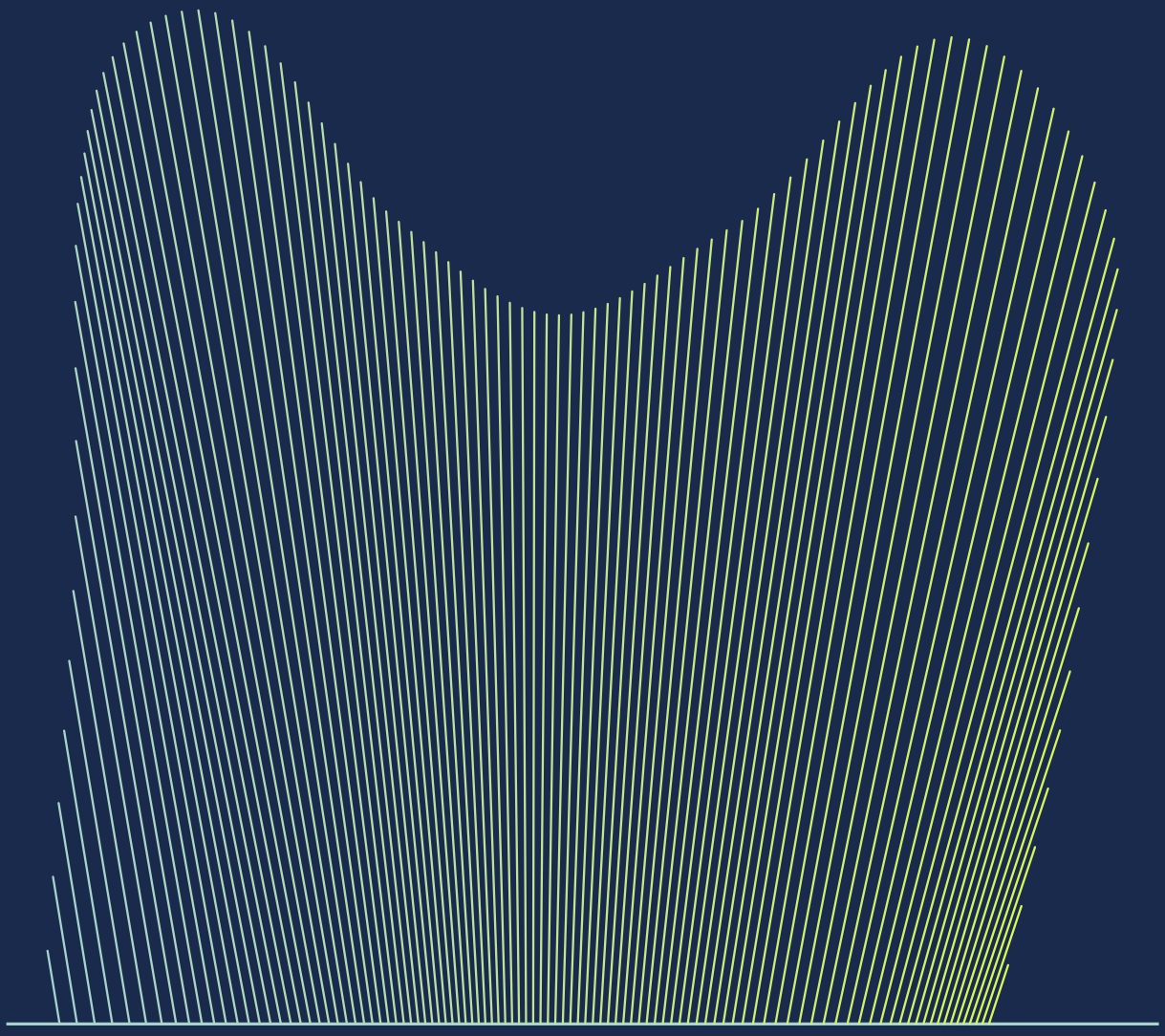
Movetrics

Bewegung, verstanden.

Was die Kräfte unter Ihren Füßen verraten, vom ersten Schritt bis ins Forschungslabor.



Auf dem Titel: ein Schritt beim Gehen, gezeichnet als Kräfte, vom Bremsen bis zum Abdruck. Wie man das liest, erklärt Seite 12.

SO LESEN SIE DIESES BOOKLET

Beginnen Sie, wo Sie stehen.

Dieses Booklet führt von den Grundlagen der Bewegung bis zu den Fragen von Ingenieuren. Lesen Sie es in beliebiger Reihenfolge: Wählen Sie den Einstieg, der zu Ihnen passt.

4 — **Neu in diesem Thema**
Wie wir uns bewegen, wie sich Bewegung im Laufe des Lebens verändert und was eine Kraft ist.

10 — **Sie kennen Bewegung, aber keine Kraftmessplatten**
Die Personenwaage, drei Richtungen, Momente und was eine einzelne Platte nicht sieht.

17 — **Sie wollen sehen, wohin das führt**
Kraft, Druck und Video im selben Takt, unsere Vision und wie Movetrics begann.

19 — **Sie wählen Geräte aus**
Acht Fragen an jede Kraftmessplatte, dann unser System, Software und Spiele.

26 — **Sie entwickeln, forschen oder analysieren**
Offene Daten, KI-Schnittstellen, der technische Überblick und alle Quellen.

Kleine Zahlen verweisen auf die Quellen auf Seite 31. Begriffe am Rand erklären die Fachwörter dort, wo sie zum ersten Mal vorkommen.

INHALT

1	Wie wir uns bewegen	**4**
2	Ein Leben in Bewegung	**6**
3	Kraft, die Sprache der Bewegung	**8**
4	Von der Waage zur Kraftmessplatte	**10**
5	Drei Richtungen	**12**
6	Momente	**14**
7	Was die Platte nicht sieht	**16**
	Drei Blicke, ein Takt	**17**
	Kraft, Druck und Video	**18**
	Acht Fragen, die sich lohnen	**19**
8	Raus aus dem Labor	**20**
9	Wie Movetrics begann	**22**
10	Das Movetrics-System	**24**
11	Ihre Daten, Ihre Werkzeuge	**26**
12	Movetrics Play	**28**
	Technischer Überblick	**30**
	Quellen	**31**

„…wir können der alten Weisheit noch immer zustimmen, dass Dinge zu bewegen alles ist, was der Mensch tun kann, und dass dafür der einzige Ausführende der Muskel ist, ob beim Flüstern einer Silbe oder beim Fällen eines Waldes.“

Charles Sherrington, Physiologe, in Nature, 1924[1]

Wer jemandem beim Aufstehen, Gehen oder Springen zusieht, sieht einem Gespräch mit dem Boden zu. Um aufzustehen, drücken Sie gegen den Boden. Beim Gehen drückt jeder Fuß nach unten und hinten, und der Boden schiebt Sie nach oben und vorn. Die Schwerkraft zieht; der Boden drückt zurück. Vieles davon, wie Sie sich bewegen, steht in diesem Austausch geschrieben.

Dieser Austausch lässt sich messen. Eine Kraftmessplatte erfasst, wie stark Sie drücken, in welche Richtung und wo, Hunderte Male pro Sekunde. Seit den 1930er-Jahren messen Forschende die Kräfte beim Gehen mit Kraftmessplattformen,[2] doch lange blieben die Platten in Laboren und im Spitzensport. Dieses Booklet erklärt, was sie zeigen, warum das alle angeht, die sich bewegen, und warum diese Messungen unserer Meinung nach in jede Praxis, jedes Studio und jede Trainingshalle gehören.

Wir beginnen bei null. Auf der letzten Seite werden Sie die Kräfte unter Ihren Füßen besser verstehen als die meisten Menschen, und Sie werden wissen, was eine Kraftmessplatte Ihnen sagen kann und was nicht.

Saad Jabir und Marius Schober

Duisburg

1 Sherrington, Nature 1924

2 Elftman, Science 1938

KAPITEL 1 · GRUNDLAGEN

Wie wir uns bewegen

Bewegung wirkt mühelos. Hinter jedem Schritt läuft ein Kreislauf aus Planen, Ziehen, Spüren und Korrigieren, der nie pausiert.

Das Gehirn plant

Jede Bewegung beginnt als Plan. Das Gehirn entscheidet, was zu tun ist, schickt Befehle über das Rückenmark an die Muskeln und sagt voraus, wie sich die Bewegung anfühlen wird. Dann vergleicht es die Vorhersage mit dem, was tatsächlich geschieht, und korrigiert den nächsten Versuch. Der Neurowissenschaftler Daniel Wolpert geht so weit, Bewegung den Grund zu nennen, warum wir überhaupt ein Gehirn haben.[3]

Muskeln ziehen, Knochen drehen sich

Muskeln können nur ziehen. Sie ziehen an Sehnen, die Sehnen ziehen an Knochen, und die Knochen drehen sich wie Hebel um die Gelenke. Schon ein einziger Schritt braucht viele Muskeln in jedem Bein, die in genauer Reihenfolge an- und abgeschaltet werden.

Die Sinne prüfen

Drei Systeme melden dem Gehirn, wo sich der Körper befindet: die Augen, die Gleichgewichtsorgane im Innenohr und Sensoren in Haut, Muskeln und Gelenken, die Druck, Dehnung und Lage spüren. Selbst ruhiges Stehen hängt von einem bemerkenswert komplexen Regelsystem ab.[4] Ändern sich die Bedingungen, auf weichem Untergrund oder mit geschlossenen Augen, verschiebt das Gehirn, wie stark es sich auf welchen Sinn verlässt.[4,5]

Propriozeption Die Wahrnehmung, wo sich die eigenen Körperteile befinden, über Sensoren in Muskeln, Sehnen und Gelenken.

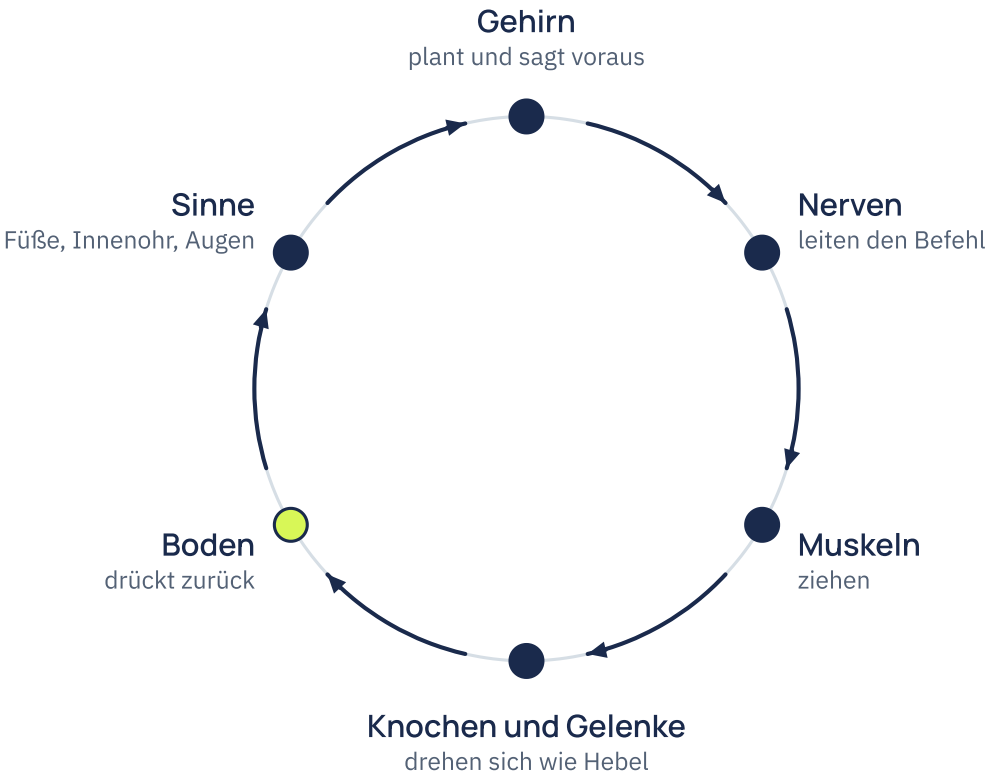
„Wir haben ein Gehirn aus einem einzigen Grund, und nur aus diesem: um anpassungsfähige und komplexe Bewegungen hervorzubringen.“

Daniel Wolpert, Neurowissenschaftler, TEDGlobal 2011

3 Wolpert, TED-Talk 2011

4 Peterka, J Neurophysiol 2002

5 Horak, Age Ageing 2006



Balance ist eine Fähigkeit, kein Zustand

Selbst wenn Sie still stehen, stehen Sie nie ganz still: Der menschliche Körper ist nie in vollkommenem Gleichgewicht.[6] Er schwankt ein wenig, die Sinne bemerken es, und die Muskeln um Sprunggelenke und Hüften korrigieren, immer wieder. Balance beruht nicht auf einem einzelnen Sinn, sondern auf dem Zusammenspiel vieler Systeme,[5] und deshalb kann sie sich mit dem Alter und durch Übung verändern.

Reaktion und Koordination

Die Reaktionszeit ist die Verzögerung zwischen einem Signal und dem Beginn einer Bewegung. Einfache Reaktionen auf ein erwartetes Signal verändern sich bis etwa zum fünfzigsten Lebensjahr kaum; Wahlreaktionen, bei denen Sie die richtige Antwort wählen müssen, werden über das ganze Erwachsenenleben stetig langsamer.[7] Koordination beschreibt, wie gut alle Zugkräfte zeitlich zusammenspielen. Sie macht einen Sprung hoch, einen Sprint schnell und einen Schritt flüssig.

Stehen, gehen, laufen oder springen: Sie drücken gegen den Boden, und der Boden drückt zurück.

5 Horak, Age Ageing 2006

6 Duarte & Freitas, Rev Bras Fisioter 2010

7 Der & Deary, Psychol Aging 2006

KAPITEL 2 · GRUNDLAGEN

Ein Leben in Bewegung

Wir lernen jahrelang, uns zu bewegen, erreichen unseren Höhepunkt und verändern uns dann für den Rest des Lebens langsam. Messen macht aus dieser langsamen Veränderung Zahlen, die sich vergleichen lassen.

Erst lernen, dann Kraft

Kinder lernen jahrelang zu stehen, zu gehen, zu laufen und zu springen. Die Muskelkraft wächst bis ins frühe Erwachsenenalter und nimmt später im Leben ab.[8] Geht der Verlust weit genug, hat er einen Namen: Sarkopenie. Der europäische Konsens definiert sie vor allem über eine geringe Muskelkraft, bestätigt durch eine geringe Muskelmenge oder -qualität. Sie ist bei älteren Menschen am häufigsten, kann aber schon früher im Leben beginnen.

Auch das Gehen verändert sich

Eine systematische Übersichtsarbeit über die gesamte Lebensspanne Erwachsener fand, dass ältere Menschen langsamer gehen, mit niedrigerer Kadenz und kürzeren Schritten.[9]

Was hilft

Die Weltgesundheitsorganisation empfiehlt regelmäßige Bewegung in jedem Alter: muskelkräftigende Aktivitäten für Erwachsene und für Ältere vielseitige Aktivitäten mit Schwerpunkt auf Balance und Kraft.[10] Die Zahlen stehen auf der gegenüberliegenden Seite.

Wo Messen ins Spiel kommt

Nichts davon geschieht über Nacht, und eine Kraftmessplatte diagnostiziert nichts davon. Was sie kann: in Newton und Sekunden zeigen, wie jemand heute aufsteht, springt, landet oder balanciert, und wie das im Vergleich zum letzten Monat aussieht.

Kadenz Schritte pro Minute.

8 Cruz-Jentoft et al., Age Ageing 2019

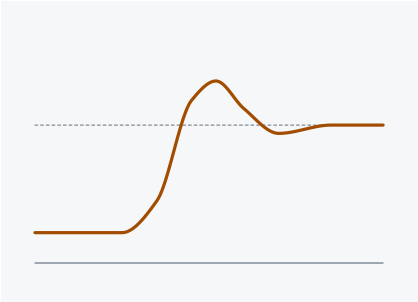
9 Herssens et al., Gait Posture 2018

10 Bull et al. (WHO-Leitlinien), Br J Sports Med 2020

WAS DIE WELTGESUNDHEITSORGANISATION EMPFIEHLT[10]

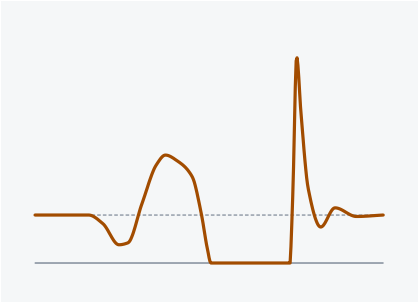
150–300 Minuten pro Woche	mäßig intensive Bewegung für Erwachsene oder 75–150 Minuten mit hoher Intensität
2 Tage pro Woche	oder mehr: muskelkräftigende Aktivitäten für Erwachsene
3 Tage pro Woche	oder mehr: vielseitige Aktivitäten mit Schwerpunkt auf Balance und Kraft, für Erwachsene ab 65

DREI ALLTAGSBEWEGUNGEN, DREI KRAFTBILDER



Aufstehen vom Stuhl

Die Kraft steigt beim Abheben, schießt über und pendelt sich beim Körpergewicht ein.



Ein Sprung

Absenken, Abdruck, Flug, Landung. Seite 9 erklärt ihn Schritt für Schritt.



Ruhiges Stehen

Der Druckmittelpunkt wandert in kleinen Schleifen. Seite 15 erklärt, warum.

Illustrationen. Orange: Vertikalkraft über die Zeit, das Körpergewicht als gestrichelte Linie. Blau: der Weg des Druckmittelpunkts, von oben gesehen.

Langsame Veränderung ist mit bloßem Auge schwer zu sehen. Zahlen machen sie sichtbar.

10 Bull et al. (WHO-Leitlinien), Br J Sports Med 2020

KAPITEL 3 · GRUNDLAGEN

Kraft, die Sprache der Bewegung

Eine Kraft ist ein Drücken oder Ziehen, und Kraft ist das, was Bewegung verändert. Drei Ideen von Isaac Newton, und der Rest dieses Booklets folgt daraus.

Newton in einer Minute

Ein Körper macht weiter, was er gerade tut, solange keine Kraft auf ihn wirkt. Eine Kraft beschleunigt eine Masse: Kraft ist gleich Masse mal Beschleunigung. Und jede Kraft hat einen gleich großen, entgegengesetzten Partner: Wenn Sie gegen den Boden drücken, drückt der Boden genauso stark zurück.[11]

Kilogramm sind keine Kraft

Eine Personenwaage zeigt Kilogramm an, misst aber Kraft. Das Kilogramm sagt, wie viel von Ihnen da ist; das Newton sagt, wie stark etwas drückt. Gewicht ist eine Kraft: Auf der Erde drückt jedes Kilogramm mit etwa 9,81 Newton nach unten.[12] Ein Mensch mit 70 Kilogramm drückt im Stehen mit etwa 687 Newton auf den Boden, und der Boden drückt mit genau derselben Kraft zurück.

Die Bodenreaktionskraft

Dieser Gegendruck des Bodens ist die Bodenreaktionskraft. Wenn Sie stehen, gehen, laufen oder springen, ist sie neben der Schwerkraft die einzige große äußere Kraft, die auf Sie wirkt. Wann immer Ihr Körper schneller wird, bremst oder sich hebt, zeigt sich das in ihr. Drücken Sie stärker als Ihr Gewicht, beschleunigen Sie nach oben; drücken Sie schwächer, beginnen Sie zu sinken.

Wie groß sie wird

Beim Gehen erreicht die Vertikalkraft je nach Tempo Spitzen vom Ein- bis Anderthalbfachen des Körpergewichts.[13] Beim Laufen mit etwa 4,5 Metern pro Sekunde erreicht sie rund das Dreifache des Körpergewichts, bei jedem Schritt.[14]

Newton (N) Die Einheit der Kraft. Ein Kilogramm wiegt auf der Erde etwa 9,81 N.

Bodenreaktionskraft Die Kraft, die der Boden auf den Körper ausübt.

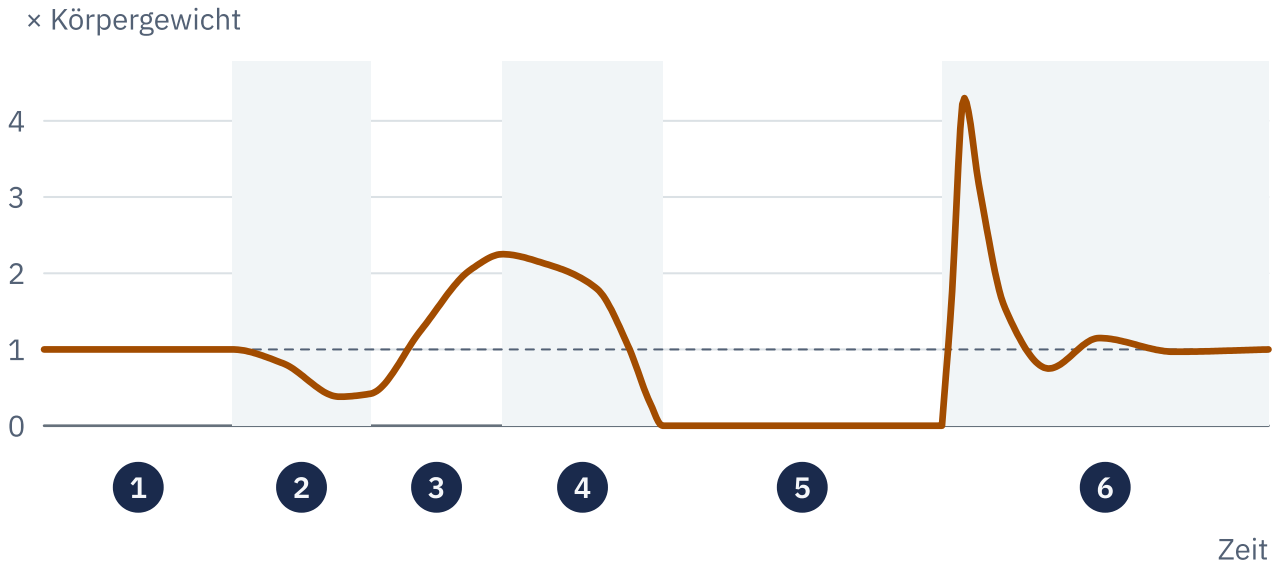
11 Newton, Principia, 1687

12 BIPM, SI Brochure 2019

13 Nilsson & Thorstensson, Acta Physiol Scand 1989

14 Cavanagh & Lafortune, J Biomech 1980

EIN SPRUNG, IN KRAFT ERZÄHLT[15]



1. **Wiegen.** Ruhiges Stehen: Die Kraft entspricht dem Körpergewicht.
2. **Entlasten.** Sie lassen sich fallen; die Kraft sinkt unter das Körpergewicht.
3. **Bremsen.** Sie bremsen das Absinken; die Kraft steigt über das Körpergewicht.
4. **Abdruck.** Sie drücken sich nach oben, bis die Füße die Platte verlassen.
5. **Flug.** Kraft null: Sie sind in der Luft.
6. **Landung.** Eine scharfe Spitze, wenn die Beine den Körper abfangen.

Zwei Wege zur Sprunghöhe

Aus der Flugzeit *t*: $h = g \cdot t^2 / 8$. Einfach, setzt aber voraus, dass Sie in derselben Haltung landen, in der Sie abgesprungen sind.[16]

Aus der Kraft: Die Kraft oberhalb des Körpergewichts, über die Zeit aufsummiert, ergibt die Absprunggeschwindigkeit *v*, und $h = v^2 / 2g$. Diese Methode nutzt den Abdruck selbst, deshalb ändert die Landung nichts am Ergebnis.[16] Die Flugzeit liefert tendenziell höhere Werte; ein Vergleich empfiehlt die Methode über die Absprunggeschwindigkeit.[17]

Illustration eines typischen Sprungs mit Ausholbewegung (Countermovement Jump): Vertikalkraft in Vielfachen des Körpergewichts über die Zeit.

Ihr Gewicht ist eine Kraft: 70 kg drücken mit etwa 687 N auf den Boden.

15 McMahon et al., Strength Cond J 2018

16 Linthorne, Am J Phys 2001

17 Moir, Meas Phys Educ Exerc Sci 2008

KAPITEL 4 · MESSEN

Von der Waage zur Kraftmessplatte

Eine Waage liefert eine Zahl. Eine Kraftmessplatte erzählt die ganze Geschichte einer Bewegung: wie sich die Kraft verändert, Hunderte Male pro Sekunde.

Eine Zahl

Eine Personenwaage wartet, bis Sie still stehen, und zeigt dann einen einzigen Wert. Für mehr ist sie nicht gebaut.

Eine Kurve

Eine Kraftmessplatte misst fortlaufend, deshalb sieht sie Bewegung. Schon aus der Vertikalkraft allein lässt sich viel berechnen:

- **Sprunghöhe**, aus der Flugzeit oder aus dem Abdruck selbst.
- **Kraftanstiegsrate**: wie schnell die Kraft steigt; ein Maß dafür, wie explosiv jemand drückt.[18]
- **Links gegen rechts**, mit einer Platte unter jedem Fuß. Ob ein Unterschied von Bedeutung ist, wird noch diskutiert: Studien verbinden ihn mit schwächeren Leistungen beim Springen, Schießen und Radfahren, anderswo sind die Ergebnisse uneinheitlich.[19]
- **Aufstehen vom Stuhl**: wie lange fünf Wiederholungen dauern[20] und wie sich die beiden Beine die Last teilen.[21]

Wo eine Richtung endet

Eine Platte, die nur die Vertikalkraft misst, sieht keine Richtung. Sie kann nicht unterscheiden, ob ein Abdruck nach vorn oder zur Seite ging oder ob eine Landung gebremst hat oder gerutscht ist. Dafür braucht es die Horizontalkräfte, und um zu wissen, wo die Kraft angreift und wie sie dreht, die Momente. Darum geht es in den nächsten beiden Kapiteln.

Kraftanstiegsrate Wie schnell die Kraft steigt, in Newton pro Sekunde (N/s).

Kraftstoß Kraft über die Zeit aufsummiert, in N·s. Er bestimmt, wie stark sich die Geschwindigkeit des Körpers ändert.

18 Maffiuletti et al., Eur J Appl Physiol 2016

19 Bishop et al., J Sports Sci 2018

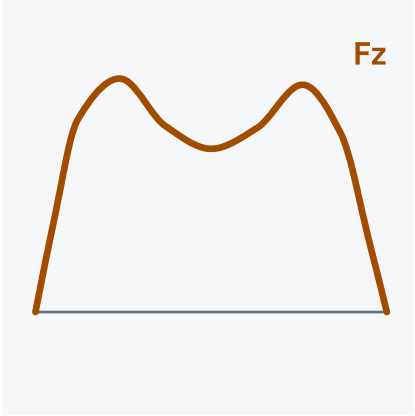
20 Bohannon, Percept Mot Skills 2006

21 Christiansen et al., Arch Phys Med Rehabil 2011

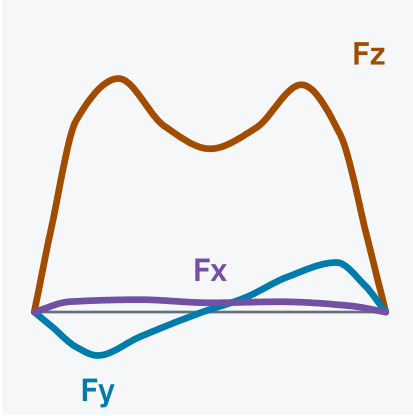
Personenwaage
eine Zahl

70,0
kg

1D-Kraftmessplatte
eine Kurve: Vertikalkraft



3D-Kraftmessplatte
drei Kurven: alle Richtungen



WAS SICH BERECHNEN LÄSST

WERT	WAS ER BESCHREIBT	EINHEIT
Spitzenkraft	Die höchste Kraft während einer Bewegung	N oder × Körpergewicht
Kraftstoß	Kraft über die Zeit aufsummiert	N·s
Absprung-geschwindigkeit	Geschwindigkeit des Körperschwerpunkts, wenn die Füße die Platte verlassen	m/s
Sprunghöhe	Wie hoch der Körperschwerpunkt steigt	cm
Kraftanstiegsrate	Wie schnell die Kraft steigt	N/s
Links-rechts-Unterschied	Die Differenz zwischen beiden Seiten	%

Jeder Wert hat eine festgelegte Methode, und verschiedene Methoden können für denselben Sprung unterschiedliche Zahlen liefern. In Movetrics Cloud nennt jedes Ergebnis die Methode und die Version, die es berechnet hat. So lässt sich jede Zahl zurückverfolgen.

Eine Waage sagt, wie viel.
Eine Platte sagt, wie und wann.

KAPITEL 5 · MESSEN

Drei Richtungen

Kraft hat eine Größe und eine Richtung. Um die Richtung zu sehen, muss eine Platte auch die horizontalen Kräfte messen, nicht nur die vertikale.

Drei Komponenten

Eine dreidimensionale Kraftmessplatte zerlegt die Kraft in drei Teile: Fz, auf und ab, sowie Fx und Fy, die beiden horizontalen Richtungen entlang der Plattenkanten. Zusammen ergeben sie die vollständige Kraft: wie groß sie ist und wohin sie zeigt.

Gehen: erst bremsen, dann abdrücken

Wenn Ihre Ferse aufsetzt, drückt der Boden gegen Ihren Fuß: Sie bremsen. Etwa zur Mitte des Schritts geht die Horizontalkraft durch null, dann schiebt Sie der Boden nach vorn in den nächsten Schritt. Das Bremsen erreicht seine Spitze nach etwa einem Fünftel der Bodenkontaktzeit, der Abdruck bei etwa 85 Prozent.[22]

Der Schmetterling auf dem Titel

Zeichnen Sie die Kraft eines Schritts alle paar Millisekunden als Pfeil, jeweils ab dem Punkt unter dem Fuß, an dem sie angreift: Die Pfeile fächern sich zur Form auf dem Titel auf. Biomechaniker sprechen vom Schmetterlingsdiagramm, seit Antonio Pedotti es 1977 beschrieb.[23] Ein Flügel ist das Bremsen, der andere der Abdruck.

Sprinten: Richtung schlägt Größe

In einer Studie mit zwölf körperlich aktiven Männern, darunter zwei Sprintern, hing die 100-Meter-Leistung mit der Ausrichtung der Kraft zusammen, nicht mit der Gesamt- oder Vertikalkraft.[24]

Richtungswechsel und Drehungen

Ein Richtungswechsel heißt: in die eine Richtung bremsen, in eine andere neu beschleunigen. Die Kräfte hängen vom Winkel und vom Anlauftempo ab.[25] Nichts bewegt den Körper zur Seite ohne seitlichen Abdruck.

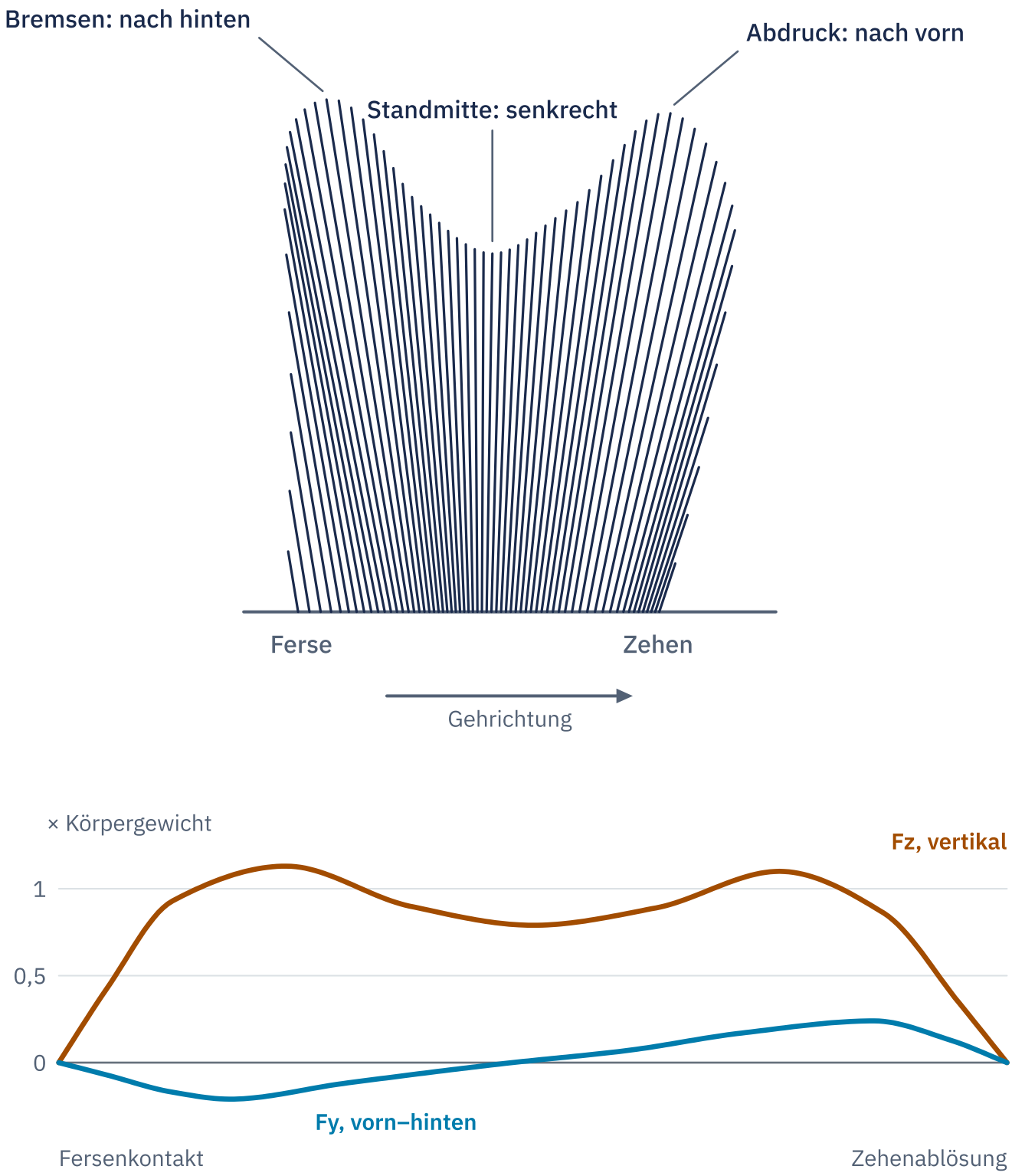
Standphase Die Zeit, in der ein Fuß während eines Schritts am Boden ist.

22 Revi et al., J Neuroeng Rehabil 2020

23 Pedotti, Biol Cybern 1977

24 Morin et al., Med Sci Sports Exerc 2011

25 Dos'Santos et al., Sports Med 2018



Oben: die Kraft eines Schritts beim Gehen als Pfeile, alle paar Millisekunden vom Druckmittelpunkt aus gezeichnet: das Schmetterlingsdiagramm. Unten: derselbe Schritt als zwei Kurven, vertikal und vorn–hinten, in Vielfachen des Körpergewichts. Illustration nach typischen Kräften beim Gehen.[13,22]

13 Nilsson & Thorstensson, Acta Physiol Scand 1989

22 Revi et al., J Neuroeng Rehabil 2020

KAPITEL 6 · MESSEN

Momente: wo Kraft wirkt und dreht

Kräfte sagen, wie stark und in welche Richtung. Momente sagen, wo auf der Platte die Kraft angreift und ob sich der Fuß gegen den Boden verdreht.

Was ein Moment ist

Ein Moment ist eine Drehwirkung: eine Kraft mal ihrem Abstand zu einem Punkt. Drücken Sie eine Tür nahe an den Scharnieren, passiert wenig; drücken Sie an der Klinke, schwingt sie auf. Eine Kraftmessplatte misst Momente um ihre drei Achsen. Mx und My entstehen, wenn die Kraft abseits der Plattenmitte angreift; Mz ist eine Verdrehung um die senkrechte Achse.

Der Druckmittelpunkt

Aus der Vertikalkraft und den Momenten Mx und My berechnet die Platte den Druckmittelpunkt: den einen Punkt, an dem die gesamte Kraft angreift.[6] Unter einem Fuß wandert er beim Gehen von der Ferse zu den Zehen. Wenn Sie still stehen, zieht er kleine Schleifen, weil der Körper nie im vollkommenen Gleichgewicht ist.

Das freie Moment

Mz, die Verdrehung zwischen Fuß und Boden, heißt freies Moment. Beim Laufen wächst es, wenn der Fuß nach innen abrollt, eine Bewegung namens Pronation.[26] Beim Gehen hängt es mit dem Schwung der Arme zusammen, der hilft, die Verdrehung des Körpers auszugleichen.[27]

Moment Eine Kraft mal ihrem Abstand zu einem Punkt, in Newtonmetern (N·m).

Druckmittelpunkt Der Punkt auf der Platte, an dem die gesamte Kraft angreift.

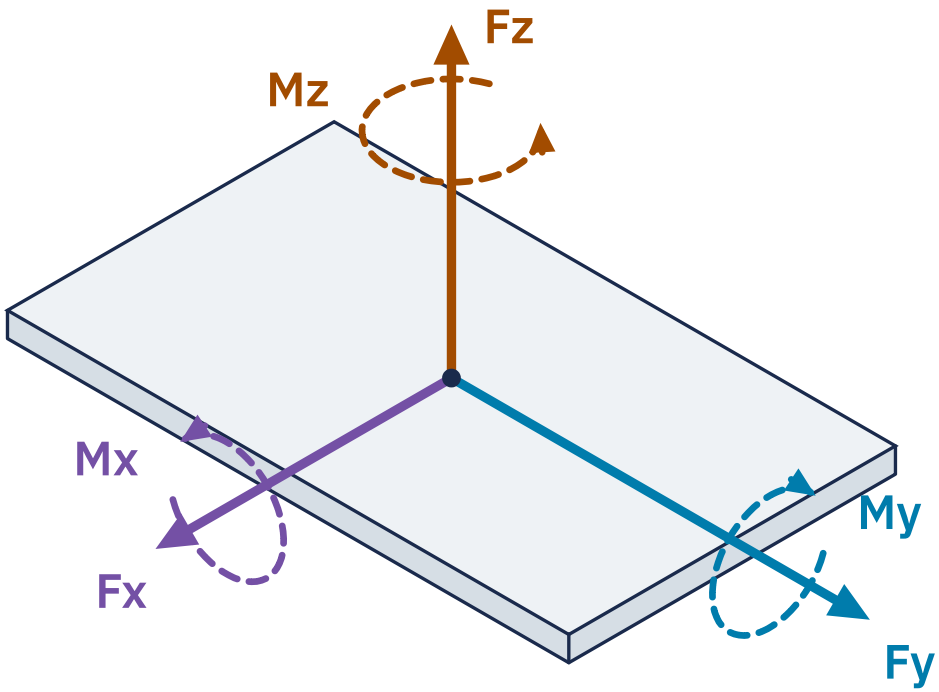
Kräfte sagen, wie stark und wohin.
Momente sagen, wo, und wie es dreht.

6 Duarte & Freitas, Rev Bras Fisioter 2010

26 Holden & Cavanagh, J Biomech 1991

27 Li et al., J Exp Biol 2001

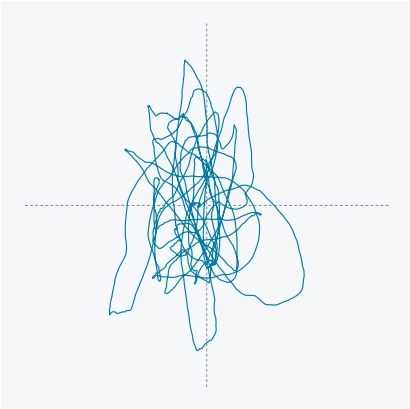
SECHS KOMPONENTEN AUF EINER PLATTE



x violett, y blau, z orange Kräfte: Pfeile Momente: gestrichelte Bögen x quer, y längs

Sechs Komponenten

Drei Kräfte und drei Momente beschreiben alles, was eine starre Platte von Ihnen spüren kann: sechs Zahlen in jedem Augenblick. Die Movetrics F1-3D misst alle sechs. Die F1-3D S misst standardmäßig fünf, Fx, Fy, Fz, Mx und My, und auf Wunsch alle sechs.



Ruhiges Stehen

Der Weg des Druckmittelpunkts über eine halbe Minute, von oben gesehen (Illustration). Seine Länge, Fläche und Geschwindigkeit sind klassische Balancemaße. In einer Studie unterschied die mittlere Geschwindigkeit des Druckmittelpunkts gesunde junge und ältere Erwachsene, mit offenen wie mit geschlossenen Augen.[28]

Für Ingenieure. Nach einer gängigen Vorzeichenkonvention, mit dem Ursprung in der Mitte der Oberfläche, liegt der Druckmittelpunkt bei $x = -My / Fz$ und $y = Mx / Fz$. Liegt der Messursprung unter der Oberfläche, kommt ein Term aus dieser Tiefe mal der Horizontalkraft hinzu.[6]

6 Duarte & Freitas, Rev Bras Fisioter 2010

28 Prieto et al., IEEE Trans Biomed Eng 1996

KAPITEL 7 · MESSEN

Was die Platte nicht sieht

Eine Kraftmessplatte misst, was der Körper mit dem Boden macht. Sie sieht nicht, welches Gelenk es getan hat. Die Grenzen zu kennen, gehört zum Verstehen.

WERKZEUG	MISST	SIEHT NICHT
Kraftmessplatte	Kräfte in drei Richtungen, Momente, Druckmittelpunkt	Gelenkwinkel, Muskelaktivität, wie sich die Last unter der Sohle verteilt
Druckmessplatte oder Einlegesohle	Wie sich die Last unter dem Fuß verteilt[29]	Horizontalkräfte, bei den meisten Systemen
Kamera oder Motion Capture	Positionen und Winkel der Körpersegmente	Kräfte
Elektromyografie	Elektrische Aktivität der Muskeln[30]	Kräfte und Bewegung
Inertialsensoren	Beschleunigung und Drehung des Segments, an dem sie sitzen	Bodenkräfte, die sie nur schätzen können[22]

Alles zusammenführen

Kombinieren Sie die Kräfte einer Platte mit der Bewegung aus Kameras, und Sie können die Kräfte und Momente an jedem Gelenk berechnen. Die Methode heißt inverse Dynamik und ist der Standard in Ganglaboren.[31] Sie braucht mehrere Instrumente, die zu denselben Zeitpunkten messen.

Das Ganze sehen

Jedes Werkzeug sieht einen Teil der Bewegung. Zusammengeführt zeigen sie, wohin die Last geht, vom Boden bis in die Gelenke. Die nächsten beiden Seiten zeigen, wie, und wie die FM-3D sie zusammenbringt.

Elektromyografie (EMG) Die Aufzeichnung der elektrischen Aktivität von Muskeln.

Inverse Dynamik Der Rückschluss von Bodenkräften und Bewegung auf die Kräfte und Momente an jedem Gelenk.

22 Revi et al., J Neuroeng Rehabil 2020

29 Orlin & McPoil, Phys Ther 2000

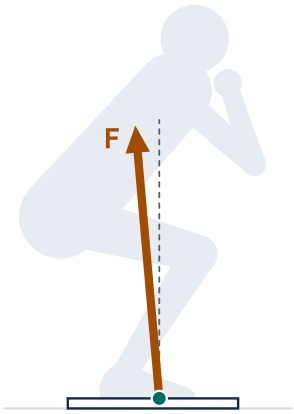
30 De Luca, J Appl Biomech 1997

31 Winter, Biomechanics and Motor Control of Human Movement, 2009

Drei Blicke, ein Takt

Die Kraftmessplatte sagt, wie viel und wohin. Die Druckmatrix sagt, wo unter dem Fuß. Die Kamera sagt, welches Gelenk. Im selben Takt zeigen sie zusammen, wohin die Last geht.

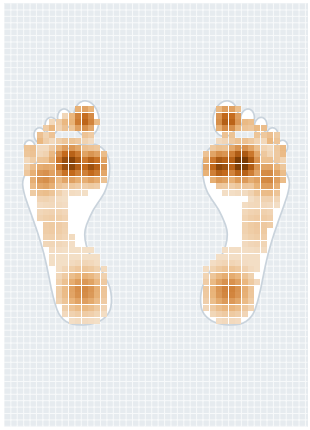
Kraftmessplatte
wie viel und wohin



Eine Kraft: wie groß sie ist, wohin sie zeigt und wo sie angreift. Die Platte sieht den Körper nicht.

+

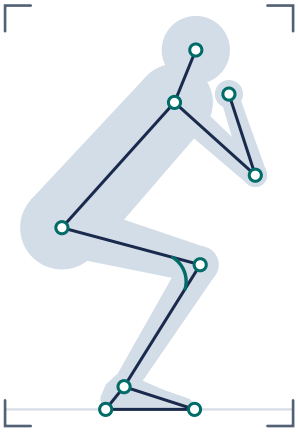
Druckmatrix
wo unter jedem Fuß



Hunderte kleiner Sensoren zeigen, wie stark jeder Teil der Sohle nach unten drückt.

+

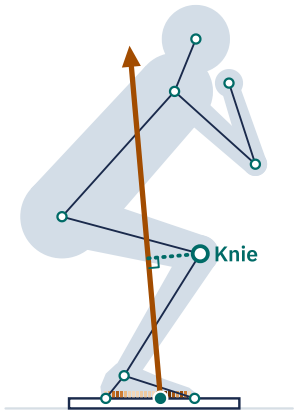
Kamera
Gelenk und Winkel



Software erkennt die Körpersegmente im Video und misst die Winkel zwischen ihnen.

=

Zusammen, ein Takt
wohin die Last geht



Die Kraftlinie läuft hinter dem Knie: Je weiter weg, desto mehr müssen die Kniemuskeln halten.

Was jedes Werkzeug sieht

Eine Kraftmessplatte misst die Gesamtkraft unter den Füßen: wie viel, wohin und wo sie angreift. Stehen beide Füße auf einer Platte, sieht sie die Summe. Eine Druckmatte besteht aus vielen kleinen Sensoren, die jeweils nur den senkrechten Druck spüren. Zusammen zeigen sie, wie sich die Last unter jeder Sohle verteilt.[29] Die Horizontalkräfte von Bremsen, Abdruck und Drehen misst die Platte, nicht die Matte. Software verfolgt Körpersegmente inzwischen in gewöhnlichem Video, ohne Marker; Übersichtsarbeiten sehen für den klinischen Einsatz noch Grenzen bei der Genauigkeit.[32]

Warum zusammen

Zeichnen Sie die Kraft der Platte ins Video, und Sie sehen ihre Linie vor oder hinter einem Gelenk verlaufen. Je weiter entfernt, desto größer das Moment, das die Muskeln um dieses Gelenk halten müssen. Forschungswerkzeuge schätzen solche Gelenkmomente bereits aus Smartphone-Videos.[33] Die Druckverteilung zeigt zusätzlich, wo unter dem Fuß die Last eintritt.

Warum ein Takt

Eine Platte misst Dutzende Male zwischen zwei Videobildern. Mit getrennten Uhren landen die Kräfte auf der falschen Haltung. Deshalb bauen wir alles von Anfang an auf eine gemeinsame Uhr.

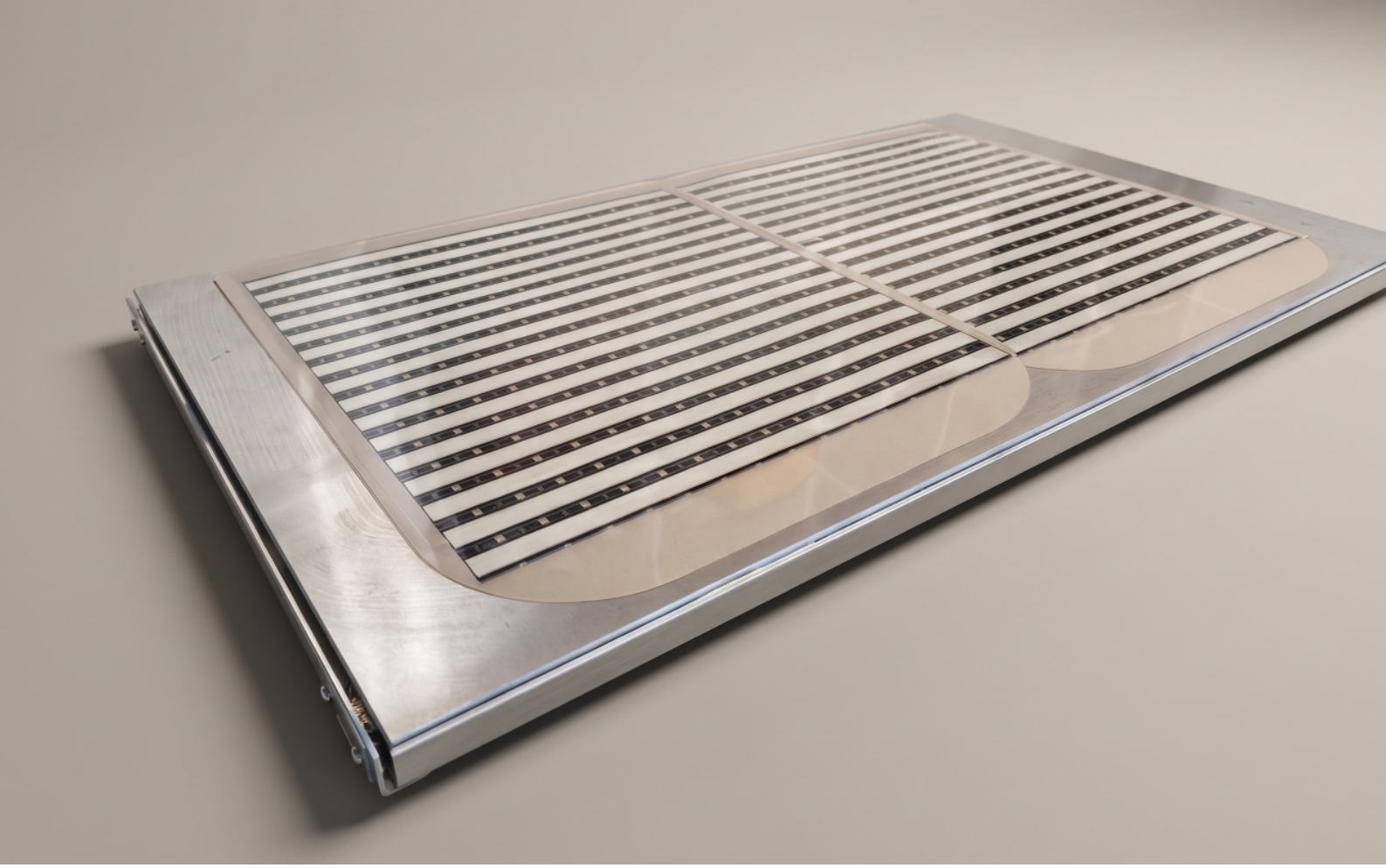
Druckmatrix Eine dünne Matte aus vielen kleinen Drucksensoren in einem Raster.

Gelenkmoment Die Drehwirkung einer Kraft um ein Gelenk; die Muskeln müssen sie ausgleichen.

29 Orlin & McPoil, Phys Ther 2000

32 Wade et al., PeerJ 2022

33 Uhlrich et al., PLoS Comput Biol 2023



Die FM-3D: Kraftmessplatte und Druckmatrix in einer 18 mm flachen Plattform.

KAPITEL 7 · KRAFT, DRUCK UND VIDEO

Kraft, Druck und Video im selben Takt

Ein Ganglabor nutzt getrennte Systeme für Kraft, Druck und Bewegung. Die FM-3D vereint Kraft und Druck in einer 18 mm flachen Plattform; unsere Apps ergänzen Video im selben Takt.

FM-3D

DIE FORCE MATRIX

18 mm flach, für Gehen, Balance und Rehabilitation. Eine Druckmatrix über Kraft- und Momentsensoren: wie viel Kraft, in welche Richtung und wo unter jedem Fuß.

Kamera

IN UNSEREN APPS

Die Movetrics App nimmt Video neben der Kraftkurve auf. So sehen Sie jede Kraft zusammen mit der Bewegung, die sie erzeugt hat.

Unter einem Laufband

MOVETRICS GAIT

Vier F1-3D S unter den Füßen eines Laufbands messen jeden Schritt, solange jemand geht. Seite 25.

Ein Bild davon, wohin die Last geht: vom Boden durch den Fuß in den Körper.

Acht Fragen an jede Kraftmessplatte

Warum jede davon zählt und wie Movetrics sie beantwortet.

1 Eine Richtung oder drei?

Die Vertikalkraft zeigt, wie stark jemand drückt. Erst alle drei Richtungen zeigen Bremsen, Abdruck und seitliches Abdriften.

Movetrics: Jede Movetrics-Platte misst Kräfte in drei Richtungen.

2 Nur Kräfte oder auch Momente?

Momente verorten den Druckmittelpunkt und zeigen die Verdrehung des Fußes gegen den Boden.

Movetrics: F1-3D: alle sechs Komponenten. F1-3D S: standardmäßig fünf, auf Wunsch sechs.

3 Wie schnell misst sie, und wie schnell kann sie folgen?

Landungen sind in Millisekunden vorbei. Eine Platte braucht viele Messwerte pro Sekunde und eine Eigenfrequenz deutlich über der Bewegung, sonst schwingt sie nach.[34]

Movetrics: Die wichtigsten Daten auf Seite 30; alle Daten mit ihren Bedingungen in unseren Produktblättern.

4 Welchen Boden braucht sie?

Eine Platte steht nur so ruhig wie ihr Untergrund. Ein weicher oder unebener Boden lässt sie kippeln und senkt die Frequenz, mit der sie nachschwingt.

Movetrics: Mobil auf ebenem, festem Boden oder bündig in einem Einbaurahmen. Keine Bohrungen in der Platte.

5 Können mehrere Platten eine Uhr teilen?

Um links mit rechts zu vergleichen oder Platten unter ein Laufband zu stellen, muss jede Platte zu denselben Zeitpunkten messen.

Movetrics: Mehrere Platten an einem FDT, eine gemeinsame Uhr. Sync In und Sync Out für Laborgeräte.

6 Kommen Sie an die Rohdaten?

Mit Rohdaten lässt sich jedes Ergebnis prüfen und in jedem Werkzeug wiederverwenden, auch Jahre später.

Movetrics: Export als CSV und C3D, ein dokumentiertes offenes Protokoll und ein SDK unter Apache-2.0.

7 Braucht das Messen ein Abo?

Davon hängt ab, was Sie Ihre eigenen Messungen über die Jahre kosten.

Movetrics: Nie für Messen, Kernberechnungen und Rohdaten-Export. Movetrics Cloud startet kostenlos, bezahlte Tarife bieten mehr.

8 Ist jede Zahl nachvollziehbar?

Derselbe Sprung ergibt je nach Methode verschiedene Höhen.[17] Wer die Methode kennt, kann Zahlen vergleichen.

Movetrics: Jedes Ergebnis in Movetrics Cloud nennt seine Methode und Version.

17 Moir, Meas Phys Educ Exerc Sci 2008 **34** Robertson et al., Research Methods in Biomechanics, 2014. Eigenfrequenz: die Frequenz, mit der eine Platte nachschwingt, wenn man sie anschlägt, wie eine Glocke.

KAPITEL 8 · WARUM ES UNS GIBT

Aus dem Labor in die Praxis

Kraftmessplatten, die in alle Richtungen messen, lebten jahrzehntelang in Laboren und im Spitzensport. An der Physik lag es nie. Es fehlte der Weg hinaus.

Seit den 1930er-Jahren wird das Gehen mit Kraftmessplattformen untersucht,[2] und Laufbänder, die Kraft messen, wurden für die Forschung gebaut.[35] Die meisten waren schwer, fest im Boden verbaut, teuer und nur von Spezialisten zu bedienen.

UNSERE VISION

Wer sich bewegt, kann die Kräfte dahinter sehen und danach handeln.

Überall im Einsatz

Praxen, Studios, Trainingshallen, Schulen und Hochschulen: überall, wo Menschen verstehen wollen, wie sie sich bewegen.

Sehen statt schätzen

In fünf Jahren sehen Fachleute in Newton, was sie früher nach Augenmaß beurteilten, und zeigen den Menschen, mit denen sie arbeiten, was diese spüren.

Systeme, nicht Platten

Platten, Terminal, Software und offene Daten, die zusammenarbeiten; die FM-3D ergänzt Druck und Video. Aus einem gespeicherten Aufbau in unter einer Minute startklar.

Offen, aus Überzeugung

Daten gehören der Person, die gemessen wurde: zum Mitnehmen und zum Befragen mit jedem Werkzeug, auch mit dem eigenen KI-Assistenten. Der Data Act der EU weist in dieselbe Richtung.[36]

Der Data Act der EU gilt seit dem 12. September 2025. Artikel 4 gibt Nutzern vernetzter Produkte ein Recht auf Zugang zu den Daten, die diese erzeugen.

2 Elftman, Science 1938

35 Kram et al., J Appl Physiol 1998

36 Data Act, Verordnung (EU) 2023/2854, Art. 4



Sehen, was Sie spüren.

Jede Bewegung ist ein Druck gegen den Boden.
Sie haben ihn immer gespürt. Jetzt sehen Sie ihn.

Zwei Movetrics F1-3D S in einem Fitnessstudio.

KAPITEL 9 · WIE MOVETRICS BEGANN

Der Ingenieur, der zum Nutzer wurde

Movetrics begann, als ein Sensoringenieur brauchte, was er Jahrzehnte zuvor selbst eingeführt hatte.

Vor einigen Jahren fand sich Dr.-Ing. Saad Jabir auf der anderen Seite der Messung wieder. Fast ein Jahr lang hatten ihm Fußschmerzen das Gehen schwer gemacht. In einem Sanitätshaus ging, balancierte und stand er auf einer Druckmessplatte, während ihm ein Biomechanik-Spezialist die Ergebnisse erklärte und eine Einlage entwarf, die ihm fast alle Schmerzen nahm.

Saad staunte. Vor dreißig Jahren hatte er diese Technik als einer der Ersten eingeführt, für den Reifenhersteller Pirelli und für den orthopädischen Markt in Italien und weltweit. Hunderte solcher Geräte wurden in Europa verkauft. Wenig hatte sich verändert, weder an der Hardware noch an der Software. Als Nutzer verstand er, was er als Ingenieur gebaut hatte: kein Stück Elektronik, sondern ein Gerät, das Menschen hilft.

Der Spezialist sagte ihm, was fehlte: eine bezahlbare Platte, die in alle drei Richtungen misst, gemacht für den Praxisalltag statt fürs Labor, und vor allem ein Laufband, das Kraft in drei Dimensionen misst. Solche Laufbänder gab es, zu Preisen, die sich kaum eine Praxis leisten kann. Das wurde Saads Ziel für die kommenden Jahre.

Bei der Nur Engineering, die er 2012 gegründet hatte, begann Saad zu bauen. Er hat die Platten erfunden und verantwortet als CTO ihre Technik. Um aus Prototypen Produkte zu machen, holte er Marius Schober als Mitgründer dazu. Marius verantwortet Geschäft und Partnerschaften und prägt die größere Vision: Movetrics als ein Ökosystem aus Platten, Terminal, Software und offenen Daten.

Dann kam das Laufband. Movetrics Gait stellt vier Platten unter ein Laufband: unsere erste Antwort auf den Wunsch des Spezialisten.

Vor dreißig Jahren

Saad bringt Druckmessplatten zu Pirelli und in die Orthopädie, in Italien und weltweit.

2012

Saad Jabir gründet die Nur Engineering.

Drei Jahre

Prototypen, von einer sehr flachen ersten Platte bis zur F1-3D, stark genug für Drop Jumps von Athleten mit 120 kg und getestet von Biomechanik-Experten.

F1-3D und FDT

Platten, Terminal und Software, entwickelt in Duisburg und gefertigt in Deutschland.

FM-3D

Kraft und Druck in einer 18 mm flachen Plattform, Video im selben Takt.

„Was ich entwickelt habe, ist kein Stück Elektronik. Es ist ein Gerät, das Menschen hilft.“

DR.-ING. SAAD JABIR, GRÜNDER UND CTO



Die Antwort: die F1-3D, die Kräfte in drei Richtungen und alle drei Momente misst, gemacht für den Praxisalltag.

Made in Germany

Alles wird in Deutschland gebaut oder montiert. Platten, Terminal und Software kommen aus einem Team: der Nur Engineering GmbH in Duisburg.

KAPITEL 10 · PRODUKTE

Das Movetrics-System

Platten, die messen, ein Terminal, das sie auf eine gemeinsame Uhr bringt, und Software auf jedem Bildschirm.



Von links: vier F1-3D S als Quad, zwei F1-3D, die FM-3D und das FDT.

F1-3D S

DIE KOMPAKTE PLATTE

400 × 280 × 30 mm, 10 kg. Standardmäßig fünf Komponenten, auf Wunsch sechs. Zwei verbinden sich zu einer Plattform von 40 × 56 cm. Solo, Dual oder Quad.

F1-3D

DIE UNIVERSALPLATTE

600 × 350 × 30 mm, 20 kg, 8 mm Stahldeckplatte. Alle sechs Komponenten. Für Sprünge und Landungen, Kraft, Gang und Balance. Option: eine leichtere Deckplatte aus Aluminium.

FM-3D

DIE FORCE MATRIX

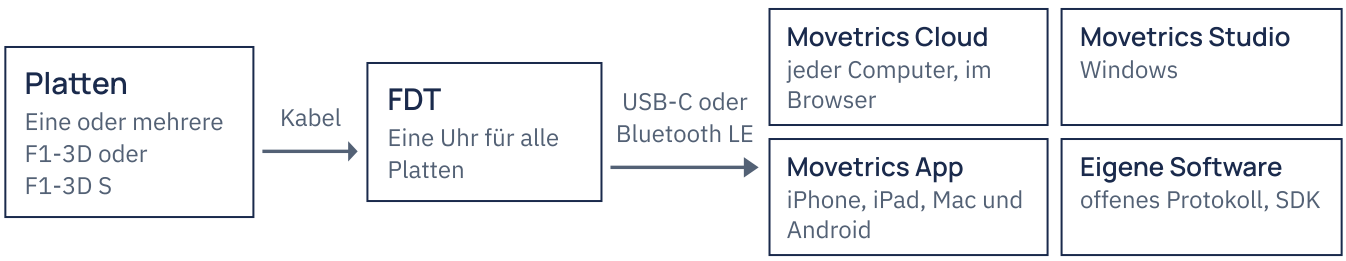
18 mm flach, für Gehen, Balance und Rehabilitation. Eine Druckmatrix über Kraft- und Momentsensoren: wo unter jedem Fuß die Last liegt und in welche Richtung sie drückt. Seite 18.

FDT

FORCE DATA TERMINAL

Mehrere Platten, eine gemeinsame Uhr. USB-C zu Computer oder Smartphone, Bluetooth LE zu Smartphone oder Tablet. 16 Analogausgänge, Sync In und Sync Out.

SO HÄNGT ALLES ZUSAMMEN







Movetrics Gait: vier F1-3D S unter den Füßen eines Laufbands. Rechts: Die App zeigt jeden Schritt, während er geschieht.

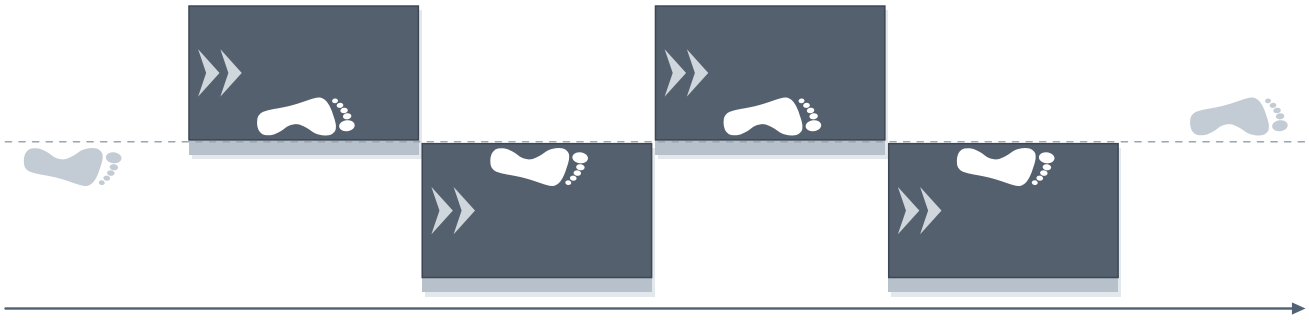
GEHEN, SCHRITT FÜR SCHRITT

Movetrics Gait

Vier F1-3D S unter den Füßen eines Laufbands, ein FDT und die Movetrics App. In unter zwei Minuten aufgebaut. Beim Gehen zeigt sie die Vertikalkraft je Seite, Schritte, Kadenz, das Schritt-Timing links und rechts und den Weg des Druckmittelpunkts.

Für das Gehen gemacht: Horizontalkräfte unter einem Laufband und Laufen gehören nicht dazu. Die Platten stehen unter den eigenen Füßen des Laufbands, ohne Bohrungen und ohne Änderungen am Laufband.

IHR EIGENER AUFBAU



Vier F1-3D, versetzt als Messstrecke: Jeder Fuß trifft eine eigene Platte, und ein FDT hält alle im selben Takt.

Eine Messstrecke, ein Boden oder Sensoren in Ihrem Produkt

Wir planen Installationen jeder Größe und liefern unsere Sensormodule für Ihr eigenes Produkt. Wir übernehmen ausgewählte Projekte: Schreiben Sie an contact@movetrics.com.

1. **Machbarkeitsgespräch**, kostenlos
2. **Konzept und Design**, kostenpflichtig, bei Auftrag voll angerechnet
3. **Prototyp**, vermessen mit unseren Prüfstandstests
4. **Lieferung oder Lizenz**: Firmware und Elektronik

KAPITEL 11 · SOFTWARE UND OFFENE DATEN

Ihre Daten, Ihre Werkzeuge

Nehmen Sie im Browser auf, ohne etwas zu installieren, oder nutzen Sie unsere Apps für Windows, iPhone, iPad, Mac und Android. Ihre Rohdaten gehen, wohin Sie wollen.

Keine App nötig

Das FDT per USB anschließen, Movetrics Cloud in Chrome, Edge oder Firefox öffnen und live mit der vollen Rate der Platten aufnehmen, unter Windows, macOS, Linux oder ChromeOS.

Movetrics Cloud

Im Browser · jeder Computer

Laden Sie Dateien der meisten Kraftmessplatten hoch: CSV, TSV und andere Texttabellen, Excel-Dateien und C3D. Jedes Ergebnis nennt seine Methode und Version. Eine optionale KI-Erklärung beschreibt jedes Ergebnis in klaren Worten. Alles lässt sich herunterladen, Rohdaten eingeschlossen.

Movetrics Studio

Windows · bei jedem System inklusive

Countermovement Jump, Squat Jump, Drop Jump, Aufstehen vom Stuhl, Gang, Balance und freie Aufnahme. Exportiert CSV, C3D und PDF-Berichte. Messen und der Export als CSV und C3D funktionieren offline.

Movetrics App

iPhone, iPad, Mac und Android

Jede Kraft und jedes Moment live, geführte Tests, Lift zum Zählen von Kniebeugen und Kreuzheben, Gang auf dem Laufband und Video neben der Kraftkurve. Funktioniert offline, per USB oder Bluetooth.

Berichte

Movetrics Studio und Movetrics Cloud

Ein einseitiger PDF-Bericht für jede Person. In Movetrics Cloud nennt jedes Ergebnis darin seine Methode, und Sie gestalten Ihre eigene Berichtsvorlage oder lassen sie von Ihrem KI-Assistenten entwerfen.

Ihre eigene KI

Claude, ChatGPT und andere

Verbinden Sie Ihren KI-Assistenten über MCP mit Ihren Daten und fragen Sie in Ihren eigenen Worten. Standardmäßig nur lesend; Änderungen nur, wenn Sie sie erlauben, und sie lassen sich rückgängig machen.

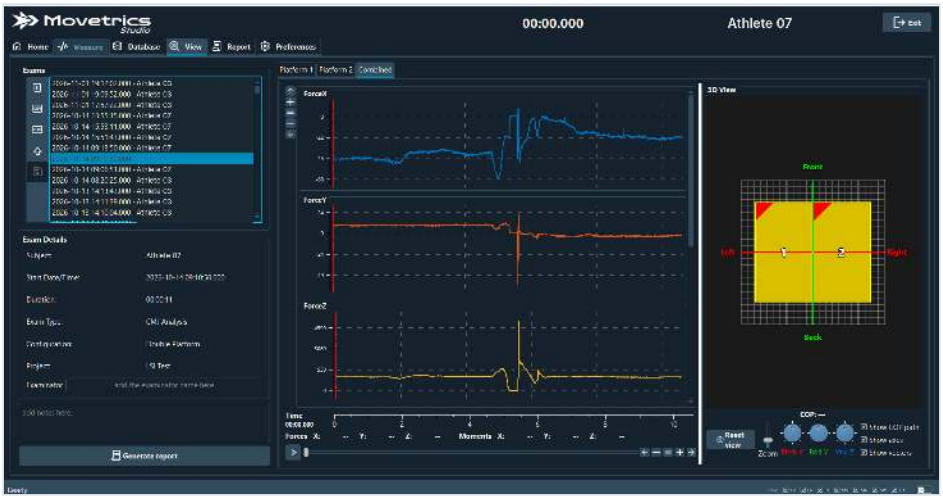
Für Entwickler

developers.movetrics.com

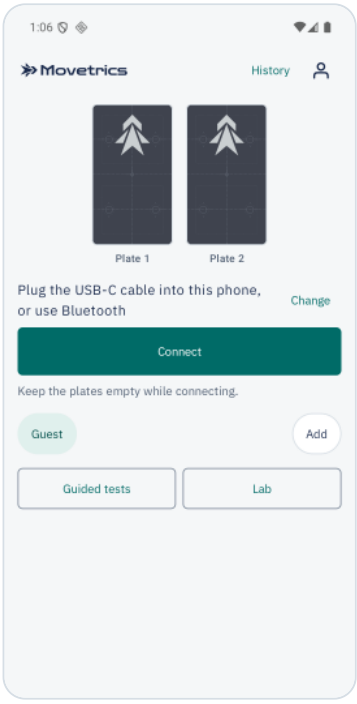
Ein dokumentiertes, offenes Protokoll und ein SDK unter Apache-2.0: Python, TypeScript, MATLAB und Octave, ein FDT-Simulator und Lab Streaming Layer. Eine API mit Tokens.

Messen, Kernberechnungen und der Export Ihrer Rohdaten brauchen nie ein Abo. Movetrics Cloud ist zum Start kostenlos, mit bezahlten Tarifen für mehr; die meisten KI-Funktionen gehören zu den bezahlten Tarifen.

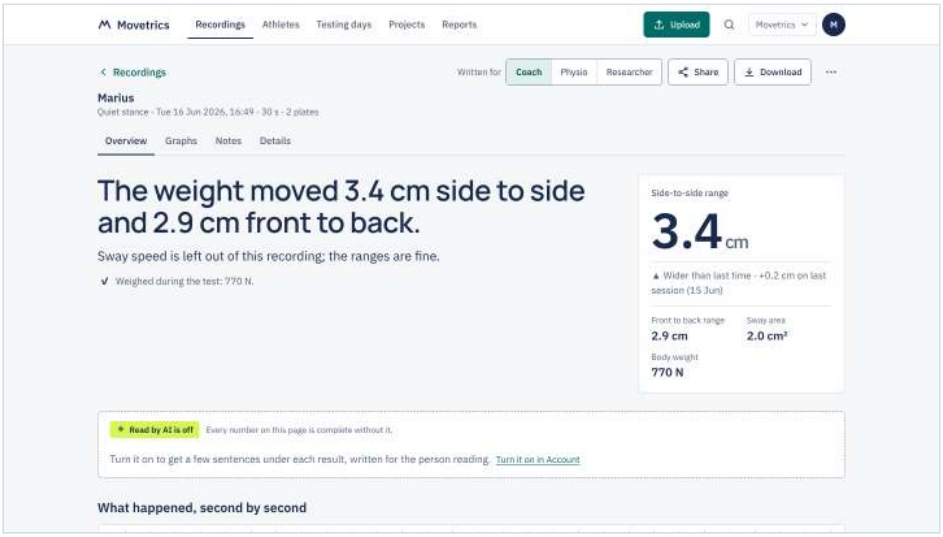
Ihre Daten werden in der EU gespeichert, mit verschlüsselten nächtlichen Backups in der EU. KI-Erklärungen sind optional und werden nur mit Ihrer Zustimmung in den USA verarbeitet.



Movetrics Studio für Windows. Namen von Athleten als Codes dargestellt.



Die App auf einem Smartphone.



Movetrics Cloud im Browser: ein Ergebnis mit seiner Methode und Version.

Offene Formate

CSV und C3D aus jeder App, PDF-Berichte und die Originaldateien, die Sie hochgeladen haben.

FRAGEN SIE IHRE EIGENE KI

Welche meiner Athleten sind diesen Monat gleichmäßiger gelandet als im letzten?

Athleten 03 und 07 landeten in ihren letzten drei Drop Jumps gleichmäßiger; Athlet 01 belastete das linke Bein stärker. Jeder Wert nennt die Methode, die ihn berechnet hat.

Erstelle mir einen einseitigen Bericht für Athlet 01, den ich am Freitag drucken kann.

Hier ist ein Entwurf mit den letzten sechs Wochen und der Methode hinter jedem Ergebnis. Soll ich ihn als Vorlage speichern?

Ja. Und füge dem heutigen Sprung eine Notiz hinzu: nach einem langen Lauf getestet.

Gespeichert, und die Notiz ist hinzugefügt. Beides lässt sich rückgängig machen.

Illustration. Ihr Assistent verbindet sich über MCP, einen offenen Standard, mit Movetrics Cloud. Er sieht Athleten als Codes, liest standardmäßig nur und ändert nur, was Sie erlauben. Getestet mit Claude; ChatGPT und andere MCP-fähige Assistenten verbinden sich genauso.



Movetrics Play: draufstellen, und das Spiel beginnt.

KAPITEL 12 · MOVETRICS PLAY

Mehr als ein Spiel

Stellen Sie sich auf eine Platte, und Ihr Körper wird zum Controller. Lehnen, Gewicht verlagern, drücken, drehen, in die Hocke gehen oder springen: Movetrics Play liest jede Kraft und jedes Moment, das die Platte misst, relativ zum Körpergewicht. So spielen ein Kind und ein Athlet auf Augenhöhe.

Hinter dem Spaß steckt echte Biomechanik. Die Spiele verfolgen, wohin Ihr Druckmittelpunkt wandert, wie stark Sie drücken und drehen, wie gleichmäßig Ihre Beine die Last teilen, wie lange Sie fliegen und wie gleichmäßig Sie landen. Jede Runde endet mit einem Ergebnis, das Sie vergleichen können.

Das ist der Unterschied zu einem Konsolenspiel. Eine Konsole schätzt Bewegung über einen Controller oder eine Kamera. Movetrics Play liest sie aus gemessener Kraft: der Kraft unter jedem Fuß, Hunderte Male pro Sekunde.

Körpergewicht Play skaliert jede Kraft auf das Gewicht der spielenden Person, so passt dasselbe Spiel für alle.

Windows 11 Movetrics Play läuft unter Windows 11, mit einem Demo-Modus, der ohne Platte spielt.

WAS DIE SPIELE LESEN

Sechs Fähigkeiten, aus der Kraft gelesen

Reaktion
Mediane Reaktionszeit auf Signale zum Drücken, Halten, Wechseln, Drehen oder Stampfen.

Balance
Lehnen zum Lenken, Drücken zum Ausweichen, Drehen für Kurven, Hocke zum Ducken.

Symmetrie
Wie gleichmäßig links und rechts die Last teilen.

Reichweite
Wie weit Sie Ihr Gewicht in alle Richtungen verlagern.

Sprung
Wie lange Sie fliegen und wie gleichmäßig Sie landen.

Zielen
Lehnen zum Zielen, Drücken zum Werfen, Drehen für den Effet.

SO FUNKTIONIERT EINE RUNDE

1 **Draufstellen**
Die Platte erfasst Ihr Gewicht. Kein Konto, nichts einzurichten.

2 **Spielen**
Lehnen, drücken, treten, springen: Sie steuern das Spiel.

3 **Ihr Ergebnis**
Jede Runde endet mit einem Ergebnis dazu, wie Sie sich bewegt haben.

4 **Noch einmal**
Nächste Runde: Sehen Sie, wie sich Ihr Ergebnis verändert.

Ein Leben lang Ergebnisse

Runde für Runde zeigen die Ergebnisse, wie sich jemand bewegt, und ergeben einen Wert, der die Bewegung ein Leben lang begleitet. Er baut auf Kapitel 2 auf: Kraft, Balance, Gehen und Reaktion verändern sich mit dem Alter, zu langsam fürs Auge.

Warum Spiele?

Üben wirkt nur, wenn Menschen dranbleiben. Forschende, die Spiele für die Rehabilitation entwickeln, argumentieren, dass Wahlmöglichkeiten, Belohnungen und klare Ziele wiederholtes Üben motivierender machen können, und fordern mehr Forschung.[37] Eine Übersichtsarbeit zu Gamification für Gesundheit und Wohlbefinden fand überwiegend positive, teils gemischte Effekte, in Studien meist mittlerer Qualität.[38] Bei älteren Erwachsenen zeigten technologiegestützte Trainingsprogramme eine hohe Teilnahmetreue.[39]

Macht Spaß. Aus der Kraft gelesen, nicht geschätzt.

Median Der mittlere Wert: Die Hälfte der Reaktionen war schneller, die Hälfte langsamer.

Relatives Feedback Die Werte in den Spielen sind Trainingsfeedback, keine medizinischen Messwerte.

37 Lohse et al., J Neurol Phys Ther 2013

38 Johnson et al., Internet Interv 2016

39 Valenzuela et al., J Geriatr Phys Ther 2018

TECHNISCHER ÜBERBLICK · FÜR INGENIEURE UND FORSCHENDE

Fakten, die Bestand haben

	F1-3D	F1-3D S	FDT
DIE PRODUKTE			
Größe und Masse	600 × 350 × 30 mm, 20 kg	400 × 280 × 30 mm, 10 kg	27 × 21 × 14 cm, 1,75 kg
Misst	Fx, Fy, Fz, Mx, My, Mz	Fx, Fy, Fz, Mx, My; Mz optional	Mehrere Platten, eine Uhr
Deckplatte	8 mm Stahl, rutschhemmend R12; Option Aluminium	rutschhemmend R12	–
Aufstellung	Mobil auf ebenem, festem Boden oder bündig im Einbaurahmen	Mobil; zwei ergeben eine Plattform von 40 × 56 cm	–
Anschluss	Ein Kabel zum FDT für Daten und Strom	Ein Kabel zum FDT	USB-C, Bluetooth LE, 16 Analogausgänge (±10 V), Sync In und Out (TTL 3,3 V)
Einsatz	Innenräume; CE	Innenräume; CE	CE; mit Akku
KENNDATEN			
Nennmessbereiche	Fz 8.000 N; Fx, Fy ±2.000 N; Mx ±600, My ±400, Mz ±300 N·m	Fz 4.000 N; Fx, Fy ±1.000 N; Mx ±200, My ±140 N·m	–
Druckmittelpunkt	Maximaler Fehler 5 mm	Maximaler Fehler 5 mm	–
Auflösung	1 N und 1 N·m; 24-Bit-Delta-Sigma-Wandler	wie F1-3D	–
Messwerte pro Sekunde	2.000 mit einer oder zwei Platten an einem FDT; 1.000 mit drei oder mehr	wie F1-3D	Eine Uhr; Zeitstempel in Schritten von 0,1 ms
Eigenfrequenz	509 Hz, die erste Eigenform der Plattenstruktur selbst; für beste Ergebnisse starr montieren	–	–
Kalibrierung	Zertifikat für jede Platte; alle 12 Monate	wie F1-3D	–

Zu den Produktblättern

Jede Zahl mit ihren Bedingungen: sichere Überlast, Sensoranordnung, Koordinatensystem und Momentbezug, analoge Skalierung, Stromversorgung, Lieferumfang und Systemanforderungen. Ein Blatt pro Produkt: F1-3D (2 Seiten) · F1-3D S (2 Seiten) · FDT (2 Seiten) · Movetrics Studio · Movetrics App · Movetrics Cloud · Entwickler · Movetrics Gait · Movetrics Play. Daten für die FM-3D auf Anfrage.

Prüfen Sie uns. Rohdaten in CSV und C3D, ein offenes Protokoll und ein Simulator, und jedes Cloud-Ergebnis nennt seine Methode und Version. Nennmessbereiche sind die Bereiche, die wir spezifizieren; die Eigenfrequenz auf einem realen Boden ist niedriger, wie Seite 19 erklärt.

movetrics.com/specs

QUELLEN, IN DER REIHENFOLGE IHRES AUFTRETENS

Um eine Quelle zu finden, geben Sie doi.org/ und dahinter ihre DOI in einen Browser ein, oder geben Sie die Angabe Ihrem KI-Assistenten.

1 Sherrington C. Nature. 1924;113:892–894. doi:10.1038/113892a0

2 Elftman H. Science. 1938;88:152–153. doi:10.1126/science.88.2276.152

3 Wolpert D. The real reason for brains [video]. TEDGlobal 2011, Edinburgh, July 2011. ted.com/talks/daniel_wolpert_the_real_reason_for_brains

4 Peterka RJ. J Neurophysiol. 2002;88:1097–1118. doi:10.1152/jn.2002.88.3.1097

5 Horak FB. Age Ageing. 2006;35 Suppl 2:ii7–ii11. doi:10.1093/ageing/afl077

6 Duarte M, Freitas SM. Rev Bras Fisioter. 2010;14:183–192. doi:10.1590/S1413-35552010000300003

7 Der G, Deary IJ. Psychol Aging. 2006;21:62–73. doi:10.1037/0882-7974.21.1.62

8 Cruz-Jentoft AJ, et al. Age Ageing. 2019;48:16–31. doi:10.1093/ageing/afy169

9 Herssens N, et al. Gait Posture. 2018;64:181–190. doi:10.1016/j.gaitpost.2018.06.012

10 Bull FC, et al. Br J Sports Med. 2020;54:1451–1462. doi:10.1136/bjsports-2020-102955

11 Newton I. Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica. London; 1687.

12 Bureau International des Poids et Mesures. The International System of Units (SI). 9th ed. Sèvres: BIPM; 2019. Appendix 1: declaration of the 3rd CGPM, 1901.

13 Nilsson J, Thorstensson A. Acta Physiol Scand. 1989;136:217–227. doi:10.1111/j.1748-1716.1989.tb08655.x

14 Cavanagh PR, Lafortune MA. J Biomech. 1980;13:397–406. doi:10.1016/0021-9290(80)90033-0

15 McMahon JJ, et al. Strength Cond J. 2018;40:96–106. doi:10.1519/SSC.0000000000000375

16 Linthorne NP. Am J Phys. 2001;69:1198–1204. doi:10.1119/1.1397460

17 Moir GL. Meas Phys Educ Exerc Sci. 2008;12:207–218. doi:10.1080/10913670802349766

18 Maffiuletti NA, et al. Eur J Appl Physiol. 2016;116:1091–1116. doi:10.1007/s00421-016-3346-6

19 Bishop C, Turner A, Read P. J Sports Sci. 2018;36:1135–1144. doi:10.1080/02640414.2017.1361894

20 Bohannon RW. Percept Mot Skills. 2006;103:215–222. doi:10.2466/pms.103.1.215-222

21 Christiansen CL, et al. Arch Phys Med Rehabil. 2011;92:1624–1629. doi:10.1016/j.apmr.2011.05.010

22 Revi DA, et al. J Neuroeng Rehabil. 2020;17:82. doi:10.1186/s12984-020-00700-7

23 Pedotti A. Biol Cybern. 1977;26:53–62. doi:10.1007/BF00363992

24 Morin JB, Edouard P, Samozino P. Med Sci Sports Exerc. 2011;43:1680–1688. doi:10.1249/MSS.0b013e318216ea37

25 Dos'Santos T, et al. Sports Med. 2018;48:2235–2253. doi:10.1007/s40279-018-0968-3

26 Holden JP, Cavanagh PR. J Biomech. 1991;24:887–897. doi:10.1016/0021-9290(91)90167-L

27 Li Y, et al. J Exp Biol. 2001;204:47–58. doi:10.1242/jeb.204.1.47

28 Prieto TE, et al. IEEE Trans Biomed Eng. 1996;43:956–966. doi:10.1109/10.532130

29 Orlin MN, McPoil TG. Phys Ther. 2000;80:399–409. doi:10.1093/ptj/80.4.399

30 De Luca CJ. J Appl Biomech. 1997;13:135–163. doi:10.1123/jab.13.2.135

31 Winter DA. Biomechanics and Motor Control of Human Movement. 4th ed. Hoboken (NJ): John Wiley & Sons; 2009. Chapter 5, Kinetics: forces and moments of force, pp. 107–138. doi:10.1002/9780470549148

32 Wade L, et al. PeerJ. 2022;10:e12995. doi:10.7717/peerj.12995

33 Uhlrich SD, et al. PLoS Comput Biol. 2023;19:e1011462. doi:10.1371/journal.pcbi.1011462

34 Robertson DGE, Caldwell GE, Hamill J, Kamen G, Whittlesey SN. Research Methods in Biomechanics. 2nd ed. Champaign (IL): Human Kinetics; 2014.

35 Kram R, et al. J Appl Physiol. 1998;85:764–769. doi:10.1152/jappl.1998.85.2.764

36 Verordnung (EU) 2023/2854 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Dezember 2023 über harmonisierte Vorschriften für einen fairen Datenzugang und eine faire Datennutzung (Datenverordnung). Amtsblatt der Europäischen Union, L 2023/2854, 22. Dezember 2023. Gilt ab dem 12. September 2025; Zugangsrecht in Artikel 4 Absatz 1.

37 Lohse K, et al. J Neurol Phys Ther. 2013;37:166–175. doi:10.1097/NPT.0000000000000017

38 Johnson D, et al. Internet Interv. 2016;6:89–106. doi:10.1016/j.invent.2016.10.002

39 Valenzuela T, et al. J Geriatr Phys Ther. 2018;41:49–61. doi:10.1519/JPT.0000000000000095

DRANBLEIBEN

Wie es von hier aus weitergeht

Lesen

David A. Winter: Biomechanics and Motor Control of Human Movement. Gordon Robertson u. a.: Research Methods in Biomechanics.

Fragen

Fotografieren Sie eine Seite, und Ihr KI-Assistent erklärt sie auf Ihrem Niveau oder schlägt den nächsten lesenswerten Fachartikel vor. Das PDF dieses Booklets schicken wir auf Anfrage.

Teilen

Geben Sie es an eine Kollegin oder einen Kollegen weiter, oder nehmen Sie ein Kapitel mit in Ihre nächste Teambesprechung.

Ausprobieren

Fragen Sie nach einer Vorführung, und stellen Sie sich selbst auf eine Platte. Rufen Sie +49 15678 616 529 an oder schreiben Sie an contact@movetrics.com.

movetrics.com
contact@movetrics.com
+49 15678 616 529

Nur Engineering GmbH · Duisburg, Deutschland
Support auf Deutsch, Englisch, Italienisch und Arabisch, per E-Mail und Telefon.

movetrics.com/contact

Movetrics-Systeme messen Kräfte und Momente, berechnen Kennwerte und stellen sie dar: für Sport, Forschung, Lehre sowie Training und Rehabilitation unter fachlicher Anleitung. Sie sind keine Medizinprodukte. Sie diagnostizieren, behandeln, überwachen oder prognostizieren keine Krankheiten oder Zustände, und ihre Ergebnisse ersetzen nicht das fachliche Urteil.

Produktfotos: echte Fotos der Produkte; Umgebungen, Hintergründe und der Fernseher wurden mit KI erstellt oder bearbeitet. Bildschirme zeigen unsere eigene Software mit Beispieldaten. Abbildungen sind Illustrationen, sofern nicht anders angegeben. Ausgabe 1.

Movetrics

Bewegung, verstanden.

MADE IN GERMANY