

Gelenke

GESCHMEIDIG BLEIBEN

Warum wir Menschen so phänomenal beweglich sind. Und was wir tun können, um Schmerzen zu bekämpfen und unsere Gelenke zu erhalten

Von Jörn Auf dem Kampe

Sein Knie. Irgendwie irre, dieses Ding. Präzise gearbeitet, formschön wie eine Skulptur von Henry Moore. Kühl und schwer, als wäre es für die Ewigkeit gemacht, lag es in den Händen des Chirurgen, bevor dieser es in Reinhard Titzes rechtes Bein einsetzte. Vom Eingriff zeugt heute nur noch eine lange Narbe.

„Is allet jut geworden“, sagt Titze, ein heiterer Mensch aus dem Brandenburgischen, 68 Jahre alt, dichtes weißes Haar. Der pensionierte Informatiker trägt ein Industrieprodukt im Körper, von dem er nichts spürt. Sein Knie besteht aus einer Kobalt-Chrom-Molybdänlegierung, Titan und Polyethylen; Materialwert ein paar Hundert Euro. Nur dank dieser Prothese kann Reinhard Titze endlich wieder ohne Qualen gehen.

Ein Triumph der modernen Medizin. Das ist die eine Wahrheit. Die andere lautet: Das Ersatzteil in Reinhard Titzes Knie ist eben doch nur eine Kopie, und nicht annähernd so gut wie das Original. Wenn der Rentner Glück hat, hält die Prothese 20 Jahre durch, dann steht ein Austausch an.

Was Titzes Knie zerstörte, war die Arthrose, die weltweit häufigste Gelenkerkrankung, eine rätselhafte Demontage von Knorpel und Knochen. Wer den Begriff googelt, stößt auf das Wort „Gelenkverschleiß“, auf Hausmittel wie Kreuzkümmel und

Beiträge über die heilsame Wirkung des Joggens. Wer bei seinem Orthopäden vorstellig wird, hört nicht selten von vielen Fragezeichen und einer Gewissheit: Arthrose ereile irgendwann fast jeden.

Seit Jahrzehnten sind Prothesen oft die letzte Antwort der Orthopädie, wenn unsere Gelenke versagen. An jedem Werktag setzen Operateure in Deutschland rund 1600 Nachbauten ein. Aber weil jede Prothese immer nur die zweitbeste Lösung sein kann, hat in der Medizin ein neues Denken eingesetzt: Was wäre, wenn es gelänge, Schäden am Gelenk zu vermeiden? Wenn wir uns auch im hohen Alter noch auf unsere Hüften, Schultern und Knie verlassen könnten? Und wenn die Arthrose am Ende doch nicht unausweichlich wäre?

Es zeigt sich verrückterweise, dass wir gerade erst beginnen, unsere Gelenke zu verstehen. Denn sie sind eine verflixt komplexe Angelegenheit, zudem bei Lebenden äußerst schwer zugänglich.

Aber die ersten Forschungsergebnisse machen Hoffnung: Sie beweisen, dass Gelenke erstaunlich widerstandsfähig sind – und dass der Mensch selbst sehr viel dafür tun kann, beweglich zu bleiben.

Es war dieser eine Moment beim Handball. Eine Spielszene nur, aber sie bedeutete wahrscheinlich das Ende des Knies von Reinhard Titze. Der Pensionär erinnert sich an einen Zusammenprall im Torraum, ein Gegner warf sich ihm aufs Bein: „Einmal voll rinjehaun“, sagt er. Sein Gelenk war anschließend tagelang geschwollen. Jahre später kamen die Schmerzen zurück. Als sie schließlich unerträglich wurden, diagnostizierte sein Arzt Arthrose und riet ihm zur Prothese.

Das künstliche Knie, das ihm der Operateur verpasste, hat es allerdings in sich. Denn Reinhard Titze ist Teilnehmer

eines weltweit einzigartigen Experiments der Grundlagenforschung.

Seine Spezialprothese enthält einen fast 30.000 Euro teuren Sensor, den Wissenschaftler von der Berliner Charité vor der OP in sie einbauten. Und nicht nur bei ihm. Gut vier Dutzend Freiwillige tragen Fühler in ihren Kunstgelenken in den Schultern, an der Wirbelsäule, in den Hüften und Knien.

In einem Turnsaal in Berlin-Mitte schreitet Proband Titze nun unter dem Licht der Deckenstrahler auf und ab. Sein Gelenk wird von einer Manschette umschlossen, die Daten aus dem Knie empfängt. Messwerte fließen über ein langes Kabel in einen Laptop, als wäre Titze eine Maschine auf dem Prüfstand: Kräfte im Knie, Reibung, Temperatur.

Das mit der Maschine ist nicht ganz falsch. Jeder kennt Röntgenbilder der Knochen oder Kernspinaufnahmen von Muskelgewebe, aber welche Urgewalt im Inneren des bewegten Körpers herrscht, darüber sagen sie nichts aus. Sie sagen wenig über die raffinierte Mechanik der Gelenke.

Er soll mal die Beine anspannen. Reinhard Titze steht still in der Berliner Turnhalle und spannt an. Ines Kutzner schaut auf den Monitor, schaut auf Titze. Zusammen mit dem Maschinenbauingenieur Philipp Damm betreut die Medizintechnikerin die Prothesen-Truppe, beide arbeiten für eine Einrichtung der Charité mit dem Monstertitel Julius Wolff Institut für Biomechanik und Muskuloskeletale Regeneration.

Vier Komma fünf", sagt Kutzner jetzt. Der Wert bedeutet: Auf Titzes Knie ruht nicht weniger als das viereinhalbfache Körpergewicht. In seinem Fall sind das mehr als 400 Kilogramm - als Resultat schlichter Muskelarbeit im Stehen! Reinhard Titze ist dabei gar keine Sportskanone. Aber eine Supermaschine - wie jeder Mensch. Denn bei allen Versuchen mit

ihren Probanden messen Kutzner und Damm derart enorme Lasten, dass sie für Laien kaum zu fassen sind. Beim Joggen im Eiltempo erreichen sie in der Hüfte: das sechsfache Gewicht des Körpers. Und sogar das neunfache, wenn die Testkandidaten beim Gehen stolpern. Das Einschlagen eines Nagels in die Wand bürdet dem Schultergelenk das zweieinhalbfache Körpergewicht auf. „Bei dynamischen Bewegungen mit hohen Stoßbelastungen sind diese Werte wahrscheinlich noch weit höher“, sagt Kutzner, „etwa beim Tennis oder Skifahren.“ Was eines deutlich macht: auf welch gewaltige Beanspruchungen unsere Gelenke von Natur aus ausgelegt sein müssen.

Sie helfen dem Menschen dabei, ein unvergleichliches Wunderwerk an Kraft und Mobilität zu sein. Natürlich, viele Tiere sind elastischer als wir. Jeder mittelgroße Oktopus zwingt seinen Gummileib umstandslos in ein Gurkenglas. Aber dafür hängen wir ihn beim Laufen locker ab. Homo sapiens ist der König im Mehrkampf. Wir können werfen, schwimmen, klettern, auf einer Bordsteinkante balancieren, springen, mit zwei Beinen oder auf allen vieren gehen – kein anderes Wesen ist in Sachen Bewegung so vielseitig begabt wie unsereins.

Die Grundlage dafür sind rund 212 echte Gelenke, die ein Mensch besitzt, seine kaum beachteten Diener der Gewandtheit. Es gibt simple darunter wie die Ellbogen: Scharniere mit einem beschränkten Aufgabenspektrum wie die Angeln einer Tür. Da sind exotische, von deren Existenz die meisten nichts wissen. Etwa jene 48 winzigen Gelenke der Wirbelsäule, die zwischen benachbarten Segmenten in der stützenden Strebe sitzen. Oder komplexe. Wie die Kugelgelenke in den Schultern, die den Armen eine enorme Bewegungsfreiheit verschaffen.

Und dann die größten Verbindungsstellen: unsere Knie. Jedes besteht genau genommen aus zwei Gelenken, die auf

komplizierte, aber ausdauernde Weise miteinander arbeiten. 330 Millionen Mal im Leben werden sie im Schnitt gebeugt. Strecken wir sie durch, rotieren die Unterschenkel minimal nach außen. Diese Drehung bewirkt, dass die Knie einrasten. Deshalb stehen wir still - und das ohne allzu große Muskelanstrengung.

Eingepackt in eine Kapsel, vertäut das Knie wie jedes andere Gelenk Knochenstücke miteinander. Für den Zusammenhalt sorgen Bänder, dehbare Brücken zwischen Knochen. Sie sind die Versicherung dafür, dass das Ganze nicht auseinanderfliegt, während Sehnen die Muskelkraft auf Gelenke und Extremitäten übertragen.

Gemeinsam mit den Muskeln dämpfen Bänder und Sehnen zudem Stöße beim Laufen, federn eine Landung ab. Und weil sie das nicht immer ganz synchron bewältigen, überzieht eine Hightech-Schicht die Knochenenden. Der Knorpel.

Jeder, der Hühnerschenkel isst, hat sie schon einmal gesehen: die weißliche, glitschige Substanz, die in allen Wirbeltierskeletten zu finden ist. Knorpel mag unscheinbar sein, aber er ist eine entscheidende Größe der Mobilität. Ohne ihn ginge wenig. Der Überzug verteilt die Lasten gleichmäßig im Gelenk. Von all dem merken wir nichts, denn er ist nicht mit den Nerven verdrahtet.

Knorpel ist ein Friedensstifter. Er entschärft den Konflikt, wo Knochen auf Knochen trifft, und lässt ihn zu einer geschmeidigen Angelegenheit werden: weil ihn eine im Gelenk gebildete Flüssigkeit schmiert; weil er sich beinahe so wie ein Schaumstoffkissen verformt; und weil er weniger Reibung aufweist, als wenn eine Schlittenkufe auf Eis gleitet. Kein anderes Material auf der Erde besitzt solche Eigenschaften.

Knorpel passt sich zudem bei jedem Menschen an Belastungen

an - nach jahrelangem Training zeigt er erstaunliche Nehmerqualitäten. Bei Elite-Turnern oder -Weitspringern etwa saugt er, konnte man messen, besonders viel Wasser auf, was vermutlich die Unempfindlichkeit gegenüber abrupten Stößen erhöht.

In Reinhard Titzes Knie aber löste sich genau jene Schicht auf. „Diagnose Knorpelglatze“, sagt er lakonisch, „fast alles weg.“ Hunderttausende von Patienten in Deutschland erhalten jedes Jahr die gleiche Auskunft von ihrem Arzt. Wie kann etwas derart Wunderbares einfach verschwinden?

Wenn Thomas Pap durch sein Mikroskop schaut, dann prangen vor seinen Augen bunte Landschaften. Der Forscher blickt auf Strukturen von leuchtendem Grün, Blau und Orange. Manche gleichen den Satellitenbildern einer wilden Küste mit tiefen Einschnitten.

Es sind die eingefärbten Dünnschnitte von rissigen Knorpeln aus den Knien von Mäusen, deren Anatomie mit der unserer Gelenke weitgehend übereinstimmt. Der Professor für Experimentelle Medizin von der Universität Münster fahndet darin nach Hinweisen, unter welchen Bedingungen der Knochenüberzug zugrunde geht, so wie es bei Titze geschah.

Knorpel besteht aus reichlich Wasser, Knorpelzellen und mehreren Lagen von miteinander verflochtenen Fasern. „Im Labor halten diese sogenannten Fibrillen mehr als ein Jahrhundert, das kann man berechnen“, erzählt Pap, „aber in Gelenken gehen sie eben oft früher kaputt.“

Es wäre naheliegend, an Abnutzung zu denken. Man könnte meinen, das Netz der Fasern reibe sich mit den Jahrzehnten ab wie der Bremsbelag eines Rennrads. „Doch unser Gehirn verschleißt auch nicht vom vielen Nachdenken“, sagt Thomas Pap. „Außerdem können auch sehr junge Menschen Knorpel

verlieren." Und bei manchem sind die weißen Polster noch im höchsten Alter einwandfrei.

Der Forscher geht einem anderen Verdacht nach: Könnte es sein, dass die Zellen eine gewichtige Rolle spielen? Jeweils zwei von ihnen sitzen eingemauert in den Hohlräumen des Fasergeflechts, um sie herum Wände aus Fädchen. Bildhaft gesprochen, ticken sie wie spleenige Hausbesitzer, glaubt Pap. Ähnlich wie Hobbyhandwerker, die zwanghaft ihr Eigenheim modernisieren. Knorpelzellen renovieren die Matrix der Fasern um sie herum, sie reißen ein Stück davon ein und bauen es wieder auf.

Das tun sie ein Leben lang. Denn der Knorpel ist ein Erbe aus unserer Gründerzeit im Mutterleib. Das Skelett eines Embryos besteht vollständig aus ebenjener Substanz. Nach und nach verknöchert es, aber das dauert. Sogar die Knochen von Kleinkindern sind davon noch durchzogen. Erst mit etwa 25 Jahren wandeln sich die letzten Reservoirs um, übrig bleibt einzig die Schicht auf den Knochenenden.

Über Jahrzehnte halten die Knorpelzellen diese Reste in Schuss. „Aber nur, wenn sie ‚wissen‘, dass um sie herum alles in Ordnung ist“, sagt der Mediziner Pap. Die Zellen besitzen Antennen für chemische Botenstoffe. Jene können von Problemen künden, etwa einer Entzündung oder einer Verletzung des Knorpels durch Überbelastung – oder auch das Gegenteil besagen. Solange die Signale positiv sind, umsorgen die empfindsamen Handwerker ihr Bauwerk.

Wenn sich aber die Nachrichtenlage verschlechtert, reißen die Hausherrn Wände ein. Dann bricht in der kleinen, heilen Welt der Gelenkkapsel Anarchie aus. Knorpel stirbt ab und verschwindet für immer. Oder verwandelt sich über Monate, Jahre in Knochen. An den Rändern wuchern knochige Zähnchen

oder Säume empor. Gewebe entzündet sich. Und der Knochen unter der schwindenden Knorpelschicht wird löchrig. Stark Übergewichtige sind besonders schlecht dran: Bei ihnen sendet das Körperfett Signalstoffe aus, die den Prozess beschleunigen.

Genau dieses Chaos nennen Ärzte Arthrose. Pap hält es für vermeidbar. Deshalb manipuliert er Mäuse-Erbgut, schaltet die Antennen der Knorpelzellen aus. Dann lässt er seine Probanden auf winzigen Hometrainern laufen und schaut, wie der Knorpel im Knie reagiert. Pap hat eine Maus designt, die keine Arthrose bekommt. Nicht einmal, wenn ihre Gelenke lädiert sind.

Noch ist es für eine Anwendung zu früh, bisher hemmt diese Umgestaltung des Genoms auch die Wundheilung. Doch in ein paar Jahren könnte es so weit sein, hofft er.

Aber wer Arthrose kurieren will, weiß Thomas Pap schon heute, der muss den Nachrichtenstrom kontrollieren, der den Knorpel beeinflusst. Solange das nicht möglich ist, bleibt nur eines: herauszufinden, wann körperliche Belastung schädlich wird. Ab wann sie zu viele negative Botschaften verursacht, bei Mäusen wie bei Menschen.

Es ist eine zentrale Erkenntnis, die zunächst eine Frage aufwirft. Was das genau ist: Überlastung? Und die Anschlussfrage, ob man eine Formel der gesunden Beanspruchung aufstellen könne. Die Suche nach dieser Formel beschäftigt Forscher rund um den Globus.

Aber die Forschung stößt an ihre Grenzen. Wissenschaftler können den Menschen nicht einfach ein paar Jahre zum Dauerstresstest auf ein Laufband schicken, als hätten sie es mit Laborratten zu tun. Francisca Alves Cardoso aus Lissabon

befragt deshalb die Toten.

Sie muss einen Code eintippen, stößt eine Tür auf. Tritt ein ins Museu Nacional de História Natural e da Ciência. Alves Cardoso durchmisst einen Raum mit weißen Wänden und grauem Boden. Leute in Kitteln beugen sich über schmale Tische, im Schein greller Lampen. Dann steigt die Forscherin eine Wendeltreppe hoch. Dort liegen sie, die Toten, in den Schubladen von 40 Schränken.

Die Anthropologin zieht Kiste 244 heraus, leuchtet mit ihrer Taschenlampe hinein. Darin passt, was von einem Menschen nach Jahren der Friedhofsruhe übrig ist. Auf dem Totenschädel steht schwarz die Nummer 244: *Doméstica*, sagt sie leise. Eine Hausfrau. 70 Jahre alt geworden, gestorben im Jahr 1957 an Demenz.

Alves Cardoso hat ein weißes Tuch auf einem Holztisch ausgebreitet. Sie stellt die Kiste ab, stülpt sich Latexhandschuhe über. Neben ihr sortieren zwei Insektenkundler auf Nadeln gespießte Schmetterlinge. In einem Regal ruhen Kriebstiere, bleich in Gläsern.

Sie legt einen flachen Knochen vorsichtig auf das Tuch. „Ein Becken. Sehr breit. Kann nur von einer Frau stammen“, kommentiert Alves Cardoso. Sie beurteilt Überbleibsel meist mit einem Blick. Oft genügen ihr Fragmente, die sie im Geist vervollständigt, wenn sie Linien weiterzeichnet, Winkel schätzt. Sobald sie feinste Strukturen analysiert, fährt sie mit den Fingern über Flächen, tastet. Braucht die Augen nicht. Was sie in Erfahrung bringt, ist aussagekräftiger als jedes Röntgenbild.

Nach und nach arrangiert Alves Cardoso das Skelett auf dem Tisch, streicht Knochen auf ihrer Checkliste ab. „Es war eine zierliche Person, kleiner als ich, und sie hatte ein Gelenkproblem“, befindet schließlich die Forscherin, die

selbst 1,55 Meter misst.

Hunderte Tote birgt das Archiv am Nationalen Naturhistorischen Museum, begraben in der jüngeren Vergangenheit bis 1984. Es sind Schneiderinnen, Bäcker oder Ingenieure. Hier liegen Verwaltungsbeamte, Bauern und Arbeiter. Das Altersspektrum ist enorm - es reicht von Menschen, die 98 Jahre gelebt haben, bis hin zu Babys. Und weil die genauen Lebensdaten bekannt sind, zieht die Sammlung viele Forensiker aus aller Welt an. Anhand der Skelette wollen sie lernen, wie man das Alter von Leichen unbekannter Personen allein anhand der Knochen bestimmt.

Alves Cardoso aber sucht in den Knochen nach Zeichen für Schäden. Ermittelt in einem zweiten Schritt biografische Parallelen: Sind bestimmte Tätigkeiten die Ursache für kaputte Gelenke? Mit einer solchen Fragestellung hat bisher niemand Skelette analysiert.

Bei Nr. 244 diagnostiziert sie Arthrose in der rechten Schulter. Alves Cardoso macht einen kleinen Wulst aus, wo der Röhrenknochen des Oberarms in das kugelige Endstück übergeht. Mitten auf dessen glatter Oberfläche sticht eine zweite, scharf umgrenzte Wucherung hervor, die an eine Insel erinnert. Vermutlich haben sich die Auswüchse gebildet, während der Knorpel wich und im Inneren des Gelenks das Inferno tobte.

Andere Individuen weisen an den Knochenenden poröse Zonen auf. Oder millimetergroße Flächen, die im Gegenlicht silbrig leuchten. „Dann hat Knochen an Knochen gerieben“, sagt sie. Das könnte sehr schmerzhaft gewesen sein, aber so genau weiß man es nie. Denn der Grad der Zerstörung und das Ausmaß des Schmerzes hängen bei Arthrose selten zusammen.

Hunderte solcher Befunde hat die Forscherin ausgewertet und beobachtet, wie die Schäden mit dem Alter zunehmen. Wahrscheinlich lassen die Knorpelzellen bei ihrer

Instandhaltung irgendwann nach. Womöglich sind unsere Gelenke auch wie Unfallarchive, mutmaßt Alves Cardoso. Je älter man wird, desto mehr häufen sich Verletzungen, die dem Knorpel zusetzen.

Sie ist auch noch auf einen anderen, bedeutenden Zusammenhang gestoßen. Bei Bauern und Tagelöhnern. Die Skelette der Bauern zeigen weniger Schäden als die ungelernter Arbeiter. Und das, obwohl die Landwirte genauso hart malochten. Der einzige Unterschied: Die Bauern führten die immer gleichen Tätigkeiten aus. „Genau das scheint sie zu wappnen“, sagt Alves Cardoso, die als Kind selbst auf dem Bauernhof ihren Eltern zur Hand gehen musste. Bei Tagelöhnern hingegen veränderten sich ständig die Belastungen.

Dieser Unterschied könnte ein Indiz dafür sein, wie der Mensch am besten funktioniert. Und dass das Schicksal der Gelenke zu beeinflussen ist. Durch kluges Training.

Köln, Deutsche Sporthochschule, Institut für Biomechanik und Orthopädie, 10. Stock. Von hier oben schaut Gert-Peter Brüggemann auf die Dinge, und er scheut sich nicht, wie ein Materialforscher Knochen und Bänder zu zerstören. Der Biomechaniker will die Fähigkeit des Körpers verstehen, sich an Belastungen zu gewöhnen; er will wissen, wie weit diese Fähigkeit geht, und vor allem, wann der Mensch sie überschreitet.

Brüggemann und seine Kollegen sind dabei, eine Art Betriebsanleitung für die Maschine Mensch zu formulieren. Jeder passt sich demnach an ein individuelles Repertoire bestimmter Bewegungen an. Den menschlichen Körper kann man sich daher in etwa wie einen Roboter vorstellen, der seinen programmierten Mustern folgt. Kritisch wird es erst, wenn er davon unvorbereitet abweicht.

Um diese Wege und Abwege auszuloten, analysieren die Kölner Forscher Astronauten der Internationalen Raumstation ISS genauso wie Hobbysportler, und sie wagen sich bis ans körperliche Limit von *Homo sapiens* vor. Im Stadtteil Bocklemünd, ein paar Kilometer Luftlinie entfernt vom Turm der Sporthochschule, führen ehemalige Studenten von Brüggemann dafür Experimente durch.

Sie simulieren Unfälle. Etwa beim Basketball - und anhand von Leichenfüßen. In einen Sportschuh gesteckt, prallen die Präparate gegen einen Widerstand und sollen dabei umknicken. Brüggemann verspricht sich davon Erkenntnisse, wie ein solches Trauma im Detail Knorpel, Sehnen, Kapseln und Bänder malträtiiert.

Das „Rimasys“ getaufte Labor, als Spin-off der Universität gegründet, hat sich auf ein eigenwilliges Geschäftsmodell spezialisiert: die Nachahmung von Verletzungen zu Forschungszwecken und für die Ausbildung von Chirurgen. Die Leichenteile stammen etwa von Spendern aus den USA, werden per Luftfracht und unter den Auflagen eines Ethikprotokolls von einem Unternehmen namens Science Care tiefgekühlt verschifft. Gert-Peter Brüggemann versucht anhand der Präparate nachzustellen, was er mit lebenden Probanden niemals tun könnte.

Kürzlich hat er mit seinem Team Beine von sechs toten Spendern in eine Maschine eingespannt, im Gelenkspalt jedes Knies eine Druckfolie angebracht und die Extremitäten Kniebeugen machen lassen. „Der Punkt des höchsten Drucks wandert bei der Bewegung im Gelenk“, sagt Brüggemann. „Und zwar bei jedem Menschen anders, individuell und konstant wie bei einer Unterschrift.“

Aus diesem spektakulären Ergebnis schließt der Forscher, dass nicht nur jeder auf seinem höchstpersönlichen

Bewegungspfad unterwegs ist. Sondern dass dieser Pfad auch ein Optimum darstellt: weil er mit der geringsten Gelenkbelastung einhergeht - und sich daher leichtgängig anfühlt.

„Dieses In-sich-Hineinlauschen ist wichtig. Wenn jemand beispielsweise mit Laufschuhen joggt, die ihm nicht komfortabel vorkommen, verlässt er womöglich schon den individuellen Pfad“, glaubt der Biomechaniker, der von der Bauweise des Knies schwärmen kann wie Technikfreaks über Flugzeugturbinen.

Folgt man Brüggemann, dann bewegt sich jeder Mensch nicht nur auf seinem eigenen Pfad, von dem er oft genug schnell abweicht. Dann ist jeder eben auch noch seine eigene Messstation. „Bei falschem Schuhwerk etwa müssen die Muskeln sehr viel korrigieren, damit erhöht sich die Last auf den Gelenken, und das merkt man.“ Schmerz ist für ihn das ultimative Warnzeichen für einen Irrgang - oder gar einen Schaden.

Nach dem ersten Test nahm Brüggemann einen radikalen Eingriff vor, um eine schmerzhaft Abzweigung vom gesunden Pfad zu simulieren: Er wiederholte seinen Versuch mit zertrennten Kreuzbändern. Auch dabei zeigten sich charakteristische Signaturen, nur leicht verschoben. „Das setzt das Knie dann richtig unter Stress, denn jetzt kommen plötzlich Areale im Gelenk in Kontakt, die in dieser Form noch nie übereinanderlagen“, erzählt der Forscher, „und dies kann den Knorpel lokal überlasten.“ Auch der Defekt eines Meniskus beeinträchtigt gewöhnlich die Mechanik im Gelenk. Oft treten beide Verletzungen gleichzeitig auf.

Mit dem Kreuzband aber fehlt auch noch ein Warnmelder. Denn die Verbindung ist mit Sinneszellen bestückt, die bei drohender Überdehnung dafür sorgen, dass die Muskeln den Unterschenkel wieder in eine gelenkschonende Position bringen.

Was entscheidend ist angesichts der gewaltigen Kräfte, die die Berliner Prothesenforscher messen.

Bei schätzungsweise jedem zweiten Athleten entwickelt sich nach einem Kreuzbandriss Arthrose, auch eine Operation schützt nicht unbedingt davor. In Deutschland treten 95 Prozent solcher Verletzungen bei Disziplinen mit schnellen Richtungswechseln wie Fußball oder Handball auf. Und auch beim Alpinski. Mit „Gesundheitssport“ haben sie laut Brüggemann, der selbst Ski fährt, nicht viel zu tun.

Besonders häufig sind Frauen betroffen. Denn ihre Neigung zu X-Beinen kann dazu führen, dass bei vehementen Drehungen die Knie so einknicken, dass die Kreuzbänder überbeansprucht werden. Oft ist auch die Koordination der Muskulatur nicht optimal, wenn es darum geht, Sprünge abzufedern. „Während der Regel bewirken Hormone, dass zudem die Bänder und die Sehnen weniger steif und weniger belastbar sind als sonst; womöglich passieren dann mehr Unfälle“, sagt Brüggemann.

Die gute Nachricht: Unser Körper lässt sich für vieles wappnen – wenn man ihn genügend trainiert. Es ist ein Prozess, der vor allem Zeit erfordert. Denn während Muskeln und Knochen sich in wenigen Wochen umformen und sich auch die Koordination rasch verbessert, benötigen Knorpel, Sehnen und Bänder viele Monate. Aber danach ist der Mensch vielleicht sogar für brenzlige Situationen gerüstet.

Sportwissenschaftler der Berliner Humboldt-Universität lassen bei einer Studie Senioren in einem Parcours auf wackelige Unterlagen springen. Damit wollen sie das Vermögen verbessern, auf ein jähes Ereignis zu reagieren – etwa einen Sturz. Je geschmeidiger die Reaktion, desto geringer sind die Kräfte, die auf die Gelenke wirken.

Für die jungen Fußballerinnen vom 1. FFC Turbine Potsdam

haben die Berliner Übungen entworfen, mit denen sie das Risiko von Kreuzbandrissen senken wollen. Über drei Monate hinweg absolviert der Nachwuchs des Bundesligaklubs ein Work-out, das die stabilisierenden Muskeln rund ums Knie kräftigen und gesunde Bewegungsabläufe einüben soll. „Erstaunlich viele Athletinnen wiesen zu Beginn instabile Knie auf, und das, obwohl sie sonst gut in Form waren“, sagt die Biomechanikerin Heide Boeth, die das Experiment begleitet.

Wenn schon die Fußball-Teenies Nachholbedarf haben, dann kann das für den Normalsportler nur heißen: Ein systematischer Muskelaufbau wäre auch für ihn die beste, einfachste Vorsorge gegen Verletzungen und Arthrose. Den Leib in Ruhe stählen und ihn nicht unvorbereitet Bewegungsexperimenten aussetzen – das ist eine denkbar simple, verallgemeinernde Formel, aber sie wartet mit Kronzeugen aus der Vergangenheit auf: den portugiesischen Bauern. Ihr Leben lang taten sie immer und immer wieder über Jahrzehnte das Gleiche, allmählich gewöhnten sich die Gelenke an die Belastungen.

Ein geduldiges Aufbautraining wäre sicherlich vor allem für jene Gelegenheitsaktivisten ratsam, die sich einmal im Jahr die Ski anschnallen oder beim Dorfkick mit ihrer Thekenmannschaft alles raushauen. Aber sonst das Sofa vorziehen.

Mangelnde Fitness und Überehrgeiz als Hauptursache für Gelenkschäden?

Gert-Peter Brüggemann glaubt sogar, dass sich der Durchschnittsbewohner eines Industrielandes vor allem an minimalistische Bewegungen wie Gehen, Treppensteigen, Aufstehen und Hinsetzen gewöhnt hat – und seine Gelenke stark belastet, wenn er mal ganz anders gefordert wird.

Auch wer sich als Sportanfänger zu schnell steigert, mutet sich viel zu. Die Kölner Biomechaniker um Brüggemann testen

mit Freizeitläufern gerade, wie sich Ermüdung auswirkt. Je erschöpfter die Jogger während eines Laufs werden, desto weniger sind in den Beinen kleine, effizient arbeitende Muskeln aktiv - sondern mehr und mehr die großen. Damit, so die These, werden die Kräfte, die aufs Knie wirken, massiver, unkontrollierter.

Darin steckt aber auch eine positive Botschaft: Training rüstet den Menschen auch für lang andauernde Belastungen. Wessen Muskeln unterwegs kaum ermüden, schont wahrscheinlich seine Gelenke. Sogar ein sportliches Megaprojekt wie ein Marathon erscheint daher für gesunde Hobbyathleten nicht prinzipiell schädlich, sofern sie die gesamte Distanz ohne völlige Verausgabung überstehen und effizient laufen können. Die Belastbarkeit der Gelenke ist zwar immer auch individuell. Aber eine Faustregel könnte sein: Läufer, die seit 20 Jahren regelmäßig zehn Kilometer pro Woche joggen, benötigen wenigstens sechs bis neun Monate intensives Training, glauben Forscher. Wer die Hälfte an Lauferfahrung zu bieten hat, sollte mindestens die doppelte Vorlaufzeit einplanen. Und je älter man ist, desto länger sollte die Vorbereitung sein.

Manche Topathleten verkraften einigermaßen schadlos sogar gigantische Distanzen. Bei einem Ultramarathon vom italienischen Bari bis zum Nordkap legten Läufer in zwei Monaten 4487 Kilometer zurück. Ohne Ruhetag. Und eskortiert von einem Ärzteteam samt mobilem MRT-Gerät. Die Mediziner stellten fest, dass sich die Sportler zwar viele Ödeme und Entzündungen einhandelten. Und dass die Knorpel im Fußgelenk zunächst schwanden - sich dann aber während des Rennens erholten. Womöglich kurbelte die einseitige Belastung die Selbstheilung an.

Dass ein achtsames Training die Gelenke schützt, vermutet die Forschung schon lange. Doch in jüngster Zeit häufen sich

beeindruckende Befunde, dass eine gute Muskulatur sogar bereits vorhandene Probleme mildert. Bei Studien mit ehemaligen Profivolleyballspielern etwa stellte sich heraus, dass ihre Knorpel in den Knien zwar oft defekt sind – aber die Muskeln rundherum auch so kräftig und aufeinander abgestimmt, dass sie keine Schmerzen verspüren.

Eine Untersuchung der Universität Tübingen kommt zu dem Schluss, dass Tai-Chi, Ausdauertraining oder Wassergymnastik bei Arthrose genauso lindernd wirken wie Schmerzmittel, nur ohne Nebenwirkungen. Inzwischen konzipieren Wissenschaftler sogar spezifische Übungen für Kreuzbandversehrte. Und für Menschen mit Arthroseknien, um den Druck im Gelenk schonend auf noch intakte Zonen zu verlagern.

Denn eins ist sicher: Trägheit ist keine Alternative. Es mag wie Ironie klingen, aber Phlegma gilt als mindestens genauso schädlich wie ein Übermaß an unkontrollierter Aktivität.

Bei Stillstand lässt die Produktion von Gelenkschmiere nach, der Mensch rostet gewissermaßen ein. „Außerdem ist der Knorpel nicht mit dem Blutkreislauf des Körpers verbunden“, sagt Brüggemanns Kollegin Anja Niehoff, „Nährstoffe saugt er nur dann auf, wenn er belastet wird.“

Die Sportwissenschaftlerin erkundet derzeit, was genau bei Untätigkeit geschieht. Deshalb untersucht sie die Knorpel von ISS-Astronauten, die sich über Monate der Schwerelosigkeit aussetzen. Mangels Gravitation bauen sich Knochen und Muskeln ab, das ist bekannt. Über das Schicksal des Knorpels weiß bisher niemand etwas. Aber es gibt Indizien.

Denn Niehoff hat das Weltall bereits mit Freiwilligen simuliert. Ihre Probanden legten sich bei einem Experiment für zwei oder drei Wochen ins Bett. Danach hatte etwa der Knorpel

am Schienbein fast zehn Prozent an Substanz verloren.

Und weil Bewegung eben alles ist, hat sich Gert-Peter Brüggemann gerade ein neues Mountainbike gekauft. Francisca Alves Cardoso aus Lissabon plant, wieder häufiger schwimmen zu gehen. Knorpelforscher Thomas Pap hat zumindest seine Mitgliedschaft im Fitnessclub noch nicht aufgekündigt.

Reinhard Titze, der Mann mit der Knieprothese, ist bis vor ein paar Jahren noch Ski gefahren. Jetzt nimmt er mehrmals wöchentlich die Nordic-Walking-Stöcke in die Hand und marschiert durch den Wald.

Kasten:

KAMPF GEGEN DEN SCHMERZ: WAS LINDERT?

Nicht nur Training hilft bei maladen Gelenken. Eine Übersicht gewöhnlicher und ungewöhnlicher Therapien

Schmerzmittel. Man muss nicht unbedingt zu Medikamenten greifen: Auch „Triggerpunkt“-Massagen können verspannte Muskulatur rund um von Arthrose betroffene Gelenke lösen. Eine ausgewogene, gemüse- und vitaminreiche Ernährung kann schmerzlindernd wirken. Nahrungsergänzungsmittel wie Glucosamin und Chondroitin tragen bei einigen Patienten zur Linderung bei, vielleicht infolge eines Placeboeffekts. Manchem hilft auch die Injektion von Hyaluronsäure ins Gelenk, sie erhöht die Schmierfähigkeit. Allerdings: Jeder Eingriff stellt auch ein Risiko dar, es kann zu Infektionen kommen. Die von einigen Orthopäden angebotenen Eigenbluttherapien dagegen gelten als teuer - und ihre Wirkung ist oft nicht belegt.

Prothese. Letztes Mittel. Nebenwirkung: unter anderem Metallabrieb der Komponenten, Langzeitfolgen unklar. Abwägung

nach Alter des Patienten. Sind die Betroffenen zwischen 50 und 60 Jahre alt, empfehlen viele Mediziner: möglichst abwarten. Alter des Patienten zwischen 70 und 80: besser rasch operieren, da Jüngere den Eingriff besser verkraften.

Reparatur. Die Verpflanzung von Gelenkknorpel zur Behebung kleinerer Schäden ist heute bereits Standard. Es gibt zudem erste Versuche, Nasenknorpel auf speziellen Gerüsten heranreifen zu lassen, um ihn später großflächig in Gelenken einzusetzen. Oder Stammzellen in Knorpelzellen zu verwandeln. Bei Pionier-Experimenten versuchen Forscher gar, Knorpel mit 3-D-Druckern herzustellen.