Widerstandsbeiwert c_w

0	0,5	1
Unterwassertretboot, Adélie-Pinguin (0,03)	Kugel in der Strömung (0,3) moderner PKW (0,25 bis 0,35)	VW-Käfer, Ente, Trabi (0,4 bis 0,5) Platte senkrecht zur Strömung (1,2)



Warum haben ein Unterwassertretboot und ein Pinguin denselben c_w -Wert? Das wissen noch nicht einmal die Fachleute bis in alle Einzelheiten. Klar ist: Beide Körper sind so geformt, dass sie der Strömung besonders wenig Widerstand entgegensetzen.

Das Idealprinzip: Angenommen, es gäbe eine reibungsfreie Flüssigkeit. Um einen Gegenstand (z. B. eine Kugel) mit konstanter Geschwindigkeit durch die ruhende Flüssigkeit zu ziehen, brauchte man keine Kraft.

Die Realität: In Wirklichkeit hat man es immer mit „zähen“ Flüssigkeiten zu tun, die außerdem nicht in der Lage sind, die Kugel ganz zu umströmen. Es kommt zum „Strömungsabriss“ auf der strömungsabgewandten Seite der Kugel. Dabei geht Energie hinter der Kugel in Wirbel über. Das heißt, der Körper wird durch eine Widerstandskraft gebremst und Antriebsenergie wird „unnützlich“ verbraucht. Wie stark ein Körper gebremst wird, gibt der Widerstandsbeiwert (c_w -Wert) an: Er ist umso niedriger, je

strömungsgünstiger der Körper geformt ist. Genau genommen ist er der Umrechnungsfaktor zwischen Form und Widerstandskräften. Weitere Faktoren beeinflussen den Widerstand eines Körpers: die Dichte (ρ) des Mediums, in dem er sich bewegt (etwa Luft oder Wasser), die Relativgeschwindigkeit zwischen Medium und Körper (v) und nicht zuletzt die Form (Querschnittsfläche A) und Oberflächenbeschaffenheit des Körpers. Hieraus ergibt sich die Widerstandskraft als

$$F = c_w \cdot A \cdot \rho / 2 \cdot v^2.$$

Die Messung: In der Praxis werden c_w -Werte im Windkanal ermittelt. Bei definierter Windgeschwindigkeit und Dichte der Luft wird dann die Luftwiderstandskraft gemessen – unter anderem mit Mehrkomponenten-Kraftaufnehmern (zur Kalibrierung von Kraftaufnehmern in der PTB: s. S. 40).

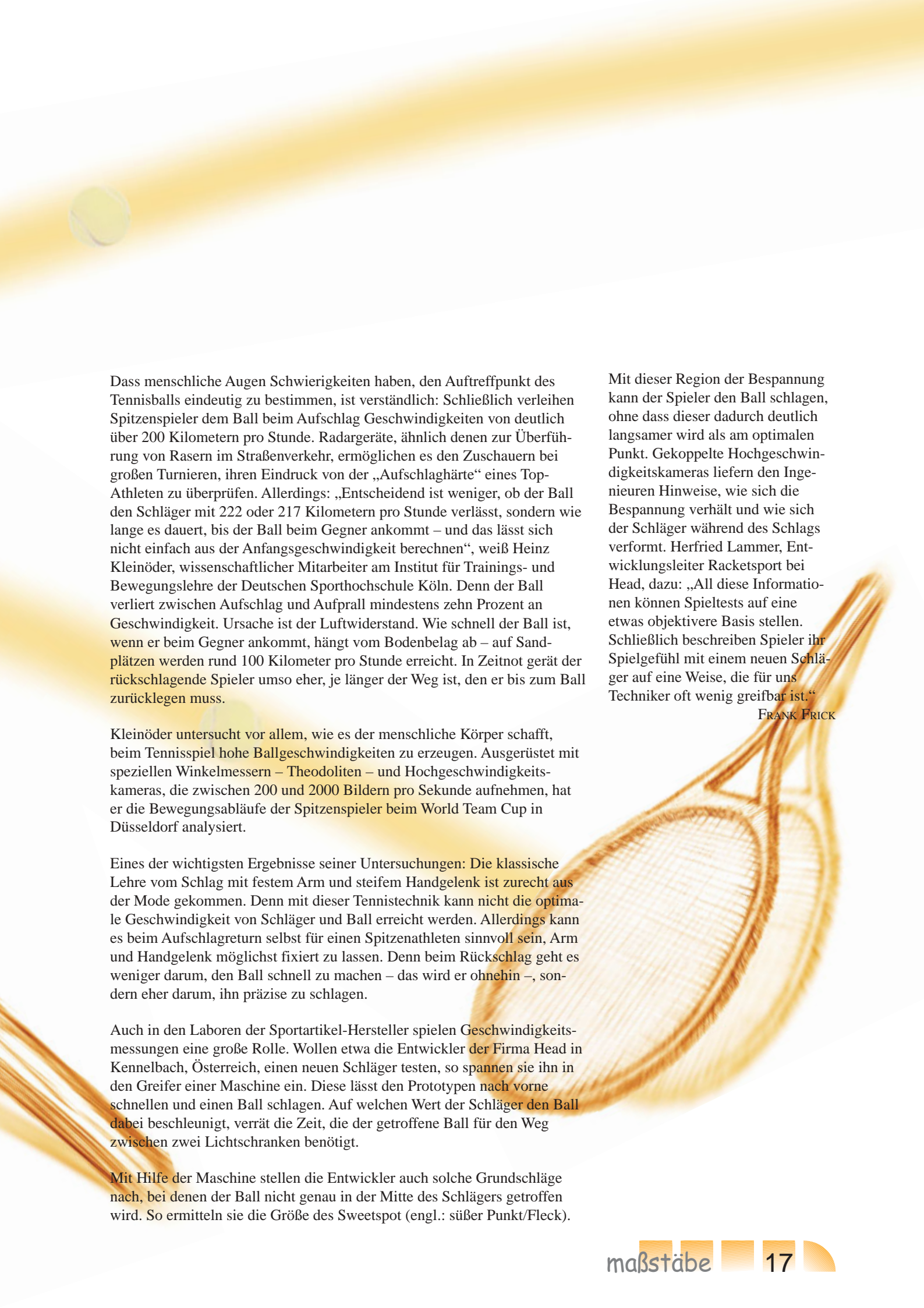
Der süße Punkt

Moderne Messverfahren können helfen, die existenzielle Frage des Tennissports „Aus oder Nichtaus“ zu beantworten. Außerdem liefern sie Erkenntnisse, dank derer Spieler gezielter trainieren und Sportfirmen bessere Schläger bauen.

In Wimbledon, dem Mekka des Tennissports, piept es. Mit einem durchdringenden Laut meldet das „magische Auge“, dass ein Aufschlag zu lang geraten ist. Denn der Ball hat ein Bündel von Infrarot-Strahlen passiert, das einen Zentimeter über dem Boden direkt hinter der Aufschlaglinie den Platz quert. Das System „Cyclops“ – so der offizielle Name – funktioniert somit nach dem Prinzip einer Lichtschranke. Während sein erster Einsatz 1980 noch erregte Debatten auslöste, bezweifelt heute niemand mehr ernsthaft, dass es korrekt arbeitet. Das magische Auge hat allerdings blinde Flecken: Geht der Ball sehr weit fehl, passiert er die Infrarot-Strahlen nicht und das Piepsen bleibt aus. Aus Sicht mancher Spieler hat das System vor allem den Nachteil der Beeinflussbarkeit: „Ich würde Linienrichter bevorzugen, weil ich mit Cyclops nicht sprechen kann“, sagte Boris Becker einmal.

Die Frage „Aufschlagfehler oder nicht“ führt nicht nur zwischen Spielern und Schiedsrichtern zu Diskussionen, sondern spaltet auch die Fangemeinde vor dem Fernsehbildschirm. Dementsprechend fehlt es nicht an Versuchen, dem Zuschauer zu Hause eindeutige Bilder von umstrittenen Punkten zu liefern. Die Firma S.I.R.I.S. aus dem schwäbischen Hochdorf entwickelte ein besonders verblüffendes Verfahren, das bei der ATP-Weltmeisterschaft 1996 in Hannover benutzt wurde: Eine Infrarot-Kamera, die Temperaturunterschiede von 0,025 °C sichtbar machen kann, registrierte die Wärme, die der Ball beim Aufprall auf den Teppichboden übertrug. Allerdings war dieser „Wärmeabdruck“ nur bei den schnellen Aufschlagbällen deutlich genug und von ähnlicher Aussagekraft wie herkömmliche Ballabdrücke auf Sandplätzen.

Inzwischen setzt S.I.R.I.S. auf eine andere Methode. „Sie behält alle Linien – nicht nur die Aufschlaglinie – im Blick. Und sie funktioniert auch auf Freiplätzen, die von der Sonne beschienen werden“, sagt S.I.R.I.S.-Geschäftsführer Stefan Reiser. Er und sein Team machen heute den Aufschlagpunkt des Balles durch eine geschickte Kombination von Überwachungskamera-Bildern und Computeranimation sichtbar.



Dass menschliche Augen Schwierigkeiten haben, den Auftreffpunkt des Tennisballs eindeutig zu bestimmen, ist verständlich: Schließlich verleihen Spitzenspieler dem Ball beim Aufschlag Geschwindigkeiten von deutlich über 200 Kilometern pro Stunde. Radargeräte, ähnlich denen zur Überführung von Rasern im Straßenverkehr, ermöglichen es den Zuschauern bei großen Turnieren, ihren Eindruck von der „Aufschlaghärte“ eines Top-Athleten zu überprüfen. Allerdings: „Entscheidend ist weniger, ob der Ball den Schläger mit 222 oder 217 Kilometern pro Stunde verlässt, sondern wie lange es dauert, bis der Ball beim Gegner ankommt – und das lässt sich nicht einfach aus der Anfangsgeschwindigkeit berechnen“, weiß Heinz Kleinöder, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Trainings- und Bewegungslehre der Deutschen Sporthochschule Köln. Denn der Ball verliert zwischen Aufschlag und Aufprall mindestens zehn Prozent an Geschwindigkeit. Ursache ist der Luftwiderstand. Wie schnell der Ball ist, wenn er beim Gegner ankommt, hängt vom Bodenbelag ab – auf Sandplätzen werden rund 100 Kilometer pro Stunde erreicht. In Zeitnot gerät der rückschlagende Spieler umso eher, je länger der Weg ist, den er bis zum Ball zurücklegen muss.

Kleinöder untersucht vor allem, wie es der menschliche Körper schafft, beim Tennisspiel hohe Ballgeschwindigkeiten zu erzeugen. Ausgerüstet mit speziellen Winkelmessern – Theodoliten – und Hochgeschwindigkeitskameras, die zwischen 200 und 2000 Bildern pro Sekunde aufnehmen, hat er die Bewegungsabläufe der Spitzenspieler beim World Team Cup in Düsseldorf analysiert.

Eines der wichtigsten Ergebnisse seiner Untersuchungen: Die klassische Lehre vom Schlag mit festem Arm und steifem Handgelenk ist zurecht aus der Mode gekommen. Denn mit dieser Tennistechnik kann nicht die optimale Geschwindigkeit von Schläger und Ball erreicht werden. Allerdings kann es beim Aufschlagretour selbst für einen Spitzenathleten sinnvoll sein, Arm und Handgelenk möglichst fixiert zu lassen. Denn beim Rückschlag geht es weniger darum, den Ball schnell zu machen – das wird er ohnehin –, sondern eher darum, ihn präzise zu schlagen.

Auch in den Laboren der Sportartikel-Hersteller spielen Geschwindigkeitsmessungen eine große Rolle. Wollen etwa die Entwickler der Firma Head in Kennelbach, Österreich, einen neuen Schläger testen, so spannen sie ihn in den Greifer einer Maschine ein. Diese lässt den Prototypen nach vorne schnellen und einen Ball schlagen. Auf welchen Wert der Schläger den Ball dabei beschleunigt, verrät die Zeit, die der getroffene Ball für den Weg zwischen zwei Lichtschranken benötigt.

Mit Hilfe der Maschine stellen die Entwickler auch solche Grundschräge nach, bei denen der Ball nicht genau in der Mitte des Schlägers getroffen wird. So ermitteln sie die Größe des Sweetspot (engl.: süßer Punkt/Fleck).

Mit dieser Region der Bespannung kann der Spieler den Ball schlagen, ohne dass dieser dadurch deutlich langsamer wird als am optimalen Punkt. Gekoppelte Hochgeschwindigkeitskameras liefern den Ingenieuren Hinweise, wie sich die Bespannung verhält und wie sich der Schläger während des Schlags verformt. Herfried Lammer, Entwicklungsleiter Racketsport bei Head, dazu: „All diese Informationen können Spieltests auf eine etwas objektivere Basis stellen. Schließlich beschreiben Spieler ihr Spielgefühl mit einem neuen Schläger auf eine Weise, die für uns Techniker oft wenig greifbar ist.“

FRANK FRICK

Innen- leben:

streng geheim!




Foto: BlueBox, Uwe Kraft

Kaum ein Geheimnis wird im Sport strenger gehütet als die Technik in einem Formel-1-Wagen. Die inneren Werte der rund 800 PS (ca. 588 kW) starken Rennwagen bleiben den Fans und vor allem den konkurrierenden Rennteams verborgen. Denn die Neugier der Rivalen geht so weit, dass sie die PS-Zahl der anderen Wagen über die Umdrehungszahlen aus den Auspuffgeräuschen abzuschätzen versuchen.

Um dem eigenen Team exakte Auskünfte zu liefern, stecken in jedem Wagen mehr als 100 Sensoren. Die Sensor-Chips sind oft kaum so groß wie ein Fingernagel. Auf dieser Fläche sind mikroelektronische Schaltungen mit filigranen Messanordnungen kombiniert, die auf der Basis von Halbleitern oder empfindlich reagierenden Materialien zum Beispiel Durchflussmengen und Viskositäten von Flüssigkeiten ermitteln. Manche Sensoren können schnell und zuverlässig chemische Stoffe analysieren. Andere spüren Sauerstoffanteile oder Verunreinigungen in der Motorzuluft oder im Getriebeöl auf. Für

die Analyse von Gasen und Flüssigkeiten werden zunehmend optische Sensoren verwendet, die mit Hilfe von winzigen Lichtquellen auf Halbleiterbasis und modernster Glasfasertechnik arbeiten. Um Verformungen und Bewegungen von Steuerelementen zu erfassen, greifen die Sensor-Entwickler meist auf Piezo-Kristalle zurück, die unter Druck oder Spannung winzige elektrische Spannungen erzeugen. Temperaturänderungen können durch kleine Änderungen des elektrischen Widerstands oder der Kapazität eines Sondenmaterials sehr genau ermittelt werden. Modernste telemetrische Verfahren senden diese Messgrößen an die Techniker – in jeder Runde, bei jeder Boxenpassage rund 4 Megabyte Daten. Nach dem Rennen hält der Bordrechner rund 100 verschiedene Messgrößen zur Auswertung bereit.

Übrigens wäre auch der umgekehrte Weg möglich: Man könnte beispielsweise während des Rennens – von der Box aus – die Anstellwinkel der Spoiler per Funk einstellen. Doch das verbieten strenge Auflagen des Formel-1-Verbands FIA. Schließlich soll der Fahrer das Rennen gewinnen und nicht der Computer.




Der **Motor** eines Formel-1-Wagens besteht aus rund 900 beweglichen Teilen und leistet bei 18 000 Umdrehungen pro Minute um die 588 kW. Jede Einstellung vom Ventil über die Drosselklappe bis zur Zündung muss exakt stimmen. Im Unterschied zu einem normalen Motor werden viele Teile nicht über Federn, sondern pneumatisch gesteuert und bewegt.

Bei den Verbrennungen in den zehn Zylindern mit je maximal fünf Ventilen heizen sich einige Bauteile auf bis zu 300 °C auf, so dass permanent die Temperatur kontrolliert werden muss. Weitere wichtige Messgrößen sind Verdichtung und Mitteldruck am Kolben. Auch die einströmende Luft wird genau analysiert. Eine Elektronik regelt dann das beste Sprit-Luft-Verhältnis.

Jedes Team baut sein eigenes **Getriebe**. Laut Reglement haben die Rennwagen vier bis sieben Vorwärtsgänge plus Rückwärtsgang. Schalten und Kuppeln wie im normalen PKW muss der Formel-1-Pilot nicht. Geschaltet wird über eine Wippe am Lenkrad, den Rest des Schaltvorgangs regelt der Computer. Gemessen werden Drehzahlen, Hydraulikdruck, Reibung, Ölzustand und der Verschleiß der Zahnräder, die stets nur für ein Rennen genutzt werden, um einen Ausfall zu verhindern. Auftretende Torsionskräfte an der Kurbelwelle können durch Piezosensoren erfasst werden.

Im Windkanal bis auf den letzten Bruchteil eines Millimeters ausgetüftelt, muss die **Karosserie** eines Formel-1-Wagens so wenig Windwiderstand wie möglich bieten und gleichzeitig das Fahrzeug mit ausreichendem Abtrieb am Boden halten. Flügelgruppen und Spoiler erzeugen dabei eine so große Bodenhaftung, dass ein 600 Kilogramm schwerer Rennwagen theoretisch bei Tempo 150 an der Decke entlang fahren könnte.



Verschleiß, Luftdruck, Rollreibung und Temperatur gehören während des Rennens zu den wichtigen Messwerten eines **Reifen**, der vorne maximal 270 Millimeter breit sein darf. Für eine optimale, ebenfalls permanent messbare Haftung der speziellen weichen Gummimischungen werden die Reifen vor dem Rennen mit Heizdecken auf rund 80 Grad Celsius vorgewärmt. Nach einer Runde erreichen sie die Betriebstemperatur von 100 °C. Ihre Lebensdauer beträgt etwa 150 km.

Die **Scheibenbremsen** müssen den Wagen in drei Sekunden von Tempo 320 auf 80 abbremsen. Hart, leicht und stabil bis rund 600 °C – diese Anforderungen erfüllen am besten Karbonfasern. Temperatur, Abrieb, Bremsdruck sowie Dichtigkeit der beiden getrennten Kreisläufe für die Bremsflüssigkeit können zuverlässig kontrolliert werden. Der gewünschte Bremsdruck lässt sich sogar variabel einstellen. Trotz aller Kontrollen werden die Bremsen nach jedem Rennen gewechselt.

Jeder Handgriff des **Fahrers** wird während des Rennens von der Box genauestens mitverfolgt. Potentiometer an Gaspedal und Bremse, Videokamera sowie zahlreiche Sensoren am Lenkrad machen ihn zum gläsernen Piloten. Umgekehrt hat der Rennfahrer über sein Lenkrad Zugriff auf eine Auswahl der Messdaten. Hinweise über Funk liefern zusätzliche Analysen des Rennens von der Box.

Das **Tempo** entscheidet über Sieg und Niederlage. Um während des Rennens Höchstgeschwindigkeiten von bis zu 370 Stundenkilometern messen zu können, befinden sich unter dem Fahrbahnbelag alle 200 Meter Signalstreifen, die permanent Abschnitts- und Rundenzeiten messen. Zusätzlich, so vermuten Rennsportexperten, haben einzelne Wagen im hinteren Bereich ein Staurohr, das noch zuverlässiger die aktuelle Geschwindigkeit und auch die lokalen Windgeschwindigkeiten registriert.

Foto: Ferrari

JAN OLIVER LÖFKEN



Foto: dpa

Messgröße: Geometrie eines Werkstückes

Die genaueste Konstruktionszeichnung nützt gar nichts, wenn nachher in der Produktion geschlupft wird. Doch wie soll man die komplizierten Formen beispielsweise in einem fertigen Motorblock nachmessen – und das auch noch schnell und hochgenau? Die Lösung heißt Koordinatenmessgerät (KMG). In der Automobilindustrie (und in allen anderen Bereichen der Industrie, in denen komplizierte Werkstücke entstehen,) gehören die Geräte seit langem zur Standardausrüstung.

Messprinzip: Ein KMG ist dafür eingerichtet, in allen drei Raumrichtungen zu messen. Dazu tastet es das Werkstück punktweise akribisch ab. Normalerweise besitzt ein KMG einen Taster mit einer kleinen Kugel aus Rubin, der von verschiedenen Seiten immer wieder an das Werkstück heranhfährt. Bei der Berührung mit der Werkstückoberfläche werden dann die Maßstäbe aller Maschinenachsen ausgelesen und aus der Vielzahl der Koordinaten errechnet der Computer des Gerätes die Gestalt. Statt eines mechanischen Tasters werden heute immer häufiger schnelle optische Verfahren verwendet, denn in der Industrie gilt natürlich „Zeit ist Geld“.

Was misst ein KMG? So verschieden wie die Werkstücke sind auch die Aufgaben eines KMG. Es ist geeignet für jede Art von Präzisionsmessung geometrischer Größen, an winzig kleinen Teilen

(z. B. Zahnrädern mit Durchmessern von 0,5 mm) bis zu sehr großen und schweren Werkstücken (z. B. Schiffsmotoren mit mehreren Tonnen Gewicht). Darüber hinaus kann es unbekannte Konturen (z. B. bei Karosserieteilen) digitalisieren oder Soll-Ist-Vergleiche mit einem CAD-Datenmodell vornehmen.

Die Aufgabe der PTB: Die Geräte, die in der Industrie zur Qualitätssicherung dienen, müssen ständig auf ihre eigene Qualität überprüft werden. Dies tun die Anwender mit Prüfkörpern, die entweder in einem Laboratorium des DKD (Deutscher Kalibrierdienst) oder – wenn eine hohe Messgenauigkeit gefordert ist – in der PTB kalibriert wurden. Die PTB entwickelt auch zusammen mit Anwendern und Herstellern neue Verfahren und Normale, um die Messgenauigkeit von KMG immer weiter zu erhöhen und den Anwendern eine bessere Kenntnis über die tatsächliche Messunsicherheit ihrer Geräte zu geben. Durch die Arbeit der PTB ist ein KMG eines der ersten Messgeräte, das dem Anwender mit dem Messergebnis auch gleich die Unsicherheit dieses Ergebnisses im Messprotokoll präsentieren kann.

Messgenauigkeit: Die Messunsicherheit hängt von ungezählten Einflussgrößen ab; sie kann von Bruchteilen eines Mikrometers bis zu einem Millimeter betragen.

Boxenstopp

Tu mir ma noch ein Bierchen – das passt schon noch ... sag ich immer. Für eins find' sich immer ein Plätzchen. Heut ist erstmal wieder Formel Eins im Fernseh. Da kommen die Jungs, die trinken was mit. Sacht meine Freundin – Name tut ja nix zur Sache – du könntest auch mal wieder an Boxenstopp. Wieso?, frag ich – erstma keine Ahnung gehabt, was se meint. Aber hätt ich auch echt selbst drauf kommen können. ... Guck mal an dir runter, sacht se, siehst du dein Fahrwerk überhaupt noch? Klar, und außerdem weiß ich doch wohl, wo meine Treter sind und wie die aussehen. Reicht doch. Auswechseln nich nötig!

Aber die Fahrer, wenn man die so im Fernsehen sieht ... nee, das sind ja Hänflinge! Aber je leichter je schneller, is ja klar. Hab gehört, der Mika Salo fährt das Rennen auf'n letzten Tropfen Benzin ... bloß kein Ballast an Bord (der geht garantiert vorher noch strullen). Und die Kontrolle is ja auch streng: Anfang der Saison geht's auf die Waage, Fahrer und Rennkiste werden ja zusammen gewogen. Und von wegen, dann ist die Sache erstma erledigt, ... die können jederzeit wieder überprüft werden. Also da is wohl erstma Schluss mit lustig. Bier gestrichen, jetzt gib's Knabbermörchen, oder wat? Aber Schumi und Kollegen, die haben ja auch 'nen richtig netten Ausgleich und können am Ende mit den Magnumflaschen rumschwalen. Mach ich dat? Ne ... also her mit dem Bierchen!

In so ne Karre zwängen – das ging wohl nich mehr. Wär mir auch doch ein bisschen zu flott, so mit 200 Sachen im Schnitt durch die Gegend. Und hier auf meinem Sofa kann ja eigentlich nix passieren, nich wie gleich in Melbourne beim ersten Rennen der Saison ... einer drüber und der Rest alle ineinander geknallt. Kam ja kaum die Hälfte ins Ziel. – Sacht meine Perle, ja dafür musst du ja auch fit

sein, körperlich fit, damit du die volle Konzentration hast. Ist ja nicht nur wegen dem Risiko und den Gefahren, auch auf die Strafpunkte musse ja aufpassen und nicht mit 70 durch die Boxengasse, wo du nur 60 darfst. Ist ja kein Problem mehr heute, alles genau zu kontrollieren. Naja, für dich anscheinend schon, sacht sie dann und guckt schon wieder so komisch.

Nee, also da platzt mir der Kragen. Okay, sacht ich, Boxenstopp! Du darfst mich vermessen, sacht ich, heb die Arme hoch. – Ich glaub, ich werd auch älter. – Rückt se auch sofort mit Waage un Maßband an. Die Ergebnisse gibt se dann gleich in 'nen Computer ein. Oh-oh, dein Body-Mass-Index (wat für ein Ding???) ... sieht aber gar nicht gut aus. Der Computer sacht auch, du musst an Boxenstopp! Is ja wohl ein schlechter Scherz ... wat willstest denn da auswechseln? Wieso?, fragt se, das war die Kontrolle vor der Saison, jetzt läufst du mir mal fünf Runden um den Block und dann ist wieder Boxenstopp ... Der Mensch is ja gutmütig ...

Nach vier Runden fall ich tot aufs Sofa. Hat se die Zeit gestoppt ...! Gehört dazu, sacht se. Die Lage ist ernst. Und Boxenstopp: Lächerliche Milligramm und Millimeter!! Da weiß der Computer auch nich weiter. – He, du Zuckerschnecke, wat mir fehlt, is nur ein bisschen Training. Gut, sacht se, bis Monte Carlo muss das besser werden ... Schaden kann et nich, sacht ich mir, und steig gleich voll ein: Nächster Tag: fünf Runden ... zwei Wochen später: Kuala Lumpur – noch kein nennenswerter Erfolg ... Imola – schon mehr PS im Fahrwerk, zehn Runden in gleicher Zeit ... Monte Carlo: so gut wie konkurrenzlos in Führung. Montreal – bin endlich auf der Strecke geblitzt worden. Jetzt is aber genug, bin voll konzentriert ... und her mit dem Bierchen!

BIRGIT EHLBECK



Im Banne . . .

Der Hundert-Meter-Lauf ist eine der spannendsten Disziplinen der Leichtathletik: Nach nur zehn Sekunden fällt die Entscheidung über Sieg oder Niederlage, Triumph oder Enttäuschung. Keine Frage, dass die Laufzeiten besonders präzise gemessen werden müssen – zumal es vor Einführung der elektronischen Zeitmessung Kampfrichter gab, die ihren eigenen Messungen nicht trauten.

Armin Hary war Ende der fünfziger Jahre der schnellste Mann der Welt – so schnell, dass es nicht einmal die Kampfrichter glauben konnten. Dreimal musste er den Weltrekord laufen, bis er endlich offiziell anerkannt wurde. Am 6. September 1958 schaffte es Hary zum ersten Mal: Bei einem kleinen Sportfest in Friedrichshafen legte er die hundert Meter in 10,0 Sekunden zurück: 9,9 – 9,9 und 10,0 verkündeten die Stoppuhren der Kampfrichter. Bei dieser Konstellation hätten sie eigentlich 9,9 Sekunden als Laufzeit bekannt geben

müssen, doch das wagten sie nicht. Genauso wenig trauten sich die Veranstalter, den Weltrekord an den Internationalen Leichtathletik-Verband zu melden – offiziell mit der Begründung, die Bahn habe statt der erlaubten zehn eine Neigung von elf Zentimetern über die hundert Meter. Am 21. Juni 1960, bei einem Sportfest im Zürcher Letzigrund-Stadion, kam es noch dicker: Wieder zeigten die Stoppuhren der Kampfrichter Weltrekord an: 10,0 – 10,0 – 9,9 und 9,8 Sekunden. Doch der Starter behauptete, Hary habe einen Fehlstart verursacht, auf den er selbst nicht mit einem zweiten Schuss reagieren konnte, weil die Pistole kaputt war. Hary tobte und zeterte und setzte schließlich durch, dass der Lauf mit einem neuen Starter wiederholt wurde. Wieder lief er schnell wie der Wind und diesmal konnte keiner etwas dagegen sagen: Mit einem Stand von 10,0 – 10,0 – 10,1 und 10,0 gab das Kampfgericht nach längerer Beratung endlich den neuen Weltrekord bekannt: Armin Hary war nun offiziell der erste Mensch, der die hundert Meter in zehn Sekunden gelaufen war.



Foto: Deutsches Uhrenmuseum

Heute wäre so ein Theater nicht mehr möglich: Zeitnehmer und Zielrichter sind durch automatische Zielkameras ersetzt, die Zeit wird vollautomatisch vom Schuss bis zum Zieleinlauf gemessen. Allein den Starter gibt es noch. „Er muss nicht nur schießen, sondern auch schauen, dass alle Läufer ruhig sind



Die Zeitmessung im Wandel der Zeit . . . Die Zeitmessung im Wandel d

1891 St. Louis
Erster Einsatz des „Muybridge-Drahtes“, der über die Ziellinie gespannt wird und bei dessen Abriss die Siegerzeit automatisch gestoppt wird

1912 Stockholm
Erster Einsatz einer Zielkamera

1932 Los Angeles
Stoppuhren lassen sich auf eine Zehntelsekunde genau ablesen. „Two Eyes Camera“, bei der ein Objektiv auf die Ziellinie, ein anderes auf eine Uhr gerichtet ist, wird erstmals eingesetzt.

1948 London
Beim Zieleinlauf wird eine Fotofinish-Kamera benutzt, die permanent aufnimmt.

... der ...



Fotos (4): Swiss Timing

und sich nicht gegenseitig zum Fehlstart verleiten“, erläutert Jan Kern, technischer Direktor des Deutschen Leichtathletik-Verbands. Die Entscheidung über einen Fehlstart fällt der Starter allerdings nicht selbst: Ein Druckmesser an jedem Startblock misst, wann sich der Läufer vom Startblock abdrückt. „Tests haben gezeigt, dass die Reaktionszeit mindestens 130/1000 Sekunden beträgt“, so Kern. „Armin Hary gehörte wohl zu den Läufern mit extrem kurzer Reaktionszeit, er schoss so schnell aus dem Startblock, dass viele das für einen Fehlstart hielten.“ Das Reglement erklärt heute jeden zum Fehlstarter, der schneller als 100/1000, also eine Zehntelsekunde nach dem Startschuss, aus den Blöcken kommt. Im Fall eines Fehlstarts hört der Starter über einen Kopfhörer ein Piepen, so dass er mit einem zweiten Schuss den Lauf abbrechen kann.

Der Schuss kommt mittlerweile nicht mehr aus der Pistole, sondern aus Lautsprechern hinter den Startblöcken. So wird sicher gestellt, dass alle Läufer das Startsignal gleichzeitig hören. Er setzt automatisch die elektronische Zeit- und die Windmessung in Gang. Aus

Übergangszeit (Bild links): Bei den Leichtathletik-Europameisterschaften 1966 in Budapest wurde zum ersten Mal offiziell die Zeit automatisch und elektronisch gestoppt – und daneben auch noch von Hand, zur Absicherung.

der Pistole kommt statt Schall nur etwas Rauch, damit Trainer und andere Interessierte am Ziel per Hand die Zeit stoppen können. Die Zeit- und Zielrichter, die sich zu Harys Zeiten noch auf einer Treppe neben dem Ziel tummelten, haben längst ausgedient. Den Sportlern war die handgestoppte Zeit gar nicht so unlieb – schließlich fällt bei der elektronischen Messung die Reaktionszeit der Kampfrichter weg. Die elektronischen Stoppuhren fangen früher an zu „ticken“, und somit sind mit ihrer Einführung alle Läufer scheinbar langsamer geworden – immerhin um rund eine Viertelsekunde.

Bei Olympischen Spielen und anderen großen Wettkämpfen steht heutzutage auf jeder Seite der Laufbahn eine Zielkamera, die die ersten vier Millimeter der vier Zentimeter breiten Ziellinie und den darüber liegenden Bereich je nach



er Zeit ... Die Zeitmessung im Wandel der Zeit ... Die Zeitmessung im Wand

1952
Helsinki

Für die Zeitmessung werden erstmals Quarzuhren verwendet, die bis auf eine Hundertstelsekunde genau messen. Die offiziellen Ergebnisse werden jedoch immer noch in Zehntelsekunden angegeben.

1964
Innsbruck

Erstmals können die Laufzeiten der Sportler live im Fernsehen gezeigt werden.

1968
Mexico City

Die Zeit bei den Olympischen Sommerspielen wird zum ersten Mal vollautomatisch gemessen; es gibt keine handgestoppten Zeiten mehr. Laufzeiten können jetzt auf Tausendstelsekunden gemessen werden. Das offizielle Ergebnis wird in Hundertstelsekunden angegeben.

... Sekunden

Laufstrecke bis zu tausendmal pro Sekunde fotografiert. Die Zielfotos werden also aus unzähligen winzigen Streifen zusammengesetzt und sehen deshalb manchmal etwas verzerrt aus. „Wenn der Läufer zum Beispiel genau mit dem Fuß auf der Ziellinie steht, dann wirkt der Fuß hinterher unheimlich lang“, erläutert Peter Hürzeler, Marketingdirektor der Schweizer Firma Swiss Timing, die die Zeitmessung bei den Olympischen Spielen durchführt. Per Mausklick können die Kampfrichter am Zielfoto die Brust der einlaufenden Sportler – bei der Leichtathletik der entscheidende Körperteil – markieren und dadurch die „offizielle“ Zeit bestimmen. „Die inoffizielle Zeit, die sofort im Fernsehen und im Stadion angezeigt wird, messen wir mit einer Lichtschranke“, berichtet Hürzeler. Sobald ein Läufer zwei Signale in 1,50 und 1,75 Meter Höhe durchbricht, wird die Zeitmessung gestoppt. Damit nicht vor schnell ein Weltrekord gefeiert wird, liegt die Lichtschranke ein paar Millimeter hinter dem Ziel. „So stellen wir sicher, dass die inoffizielle Zeit immer schlechter ist als die offizielle“, sagt Hürzeler.

Wenn in Vor- oder Zwischenläufen entschieden werden muss, wer eine Runde weiter kommt, zählen manchmal sogar die Tausendstelsekunden, die im offiziellen Ergebnis gar nicht auftauchen. Ob solche winzigen Unterschiede tatsächlich noch reale Leistungsunterschiede wiedergeben, ist dahingestellt. In einer anderen Disziplin, dem 100-

Meter-Freistil-Schwimmen, entschieden die Kampfrichter bei den Olympischen Spielen von Los Angeles 1984 salomonisch: Die zwei Schwimmerinnen, die im Finale bis auf die Hundertstelsekunde gleichzeitig als Erste ankamen, erhielten beide eine Goldmedaille.

UTE KEHSE



„Sekundenrausch – Sport und Zeitmessung“

Eine Sonderausstellung des Deutschen Uhrenmuseums in Furtwangen vom 26. März bis zum 27. Oktober 2002

Öffnungszeiten: Täglich 9.00 Uhr bis 18.00 Uhr
 Adresse: Robert-Gerwig-Platz 1,
 78120 Furtwangen, Telefon (0 77 23) 92 01 17,
 Internet: www.deutsches-uhrenmuseum.de

Messgröße: Zeitintervall				
10 ⁻² s	10 ⁻¹ s	1 s	10 s	
zeitliche Trennung von Ereignissen im menschlichen Gehirn ca. 0,03 s		menschliche Reaktionszeit ca. 0,15 s	menschlicher Herzschlag	Sprintzeit 100-m-Lauf
<p>Wer Zeitintervalle zuverlässig messen will, kann auf relativ einfache Weise seine Stoppuhr mit den Atomuhren der PTB vergleichen, selbst wenn er es „so genau“ dann auch wieder nicht wissen will.</p> <p>Messprinzip: Wie gut eine Stoppuhr ist, verrät der Vergleich mit den Zeit- und Frequenzsignalen des Langwellensenders DCF77 in Mainflingen. Das dortige Sendeprogramm der Zeitzeichen wird von der PTB mit Atomuhren erzeugt. Auf dem Träger mit der Frequenz von exakt 77,5 kHz sind die einzelnen Zeitzeichen in Form von Sekundenmarken aufmoduliert. Um Stoppuhren zu kontrollieren, können sowohl die Trägerfrequenz als auch die Sekundenmarken als „Maßstab“ dienen. Die Genauigkeit der DCF77-Frequenz und der aus ihr ableitbaren Frequenzen übertrifft bei weitem alle Anforderungen, die bei Stoppuhren nötig sind.</p>		<p>Messgerät: DCF-Empfänger mit Frequenzsynthesizer können aus dem Eingangssignal neue Signale – mit gewünschten Frequenzen – erzeugen. So kann eine „synthetisierte“ Frequenz von 0,5 Hz dazu benutzt werden, an einer elektronischen Stoppuhr alle 2 Sekunden den Start- und Stopp-Kontakt auszulösen. Mit höheren Frequenzen lassen sich kleinere Zeitintervalle „abstecken“, mit niedrigeren Frequenzen größere.</p> <p>Messgenauigkeit: Je länger das Zeitintervall, um so höher ist die relative Genauigkeit. Selbst mit einem Empfangsgerät, das Zeitintervalle lediglich auf eine Millisekunde genau liefert, lässt sich die Unsicherheit der internen Taktfrequenz einer Stoppuhr auf 10⁻⁷ angeben – wenn über 10 000 Sekunden gemessen wird.</p> <p>Gesetzliche Grenzen: Die Bauartzulassung von Stoppuhren ist eine zwar seltene, aber gelegentlich noch praktizierte Aufgabe der PTB. Die Eichfehlergrenze ist 0,05 % des Messwerts plus Digitalisierungsfehler.</p>		

Die Zeitmessung im Wandel der Zeit ··· Die Zeitmessung im Wandel

1972 München

Erstmals wird die Reaktionszeit der Sprinter beim Start gemessen.

1976 Montreal

Auf Videomatrixtafeln werden die Zeiten direkt angezeigt.

1988 Seoul

Computergesteuerte Zeitmessung

1992 Albertville

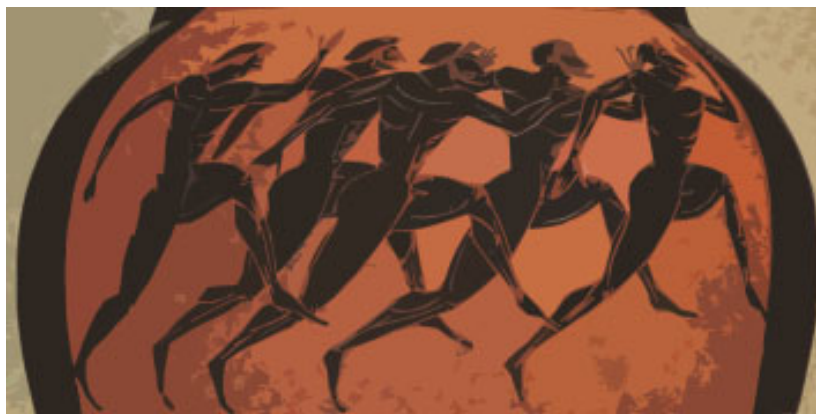
Der Zieleinlauf wird nicht mehr fotografiert, sondern von einer CCD-Kamera gescannt.

Sieg über 20 Stadien



Foto: MEV, Paul Welt

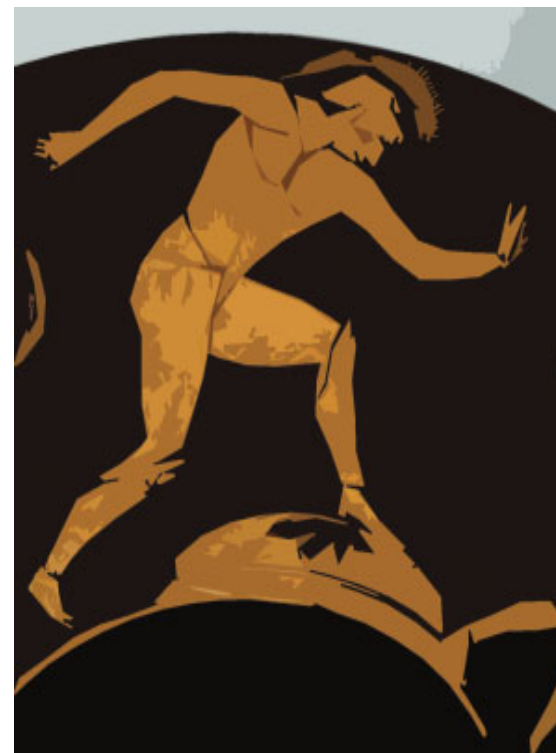
Nackt, muskulös und geschmeidig: So überlieferte die griechische Antike die Körpergestalten ihrer Athleten, die zu den Olympischen Spielen antraten. Man könnte einem von ihnen einen Namen geben, etwa Alkidamos. Vielleicht war er jung im Sommer 256 v. Chr., das ein olympisches Jahr war. Vielleicht auch im Jahr 396 v. Chr. oder 408 v. Chr. In jedem Fall kann er auf eine jahrhundertelange Tradition von Olympia und den anderen panhellenischen Sportfesten in Delphi, Isthmos und Nemea zurückblicken.



Alkidamos' Olympiateilnahme ist schon fast perfekt durchorganisiert. Er reist in die Landschaft der westlichen Peloponnes, wo er sich in der Stadt Elis für die Olympien, die olympischen Spiele, anmeldet. Die Hellanodiken, die die Spiele vorbereiten, begutachten ihn. Vielleicht ist Alkidamos erst 16 oder 17, geht aber, wegen seiner Muskelmasse, schon als Mann durch, was ihn mit Stolz erfüllt. Und dann trainiert er 30 Tage lang im Gymnasion von Elis für Olympia, bevor er nach dem zweiten Vollmond nach der Sommer Sonnenwende mit den anderen Wettkämpfern ins nahe gelegene Olympia kommt. Olympia ist eine alte Kultstätte, unbewohnt zwar, doch mit ständigem Personal belegt, das für die Olympien im Einsatz ist.

Angenommen, Alkidamos will sich in der Disziplin des Laufens versuchen. Da hat er mehrere Möglichkeiten zur Auswahl, nämlich den Dolichos (einen Langstreckenlauf), den Stadionlauf bzw. den doppelten Stadionlauf, den Diaulos (beides eine Art Sprint) oder den Waffenlauf (einen Lauf, der wie die anderen Sportarten nackt ausgeführt wird, jedoch mit Schild, Helm und Beinschienen). Den Marathon kennt Alkidamos hingegen noch nicht als sportliche Disziplin, sondern nur als historisches Ereignis: 490 v. Chr., als die Athener bei Marathon über die Perser gesiegt hatten, lief ein Bote mit der Siegesnachricht von Marathon nach Athen. Der etwa 38 km lange Lauf erschöpfte den Boten derart, dass er in Athen nach dem Ausruf „Wir haben

gesiegt!“ tot zusammenbrach. Bei den olympischen Spielen der Neuzeit wurde im Andenken an dieses Ereignis die Sportart Marathon-Lauf etabliert – zunächst mit eben der genannten Länge. „Die heutige Marathonstrecke von 42,195 km kam durch einen Zufall zustande“, erklärt Wolfgang Decker, Professor für Sportgeschichte an der Deutschen Sporthochschule Köln. „Als 1908 eine Olympiade in England stattfand, betrug die Distanz zwischen dem White City Stadion und dem Windsor Castle 42,195 km. Genau diese Distanz wurde dann für künftige Marathonläufe verbindlich festgeschrieben.“



Alkidamos hat sich vielleicht für den Dolichos entschieden, den Langstreckenlauf, bei dem er 20 Stadien zurücklegen muss. Der Dolichos gehört zu den ältesten olympischen Disziplinen. Er etablierte sich noch im 8. Jahrhundert v. Chr., als die Spiele entstanden (als Stichjahr wird gemeinhin 776 v. Chr. angesetzt). Älter noch, das heißt schon aus vorolympischer Zeit stammend, sind der Stadionlauf, die Kurzstrecke unter den olympischen Laufdisziplinen, und der Diaulos (Doppellauf), bei dem die zweifache Strecke des Stadions zurückgelegt werden musste. Da das antike Stadion keine Rundbahnen hatte, nimmt man an, dass am Ende jeder Laufbahn Holzpfeiler standen, die den Läufern als Wendemarke dienten.



Das „Stadion“ war ein vom „Fuß“ abgeleitetes Maß, der schon für Alkidamos ein uraltes Längenmaß war. Ursprünglich besagte er genau dies: die Länge eines menschlichen Fußes. Da nun aber jeder Mensch unterschiedlich große Füße bzw. Ellen(bogen) und Finger (ebenfalls beliebte Maßeinheiten) hat, suchten die Menschen bereits um 3500 v. Chr. nach einheitlicheren Maßen. Das geschah allerdings weniger im Sport, sondern vorwiegend in einer anderen Disziplin: dem Bauwesen. Bauten aus Trockenziegelmauerwerk erforderten eine halbwegs einheitliche Abmessung der Ziegel. Je unterschiedlicher die Ziegel geformt waren, desto größer war die Gefahr der Baufälligkeit. Um einheitlich große Ziegel zu produzieren, benötigte man zweierlei: einheitliche Maße und darüber hinaus auch Maße, die sich problemlos ineinander umrechnen ließen.

Bei Ausgrabungen in Tepe Yahya, einem Handelsplatz nahe dem Persischen Golf, konnten Archäologen die ersten Maße ermitteln, die in einem offenbar festen Verhältnis zueinander standen: Vier Fingerbreit ergeben eine Handbreit. Vier Handbreit wiederum ergeben einen Fuß. (Damit hat der Fuß 16 Fingerbreit). Dreißig Fingerbreit ergeben eine Elle. (Aus dem teilerfremden Verhältnis von Fingerbreit oder Fuß einerseits und Elle andererseits schließen die Archäologen, dass es vor dieser Zeit um 3500 v. Chr. in Tepe Yahya auch schon Längenmaße mit eigener Tradition gegeben haben muss). In Zahlen ausgedrückt, er-

mittelten die Archäologen für die Elle etwa 517 mm. Dann wäre ein Fingerbreit ungefähr 17 mm und ein Fuß etwa 275 mm. Diese Maße wurden von anderen Kultur natürlich nicht so übernommen. Allein in Griechenland, so schätzen Archäologen, waren vier bis sieben verschiedene Fuß-Maße in Gebrauch. Der Fuß war hier länger als im persischen Tepe Yahya: Er maß in den verschiedenen griechischen Landschaften zwischen 300 mm und 320 mm. Das Stadion hatte eine Abmessung von 600 Fuß. Bei Zurendelegung des längsten Fußmaßes von 320 mm entspräche ein Stadion also etwa 192 m. Der Dolichos, den Alkidamos laufen wollte, war demnach etwa 3840 m lang.

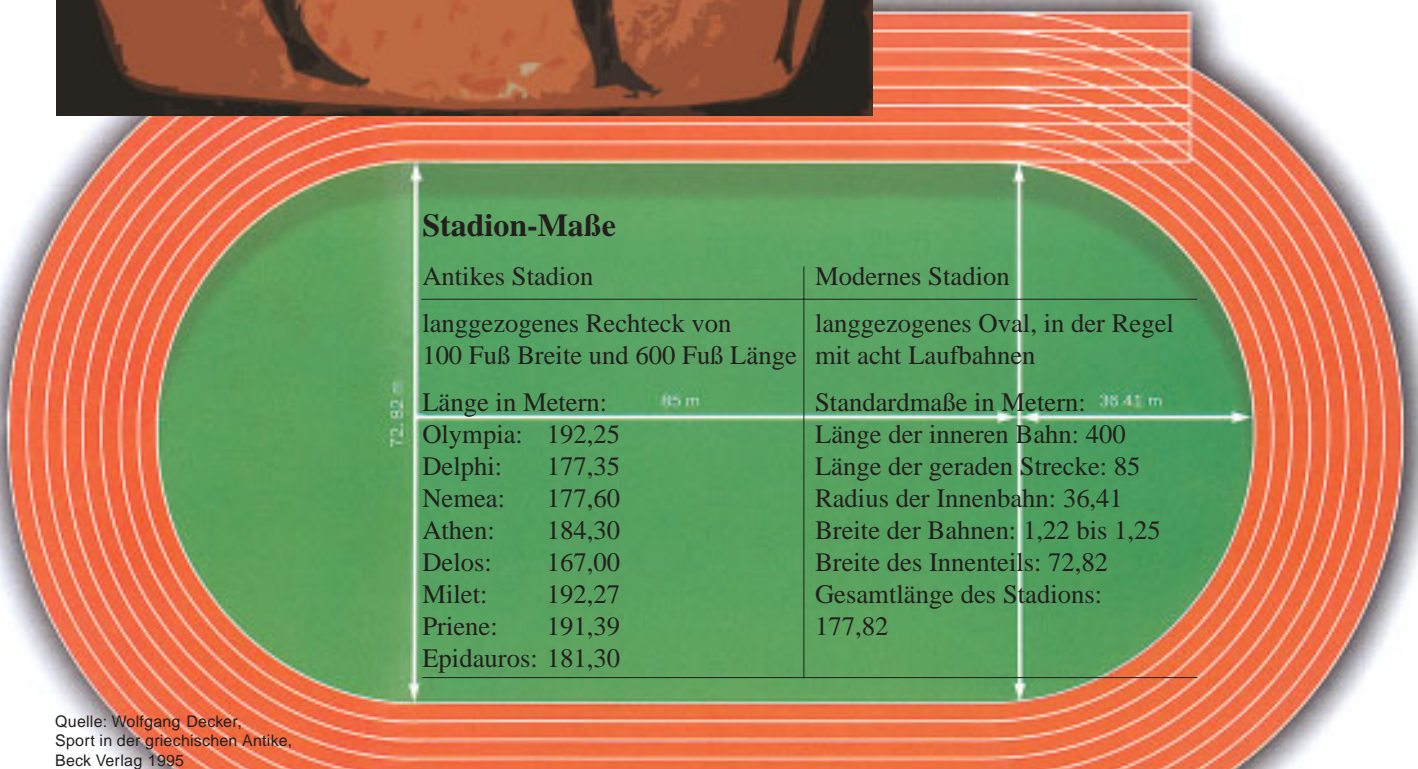
Bei aller Unterschiedlichkeit der Maße: In einem Austragungsort galt ein Maß oder ein Gewicht. „Die lokale Chancengleichheit war absolut gegeben“, betont Decker. Aus den von Ort zu Ort variierenden Maßen ergab sich jedoch ein ganz anderes Sieg-Verständnis, als es heute unter Sportlern verbreitet ist. Weltrekorde konnte es nicht geben, nicht einmal auf die damals bekannte Welt bezogen. Denn die Leistungen konnten wegen der Unterschiedlichkeit der Maße nicht verglichen werden. „Es gab Rekorde, aber nicht als quantifizierbare Leistung“, erklärt der Kölner Sporthistoriker, „sondern in dem Sinne, dass jemand Erster in einer bestimmten Sieges-Konstellation war.“



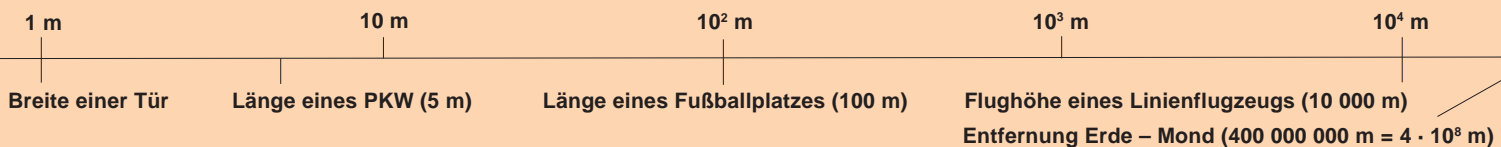


Ein Sieg in Olympia war der größte sportliche Erfolg, den die Athleten in der griechischen Antike erreichen konnten. Darum gibt auch Alkidamos alles, um einen Sieg zu erringen. Angenommen, er schafft es wirklich: Er gewinnt seinen Dolicchos. Dann wird ihm in seiner Heimatstadt ein feierlicher Einzug bereitet, vielleicht baut man ihm auch eine Siegerstatue und zahlt ihm eine ansehnliche Siegerprämie. Und bis an sein Lebensende erhält er eine kostenlose Speisung.

DORIS MARSZK



Messgröße: Länge



Messprinzip: Licht ist ein gutes Mittel um Entfernungen zu messen. Was man noch braucht: Eine Stoppuhr, einen Spiegel und das Wissen um die Lichtgeschwindigkeit. Dann kann die Messung im Prinzip so ablaufen: Von einem Punkt A einen Lichtimpuls losschicken, diesen am Punkt B vom Spiegel reflektieren lassen und wieder im Punkt A auffangen. Wenn gleichzeitig die Stoppuhr mitgelaufen ist, errechnet man die Entfernung von A zu B aus dem Produkt von halber Stoppuhrzeit und Lichtgeschwindigkeit. Distanzen größer als 1 Meter, etwa in der Geodäsie, aber auch im Sport (etwa beim Weitsprung), werden tatsächlich über solche Laufzeitmessungen bestimmt, auch wenn die technische Umsetzung des Prinzips viel Elektronik verlangt.

Elektrooptische Messgeräte: Typische Messgeräte für die „berührungslose“ Distanzmessung (also ohne einen verkörperten Maßstab anzulegen) arbeiten mit Laserlicht, meistens in gepulster Form. In kompakter Bauweise haben die Geräte in etwa die handlichen Ausmaße eines Gameboys. Ihre eingebaute Elektronik arbeitet mit einem Quarzoszillator, der als Taktgeber und mittelbar als Stoppuhr funktioniert. Als „Spiegel“ werden Reflektoren benutzt, die ähnlich dem Katzenauge am Fahrrad

funktionieren und das Licht in dieselbe Richtung zurückwerfen, aus der es gekommen ist.

Messgenauigkeit: Unter idealen Bedingungen können Laufzeitmessungen (im Bereich oberhalb mehrerer Meter) mit einer relativen Unsicherheit von 10⁻⁶ ausgeführt werden; in der Praxis liegt diese zwar eher bei 10⁻⁵, was jedoch immer noch eine Unsicherheit von einem Millimeter auf 100 Meter bedeutet.

Geodätische Basis der PTB: Um unterschiedlichste Längenmessmittel (vom Messband bis zum Laser-Laufzeit-Messgerät) zu prüfen und zu kalibrieren, hat die PTB eine 50-m-Normalstrecke, eine geodätische Basis, aufgebaut. Das zu prüfende Messmittel wird hier mit den Ergebnissen eines Laserinterferometers verglichen, das die Vakuumwellenlänge des Laserlichts als Referenz liefert. Da normalerweise nicht im Vakuum gemessen wird, müssen auch die Luftparameter (hauptsächlich Temperatur und Luftdruck) erfasst werden. Denn von ihnen hängt die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts ab.

Marathon-Mess-Marken

Maloche, Mühe, Mattigkeit –
verfluchtes, ungestilltes Verlangen

Da war sie wieder, die Schar von „Verrückten“, die sich an einem beliebigen Wochenende traf. Man wollte gemeinsam – und doch jeder für sich allein – einen Marathon feiern. Es sind Tausende, die sich so Woche für Woche treffen: Sich zu malträtieren, sich zu quälen, zu leiden. Jedoch auch, um sich und anderen zu beweisen, dass man monate-, oft jahrelang nicht umsonst in Schweiß gebadet hatte.

Nach 15 Jahren Enthaltensamkeit suchte ich mir einen „kleinen“ Wettkampf mit nicht mehr als etwa 100 Aktivisten aus. Es sollte gemütlich zugehen und ich wollte die Zeit laufen, die ich mir nach einigen Fitness-Tests und meinem derzeitigen Trainingszustand ausgerechnet hatte.

Beim Start das Übliche: Man war viel zu schnell. Und etwas kam noch dazu: Obwohl ich den vom Training gewohnten Brustgurt meiner Pulsuhr nicht benutzte (ich wollte mich nur nach Zwischenzeiten orientieren), wurden mir sämtliche Pulse hautnaher Laufnachbarn angezeigt.

Wenn man sowieso eine neue Stoppuhr braucht, sollte man sich gleich zum Kauf einer Pulsuhr entschließen. Diese vereinigt die Zeitmessung (auf 1/100 s genau) mit der Bestimmung des Pulses. Man schnallt sich den Brustgurt um und über zwei in Schweiß schwimmende leitfähige Gummipolster wird der Puls ständig abgetastet und mittels eines kleinen Infrarotsenders mit EKG-Genauigkeit an die Uhr übermittelt.

Nach fünf Kilometern hatte ich meinen Laufrhythmus gefunden. Es galt sich zu bremsen, um die Marschtabelle (auf einem Zettel im wasserdichten Brustbeutel!) einzuhalten.

Etwa bei Kilometer Zehn überholte mich ein Läufer mit der Startnummer „69“. Er war mit nacktem

Allgemeine Fitness-Tests

Body-Mass-Index (BMI):



Länge l
in Metern

Masse m
in kg

$$\text{BMI} = m/l^2$$

< 19 Untergewicht

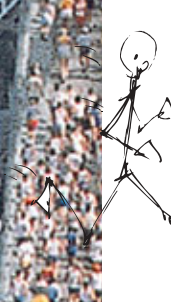
19 bis 24 ideal

25 bis 30 leichtes
Übergewicht

> 30 Übergewicht

Der Body-Mass-Index wird ermittelt, indem man die in Kilogramm gemessene Körpermasse m durch das Quadrat der Körperlänge l in Metern teilt.

Erholungspuls (Nachbelastungspuls):



3 min



Pulsmessung
nach dem Training
und 3 min später!

Rückbildung:

10 % schlecht

20 % gut

30 % sehr gut

Cooper-Test (für Fortgeschrittene):

12 min maximal laufen!

< 1600 m sehr schlecht

(2000 bis 2400) m mittel

> 2800 m sehr gut

Weitere Tests, etwas komplizierter in der Auswertung, sind der Harvard-Step-Test (Stuhlsteigen) und der Finnische 2-km-Walking-Test.

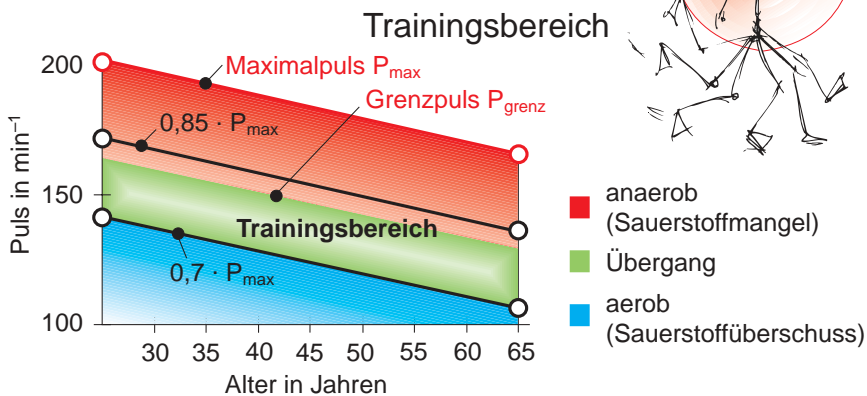
Will man seine körperliche Fitness etwas genauer ermitteln, kann man sich speziellen Labortests unterziehen (z. B. dem Laktat- oder dem Conconi-Test, die beide auf Seite 32 beschrieben sind).

Trainingsgrundlagen



Ruhepuls P_0 :
gemessen bei absoluter Ruhe (am besten morgens noch vor dem Aufstehen). Er liegt zwischen 50 und 80 Schlägen pro Minute (bei Leistungssportlern bis 30)

Maximalpuls P_{max} :
Puls, den man maximal bei höchster körperlicher Belastung für kurze Zeit erreichen kann (z. B. bei Todesangst!)



Oberkörper unterwegs. Erst jetzt wurde mir klar, wie heiß es heute war. Die Laufstrecke führte an einem Kanal entlang, ließ Schatten nicht zu. So musste man sich disziplinieren, regelmäßig zu trinken, sollte mit einem niedrigeren Grenzpuls als gewöhnlich rechnen.

Die „69“ ist meine Zahl, seit ich vor vielen Jahren ein Segelboot mit eben dieser Nummer besessen hatte. Seitdem verfolgt sie mich überall hin (oder besser: Sie fällt mir ständig auf).

Der Grenzpuls wird erreicht, wenn der Körper anfängt, eine „Sauerstoffschuld“ einzugehen (Übergang vom aeroben zum anaeroben Zustand). Die Energieversorgung der Zellen schaltet (fließend) von Fett- auf Zuckerverbrennung um. Die Muskeln werden nicht mehr ausreichend mit Sauerstoff versorgt und Körperreserven angegriffen. Man sollte als Freizeitsportler bei Dauerbelastung diese Grenze möglichst nicht, und wenn, dann nur kurzfristig überschreiten. Beim Training mit der Intervall-Methode z. B. erwirbt man sich durch gezieltes Überschreiten eine gewisse Wettkampfhärte.

Nach der Hälfte der Distanz hatte ich meinen Zeitplan um ein paar Minuten unterschritten, merkte aber erst jetzt so richtig, dass auf der Rücktour mit starkem Gegenwind zu rechnen war. Das bedeutete Kampf: Sich an voraus liegende Läufer heranzuarbeiten, an Überholenden dranzubleiben. Etwa eine halbe Stunde lang war ich damit beschäftigt, einen auf dem Kanal fahrenden ca. 30 m langen Schleppkahn zu überholen; was mir schließlich auch gelang.

Beim Begegnen mit anderen Läufern feuerte man sich gegenseitig an, um letzte Reserven aus den Körpern herauszuholen. Etwa 10 km vor dem Ziel kam der „tote Punkt“ und es machte sich bezahlt, dass man im Training mit der Pulsuhr schon solche Strecken überstanden hatte und mental vorbereitet war. Jetzt galt es, sich zu zwingen, nicht aufzugeben.

Training mit der Pulsuhr

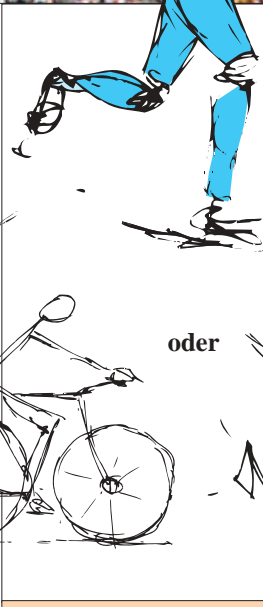


Beim Laktat-Test wird auf dem Ergometer (Fahrrad) die Belastung (in W) oder auf dem Laufband die Laufgeschwindigkeit (in m/s) in Stufen stetig bis zur Erschöpfung erhöht. Nach ständiger Blutentnahme wird die Laktat-Konzentration (in mmol/L) ermittelt. Sie ist ein Maß für die Menge an Milchsäure und damit für den Erschöpfungszustand der Muskeln. Bei den meisten Menschen liegt der Übergang zum anaeroben Zustand (der Grenz-puls P_{grenz}) bei einer Laktat-Konzentration von etwa 4 mmol/L.

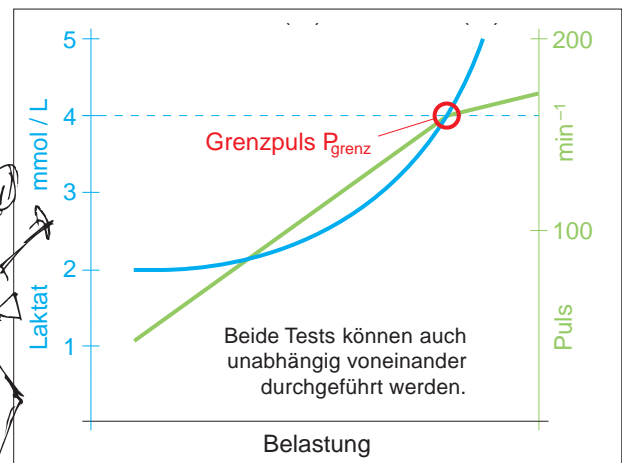
Der Conconi-Test wird wie der Laktat-Test durchgeführt. Dabei wird bei steigender Belastung ständig der Puls gemessen. Beim Erreichen des Grenz-pulses weist die Puls-kurve einen Knick auf.

Die letzten der 42,195 Kilometer waren ein Martyrium. Die Sonne brannte während der Mittagszeit bestialisch. Zahlreicher werdende Anfeuerungsrufe im Zielbereich nahm man nur noch wie durch einen Schleier wahr. Nach 3:57:06 h kam die Erlösung. Es dauerte eine Weile, bis ich mich erholt hatte und Beifall spenden konnte für den Sieger in meiner Altersklasse, mit der Startnummer „Neunundsechzig“.

JÖRN-UWE BARZ



Laktat-Test (blau); Conconi-Test (grün):



Messgröße: mechanische Leistung		
10 W	100 W	1000 W
Reha-Patient: 50 W	Normalbürger: 150 W	Spitzensportler: 500 W
Belastungen auf dem Fahrradergometer über ca. 5 min		

Leistung ist die pro Zeiteinheit vollbrachte Arbeit: Ein Vorgang „kostet“ die Leistung von einem Watt, wenn in einer Sekunde die Arbeit von einem Joule verrichtet wird.

Messgerät: In welcher körperlichen Verfassung sich ein Mensch befindet, verrät ein Belastungstest auf dem Ergometer. Auf diesem fahrradähnlichen Gebilde muss der Patient gegen eine gewählte Bremsleistung des Geräts antreten. Aus der Art der Änderung der Pulsfrequenz, des Blutdrucks, der Sauerstoffsättigung usw. kann der Arzt auf die körperliche Leistungsfähigkeit schließen.

Messprinzip: Die vom Ergometer aufgenommene Leistung wird bestimmt aus dem Produkt des Bremsmoments an der Tretkurbelachse und deren Drehzahl. Der Messbereich liegt typisch zwischen 25 W und 400 W bei Umdrehungen von 40 bis 100 pro Minute.

Messgenauigkeit: Die maximale Messabweichung der Leistung des Ergometers darf 5 % nicht überschreiten. Der Hersteller oder der messtechnische Dienst benutzt zur Prüfung der Ergometer Messgeräte (Prüfmittel), deren Messabweichung kleiner als 2 % sind. Zur Prüfung dieser Messgeräte benutzt die PTB ein Normal, dessen Messabweichung unter 0,6 % liegt.

Medizinproduktegesetz: Bis vor einigen Jahren erhielt jedes neue Ergometermodell eine Bauartzulassung durch die PTB. Das jetzt gültige Medizinproduktegesetz verlagert die Verantwortung stärker auf den Hersteller. Die PTB prüft nunmehr die Prüfmittel für Ergometer und ist „Schiedsstelle“ bei messtechnischen Fragen.



Foto: Photopool, Edgar R. Schoepel

Verräterische Spuren

Ein Interview mit Prof. Wilhelm Schänzer, Leiter des Instituts für Biochemie der Deutschen Sporthochschule Köln. Schänzer war mit seinem Institut – das vom Internationalen Olympischen Komitee als Labor für Dopinganalytik akkreditiert ist – an der Aufdeckung so mancher berühmt gewordener Dopingfälle beteiligt.

Frage: Sie waren es, der in Dieter Baumanns Zahnpastatube das Dopingmittel Nandrolon entdeckte. Welche Methoden haben Sie dabei angewendet, und wie gehen Sie bei der Suche nach Dopingsubstanzen vor?

Schänzer: Es waren herkömmliche Methoden der Spurenanalytik: eine Kombination aus Gaschromatographie und Massenspektrometrie. Damit suchen wir im Urin eines Athleten nach bestimmten Substanzen oder deren Abbauprodukten. Man muss zwischen qualitativer und quantitativer Analyse unterscheiden. Qualitativ

Endlich einmal im Rampenlicht stehen – dieser Wunsch ist oft stärker als alle Gefahren und Verbote.

bedeutet: Wir identifizieren eine Substanz. Quantitativ heißt: Wir zeigen, dass die Konzentration eines Stoffes oberhalb eines Grenzwertes liegt.

Warum reicht es nicht aus, eine verbotene Substanz im Urin aufzufinden, unabhängig von deren Konzentration?

Meist reicht tatsächlich der qualitative Nachweis. Doch bei zwölf Substanzen gibt es Grenzwerte. Koffein finden wir zum Beispiel in nahezu jeder Probe, weil es in Kaffee, Tee und Cola enthalten ist. Doch natürlich will niemand, dass Sportler mit normalem Konsum an diesen Getränken als gedopt gelten. Andererseits will man einen ausgedehnten Missbrauch von Koffein verhindern. Also wurde ein Grenzwert festgelegt.

Und wie ist es mit den Dopingsubstanzen, die auch natürlicherweise vom menschlichen Körper hergestellt werden?

Hier differenzieren wir mit Hilfe der Grenzwerte, ob die Substanz vom Körper selbst produziert oder durch Doping zugeführt wurde. Ein Beispiel ist das anabole Steroid Testosteron. Zum Dopingnachweis bestimmen wir den Quotienten aus der Testosteron- und der Epitestosteron-Konzentration. Epitestosteron ist dem Testosteron von der chemischen Struktur her sehr ähnlich und wird ebenfalls im Körper produziert. Dopt ein Sportler mit Testosteron, scheidet er es vermehrt im Urin aus, während der Epitestosteron-Gehalt konstant bleibt. Dann ist der Quotient vergleichsweise hoch. Ist er größer als 6, so gilt der Athlet als überführt. Allerdings nur, wenn der überhöhte Wert nicht auf eine Krankheit oder eine andere körperliche Ausnahmesituation zurückgeführt werden kann.

Dieter Baumann, Olympiasieger über 5000 m 1992 in Barcelona und erklärter Doping-Gegner, wird Ende 1999 wegen Dopingverdachts für zwei Jahre gesperrt. Die Ursache: Nandrolon in einer Zahnpastatube. Ob Baumann sie selbst besorgt hat oder ob sie ihm böswillig untergejubelt wurde, konnte bisher nicht geklärt werden.



Foto: Photopool, Sven Simon

Das klingt so, als seien diese Ergebnisse nicht immer ganz eindeutig. Stimmt. Wir wenden deshalb noch eine andere Methode an, um zwischen körpereigenem und zugeführtem Testosteron zu unterscheiden: die Isotopen-Massenspektrometrie. Damit ermitteln wir sehr genau das Verhältnis von Kohlenstoff-13 zu Kohlenstoff-12 (Kohlenstoff-13 besitzt ein Neutron mehr in jedem Atomkern und deshalb eine höhere Masse) im Testosteron der



Foto: dpa

Eine Zeitung nannte ihn den „Schwarzen Peter“ der Leichtathletik: Ben Johnson. 1988 in Seoul zum ersten Mal des Dopings überführt, folgte 1993 beim zweiten Verstoß gegen die Gesetze die Sperre auf Lebenszeit. Nach dem Fall Ben Johnson wurde die Kontrolle der Athleten verstärkt (unangekündigte Trainingskontrollen, allerdings nicht in allen Ländern). Der Anabolikamissbrauch ging danach deutlich zurück, die Leistungen in verschiedenen Sportarten (v. a. in der Leichtathletik) ebenfalls.

Noch jubelt sie: Die Russin Larissa Lazutina siegte in Salt Lake City 2002 beim 30-km-Langlauf. Kurz darauf wurde sie wegen Dopings mit dem Mittel Darbepoetin alfa (das dem Blutdopingmittel EPO verwandt ist) disqualifiziert. Damit sorgte sie, zusammen mit zwei anderen Sportlern, für den bisher jüngsten olympischen Dopingskandal.



Foto: Photopool, Sven Simon

Urinprobe. Dieses vergleichen wir mit dem entsprechenden Isotopen-Verhältnis bei bestimmten Testosteron-Vorläufer-Substanzen in derselben Urinprobe. Weichen die Verhältnisse voneinander ab, wurde mit Testosteron-Präparaten gedopt. Das Ergebnis ist eindeutig und justitiabel. Aber die Isotopentechnik ist sehr aufwändig. Wir können sie noch nicht routinemäßig für Tausende von Proben einsetzen.

Warum wird überhaupt Urin untersucht und nicht Blut?

Fast alle Dopingsubstanzen werden im Urin verstärkt ausgeschieden. Das heißt, wir haben eine Aufkonzentrierung. Deshalb ist Doping im Urin auch länger nachweisbar als im Blut: Bestimmte Substanzen finden wir im Blut nach einem Tag nicht mehr, im Urin können wir sie dagegen noch sieben bis zehn Tage später entdecken.

Warum wurden dann bei den diesjährigen Olympischen Winterspielen und den Sommerspielen in Sydney auch Bluttests eingesetzt?

Die Blutkontrollen dienten dazu, Sportler des EPO- oder Darbepoetin-Missbrauchs zu überführen. Wurden beim Bluttest Auffälligkeiten registriert, so gab der Athlet eine weitere Blutprobe sowie eine Urinprobe ab. Bestätigten sich die Auffälligkeiten in der zweiten Blutprobe, so wurde die Urinprobe analysiert. Der endgültige Doping-Nachweis erfolgt also auch hier mit einem Urintest.

Mit welchen Substanzen wird am häufigsten gedopt und welche Sportarten sind besonders oft betroffen?

Bei den weltweiten Kontrollen wurden bisher besonders häufig anabole Steroide gefunden. Anfällig dafür sind alle Sportarten, in denen eine Verbesserung der Kraftwerte auch zu einer Leistungssteigerung führt, also Gewichtheben, Leichtathletik, Schwimmen, Radsport und viele andere.

Um welche Konzentrationen geht es in der Dopinganalytik?

Manche Substanzen haben nur dann eine Wirkung, wenn sie während des Wettkampfes in verhältnismäßig hoher Konzentration im Blut vorliegen. Dazu zählen beispielsweise die Stimulanzien. Sie werden dann auch in verhältnismäßig großen Mengen ausgeschieden: Es finden sich dann einige Mikrogramm in jedem Milliliter Urin. Wenn eine Substanz auch in der Trainingsphase verboten ist, dann arbeiten wir möglichst empfindlich. So weisen wir beispielsweise anabole Steroide noch nach, wenn sie nur in einer Konzentration von wenigen Nanogramm pro Milliliter im Urin vorkommen. Schließlich wollen wir auch Anabolika-Einnahme aufdecken, wenn sie schon einige Zeit zurückliegt.

Sind theoretisch nicht noch kleinere Konzentrationen nachweisbar?

Von den Geräten her könnten wir sogar Mengen im Piko- oder sogar Femtogramm-Bereich nachweisen. Entscheidend ist, wie wir die Proben aufbereiten. Da können wir die Nachweisempfindlichkeit möglicherweise noch steigern, aber wir müssen auch effektiv arbeiten. Der beste Kompromiss liegt bisher im unteren Nanogramm-Bereich. Wichtige Ausnahme ist das Erythropoietin – EPO –, von dem tatsächlich nur Pikogramm-Konzentrationen im Urin vorliegen.

EPO ist auch eine Dopingsubstanz, die vom Körper selbst produziert werden kann. Unter anderem deshalb galt sie lange Zeit als nicht nachweisbar.

Wie gelingt es heute, EPO-Sünder zu überführen?

EPO ist ein Proteinmolekül mit einem hohen Anteil an Zuckerketten. Beim EPO in medizinischen Produkten, das gentechnisch hergestellt wird, unterscheiden sich die Zuckerketten minimal vom menschlichen EPO. Diesen Unterschied macht sich die Dopinganalytik zu Nutze.



Foto: dpa

Tour de France, 13. Juli 1967: Der 30-jährige Engländer Tom Simpson sinkt in der glühenden Sonne an den Wegrand. Er stirbt Stunden später im Krankenhaus von Avignon. Die Todesursache ist Herzversagen, bei der Obduktion stellt man eine Mischung aus Amphetaminen und Alkohol fest. Nach Simpsons Tod wurden im Radsport regelmäßige Dopingkontrollen eingeführt.

Menschliches EPO ist also nicht auf dem Markt erhältlich?
 Noch nicht. Es gibt Pharmafirmen, die versuchen, EPO auf Humanzelllinie zu entwickeln. Gelingt das, haben wir ein neues Problem.

Finden Sie nicht, dass der Kampf gegen das Doping und letztlich auch Ihre Arbeit dem sprichwörtlichen Rennen zwischen Hase und Igel gleicht?

Hase und Igel ist in gewisser Weise schon der richtige Ausdruck. Tatsächlich gehen wir nicht gegen alle Dopingmethoden vor, die theoretisch möglich sind, sondern nur gegen jene, die ein Athlet tatsächlich eingesetzt hat. Insofern reagieren wir immer nur. Jedes andere Vorgehen würde unsere Arbeit sprengen. Doch ich sehe das nicht so tragisch und eher wie einen sportlichen Wettkampf. Weil wir die Analysemethoden ständig verbessern und neue entwickeln müssen, wird die Arbeit im Dopinglabor nie zu reiner Routine werden.

FRANK FRICK

Messgröße: Konzentration			
10 ⁻¹² (piko) g/ml	10 ⁻⁹ (nano = milliardstel) g/ml	10 ⁻⁶ (mikro = millionstel) g/ml	10 ⁻³ (milli) g/ml
EPO im Urin (einige Pikogramm/ml)	Anabolika im Urin (wenige Nanogramm/ml)	Stimulanzien (z. B. Koffein) im Urin (einige Mikrogramm/ml)	Glucose, Cholesterin im Blutserum (etwa (1 bis 3) mg/ml)
<p>Messgeräte: Immer wenn die Analytiker Substanzen in Blut oder Urin (oder einer anderen Flüssigkeit) besonders fein nachweisen wollen, kommt die Massenspektrometrie ins Spiel – häufig in Kombination mit der Gas-Chromatographie. In der PTB dienen diese Geräte dazu, sozusagen den obersten Standard für Analysegeräte zu setzen. Sie messen besonders fein und werden als Kontrollgeräte eingesetzt, um andere Analysegeräte zu überprüfen. Außerdem beteiligt sich die PTB an internationalen Vergleichsmessungen.</p> <p>Messprinzip: Im Gas-Chromatographen werden die einzelnen Bestandteile in der Probe voneinander getrennt. Die Stoffe gelangen hintereinander ins Massenspektrometer, wo ihre Masse bestimmt wird (aus der man dann leicht die Konzentration – Masse durch Volumen – errechnen kann). Dazu müssen erst (z. B. durch Beschuss mit Elektronen) die Moleküle in Ionen umgewandelt werden. Die Ionen gelangen in ein Magnetfeld, wo sie nach Ladung und Masse sortiert werden. Manchmal zerfallen sie beim Beschuss auch in ihre Bestandteile (Fragmente). Das Muster dieser Fragmente ist für eine Substanz ähnlich charakteristisch wie ein Fingerabdruck für einen Menschen.</p> <p>Messgenauigkeit: Die Richtlinien der Bundesärztekammer schreiben für ein medizinisches Analyselabor vor, dass beispielsweise Glucose in Serum mit einer maximalen Messabweichung (des Einzelwertes) von 15 % bestimmt werden muss. In der PTB liegt die Messunsicherheit für diese Aufgabe bei 1,5 %.</p>	<p>Was ist Doping? Dopingdefinition des IOC: Doping ist die Verwendung von <i>Substanzen</i> aus den <i>verbotenen</i> Wirkstoffgruppen und die Anwendung <i>verbotener Methoden</i>.</p> <p>Verbotene Substanzen:</p> <p>Stimulanzien: z. B. Amphetamin, Kokain, Koffein Missbrauchsgründe: stimulierend, hemmt Ermüdungserscheinungen Nebenwirkungen: Halluzinationen, psychische Abhängigkeit, Blutdruckanstieg, Herzinfarkt, Atemlähmung, Tod u. a.</p> <p>Narkotika: Morphin und chemische Verwandte Missbrauchsgrund: Schmerzunterdrückung Nebenwirkungen: Abhängigkeit, Übelkeit, Schwindel, Atemlähmung, Kreislaufkollaps u. a.</p> <p>Anabole Wirkstoffe: z. B. Nandrolon, Stanozolol, Testosteron, Clenbuterol Missbrauchsgrund: verstärkter Muskelaufbau Nebenwirkungen: Akne, vermehrte Wassereinlagerung, Schädigung Herz-Kreislauf-System, der Leber u. a.</p> <p>Diuretika (harntreibende Substanzen): Missbrauchsgründe: Verschleierung anderer Dopingmittel oder Reduktion des Körpergewichts (niedrigere Gewichtsklasse) Nebenwirkungen: Blutdruckabfall, Herzrhythmusstörungen</p> <p>Peptidhormone: z. B. Erythropoietin (EPO), Wachstumshormon Missbrauchsgründe: vermehrte Bildung von roten Blutkörperchen, höhere Ausdauerleistung Nebenwirkungen: Blutdruckerhöhung, Thrombosegefahr u. a.</p> <p>Verbotene Methoden: Blutdoping, Plasmaexpander</p> <p>Eingeschränkt zugelassen: Alkohol, Cannabis (Haschisch) und chemische Verwandte, Lokalanesthetika, Cortison und chemische Verwandte, Betablocker</p>		

Das Eckige muss ins Runde

Was einem Fußballprofi so vor die Füße kommt, ist nicht einfach ein Ball. Mit einem schönen Ball, gar noch aus Leder, mussten die Altvorderen wie Fritz Walter oder Uwe Seeler spielen. Was dagegen die Beckhams, Figos und Zidanes da am Gegner vorbei dribbeln, um Mauern herum zirkeln und mit dem Kopf ins Tor hinein wuchten, ist ein Hightech-Produkt aus Kunststoff. Der Ball von heute stammt aus dem Labor.

Und tatsächlich! Ein Türschild „Ball-Labor“ auf dem Firmengelände von adidas im fränkischen Scheinfeld weist darauf hin, dass Fußbälle nicht nur zum Treten, sondern auch zum Forschen gut sind. Eine Mannschaft von Labortechnikern und Ingenieuren geht hier, nach der verbalen Steilvorlage von Uwe Seeler, wonach das Geheimnis des Fußballs ja der Ball sei, den Bedingungen des Balls nach. Bedingungen übrigens, die vorwiegend in den verwendeten Materialien und ihrer Verarbeitung liegen. Diese Materialien sind im Wesentlichen Kunststoffe, so genannte Polymere. Eine Werkstoffgruppe mit schönen, aber zugleich komplizierten Eigenschaften. Oder wie es Marcus Kürner, Laborleiter des Ball-Labors sagt: „Wer mit polymeren Werkstoffen arbeitet, betreibt immer auch Alchemie.“ So wundert es nicht, dass am fertigen Objekt geprüft sein will, was die Materialforscher ausgetüfelt haben, und im Zentrum des Ball-Labors eine Art Zirkel-Training für Bälle steht: eine Teststrecke, die jeder Ball, der seriöses Spielgerät sein will, zu überstehen hat. Erst wenn der Prototyp eines neuen Balls alle Tests erfolgreich bestanden hat, läuft die Massenproduktion an, die sich, wie im Falle des neuen Balls für die Fußballweltmeisterschaft 2002 in Japan und Südkorea, auf rund 800 Stück pro Tag beläuft.

JENS SIMON

Der Ball an sich ist ein **Sandwich**. Seine Außenhaut besteht aus unterschiedlichen Lagen: Auf die innerste Lage Latex kommen zwei Schichten so genannter „Raschelware“ eines Polyesterwebes und darauf als Ballhülle eine Schicht Polyurethan mit Millionen von gasgefüllten Mikrokügelchen. Die genauen chemischen Zusammensetzungen der Lagen fallen unter das Stichwort „Firmengeheimnis“, denn in diesen Lagen ist das jeweils Neue, ist die „Magie des Balls“ versteckt.

Wassertest
Ein Ball darf kein Schwamm sein. Aber bis zu 50 g Wasser saugt auch der beste Polyurethan-Ball auf, wenn er im maschinellen Belastungstest immer wieder und von allen Seiten in eine Pfütze gepresst wird.

Flugtest
Das Roboterbein leistet, was kein Ballprofi nachmachen könnte: einen Ball immer wieder, mit gleicher Kraft, an exakt dieselbe Stelle treten. Highspeed-Kameras nehmen die Flugkurven auf, die sich möglichst alle gleichen. Beim Torwandschießen, im Duell Mensch gegen Maschine, würde immer das Roboterbein gewinnen.

Rücksprungtest
Ein Ball muss auch hüpfen können. Wie er das tut, verraten die Kraftaufnehmer in einer Sensorplatte, auf welche der Ball aus 2 m Höhe fallengelassen wird. Dabei darf der Ball nicht „zu lebendig“ hüpfen, denn er soll zwar beim Schuss möglichst elastisch sein, aber beim Dribbeln „am Fuß kleben“.

Simulierte Alterung

Eine römische Sauna besonderer Art (Temperatur 70 °C, Luftfeuchtigkeit 94 %) macht aus einem neuen Ball im Zeitraffer von wenigen Tagen einen alten Ball, der eine ganze Spielsaison hinter sich zu haben scheint.

UV-Test

Sonnenbräune und faltige Haut ist das, was ein Ball nicht bekommen darf, egal, wo er gespielt wird. Und so muss die Ballhaut vor und nach dem Strahlungstest identisch sein; das Material darf nicht vergilben und nicht verspröden.

Ball-Evolution

Den Leder-Ball, der bis Anfang der 80er Jahre gespielt wurde, löste der vollsynthetische, aber handgenähte Polyurethan-Ball ab, der bis heute im Spiel ist. Und morgen: Der maschinengenähte Ball, um dessen innere Latexblase sich ein einzelner, kilometerlanger Faden wickelt. Ein solcher Ball wird nie „unrund“.

Maximaler Stress

Im Shooter zeigt sich, ob ein Ball dem harten Alltagsleben auf dem Platz gewachsen sein wird. Zwei rotierende Walzen in einem Gitterkäfig pressen den Ball zusammen und donnern ihn mit rund 60 km/h gegen eine Metallplatte. Dort prallt er ab und landet wieder in den Fängen der Walzen, die ihn erneut „treten“ – 4800-mal in vier Stunden. Erst was hier heil heraus kommt, darf sich seriöses Sportgerät nennen.

Liebblings-Testmaschine

„Ob ein Ball tot oder lebendig ist, lässt sich nicht immer messen. Man muss es fühlen. Meine Lieblings-Testmaschine? Ich selbst!“
Labortechniker, adidas

Österreich bei der WM 2002

Zwar hat sich die österreichische Fußball-Nationalmannschaft nicht für die WM in Japan und Südkorea qualifiziert. Aber ein österreichischer Vertreter ist bei jedem Spiel dabei, denn die Rohstoffe des WM-Balls (Lieferant: Bayer AG, Leverkusen) werden von den Österreichischen Linoleum-, Wachstuch- und Kunstlederfabriken zu Kunststoffplatten verarbeitet und dann nach Scheinfeld geschickt.

Ins Eckige

70 mal 100 Zentimeter messen die Platten, aus denen einmal Bälle werden sollen. Eine Maschine zerstanzt die mit dem Balldesign bedruckten Platten entweder in rund 80 Sechsecke oder 100 Fünfecke.

Endkontrolle

An jedem Ball wird Maß genommen: Stimmen Gewicht und Umfang? Denn die FIFA-Regeln sind eindeutig und streng. Zugelassen sind nur Bälle, die zwischen 420 und 445 Gramm wiegen und einen Umfang zwischen 68,5 und 69,5 Zentimeter haben.

Rundungsmaschine

Wirklich rund wird der Ball erst auf der letzten Station seiner Produktionsreise. Zwei metallische Halbkugeln schließen sich hier um den Ball. Bei Temperaturen um 70 °C wird der Ball in seinem Metallmantel auf 4 bar aufgepumpt. 90 Sekunden muss er Druck und Temperatur standhalten. Dann wird der Innendruck des Balls auf 0,8 bar reduziert, die Metallhalbkugeln öffnen sich und der Ball ist, was er sein soll: rund.

Letzte Naht

Damit die Nähte des Balls innen liegen, wird – wie bei jeder Schneiderarbeit – „verkehrt herum“ genäht und der Ball erst vor der letzten Naht „auf rechts gedreht“. Wer wissen will, wie es gelingt, dass auch die letzte Naht, die ja von außen genäht werden muss, innen liegt, muss beim WDR in Köln nachfragen – die „Sendung mit der Maus“ weiß es.

Messgröße: Druck

10³ Pa

10⁶ Pa

10⁹ Pa

um 13 kPa:
Blutdruck eines
gesunden
Menschen

um 200 kPa:
Druck in
PKW-Reifen

bis 20 MPa:
Druckgasbehälter für
technische Gase

bis 100 MPa:
Öldruck in
Hydrauliksystemen

100 MPa: Druck
in 10 km Tiefe unter
der Meeresoberfläche

Nahezu alle Druckangaben im täglichen Leben beziehen sich auf Überdrücke (Reifendruck, Wasserdruck, Blutdruck, ...) und meinen also den Druckunterschied gegenüber dem atmosphärischen Luftdruck (von rund 100 Kilopascal – oder wie man im Wetterbericht hören würde – von 1000 Hektopascal). In der Technik üblich ist auch die Druckangabe in bar. 1 bar = 10⁵ Pascal.

Messgerät: Die bekanntesten Messgeräte sind Federmanometer, z. B. in Reifendruckmessgeräten an Tankstellen. Sie müssen „kalibriert“ werden, damit sie richtig anzeigen. Man braucht dazu „Normalgeräte“, bei denen der Messwert des Drucks aus physikalischen Gesetzen berechnet werden kann.

Messprinzip der Normalgeräte: Realisierung der Definitionsgleichung des Drucks als Kraft pro Fläche (der Druck wirkt auf die untere Stirnfläche eines rotierenden gewichtsbelasteten Kolbens, der in einem senkrecht stehenden Zylinder frei beweglich ist). Im Gleichgewicht aller Kräfte schwebt der Kolben und der Druck kann aus der wirksamen Querschnittsfläche, der Masse des Kolbens und der Gewichte, ihrem Auftrieb in Luft und der lokalen Fallbeschleunigung berechnet werden. Für große Drücke arbeiten die Manometer dabei mit immer dünneren Kolben. Bei einem 1-GPa-Messsystem balanciert eine halbe Tonne Masse auf einem Kolben aus Wolframkarbid von der Dicke einer Stricknadel.

Messgenauigkeit: Mit Kolbenmanometern für Gasdrücke bis 1 MPa lässt sich eine relative Unsicherheit der Druckmessungen von 5 · 10⁻⁶ erzielen. Entsprechend genau müssen daher die Geometrie des Kolbens und die Massenwerte der Gewichtstücke bekannt sein.

PTB-Aufgabe: Die PTB steht an der Spitze der Messhierarchie. Sie ist „Referenzinstitut“ für mehr als 40 akkreditierte Laboratorien des Deutschen Kalibrierdienstes (DKD) für die Messgröße Druck und in einigen Bereichen auch für ausländische metrologische Staatsinstitute.

Handarbeit

Im Fußball steckt eine Menge Handarbeit. Mit 725 Doppelstichen nähen Arbeiterinnen und Arbeiter in Marokko die 32 Fünf- und Sechsecke zu einem Ball zusammen.

Ins Runde

Welche Mannschaft in Japan und Südkorea den Fevernova, so der Markenname des WM-Balls 2002, am häufigsten ins Eckige des Gegners schießen wird, konnten (oder wollten) die adidas-Mitarbeiter dem Autor leider nicht verraten. Schade!

Fotos: adidas

Fit wie ein Turnschuh

Früher Lederlappen, heute Hightech: Sportschuhe sind heutzutage ein hochkompliziertes Produkt – und ein weitgereistes dazu.

Vor Jahrzehnten noch spielten Fußballer in klobigen Straßenschuhen. Der Marathonkönig Emil Zatopek gewann seine Rennen in einfachen Tennisschuhen. Damit ist es vorbei: Wer heute vorne mitlaufen will, braucht ausgeklügelte Schuhe aus den Hightech-Labors. Selbst afrikanische Läufer, die ihre Ausdauer barfuß über Steppengras trainierten, stellen für die großen Rennen um: Sie ersetzen – oder optimieren – ihre Hornhaut und federnden Sehnen durch Schuhe mit perfektionierter Griffsohle und dämpfender Federung.

Dabei herrscht eine schier unüberblickbare Vielfalt: Allein der Hersteller Puma bringt jährlich rund 1200 neue Modelle auf den Weltmarkt, rund 500 davon in Deutschland. Adidas, Nike, Asics, Reebok und andere stehen da in nichts nach. Doch die meisten neuen Schuhe sind alte Schuhe – mit neuer Farbe, neuem Material oder neuem Schnickschnack. Nur wenige Modelle pro Jahr haben wirklich ein komplett neues Konzept. Und die gehen bei den Herstellern durch einen langen, testintensiven Entwicklungsprozess.

„Das Leben eines Schuhs beginnt mit einem Designbrief“, erklärt Berthold Krabbe, der Leiter des adidas-Testcenters in Scheinfeld. Lange bevor der erste Prototyp das Licht der Welt erblickt und getestet werden kann, geht die Idee als Auftrag aufs Papier. Der Produktmanager, der den Markt und die Bedürfnisse der Sportler kennt, schreibt an Designer und Entwickler. Dann folgt die Phase, in der die Schuhe virtuell durch die Computerprogramme spuken. Und die Suche nach passenden Materialien. Sind ganz neue Eigenschaften gefragt, so müssen neue Materialien entwickelt werden.

Virtueller Schuh mit dem dazugehörigen Leisten (rot), entstanden aus dem 3-D-Laserscan eines Fußes (siehe Bild S. 41)

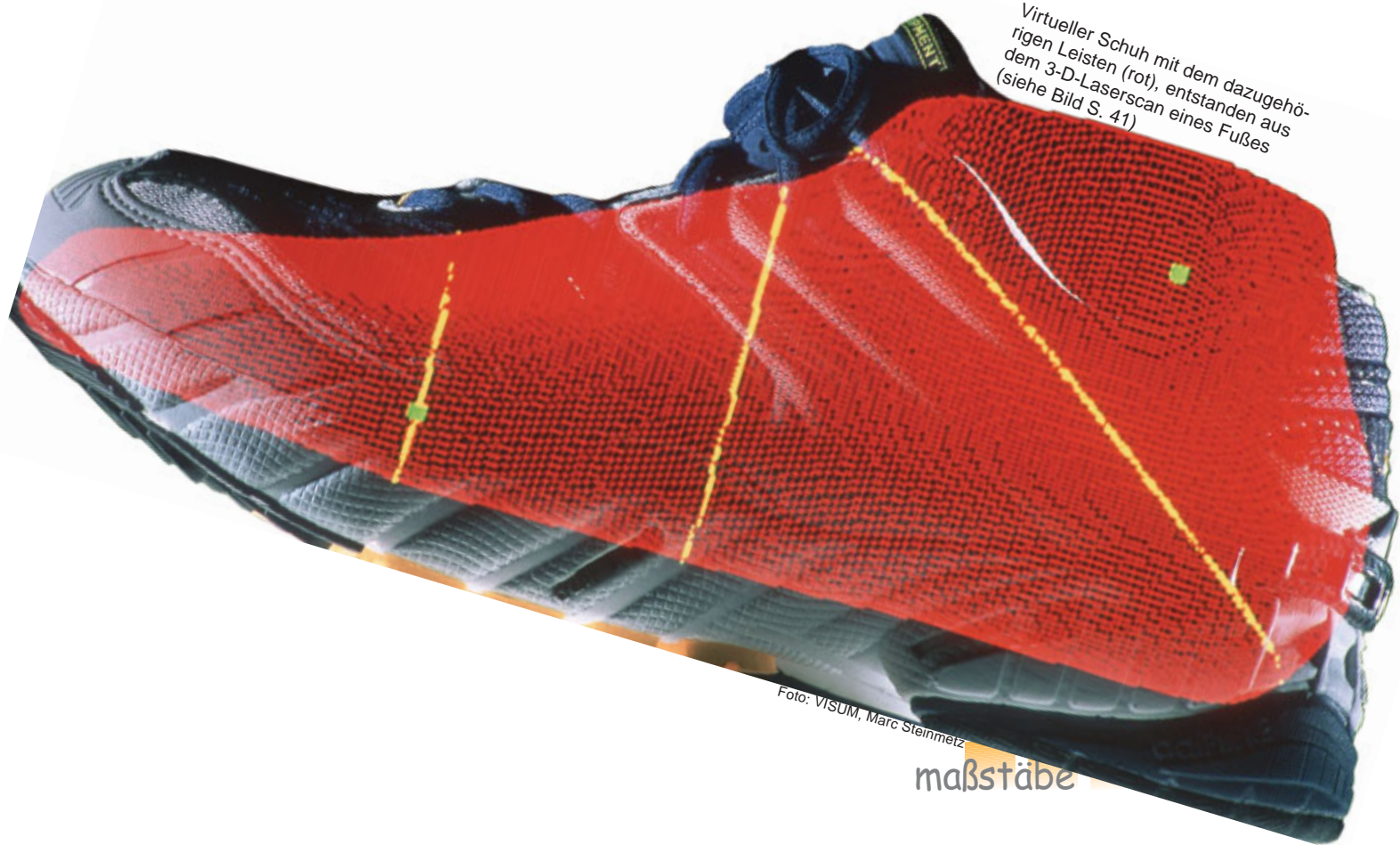


Foto: VISUM, Marc Steinmetz

maßstäbe

Und die ersten Tests stellen sicher, dass die neuen Schäume und Gewebe den Anforderungen genügen: Physikalische Daten zu Abrieb, Reißfestigkeit oder der Stichausreißfestigkeit werden erhoben. Chemische Eigenschaften wie Schadstofffreiheit und Lichtbeständigkeit bei UV-Strahlung sind mindestens ebenso wichtig. „Ein durchschnittlicher Sportschuh besteht vielleicht aus 30 oder 40 Materialien, wenn man den Faden und alles mitzählt“, sagt Reinhold Sussmann von der Abteilung Advanced Products bei Puma. „Das muss dann verändert und wieder getestet werden, ein Prozess, der sich über die ganze Produktentwicklung hinzieht.“

Meist wandert die Idee samt Plan derweil direkt nach Asien, wo die meisten Sportschuh-Hersteller ihre Produktionsstätten haben. Von dort kommen erste Prototypen zurück, die gleich in die zweite Testphase gehen – in den Passformtest. Zehn bis zwanzig Testpersonen stehen bereit: alle mit jener Standardfußgröße, in der die Prototypen hergestellt werden, aber alle mit trotzdem verschiedenen Arten von Füßen. Die Schuhe werden darauf optimiert, in Passform und Fersensitz möglichst vielen Menschen zu passen. Internationale Unterschiede dürfen später keine große Rolle spielen, jeder Fuß muss in der Kollektion später ein Pendant finden können. Schließlich, so Sussmann, sind japanische Füße kürzer, aber dafür im Rist viel höher, südländische Füße hingegen „insgesamt ein bissl fleischiger“. Amerikanische Füße sind meist etwas länger und schmaler, dafür werden die Schuhe dort aber weniger eng getragen als in Europa.

Nachdem die Änderungswünsche aus den Passformtests in den Prototyp eingegangen sind – der Entwicklungsprozess ist ein ständiges Hin und Her zwischen Europa und Asien, von E-Mails über Videoschaltungen bis zu Reisen der Spezialisten und Paketsendungen voller Testschuhe – folgen die Trage- oder Funktionstests, die biomechanischen Messungen. Nur wenige Messungen lassen sich mit Maschinen erledigen. Die Reibung zwischen Sohle und Boden und das so genannte „compression set“ der Sohle, die Nachgiebigkeit des Materials und die Druckverteilung, lassen sich per mechanischem Prüffuß messen. Eine Kraft-Zeit-Steuerung sorgt dafür, dass die Messergebnisse möglichst realitätsnah ausfallen. Die Testgeräte müssen die Art der Dynamik, die Belastungsgeometrien und die maximalen Kräfte, die auftreten können, möglichst genau nachstellen.

Doch für die meisten Tests muss immer noch der Mensch ran. „Wenn man bedenkt, wie kompliziert der Mensch ist und aus wie vielen Feinheiten und Einzelheiten jegliche primitive Bewegung zusammengesetzt ist, dann ist der Bau eines mechanischen Gerätes, das den Menschen in seinen Bewegungen vernünftig nachstellt, extrem schwierig. Wesentlich komplizierter als beispielsweise der Bau eines Flugsimulators“, erklärt Krabbe. Deshalb greifen die Hersteller zum „Original“. Für Laufschuhe muss der Mensch aufs Laufband, und eine Hochgeschwindigkeitskamera filmt die Bewegun-

gen. Der Schuh muss ausreichend Stabilität geben, damit die Füße nicht zu stark nach innen wegknicken. Das Gegenteil dieser sogenannten Pronation ist die Supination: Das Nach-außen-Wegkippen droht bei komplexen Spilsportarten, beim Fußball, Basketball oder Volleyball. Deshalb müssen die Probanden hier typische Bewegungsabläufe durchführen, immer vor der Kamera, immer auf dem Sprung.

Schließlich folgen die Feldtests mit fünfzig bis hundert Freiwilligen. Auch sie sind genau vermessen, meist handelt es sich um Halbprofis in der jeweiligen Sportart, die über mehrere Wochen hinweg den Schuh auch den typischen Belastungen aussetzen können. Von Zeit zu Zeit geben sie Rückmeldungen über Probleme oder besondere Vorkommnisse. Im Gegenzug bekommen sie immer wieder neue, entsprechend verbesserte Prototypen. Ihre subjektive Empfindung geht in standardisierte Fragebögen ein, und erst danach folgen Tragetests auch in einer kleineren und größeren „Extremgröße“. Und wenn dann alles stimmt, wenn nicht alles überarbeitet und eine ganz neue Testrunde eingeläutet werden muss, erst dann geht der Schuh in Serienfertigung. Durchfallen kann eine Neuentwicklung so gut wie nie, nur dauert es manchmal mehrere Jahre, so Sussmann: „Die werden eben so angepasst, getestet und weiterentwickelt, bis sie alle Anforderungen erfüllen“.

DÖRTE SASSE

Messgröße: Kraft				
1 N	10 ¹ N	10 ² N	10 ³ N	10 ⁶ N
Gewichtskraft einer Tafel Schokolade	max. Kraft auf einen cm ² eines Sportschuhs (ca. 68 N)	max. Kraftmessung in der Textilindustrie (ca. 1 kN)		Schubkraft eines Jumbojets mit vier Triebwerken (1 MN)
Wenn ein Sportschuh buchstäblich mit Füßen getreten wird, muss er hohe Druckkräfte aushalten. Einem Seil dagegen setzen Zugkräfte zu, bis es womöglich irgendwann reißt. Die Kraft ist eine gerichtete Größe – man muss immer angeben, in welche Richtung sie wirkt. Das Ergebnis ihres Wirkens ist aber in jedem Fall eine Bewegung. 1 Newton ist die Kraft, die einem Körper der Masse 1 kg die Beschleunigung von 1 m/s ² erteilt.		Messgeräte: In der Industrie werden Kräfte meist mit Hilfe von Kraftaufnehmern gemessen. Die Hersteller dieser Geräte müssen gewährleisten, dass die Kraftaufnehmer innerhalb enger Grenzen richtig messen. Deshalb lassen sie sie in Laboratorien der PTB oder des Deutschen Kalibrierdienstes kalibrieren. In der PTB sind Kalibrierungen im Bereich von 0,5 N bis zu 16,5 MN möglich.		
		Messprinzip: Viele Kraftmessgeräte arbeiten mit Dehnungsmessstreifen, die sich unter Krafteinwirkung verformen. Diese Verformung bewirkt eine kleine Widerstandsänderung, die man leicht messen kann. Um die Kraft zu erzeugen, deren Wirkung sie messen wollen, hängen die PTB-Wissenschaftler eine entsprechende Anzahl Gewichtstücke in das Messgerät (bis 2 MN) bzw. verstärken die Kräfte hydraulisch (bis 16,5 MN).		
		Messgenauigkeit: Im Bereich bis 2 MN liegt die relative Messunsicherheit bei 0,002 % und im Bereich bis 16,5 MN bei 0,01 %.		

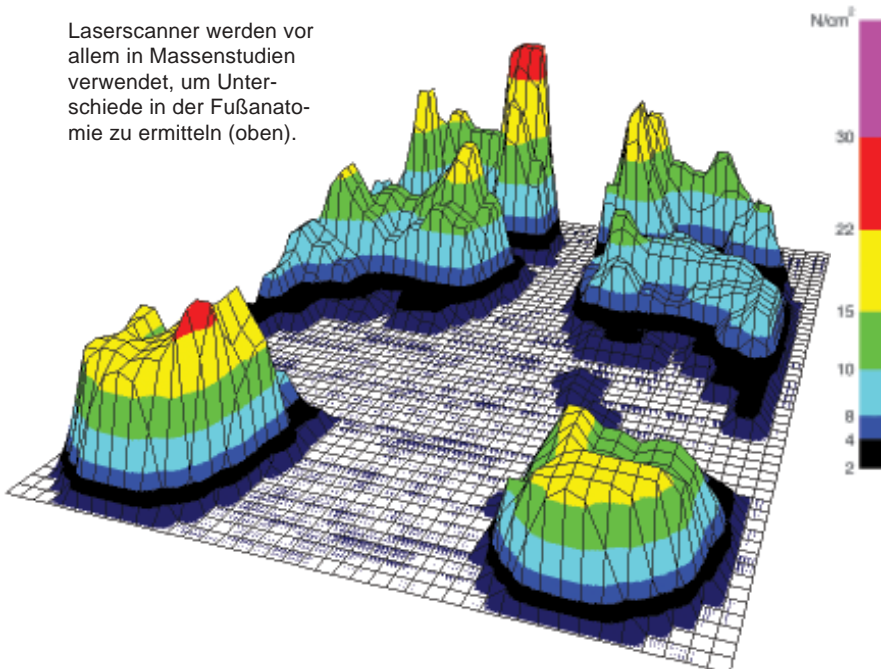


Foto: dpa

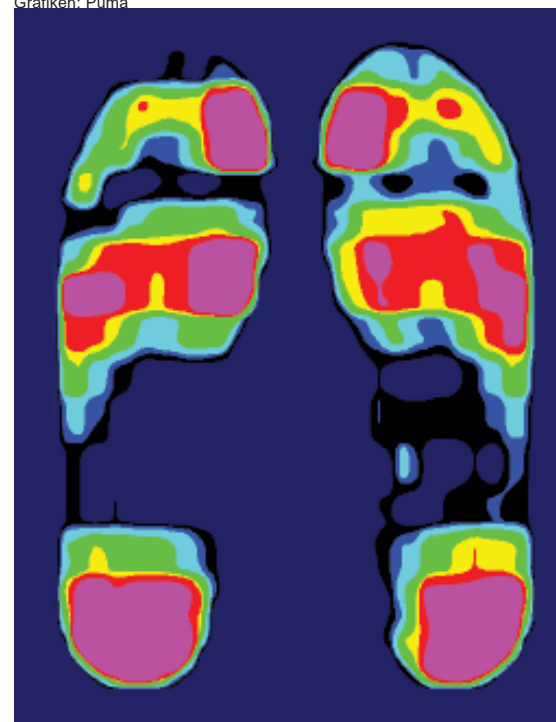


Foto: VISUM, Marc Steinmetz

Laserscanner werden vor allem in Massenstudien verwendet, um Unterschiede in der Fußanatomie zu ermitteln (oben).



Grafiken: Puma

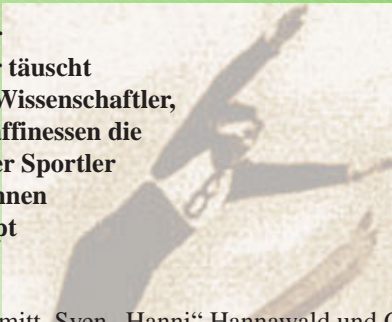


Bei der Entwicklung von Sportschuhen wird auch die Druckverteilung gemessen (links in 3-D-, oben in 2-D-Darstellung)

„Big Brother“ im Baumwipfel

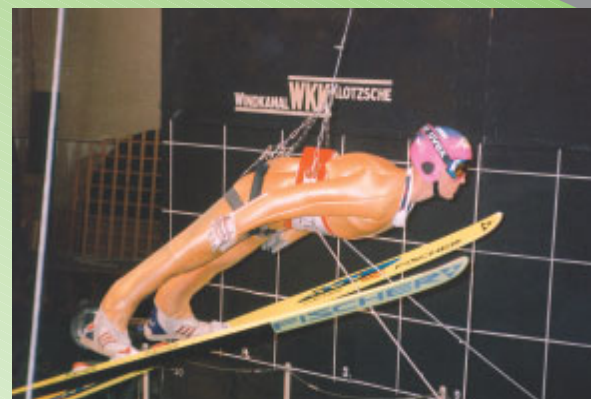


Wer geglaubt hat, Skispringen sei ein reiner Wintersport, der täuscht sich. Einige der Wissenschaftler, die mit vielen Raffinessen die Sprungkünste der Sportler überwachen, können Schnee überhaupt nicht brauchen.



Wenn Martin Schmitt, Sven „Hanni“ Hannawald und Co. von der Skischanze springen, dann haben die Biomechaniker vom Institut für Angewandte Trainingswissenschaften (IAT) in Leipzig Stress. Jedes Detail eines Sprungs akribisch genau messen und unter die Lupe nehmen – das ist eine der Aufgaben des Forscherteams der Fachgruppe Kraft und Technik. Für den Deutschen Skiverband (DSV) führen die Wissenschaftler Technikanalysen durch, im Windkanal und direkt vor Ort während der Sprungwettbewerbe. Denn nicht nur das richtige Material entscheidet über den Sieg. Auch die Geschwindigkeit beim Anlauf, beim Absprung und die Flugkurve eines Springers müssen stimmen, sonst gerät der Sprung zu kurz. Auf den Videoaufnahmen des IAT lässt sich hinterher unschwer erkennen, warum die Konkurrenz ausnahmsweise weiter flog und wo es bei den deutschen „Adlern“ hin und wieder hapert.

Bis es allerdings soweit ist, müssen die Skisprung-Experten aus Leipzig richtig schuften. Sieben bis acht Videokameras gilt es bei den Wettbewerben in Flughöhe der Skispringer zu installieren. Da kraxeln die Biomechaniker fünf bis sechs Meter hoch auf Bäume oder Lichtmasten links und rechts der Schanze, um die beste Kameraposition zu finden. „Der Aufwand ist riesen-groß“, sagt Rolf Mahnke, wissenschaftlicher Mitarbeiter am IAT. Sind die Kameras erst einmal installiert, dann filmen sie unbestechlich „Hannis“ oder Schmitts Anfahrthaltung, den Winkel zur Flugbahn, die Stellung der Ski und sämtliche Fehler. Aus den Daten rekonstruieren die Leipziger „Big Brothers“ dann die optimale Körperschwerpunktlage und die beste Winklereinstellung der Gelenke für weite Sprünge. So muss sich ein Springer beim Absprung schnell nach vorne beugen, um eine gute Aerodynamik zu erreichen. Je flacher er sich anschließend über seine Ski legt, desto besser nutzt er den Luftstrom. „Entscheidend für den Sprung ist, wie der Springer seine Ski und seinen Körper in Bezug auf die Anströmung positioniert hat“,

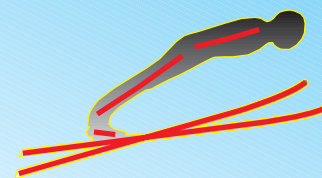
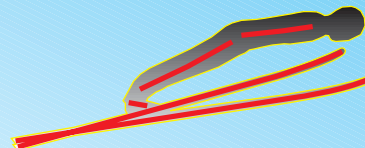
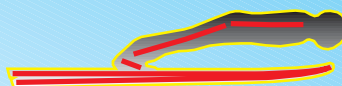
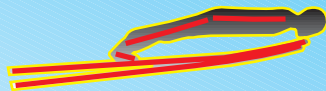
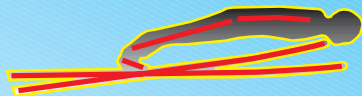


Steil und mit wedelnden Armen (links) oder flach über die Ski gelegt (oben) – beim Wandel des Sprungstils haben die Messtechniker inzwischen ein entscheidendes Wörtchen mitzureden. Hier wird im Windkanal die beste Sprunghaltung ermittelt.

so Mahnke. „Daraus resultieren dann mehr oder weniger günstige Luftkräfte.“ Für die aerodynamische Flugqualität ist entscheidend, wie die Luftkräfte Auftrieb und Widerstand wirken. Während der Auftrieb in sämtlichen Abschnitten des Flugs für Tragwirkung sorgt und die Weite des Sprungs vergrößert, wirkt der Widerstand beim Absprung zunächst mal wie eine Bremse. Je weiter sich die Flugbahn des Springers allerdings neigt, umso mehr tragende Wirkung kommt auch dem Widerstand zu.

Zu den Werten aus der Praxis gesellt sich die graue Theorie. Wenn es darum geht, das Technikleitbild für die Sportler zu erarbeiten, hängen die Forscher schon mal einen Skispringer in den Windkanal. Der stellt sich auf seine Bretter und wird flugs per Gurt am Brustkorb nach oben gehievt. Die Biomechaniker haben dann freie Bahn: Sie experimentieren mit der Haltung des Springers oder drehen seine Ski in Parallel- oder V-Form, während ihm der künstliche Wind ins Gesicht bläst. Zu messen gibt es auch hier eine ganze Menge: Luftwiderstand, Auftrieb und welche Kräfte auftreten, wenn der Springer von der Kraftmessplatte in den Wind hechtet. Denn allein der Absprung bestimmt zu 80 Prozent die Flugweite. Mit den so gewonnenen Messwerten simulieren die Biomechaniker anschließend am Computer die ideale Flugbahn. Die wiederum wird mit dem verglichen, was Weltklasse-springer tatsächlich leisten, und gegebenenfalls angepasst. Im Windkanal wurde auch der typische „Fischstil“ entdeckt, bei dem die Springer die Arme ganz eng an ihren Körper legen, für einen möglichst geringen Luftwiderstand.

Wenn es darum geht, den besten Anzug für Skispringer im Windkanal zu testen, greifen die Forscher vom IAT dann doch lieber auf Puppen zurück. Ein echter Springer würde verzweifeln, denn sämtliche Anzüge müssen exakt in der gleichen Sprunghaltung getestet werden. So kommt man sogar kleinsten Materialunterschieden auf die Spur, die die



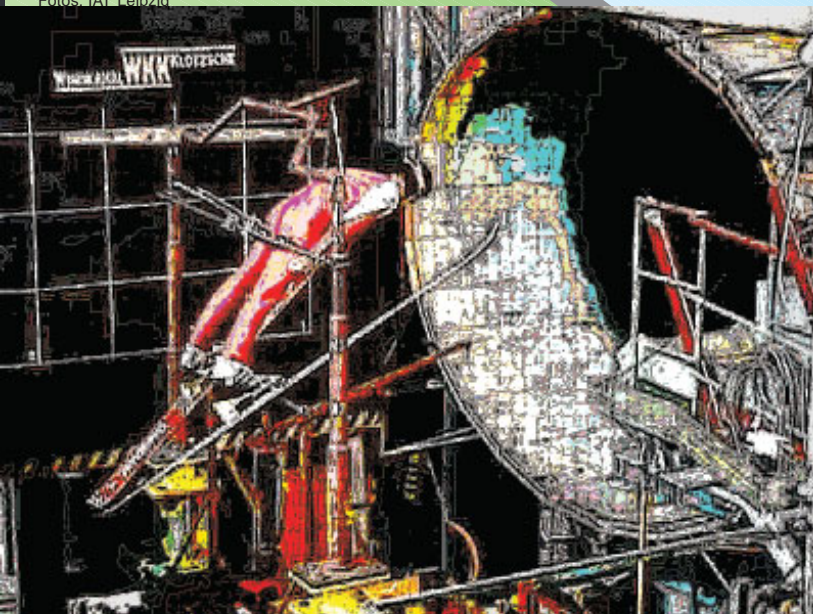
Messgröße: Skisprungweite

Bei der Frage, wie weit ein Skispringer fliegt, geht es vor allem darum, wo er denn landet. Diesen Landepunkt legen die im Fachjargon „Operatoren“ genannten Schiedsrichter mit Hilfe von Videomessungen fest.

Vorarbeiten: Das Videomesssystem wird für jede Schanze neu aufgebaut. Vier starre Videokameras werden passend zum Schanzenprofil installiert. An der Schanze sind die Sprungweiten mit Linien markiert, also sind alle möglichen Weiten bereits vor jedem Sprung eindeutig vermessen und festgelegt. Vor der Sprungveranstaltung werden die Kameras nun kalibriert, indem im Rechner ein Modell dieser Linien angelegt wird. Das Linienmodell lässt sich dann über die jeweiligen Landebilder der Skispringer legen.

Im Wettkampf: Aus den in einem Computer gespeicherten Videobildern sucht der Operator dasjenige Bild heraus, bei dem der Springer erstmalig mit der ganzen Lauffläche beider Ski den Boden berührt. Der Landepunkt ist dann der Punkt in der Mitte zwischen den beiden Füßen. Dann kann die Software mit diesen Informationen und dem vorher kalibrierten Linienmodell der Schanze die Sprungweite ausrechnen. Die Aufgabe des Operators ist dabei nicht zu unterschätzen, schließlich wählt er das Landepunkt-Bild aus. Und diese Auswahl kann entscheidend sein, denn zwischen einzelnen Bildern liegen mitunter bis zu 30 Zentimeter Sprungweite. Operatoren müssen deshalb durch den Internationalen Ski-Verband (FIS – Fédération Internationale de Ski) zertifiziert sein.

Fotos: IAT | Leipzig



Windschlüpfrigkeit beeinflussen. Tests hin oder her, in der Praxis entscheiden dann Trainer und Sportler, welcher Anzug für sie in Frage kommt. Auch beim richtigen Präparieren der Ski, dem richtigen Schliff, zählen oft Erfahrungswerte. Wie Peter Lange, Techniker des Deutschen Skiverbands, die Bretter von „Hanni“ verbesserte und ihm so zum Sieg bei der 50. Vier-schanzentournee verhalf, ist jedenfalls geheim.

Streng geheim – das gilt auch für die geplante Überwachung von Skispringern per Satellit aus dem Weltall. Mit Hilfe des Global Positioning System (GPS) wollen Wissenschaftler am Geodätischen Institut der Technischen Universität Dresden künftig die sportliche Leistung der Athleten zentimetergenau einschätzen und die Daten mit einer Computersimulation koppeln. Derzeit entwickeln die Ingenieure eine mobile Messplattform. Kleines Volumen, geringes Gewicht und eine Abtastrate von 20 unabhängigen Messungen pro Sekunde sind das Ziel. Die Forschungsarbeiten laufen noch, Ergebnisse werden deshalb vorab nicht verraten.

Mit einem ganz anderen Problem schlagen sich Forscher vom österreichischen Institut für Sportwissenschaften in Graz herum: Sie nehmen das Körperfett von Skispringern mit einem so genannten Lipometer unter die Lupe. Mithilfe des an der Universität Graz entwickelten Apparats lassen sich an 15 verschiedenen Stellen des Körpers die Fettschichten ganz ohne Schmerz bestimmen. Endergebnis ist eine topographische Fettkarte, die zeigt, wo am Sportlerkörper die Pölsterchen sitzen. Bei vielen Springern wird das Gerät wohl wenig zu vermelden haben. Schon jetzt wiegen bis zu zehn Prozent der Weltklassenspringer viel zu wenig. Die unterernährten Sportler hoffen, als Leichtgewicht weiter

zu fliegen als ihre Konkurrenten. Die Messungen sollen Aufschluss geben, ob die mageren Springer tatsächlich bessere Chancen haben. Vorläufige Testergebnisse deuten auf das Gegenteil hin.

Wer glaubt, Skispringen hätte nur im Winter Hochkonjunktur, der täuscht sich. Die deutschen Meisterschaften finden bereits seit drei Jahren im Sommer statt. Ohne das sommerliche Training könnten die deutschen „Adler“ bei den Winterwettbewerben mit anderen Ländern nicht Schritt halten. Auch Biomechaniker Mahnke und sein Team schätzen die Vorteile der hohen Temperaturen: Auf der Schanze in Oberwiesenthal im Erzgebirge misst ein Dynamometer, wie stark ein Springer abspringt und welche Geschwindigkeit er erreicht. Schnee würde bei der Messung nur stören und falsche Ergebnisse liefern, sagt Mahnke. Die Versuche finden deshalb auf der mit Matten ausgekleideten Sprunganlage statt.

Um die grünen Kunststoffmatten gleitfähig zu halten, werden sie und der Schanzenanlauf aus Keramik regelmäßig mit Wasser berieselt. Da die Winter immer schneeärmer werden, sind Sommerschanzen vielleicht schon bald das Nonplusultra. Paul Ganzenhuber, Vizepräsident des Sprungkomitees im Internationalen Skiverband, träumt jedenfalls schon mal von einer Flugschanze im Central Park von New York, die im Sommer Hunderttausende von Zuschauern anlocken könnte.

ALMUT BRUSCHKE-REIMER

Ungewohntes Bild: eine Schanze in Grün. Die Hans-Renner-Schanze im thüringischen Oberhof ist die größte Matten-Sprunganlage der Welt.



Fotos: Springer: dpa, Schanze: C. E. Lindgren



Kreisen im Thermikschlauch

Fliegen wie ein Vogel. Gleitschirmflieger haben sich diesen Menschheitstraum erfüllt – ganz ohne Motor und Mantel aus Stahl. Sie spüren die Kraft des Windes unmittelbar und nutzen ihn wie ein Adler, der sich mit ausgebreiteten Schwingen in die Höhe schraubt.

Bassano del Grappa, 80 Kilometer westlich von Venedig. Hier münden die bewaldeten Ausläufer der Dolomiten in die weite Po-Ebene. In diese Region zieht es zu jeder Jahreszeit Gleitschirm- und Drachensflieger. „Die Thermik stimmt hier“, sagen Götz Baumgarten und Horst Altmann, die für ein Flugwochenende aus München angereist sind. Auf dem Rücksitz des Autos drängen sich zwei überdimensionale Rucksäcke. Darin verpackt sind die zwei mal zwölf Meter großen Gleitschirme aus Nylon, Gurtzeug samt Protektor (eine gepolsterte Sitzschale) Rettungsfallschirm, Helm sowie Messgeräte.

Das wichtigste Instrument ist das Variometer. Handlich wie ein Taschenrechner, liefert das Gerät dem Piloten alle für den Flug relevanten Daten. Zum Beispiel die Temperatur der Umgebungsluft (in °C), die ein Sensor misst. „Dieser Wert zeigt uns bei der Auffahrt zum Startplatz, ob die Temperatur mit zunehmender Höhe steigt oder sinkt“, erklärt Baumgarten. „Sinkt sie, verspricht es gute Thermik.“ Thermik, das ist das

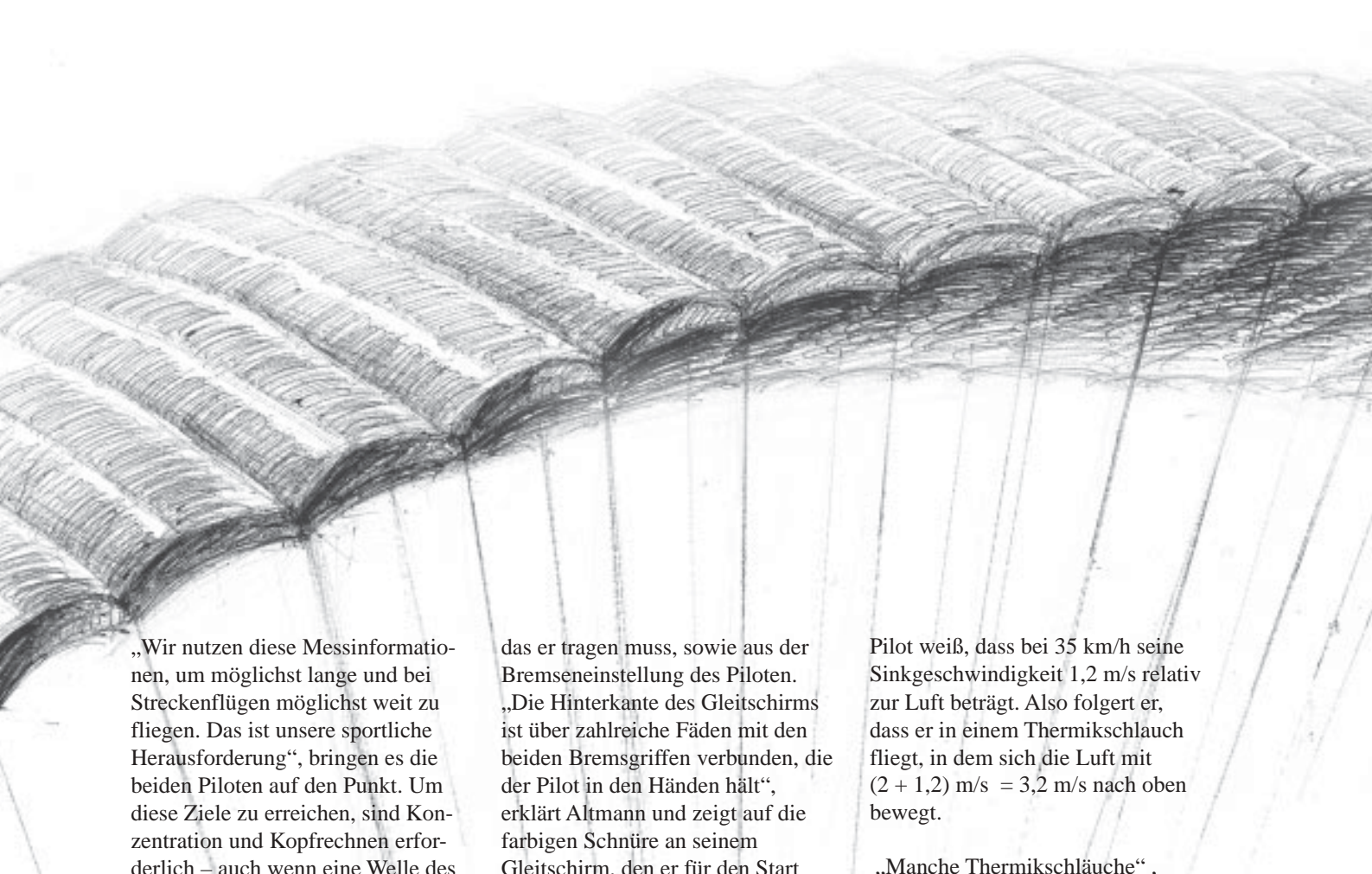
Schlüsselwort für Gleitschirmflieger. Es bedeutet, dass vertikale Luft schlauchartig aufsteigt, weil sie wärmer als die Umgebungsluft ist. Diesen Aufwind nutzt der Gleitschirmflieger, um Höhe zu gewinnen.



Eine barometrische Dose im Variometer misst den Druck der Umgebungsluft (in mbar). Aus diesem Wert und der gemessenen Temperatur berechnet das Gerät mit Hilfe theoretischer Annahmen über die Beschaffenheit der Atmosphäre die Höhe über Meeressniveau (Höhe über NN). Das Variometer ermittelt darüber hinaus auch die Höhe über einem Fixpunkt, den der Pilot festlegt (relative Höhe). „Mich interessiert die Höhe über dem Startplatz. Dieser Wert zeigt mir später, wie gut ich die Thermik zum Höhengewinn genutzt habe“, erklärt Baumgarten während der schwankenden Fahrt über Serpentinaen bis zu einem rund 1900 Meter hoch gelegenen Startplatz auf dem Monte Grappa. Dort angekommen, setzt er per Knopfdruck die relative Höhe auf Null.

Aus der Änderung der Höhe pro Sekunde erhält der Gleitschirmflieger die für ihn wichtigste Information: die Vertikalgeschwindigkeit im Raum. Sie bestätigt dem Piloten das Gefühl, ob er sinkt oder steigt. Das Variometer zeigt und meldet diesen Wert (Meter pro Sekunde) gleich dreifach: Leicht zu erkennen ist der Zeiger in Form eines Pfeils, der auffächert, je nachdem wie stark der Gleitschirm sinkt oder steigt. Den exakten Wert verrät die digitale Anzeige. Am eindringlichsten ist das akustische Signal, das der Pilot ständig im Ohr hat. „Je schneller ich steige, desto schneller und höher ertönt das Piepen“, sagt Altmann und bindet sich das Variometer um den Oberschenkel, um das Display während des Fluges stets im Blick zu haben. Sinkt der Gleitschirm, warnt ihn ein Dauerton vor drohendem Höhenverlust.

Zur Ausrüstung gehört auch ein Windmesser. Die Schleppsonde mit integriertem Flügelrad ist an das Variometer angeschlossen und misst die Geschwindigkeit des Gleitschirms durch die Luft (Fluggeschwindigkeit). Für Streckenflüge nutzen auch Gleitschirmpiloten das Global Positioning System, kurz GPS. Das Gerät ermittelt über Satelliten die aktuelle Position in Längen- und Breitengraden und absoluter Höhe (über NN) und berechnet die Geschwindigkeit des Gleitschirms durch den Raum (Geschwindigkeit über Grund).



„Wir nutzen diese Messinformationen, um möglichst lange und bei Streckenflügen möglichst weit zu fliegen. Das ist unsere sportliche Herausforderung“, bringen es die beiden Piloten auf den Punkt. Um diese Ziele zu erreichen, sind Konzentration und Kopfrechnen erforderlich – auch wenn eine Welle des Hochgefühls den Gleitschirmflieger in der Luft ergreift.

Eine grundlegende Formel lautet: Fluggeschwindigkeit (Geschwindigkeit des Gleitschirms durch die Luft) plus Windgeschwindigkeit ergibt die Geschwindigkeit über Grund (Geschwindigkeit des Gleitschirms durch den Raum).

Ein Beispiel: Der Pilot merkt, dass er mit seinem Gleitschirm in der Landschaft nur noch langsam vorwärts kommt. Der Blick auf das GPS bestätigt sein Gefühl. Das Gerät zeigt an, dass er sich nur noch mit 10 km/h über Grund vorwärts bewegt. Sein Windmesser ermittelt eine Fluggeschwindigkeit von 45 km/h. Daraus berechnet er: Geschwindigkeit über Grund minus Fluggeschwindigkeit gleich Windgeschwindigkeit:
 $10 \text{ km/h} - 45 \text{ km/h} = -35 \text{ km/h}$.
Das Minuszeichen bedeutet Gegenwind, ein Pluszeichen Rückenwind. Der Pilot hat einen Gegenwind von 35 km/h.

Die Flug- sowie die Vertikalgeschwindigkeit ergeben sich aus den aerodynamischen Eigenschaften des Gleitschirms, dem Gesamtgewicht,

das er tragen muss, sowie aus der Bremseneinstellung des Piloten. „Die Hinterkante des Gleitschirms ist über zahlreiche Fäden mit den beiden Bremsgriffen verbunden, die der Pilot in den Händen hält“, erklärt Altmann und zeigt auf die farbigen Schnüre an seinem Gleitschirm, den er für den Start sorgfältig auf dem Hang ausgebreitet hat. „Ziehe ich im Flug die Hinterkante des Gleitschirms nach unten, verringert sich meine Geschwindigkeit.“



In ruhiger Luft ohne Wind und Thermik beträgt die Fluggeschwindigkeit zwischen 30 km/h und 40 km/h, die Vertikalgeschwindigkeit etwa $-1,2 \text{ m/s}$. Mit entsprechendem Tempo sinkt der Schirm. Im Flug kann sich zum Beispiel folgende Situation ergeben: Der Pilot spürt, dass er an Höhe gewinnt. Sein Variometer zeigt ihm an: Fluggeschwindigkeit 35 km/h, Vertikalgeschwindigkeit plus 2 m/s . Der

Pilot weiß, dass bei 35 km/h seine Sinkgeschwindigkeit $1,2 \text{ m/s}$ relativ zur Luft beträgt. Also folgert er, dass er in einem Thermikschlauch fliegt, in dem sich die Luft mit $(2 + 1,2) \text{ m/s} = 3,2 \text{ m/s}$ nach oben bewegt.

„Manche Thermikschläuche“, weiß Baumgarten, „sind nur 100 m breit. Dann gilt es, enge Kreise zu ziehen, um im Aufwind zu bleiben. Dabei lausche ich ständig dem Piepen des Variometers. Wird der Piepton tiefer, weiß ich, dass meine Steiggeschwindigkeit abnimmt und ich aus dem Thermikschlauch heraus fliege. Soll es weiter aufwärts gehen, ziehe ich meine Kreise wieder enger.“

Geräte wie Variometer, Windmesser und GPS können den Piloten aber nur unterstützen. „Am wichtigsten sind die eigene Einschätzung der Flugsituation, die auf Fluggefühl, Augenmaß, Flugerfahrung beruht – und dem Popometer“, sagt Baumgarten und zeigt auf sein gepolstertes Hinterteil. „Hiermit spüre ich jede Vertikalbeschleunigung. Dann werde ich in den Sitz gedrückt und es geht aufwärts wie in einem unsichtbaren Fahrstuhl.“

Der Wind weht konstant. Der Pilot zieht an den Schnüren, lässt den Gleitschirm über seinen Kopf steigen, nimmt vier, fünf Schritte Anlauf und hebt sanft ab. Das Piepen des Variometers signalisiert: Er ist im Aufwind.

NICOLE GEFFERT



Foto: Götz Baumgarten

Fotos: Horst Altmann

Messgröße: Windgeschwindigkeit			
1 m/s		10 m/s	100 m/s
	(1,9 bis 3) m/s leichte Brise (Windstärke 2)	(11 bis 14,1) m/s starker Wind (Windstärke 6)	(20,9 bis 24,4) m/s Sturm (Windstärke 9)
			ab 32,6 m/s Orkan (Windstärke 12)
<p>Messgeräte: Wer als Sportler den Wind nutzt, braucht meist keine sehr exakten Messgeräte. Einem Surfer oder Segler genügt sogar das eigene Auge: ein Blick auf die Wellenkämme – und er wird ein Segel aussuchen, das für die jeweilige Windstärke geeignet ist. Ein Luftsportler kommt mit der Beaufort-Skala nicht mehr aus; seine Messgeräte zeigen die Windgeschwindigkeit in Metern pro Sekunde an. Solche Messgeräte – und auch noch weitaus exakter messende – werden zumeist in Windkanälen kalibriert. Um die Einheit der Strömungsgeschwindigkeit exakt darstellen und weitergeben zu können, kommt die PTB ins Spiel. Sie setzt dafür so genannte Laser-Doppler-Anemometer ein. Diese Geräte werden in der PTB mit einem Geschwindigkeitsnormal kalibriert und dienen dann als Transfernormal für die Weitergabe der Einheit Strömungsgeschwindigkeit.</p>		<p>Messprinzip: Ein Laser-Doppler-Anemometer besitzt eine Sende- und eine Empfangsoptik. Es sendet Laserstrahlen, also kohärente monochromatische Lichtwellen, aus. Trifft ein Laserstrahl auf ein in der Luft mitgeführtes Teilchen (z. B. Staub), so wird das am Teilchen gestreute Licht – wegen des Dopplereffekts – in seiner Frequenz leicht verschoben. Aus dieser Frequenzverschiebung des empfangenen Streulichts kann man die Geschwindigkeit der Teilchen (und damit auch die der umgebenden Luft) errechnen.</p> <p>Messgenauigkeit: Mit einem miniaturisierten Halbleiter-Laser-Doppler-Anemometer als Transfernormal erreicht die PTB bei Geschwindigkeitsmessungen in Windkanälen Messunsicherheiten von 0,2 %. Die Messunsicherheit für die Darstellung der Geschwindigkeit zur Kalibrierung der Laser-Doppler-Anemometer selbst liegt unter 0,1 %.</p>	

Der Ballon-TÜV

Ein Heißluftballon auf dem Prüfstand

In der Halle kommt Wind auf und zack! Eben noch lag das Häufchen Stoff schlaff am Boden und schon kurze Zeit später füllt die aufgeblähte Hülle des Heißluftballons die Halle fast aus. „Anblasen“ nennt das Team von Stratos Ballooning diesen Vorgang. Dabei liegt der Ballon am Boden wie ein Wal, der nach Luft schnappt. Ein Gebläse sorgt für den Luftstrom, in dem sich die Hülle aufrichtet und plötzlich begehbar ist. Vorsichtig tappe ich über den welligen und rutschigen Stoff und denke: „dass man das darf ...“, doch bald wird mir klar, dass die Begehung durch den Prüfer zu den geringsten Belastungen der Ballonhülle zählt. UV-Strahlen, Feuchtigkeit, Pilzbefall und die mechanische Belastung machen der Ballonhülle erheblich mehr zu schaffen.

Die Nähmaschine, die in dem luftfahrttechnischen Betrieb defekten Hüllenstoff ausbessert, rattert gleich hinter der Wand aus dünnem Stoff weiter, doch es klingt wie von weitem in diese seltsam dämmerige und doch leuchtende Welt. Prüfer Walter Müller geht die Stoffbahnen ab, befühlt sorgsam den Stoff und die Nähte und macht sich einen Eindruck von dem Zustand der Hülle. Außen aufgedruckt: das in Deutschland vorgeschriebene nicht brennbare Kennzeichen (bestehend aus mindestens drei Buchstaben). Ist das Material bereits durchscheinend und lässt schemenhaft die Hallenwände oder das zum Hof hin offene Tor erkennen, weiß Müller gleich: „Die Beschichtung ist futsch.“ Sonnenlicht und UV-Bestrahlung sind erbarmungslos und strapazieren den Ballonstoff aus beidseitig beschichtetem Polyamidgewebe nachhaltig. „Wie ist denn der Propanverbrauch so?“, fragt Müller vielsagend den Piloten des Ballons, der ein besorgtes Gesicht macht, „Fährst du schon mit beiden Brennern oder schaffst der eine das noch?“ „Ne, so schlimm ist es noch nicht ...“, kommt die Antwort, und Pilot Wagner, der in Mecklenburg-Vorpommern Ballonfahrten anbietet, räumt ein, dass er diesen Ballon nicht mehr mit der vollen Passagierzahl fährt.

Wird das gebeutelte Gewebe den Grab-Test noch einmal überstehen? Zum Glück ist die Hülle leuchtend gelb: Mit der sonnenähnlichen Farbe hat sie eine Lebensdauer von 700 bis 800 Betriebsstunden, weil die UV-Strahlen hier weniger Schäden anrichten als bei den anderen Farben: Rote und blaue Hüllen können nur 300 bis 400 Stunden gefahren werden. Also der Grab-Test (der Begriff kommt aus dem Englischen, „grab“ bedeutet Griff, hastig oder gierig greifen): Ein kleines Stückchen vom Stoff – etwa 3 cm im Quadrat – wird fest in eine Haltevorrichtung eingeklemmt, ganz in der Nähe wird ein zweites eingespannt. Zwischen den beiden Haltevorrichtungen liegen ungefähr 10 cm Stoff, die nun durch Ziehen im wahrsten Sinne des Wortes zum Zerreißen gespannt werden. Eine Federwaage misst die Belastung, der der Stoff ausgesetzt wird. 14 kg muss er aushalten, ohne zu reißen. Spannende Sekunden im Team ... Als die 12-kg-Marke erreicht wird, gibt der Helfer, der eigentlich der Belastung standhalten sollte, schon ein wenig nach, lockert seinen Griff und entlastet damit den Stoff. Doch die Waage zeigt unerbittlich nur 11 kg und die Kraft muss erhöht werden. 12 ... 13 ... 14 kg ... geschafft! Allgemeines Aufatmen, der Stoff hat die gefährliche Belastungsprüfung nochmal heil überstanden.

Doch es sieht verdammt so aus, als könnte der letzte Sommer der leuchtend gelben Hülle anbrechen. Walter Müller demonstriert am Porosimeter, mit dem Fallschirme und Drachen geprüft werden müssen, wie es um die be-

tagte Hülle bestellt ist. Zunächst spannt er ein Stück nagelneuen Ballonstoff in das Gerät ein, erzeugt einen Unterdruck, der durch das Gewebe hindurch ausgeglichen werden muss. Dann beobachtet er, mit welcher Geschwindigkeit ein unten angebrachtes Gewicht zu Boden fällt. Mehrere Minuten braucht das Gewicht, um den Boden zu erreichen. Trotz des großen Unterdrucks lässt der nagelneue Stoff nur wenig Luft passieren. Der gebrauchte Ballonstoff hingegen bietet der hindurchdrängenden Luft keinen Widerstand mehr und ohne Verzögerung fällt das Gewicht zu Boden. Pilot Peer Wagner fürchtet bereits um die Zulassung, aber der Prüfer sagt nur: „Die Zeit läuft, Peer“. Nächstes Jahr können dann größere Ausbesserungen nötig sein; für dieses Mal bekommt der Ballon noch seinen Stempel: geprüft und für sicher befunden. Der Pilot guckt erleichtert – schließlich kostet ihn eine neue Hülle ca. 35 000 Euro.

Vielleicht zum letzten Mal wird in der Hülle ein neuer Temperaturmessstreifen eingeklebt. An ihm kann der Prüfer routinemäßig ablesen, wie hoch die maximale Temperatur war, mit der der Ballon seit der letzten Inspektion gefahren wurde. Der Streifen besteht aus mehreren Feldern, in denen bei bestimmten Temperaturen Indikatorpapier verbrennt und sich so sukzessive der Farbcode verändert. 110 Grad Celsius hat der ausgetauschte Kontrollstreifen aufgezeichnet. Unterdessen werden draußen bereits die Gasflaschen geprüft. Wasser und simples Spülmittel schlägt die besten Blasen, wenn irgendwo Gas austritt. Doch die Prüfflüssigkeit verhält sich ganz unverdächtig: Die Propanbehälter sind dicht. Müller wirft einen der beiden vorgeschriebenen Brenner an und ohne Vorwarnung schlägt eine ordentliche Stichflamme in den

Fotos: S. 49: Illuscope, Peter Widmann (digital bearbeitet), S. 50 oben: dpa, alle übrigen: Stratos Ballooning.



Himmel, der sich an diesem Tag wie aus dem Bilderbuch der Ballonfahrer präsentiert. (Kein Wunder, dass die Piloten ihre Ballone, die den Winter über stillgelegt waren, jetzt überprüfen lassen und für die Saison neu anmelden.) 3000 PS (ca. 2206 kW) schafft der Brenner, der mit markantem Getöse seine Kraft auspowert, ein alternativer Flüsterbrenner ermöglicht eine gewisse Rücksicht auf die Tiere am Boden. Aber selbst mit ihm wird es kaum gelingen, grasende Rehe auf einer Lichtung aus der Nähe zu beobachten.



Bei einem Druck von 3 bar verdampft das Propan optimal – wieder zischt eine Flamme in den Himmel, und mir fallen plötzlich die Feuerlöscher auf, die in der Nähe am Zaun angebracht sind. Auch im Korb, der übrigens wie ein Rohr geflochten wird, sind selbstverständlich Feuerlöscher vorgeschrieben. Hier liegt eine der Gefahren der Ballonfahrten, und mir wird von Unfällen berichtet, bei denen das komplette Luftfahrzeug abbrannte (meist nach einer Kollision mit einem Überlandstromkabel) und die Besatzung sich nur durch einen kühnen Sprung retten konnte. Zum Schutz vor der sechs bis sieben Meter hohen Flamme besteht der unterste Bereich der Hülle aus nicht brennbarem Nomoxmaterial. Aber Hitze muss rein, denn es ist die erwärmte Luft in der Hülle, die den Ballon leichter macht als die von ihm verdrängte Luftmasse. „Das erkannte schon Archimedes“, referiert Müller Grundlagenwissen. Und die Brüder Montgolfier erfanden 1783 schließlich den Ballon, nachdem sie beobachtet hatten, dass sich weite Damenröcke – am Kamin zum Trocknen aufgehängt – aufblähten und abhoben.

Okay, so kommt er rauf, aber wie kommt er wieder runter? Moderne Ballone verfügen über Manövrierhilfen, die ein schnelles Entleeren der Ballonhülle ermöglichen. Das so genannte Parachutesystem kann rasches Sinken auslösen. Mithilfe eines Seilsystems lässt sich der obere Teil des Ballons, der so genannte Nordpol, komplett aufziehen. Denn die Hülle (Überraschung!) besteht nicht aus einem Stück. Je nach Modell ist der obere Teil zum Beispiel nur mit Klettverschlüssen und einem Seilsystem mit dem Rest des Luftfahrzeugs verbunden. Bei der Fahrt haftet der tellerförmige Ausschnitt allein durch den Druck am oberen Rand der eigentlichen Hülle. Zum Überprüfen des Nordpols wird der untere Teil des Ballons zusammengebunden und der obere erneut angeblasen. Die Stahlseile und auch die Karabinerhaken nimmt der Prüfer nur in Augenschein. Schäden, die zum Beispiel durch Hitze entstanden sein könnten, sind sofort als Verfärbungen erkennbar. Auch die Karabiner dürfen an den am stärksten belasteten Stellen keine sicht- oder fühlbaren Einkerbungen haben.



Zieht der Pilot am Seilsystem, so öffnet sich der Ballon, die heiße Luft entweicht schnell und der Ballon sinkt. In Fahrt muss der Pilot 4000 kg ohne Lenkrad, Gangschaltung und Bremse manövrieren. Ganz klar: Jede Landung ist eine Kollision. Entsprechend stabil müssen Korb und besonders der Korbboden sein, der aus einer Holzplatte besteht, die per Augenschein und Abtasten auf Schäden untersucht wird. Die Bodenkanten sind mit nass aufgebrachtem Schweinsleder ganz besonders geschützt und verkräften manch unsanfte Landung und das Schleifen über jedwedes Gelände.

Übrigens lassen sich die unternommenen Touren in den Unterlagen des Luftfahrzeugs genau nachverfolgen. Für jeden Ballon wird ein Bordbuch geführt, in dem das Freizeitvergnügen in Daten festgehalten wird. Pilot Peer Wagner verabschiedet sich, er hat seine Prüfscheine zusammen. Die Temperaturkontrolle des batteriebetriebenen Höhenmessers funktioniert nicht. Das Variometer muss er also austauschen und den Beleg nachreichen, aber dann kann er die Papiere beim Luftfahrtbundesamt in Braunschweig einreichen, die Zulassung erwirken, und dann heißt es, vorausgesetzt der Wetterbericht stimmt: Glück ab! – oder: Gut Land!



BIRGIT EHLBECK

Der luftfahrttechnische Betrieb der Familie Haggenev ist einer von ca. 15 in Deutschland. Pro Jahr werden hier an die 400 private und gewerbliche Ballone durchgecheckt. In Deutschland haben ungefähr 1500 Ballone die Zulassung vom Luftfahrtbundesamt. Wie immer, wenn es um amtliche Prüfungen geht, wird auch die Firma Stratos Ballooning in Ennigerloh offiziell überprüft: und zwar zweimal jährlich vom Luftfahrtbundesamt. Das klingt zwar alles ziemlich amtlich: doch Ballonfahren ist ohne Übertreibung glatt das Gegenteil von Behördenmief. Frischer könnte der Wind kaum sein, den Pilot und Passagiere übrigens nicht spüren, denn sie fahren ja mit dem Wind. Und – so schön kann das Leben amtlicher Prüfer sein – manchmal muss auch mal ein Probeflug unternommen werden, um ein aussagekräftiges Prüfergebnis zu erzielen. Da ist das Team von Stratos Ballooning in seinem Element. Stratosphärenräume, wie im Firmennamen versprochen, wurden von ihnen schon wahr gemacht: 1989 holte Benedikt Haggenev den Weltmeistertitel im Heißluftballonfahren, Nr. 7 in dem in Japan ausgetragenen Wettkampf wurde sein Bruder Markus. Auf dem Rückflug Japan – Münster wurde die Idee für den luftfahrttechnischen Betrieb geboren.



Messgröße: Temperatur

1 μK (10^{-6} K)

1 mK (10^{-3} K)

PLTS-2000
0,9 mK bis 1 K

1 K

ITS-90
0,65 K bis über 6000 K

10^3 K

tiefste bisher erreichte
Festkörpertemperatur: 3 μK

Tripelpunkt des Neons:
24,5561 K = -248,5939 °C

Tripelpunkt des Wassers:
273,16 K = 0,01 °C

Erstarrungspunkt des Goldes:
1337,33 K = 1064,18 °C

Die Temperatur wird immer über ihre Wirkung gemessen: Ob nun bei einer bestimmten Temperatur das Indikatorpapier in einem Messstreifen verbrennt (so wie im Heißluftballon), sich eine Flüssigkeit ausdehnt (wie im Fieberthermometer) oder sich der elektrische Widerstand in einem Platindraht verändert (wie im Platin-Widerstandsthermometer) – in jedem Fall schließt man von der Auswirkung auf die Temperatur. Und genauso werden auch die internationalen Temperaturskalen definiert: Sie beruhen auf den genau bekannten Eigenschaften bestimmter Stoffe (drei von insgesamt 17 dieser Fixpunkte sind in der Skala oben zu sehen).

Einheiten: SI-(Basis-)Einheit der Temperatur ist das Kelvin, bei der es keine negativen Vorzeichen gibt. Daneben darf auch die – im täglichen Leben geläufigere – Einheit Grad Celsius verwendet werden. Sie ist eine Sonderform des Kelvin mit denselben Abständen innerhalb der Skalen (ein Celsius-Schritt entspricht einem Kelvin-Schritt). 0 °C sind 273,15 K.

Messgeräte: Weil Temperaturen in sehr vielen, höchst unterschiedlichen Bereichen von Wissenschaft und Technik eine Rolle spielen, gibt es eine riesige Anzahl verschiedener Temperaturmessgeräte. Zum Beispiel benutzt man zur Messung

- sehr tiefer Temperaturen: Kernresonanzthermometer, Rauschthermometer
- mittlerer bis hoher Temperaturen: Gasthermometer, Platin-Widerstandsthermometer
- sehr hoher Temperaturen: Thermoelemente, Strahlungsthermometer, spektrometrische Methoden.

Aufgabe der PTB: Darstellung und Weiterentwicklung der Temperaturskalen (vorläufige Tieftemperaturskala PLTS-2000 und Internationale Temperaturskala ITS-90), Kalibrierung von Temperaturmessgeräten in allen Fällen, in denen es um besonders genaues Messen geht (die Messunsicherheit z. B. beim Tripelpunkt des Neons liegt bei 0,4 mK). Der gesamte in der PTB messbare Bereich erstreckt sich von 10 μK bis über 3000 °C.

Das Letzte

Da die Wahrheit ein scheues Reh ist, nähern wir uns ihr vorsichtig in drei Schritten. Erstens: „Der Ball ist rund“. Zweitens: „Wäre der Ball eckig, wäre er ein Würfel“. Drittens: „Das Runde muss ins Eckige“. Auf dem so erreichten aphoristischen Hochsitz haben wir nun freie Sicht auf das Wesentliche des Dings, das im Spiel ebenso zuhause ist wie im wirklichen Leben und in der Wissenschaft, wobei, aber dies nur am Rande vermerkt, den Beteiligten nicht immer ganz klar ist, welche der Kategorien gerade zutrifft, auf welchem Spielfeld der Ball rollt. Ungeachtet dieser Wirrnis nehmen wir uns die Freiheit zu fragen, ob der Ball, oder lässig gesagt: die Kugel, denn tatsächlich rund und also vollkommen ist. Der Ball in seiner Ausformung als Fußball ist es gewisslich nicht, auch wenn der ferne Blick von Tribüne oder Fankurve hier etwas anderes vorgaukelt. Denn siehe: Aus der Nähe betrachtet wandelt sich der Fußball – gelegentlich auch als Pocke, Ei oder Leder bezeichnet – zum vielflächigen Gebilde aus zusammengenähten Fünf- und Sechsecken, welche jeder Oberstudiendirektor (Lieblingsfach: Mathematik) rasch als archimedischen Polyeder erkennt. Wo ist also das Runde, wenn nicht auf dem Platz? Erheben wir den Blick vom zertretenen Grün gen Himmel, wo uns – dichterische Freiheit muss sein – der Vollmond die Szenerie beleuchtet. Im bleichen Licht erinnern wir uns dunkel zahlloser Gedichte und Lieder von „Der Mond ist aufgegangen“ über „The Dark Side of the Moon“ bis zu „Oh, Säuerlampe, ew’ge Laterne“. Derweil uns die Verse nur bruchstückhaft in den Sinn kommen und der Mann im Mond auch keine echte Hilfe anbietet, sehen wir das narbige Gesicht der uns zugewandten Hälfte und ahnen, dass uns auch hier das Vollkommene nicht entgegenleuchtet. Finden wir es dann vielleicht in der Wissenschaft, dieser spröden Schönen, die uns gelegentlich unter ihren Rock schauen lässt? Von dort erreicht uns, die wir mittlerweile auf unserem Hochsitz bei nasskaltem Nebel frierend hocken, eine Meldung von der Zunft der Messkünstler. Eine nahezu perfekte Kugel sei hier geformt aus nichts als Silizium. Bouleartig groß sei sie, allerdings nicht zum Werfen gedacht, sondern zum Abzählen der kleinen Kugeln in ihrem Inneren, den Atomen. Dass Physiker stets dem Alltagsverstand abseitigen Ideen nachgehen, wussten wir schon lange. Aber dass große Kugeln gebaut werden, um kleine Kugeln zu zählen ... nunja, auf sowas muss man kommen! Fasziniert lesen wir weiter und stoßen auf ungeahnte Filigranarbeit: Diese Siliziumkugel der Physiker weicht von der idealen Kugel der Mathematiker nur um wenige Millionstel Millimeter ab. Ist das jetzt viel, ist das wenig? Ratlos frieren wir vor uns hin. Lasst doch die Kugelmänner ihre Kugeln bauen und Atome zählen – wenn es sie denn tröstet. Den Gedanken zu Ende denkend, dass doch auch eine fast ideale Kugel, sofern sie nicht zum Spielen geeignet ist, uns kaum innerlich erwärmt, klettern wir vom Hochsitz herab. In diesem Sinne: Das Reh ist weg, ich geh nach Haus und „die Wahrheit is auff’m Platz“.

JENS SIMON



Foto: Volker Steger

P. S.: Die Fußballzitate verdanken wir (in der Reihenfolge ihres Auftretens): Sepp Herberger, Gyula Lorant, Helmut Schulte, Adi Preissler.



Impressum

Herausgeber

Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Braunschweig und Berlin

Redaktion

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, PTB

Postfach 3345, 38023 Braunschweig

Telefon: (05 31) 592-30 06

E-Mail: presse@ptb.de

Redakteure: Jens Simon (verantwortlich), Erika Schow

freie Autoren: Almut Bruschke-Reimer, Birgit Ehlbeck,

Frank Frick, Nicole Geffert, Andrea Hoferichter,

Rudolf Ites, Ute Kehse, Jan Oliver Löffken,

Doris Marszk, Dörte Saße

Layout: Jörn-Uwe Barz

Grafik: Björn Helge Wysfeld

Bilder ohne Quellenangabe: Bildstelle der PTB

Druck

Fischer Druck, Peine

Auszüge der „maßstäbe“ im Internet unter www.ptb.de

© PTB. Alle Rechte vorbehalten.

Bei Nachdruck bitte Quellen- und Autorenangabe
sowie Information an die Redaktion.

Braunschweig, Juni 2002

