

SCIENCE. TRAINING. PERFORMANCE.

THE RUN CODE

DIE WISSENSCHAFT DES LAUFENS –
DAS EVIDENZBASIERTE HANDBUCH
FÜR MEHR LEISTUNG,
WENIGER VERLETZUNGEN UND
LANGFRISTIGE BELASTBARKEIT



PD DR. MED. DANIEL P. BERTHOLD

The Run Code

*Die Wissenschaft des Laufens – das evidenzbasierte
Handbuch für mehr Leistung, weniger Verletzungen
und langfristige Belastbarkeit*

Leistung, Verletzungsprävention und langfristige Belastbarkeit in einem
gemeinsamen System.

PD Dr. med. Daniel P. Berthold

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	7
Der Run Code – Wie dieses Buch gelesen werden sollte.....	13
Teil I – Der menschliche Läufer.....	17
Kapitel 1 Born to Run? Evolution, Kultur und Anatomie des Laufens.....	18
Kapitel 2 Das Gehirn läuft mit.....	29
Teil II – Die Wissenschaft der Laufleistung.....	43
Kapitel 3 VO ₂ max, Schwelle und Laufökonomie.....	47
Kapitel 4 Moderne Leistungsparameter: Critical Speed, vVO ₂ max und Durability..	57
Kapitel 5 Energie, Stoffwechsel und Ermüdung.....	66
Kapitel 6 Trainingszonen und Intensitätssteuerung.....	78
Kapitel 7 Die wichtigsten Trainingsformen.....	89
Kapitel 8 Periodisierung, Marathontraining und Tapering.....	99
Kapitel 9 Trainingsbelastung, Anpassung und Übertraining.....	113
Teil III – Biomechanik, Laufparameter und Technik.....	127
Kapitel 10 Die Sprache des Laufens.....	129
Kapitel 11 Was bei jedem Schritt passiert.....	134
Kapitel 12 Foot Strike, Kadenz, Schrittlänge und Laufstil.....	141
Kapitel 13 Hüfte, Becken, Rumpf und Fußmechanik.....	146
Kapitel 14 Laufanalyse und Gait Retraining.....	151
Teil IV – Kraft, Mobility und Verletzungsprävention.....	161
Kapitel 15 Krafttraining, Plyometrie und Sehnenanpassung.....	164
Kapitel 16 Mobility, Warm-up und Stretching.....	169
Kapitel 17 Warum Läufer verletzt werden.....	181

Teil V – Die häufigsten Laufverletzungen.....	191
Kapitel 18 Schienbein und Knochenstressverletzungen.....	193
Kapitel 19 Kniebeschwerden bei Läufern.....	199
Kapitel 20 Achillessehne, Wade und Plantarfaszie.....	206
Kapitel 21 Hüfte, Leiste, Hamstrings und Rücken.....	216
Kapitel 22 Return to Running nach Verletzung.....	225
Teil VI – Schuhe, Einlagen und Technologie.....	240
Kapitel 23 Laufschuhe, Carbon Shoes und der Schuhmythos.....	242
Kapitel 24 Einlagen, Orthesen und Fußversorgung.....	250
Kapitel 25 Wearables, Laufdaten und KI-Coaching.....	257
Teil VII – Ernährung, Regeneration und Gesundheit.....	271
Kapitel 26 Ernährung, Hydration und Supplements.....	273
Kapitel 27 Schlaf, Regeneration, Hormone und Immunsystem.....	279
Teil VIII – Das Run-Code-System.....	287
Kapitel 28 Das Run-Code-Assessment und die fünf Entwicklungsstufen.....	289
Kapitel 29 Trainingspläne für 5 km, 10 km, Halbmarathon und Marathon.....	311
Kapitel 30 Der robuste Läufer und die Zukunft der Laufmedizin.....	339
Die wichtigsten Schlüsse für den Leser.....	350
Die wichtigsten Paper.....	352
Weitere Paper je nach Leserinteresse.....	353
Buchempfehlungen.....	353
Glossar.....	356
Sachregister.....	358
Schlussgedanke.....	360
Über den Autor.....	361

DER RUN CODE

Wie dieses Buch gelesen werden sollte

Viele Laufbücher behandeln drei Fragen getrennt: Wie entsteht Leistung? Welche Belastung verträgt das Gewebe? Und wie lässt sich Training so ordnen, dass Fortschritt nicht nur kurzfristig gelingt, sondern wiederholbar bleibt. Der Run Code führt diese Fragen in einem gemeinsamen System zusammen.



Abbildung 1 · Der Run Code ordnet Ziel, Engpass, Reserve, Reaktion und Wiederholbarkeit zu einer einzigen Entscheidungslogik.

DER USP DES RUN CODE

Sein Wert liegt nicht in einem neuen Intervall, einem einzelnen Schuh oder einer festen Wochenzahl. Er liegt in der Reihenfolge der Entscheidungen: erst einordnen, dann priorisieren, dann planen. So wird aus allgemeinem Trainingswissen eine begründete Entscheidung für diesen Läufer, in dieser Phase und unter diesen Bedingungen.

Fünf Fragen vor jedem Plan

Frage	Worum es praktisch geht
1. Was ist das Ziel?	Distanz, Zeitpunkt, Leistungsanspruch und vertretbarer Preis.
2. Was begrenzt die Leistung?	Aerobe Kapazität, Schwelle, Ökonomie, Durability, Pacing oder Energieversorgung.
3. Wo liegt die geringste Reserve?	Sehne, Knochen, Muskulatur, Schlaf, Kraft oder Alltag können früher limitieren als Herz und Lunge.
4. Wie reagiert der Körper?	Pace und Kilometer zeigen die äußere Last; RPE, Herzfrequenz, Beschwerden und Erholung zeigen ihre Kosten.
5. Was lässt sich wiederholen?	Ein Plan ist nur so gut wie die Wochen, in denen er unter realen Bedingungen getragen werden kann.

Die fünf Stufen der Laufentwicklung

Stufe	Nächste Aufgabe	Typisches Signal
1. Stabilisieren	Reaktion wieder berechenbar machen	Beschwerden, starke Schwankungen, Schlaf- oder Energiedefizit.
2. Tragen	Regelmäßigkeit und lokale Belastbarkeit aufbauen	Umfang und Kraft sind noch nicht stabil wiederholbar.
3. Entwickeln	den wichtigsten Leistungsengpass bearbeiten	Das System ist stabil, die Leistung stagniert oder bleibt unspezifisch.
4. Zuspitzen	allgemeine Fitness in die Wettkampfaufgabe übersetzen	Zieltempo, Fueling und Ermüdungsstabilität werden entscheidend.

Stufe	Nächste Aufgabe	Typisches Signal
5. Verstetigen	Leistung erhalten und den nächsten Zyklus vorbereiten	Nach Peak oder Wettkampf wird Belastbarkeit neu geordnet.

Die Stufe beschreibt keine Rangordnung. Ein schneller Athlet kann stabilisieren müssen, während ein langsamerer Läufer bereits gezielt entwickelt. Entscheidend ist nicht, wie beeindruckend das aktuelle Training aussieht, sondern welche Aufgabe den nächsten belastbaren Fortschritt ermöglicht.

Wo Sie beginnen können

Ihre Frage	Sinnvoller Einstieg
Warum werde ich trotz Training nicht schneller?	Kapitel 3 bis 9 sowie Kapitel 28 und 29
Warum breche ich spät im Rennen ein?	Kapitel 4, 5, 8, 26, 28 und 29
Warum werde ich immer wieder verletzt?	Kapitel 15 bis 22 sowie Kapitel 28
Muss ich meinen Laufstil verändern?	Kapitel 10 bis 14
Welcher Schuh oder welche Einlage passt zu mir?	Kapitel 23 und 24

Ihre Frage	Sinnvoller Einstieg
Was bedeuten die Daten meiner Uhr?	Kapitel 6 und 25
Wie steuere ich Ernährung und Regeneration?	Kapitel 26 und 27
Wie baue ich einen konkreten Plan?	Kapitel 28 und 29

Die zentrale Regel

Ein Trainingsplan ist keine Prüfung der Disziplin, sondern eine begründete Entscheidung auf Zeit. Er muss genau genug sein, um Orientierung zu geben, und beweglich genug, um auf die Wirklichkeit zu antworten.

Fortschritt entsteht, wenn die entscheidenden Reize häufig genug gesetzt, verarbeitet und im richtigen Moment weiterentwickelt werden. Das ist der Kern des Run Code.

KAPITEL 3

VO₂max, Schwelle und Laufökonomie

Eine hohe VO₂max auf dem Laborblatt macht Eindruck bei der nächsten Rennradausfahrt oder beim Kaffee. Die Zahl wirkt wissenschaftlich, vergleichbar und irgendwie endgültig. So in etwa als würde man sich im Quartett oder mit seinem neuesten Sportfahrzeug messen. Im Laufsport hatte sie deshalb lange einen besonderen Status. Wer eine hohe VO₂max hat, gilt schnell als großes Talent. Wer sie nicht hat, scheint früh begrenzt.

Heute ist diese Zahl noch präsenter. Sie steht nicht mehr nur in Leistungsdiagnostiken von Läufern, Radfahrern oder Triathleten, sondern auch auf Sportuhren, in Gesundheitschecks und in der Longevity-Debatte. VO₂max ist zu einer Art Kurzformel für Fitness geworden. Wer wissen will, wie belastbar Herz, Kreislauf und Muskulatur sind, landet fast zwangsläufig bei dieser Zahl.

Ganz ohne Grund ist das nicht. Im Radsport sieht man bei Fahrern wie Jonas Vingegaard, wie wichtig eine enorme aerobe Kapazität an langen Anstiegen sein kann. Im Marathon zeigt ein Athlet wie Eliud Kipchoge, was möglich wird, wenn ein großer Motor mit außergewöhnlicher Ökonomie, Ruhe und Stabilität zusammenkommt. VO₂max ist also kein Modewert. Sie beschreibt eine echte Leistungsgrenze. Nur erklärt sie das Rennen nicht allein [1].

Denn ein Rennen fragt mehr als ein Labortest. Es fragt nicht nur, wie viel Sauerstoff ein Körper maximal verarbeiten kann. Es fragt, welches Tempo daraus entsteht, wie lange dieses Tempo gehalten wird und wie stark der Körper im Verlauf belastet wird. Genau dort beginnt das bessere Modell. Große Laufleistung entsteht aus drei gekoppelten Größen: aus der aeroben Decke, aus dem Anteil dieser

Decke, der tragbar bleibt, und aus dem Aufwand, mit dem Tempo erzeugt wird [1], [4], [5].

Diese drei Größen heißen $VO_2\text{max}$, Schwelle und Laufökonomie. Jede erklärt einen echten Teil der Leistung. Keine erklärt das Rennen allein [1], [6], [7].

Säule	Leitfrage	Was sie gut erklärt	Was sie nicht allein erklärt
$VO_2\text{max}$	Wie groß ist die aerobe Decke?	die obere Kapazität des Systems	wie teuer ein Tempo ist und wie lange es stabil bleibt
Schwelle	Wie viel dieser Decke ist nachhaltig nutzbar?	die obere Grenze kontrollierbarer Dauerleistung	warum zwei Läufer bei gleicher Schwelle verschieden schnell sind
Laufökonomie	Was kostet ein Tempo?	die Übersetzung von Physiologie in Geschwindigkeit	wie groß der Motor überhaupt ist

Die Decke

$VO_2\text{max}$ bezeichnet die maximale Menge an Sauerstoff, die der Körper pro Minute aufnehmen, transportieren und in der arbeitenden Muskulatur verwerten kann [1]. Sie markiert die obere Grenze des aeroben Systems. Ein Läufer kann sich ihr annähern, sie für kurze Zeit erreichen, dauerhaft oberhalb dieser Grenze arbeiten kann er nicht.

Was diese Grenze festlegt, ist seit Jahrzehnten gut untersucht. Ausschlaggebend ist vor allem die Fähigkeit des Herz-Kreislauf-Systems, Sauerstoff zu den arbeitenden Muskeln zu transportieren. Entscheidend ist weniger, wie viel Sauerstoff einzelne Muskelfasern noch aus dem Blut gewinnen können, sondern wie viel das Herz überhaupt pro Minute liefern kann [1]. Deshalb verbessert Ausdauertraining die $VO_2\text{max}$ vor allem über zentrale Anpassungen wie ein höheres maximales Herzzeitvolumen.

Für Läufer hat das eine einfache Konsequenz. Wer seine aerobe Obergrenze nur unzureichend entwickelt, wird früher oder später an eine physiologische Grenze stoßen – unabhängig davon, wie diszipliniert er trainiert, wie effizient sein Laufstil ist oder wie groß seine mentale Härte erscheint.

KAPITEL 12

Foot Strike, Kadenz, Schrittlänge und Laufstil

Kaum ein Thema erzeugt im Laufsport so rasch feste Überzeugungen wie der Fußaufsatz. Ferse oder Vorfuß, Rückfuß oder Mittelfuß: Mitunter klingt die Debatte, als ließe sich an dieser einen Bewegung ablesen, ob jemand richtig läuft. Die Evidenz ist deutlich zurückhaltender.

Rearfoot Strike und Forefoot- oder Midfoot Strike sind keine Kategorien von gut und schlecht, sondern unterschiedliche Möglichkeiten, Last im Bewegungsapparat zu verteilen [14], [15]. Beim Rückfußaufsatz treten häufiger höhere Belastungen am Knie und eine deutlicher sichtbare Impact-Spitze auf. Ein Vor- oder Mittelfußaufsatz verlagert dagegen mehr Arbeit nach distal, also in Richtung Sprunggelenk, Wade und Achillessehne [14], [15].



Abbildung 10 · Einteilung des Fußaufsatzes anhand der Lage des initialen Druckzentrums.

Variable	Rearfoot Strike tendiert eher zu	Forefoot oder Midfoot Strike tendiert eher zu
Impact-Spitze	deutlicher sichtbar	geringer oder anders verteilt [14], [15]
Kniebelastung	höher	häufig geringer [14]
Last an Wade und Achillessehne	geringer	höher [14], [15]
metabolische Kosten beim Wechsel	meist stabil, wenn habituell	bei abruptem Wechsel häufig erhöht [15]

Damit fällt eine der hartnäckigsten Vereinfachungen weg. Vorfußlaufen ist nicht automatisch natürlicher, ökonomischer oder gesünder, sondern zunächst nur eine andere mechanische Lösung. Wer über Jahre habituell mit dem Rückfuß aufsetzt, wird durch einen abrupten Wechsel nicht zwangsläufig effizienter. Im Gegenteil kann der Energieaufwand zunächst steigen, während Wade, Fuß und Achillessehne plötzlich Aufgaben übernehmen müssen, auf die sie nicht vorbereitet sind [15]. Auch der Impact verschwindet nicht

einfach, sondern verändert seine zeitliche und räumliche Verteilung [15].

Ein anderer Fußaufsatz ist deshalb meist kein Upgrade oder Laufstilverbesserung, sondern ein Lasttausch.

Diese Unterscheidung ist von großer Bedeutung. Bei vorderem Knieschmerz kann eine gezielte Verlagerung der Belastung nach distal hilfreich sein. Bei einer empfindlichen Achillessehne oder unzureichend belastbarer Wadenmuskulatur kann dieselbe Veränderung jedoch ein neues Problem schaffen. Entscheidend ist daher nicht, welcher Aufsatz grundsätzlich besser ist, sondern welches Gewebe im konkreten Fall entlastet und welches zusätzlich beansprucht wird.

In der Praxis ist die Kadenz häufig der verlässlichere Hebel. Wird die Schrittfrequenz bei gleichem Tempo moderat erhöht, verkürzt sich meist die Schrittlänge. Der Fuß setzt näher unter dem Körperschwerpunkt auf, der Bremsimpuls wird kleiner und mehrere gelenknahe Belastungen, vor allem am Knie, können sinken [8], [16]. Gerade deshalb wird die Kadenz im Gait Retraining so häufig genutzt: Sie verändert das Bewegungsmuster, ohne den gesamten Laufstil neu zu erfinden.

Auch hier suchen viele Läufer nach einer Zahl, die ihnen die Entscheidung abnimmt. Besonders hartnäckig hält sich die Vorstellung, 180 Schritte pro Minute seien ein allgemeiner Idealwert. Diese Zahl stammt aus Beobachtungen in einem eng begrenzten leistungsphysiologischen Kontext und eignet sich nicht als universelle Vorgabe [1]. Körpergröße, Lauftempo, Schrittlänge, Beinlänge, Untergrund und individuelle Gewohnheit beeinflussen die Schrittfrequenz so stark, dass ein einzelner Sollwert wenig erklärt. Gute Läufer laufen nicht deshalb gut, weil sie eine bestimmte Zahl treffen, sondern weil Kadenz, Schrittlänge, Bodenkontakt und Kraftentwicklung zueinander passen.

In vielen Fällen genügt eine Erhöhung um fünf bis zehn Prozent, um den Schritt kürzer und den Kontakt weniger bremsend zu organisieren [8], [17]. Größere Veränderungen sind nicht zwangsläufig wirksamer. Wenn eine neue Schrittfrequenz schon nach wenigen Minuten angestrengt, hektisch oder künstlich wirkt, ist

KAPITEL 15

Krafttraining, Plyometrie und Sehnenanpassung

Es gehört zu den seltsamsten Eigenheiten des Laufsports, dass viele Läufer Krafttraining erst dann ernst nehmen, wenn etwas weh tut.

Solange das Training gut läuft, wirkt Kraftarbeit oft wie Fremdsprache. Der Läufer sammelt Kilometer, Intervalle, Long Runs und vielleicht noch Strides. Das erscheint laufspezifisch. Die Hantelbank oder der schwere Split Squat wirken daneben schnell wie Störung. Genau darin steckt der Denkfehler.

Laufen ist nicht nur ein Sauerstoffproblem. Es ist ein Kraft-Zeit-Problem. Bei jedem Schritt müssen in sehr kurzer Zeit hohe Kräfte aufgenommen, geführt und wieder freigegeben werden. Gute Läufer sind deshalb nicht bloß ausdauernd. Sie sind auch gut darin, mit wenig Zeit viel Last sauber zu organisieren [1], [4].

Die stärkste Aussage der Literatur ist hier erstaunlich klar. Ergänzendes Krafttraining verbessert bei Mittel- und Langstreckenläufern wiederholt die Running Economy und oft auch die Wettkampfleistung, ohne dass sich $\dot{V}O_2\text{max}$ nennenswert verändern muss [1], [5], [6]. Das ist die eigentliche Pointe. Der Motor kann gleich bleiben, während der Schritt billiger wird.

Gerade diese Logik wird im Laufsport oft unterschätzt. Viele Läufer suchen Fortschritt fast nur über mehr Umfang oder mehr Qualität im Lauftraining. Das funktioniert bis zu einem Punkt. Danach wird dieselbe Strategie oft teurer, nicht besser. Krafttraining eröffnet dann keinen zweiten Sport, sondern einen anderen Anpassungskanal.

Trainingsform	Wofür sie vor allem gut ist	Was die Evidenz eher zeigt
schwere Kraftreize	Maximalkraft, Rate of Force Development, hohe lokale Gewebelast	robuste Effekte auf Running Economy, teils auch Time-Trial-Leistung [1], [7], [8]
Plyometrie	reaktive Eigenschaften, Stretch-Shortening-Zyklus, kurze Bodenkontaktarbeit	kann helfen, wirkt aber etwas variabler und oft protokollabhängiger [7], [9]
kombinierte Ansätze	Verbindung aus Kraft, Reaktivität und Gewebelast	praktisch oft sehr sinnvoll, teils mit starken Effekten, aber nicht immer mit hoher Evidenzsicherheit [6]

Schwere Widerstandsarbeit ist dabei besonders interessant, weil sie eine Angst des Laufsports direkt widerlegt. Sie macht den guten Läufer nicht automatisch schwer, langsam oder unbeweglich. In den wichtigsten Reviews bleiben Körpermasse und $\dot{V}O_2\text{max}$ meist weitgehend unverändert, während Ökonomie und Leistungsparameter sich verbessern [1], [5]. Das Problem ist also nicht, dass Krafttraining Läufer kaputtmacht. Das Problem ist eher, dass viele es zu spät, zu halbherzig oder zu unspezifisch einsetzen.

Eine der aufschlussreichsten Studien dazu bleibt die Arbeit von Støren und Kollegen. Acht Wochen Maximalkrafttraining mit halben Kniebeugen, dreimal pro Woche, verbesserten 1RM, Rate of Force Development, Running Economy und Zeit bis zur Erschöpfung, ohne $\dot{V}O_2\text{max}$, Körpergewicht oder Schwellentempo relevant zu verändern [8]. Besser lässt sich die Logik dieses Kapitels kaum zeigen. Der Läufer wurde nicht aerob „größer“. Er wurde mechanisch günstiger.

Die brauchbarste Analogie dafür lautet: Krafttraining baut nicht zwingend einen stärkeren Motor. Es verbessert oft das Getriebe.

Das gilt auch für explosive Arbeit und Plyometrie. Die Metaanalyse von Denadai und Kollegen zeigt, dass sowohl explosive Trainingsformen als auch schwere Kraftreize die Running Economy verbessern können [9]. Eihara und Kollegen finden dabei etwas stärkere Signale für Heavy Resistance Training als für Plyometrie allein, besonders wenn sehr hohe Lasten und längere Interventionsdauern eingesetzt werden [7]. Llanos-Lagos und

Kollegen stützen ebenfalls, dass hohe Lasten und kombinierte Programme oft die klarsten Leistungsverbesserungen liefern [6].

Daraus folgt keine Religion zugunsten einer einzigen Methode. Es folgt nur eine saubere Priorität. Wer mit wenig Zeit das robusteste Signal sucht, beginnt meist besser mit schwerer, technisch sauberer Kraftarbeit als mit hektischem Sprungfetisch.

Praktisch heißt das nicht Bodybuilding für Läufer. Es heißt: Übungen mit hoher lokaler Relevanz und klarer Last. Kniebeugenvarianten, Split Squats, Step-ups, Hüftstreckerarbeit, schwere Wadenarbeit und später gut dosierte Sprungformen sind näher an der Evidenz als bunte Zirkelformen mit viel Ermüdung und wenig mechanischer Aussage [1], [5].

Häufiger Irrtum	Was wahrscheinlicher stimmt
Läufer brauchen nur Laufen	Lauftraining allein deckt nicht alle neuromuskulären und sehnenspezifischen Anpassungen ab [1], [3]
Plyometrie ist immer laufspezifischer als schwere Kraft	Schwere Kraftreize zeigen oft mindestens ebenso gute, teils robustere Effekte auf Ökonomie und Leistung [6], [7]
Krafttraining bringt nur etwas über Muskelmasse	Der Hauptnutzen liegt eher in neuromuskulärer Effizienz, Kraftentfaltung und Sehnenverhalten [1], [3], [8]
Mehr Erschöpfung heißt besseres Krafttraining	Nicht-to-failure und sauber periodisierte Reize sind für Läufer meist sinnvoller [1], [5]

Der tiefere Grund dafür liegt in der Sehne.

Teil 3 hat gezeigt, dass der Laufschrift stark von elastischer Speicherung und Rückgabe lebt. Genau hier wird die Achillessehne zur Schlüsselfigur. Sie ist beim Menschen auffallend lang und verschiebt Arbeit auf ein elastisch günstiges System [4]. Kharazi und Kollegen zeigen, wie stark Achilleskraft und elastische Energie bereits beim Laufen ansteigen [10]. Viel von dem, was bei guten Läufern leicht aussieht, ist in Wahrheit geordnete Federarbeit.

Gerade deshalb ist die nächste Korrektur so wichtig: Viel Laufen heißt nicht automatisch, dass die Sehne den bestmöglichen Anpassungsreiz bekommt.

Die Metaanalyse von Lazarczuk und Kollegen ist hier fast brutal deutlich. Gesunde untere Extremitätsehnen passen sich auf

KAPITEL 17

Warum Läufer verletzt werden

Die populärste Erklärung für Laufverletzungen ist fast immer eine moralische.

Zu wenig Stabilität. Zu schlechte Technik. Zu wenig Mobility. Zu schnelle Steigerung. Der Läufer habe eine Regel gebrochen, nun folge die Strafe. Solche Erklärungen sind deshalb so beliebt, weil sie Ordnung in ein Feld bringen, das sich dieser Ordnung nur begrenzt fügt.

Die Evidenz spricht seit Jahren gegen solche Monokausalitäten. Laufverletzungen entstehen meist nicht aus einem einzelnen Defekt, sondern aus einem Missverhältnis zwischen Belastung und Belastbarkeit. Dazwischen liegen Gewebe, Trainingsverhalten, Verletzungsgeschichte, Erholung und persönlicher Kontext [2], [15], [16].

Bertelsen und Kollegen haben diese Logik besonders klar beschrieben. Gewebe passen sich an Belastung an, aber nicht unbegrenzt und nicht immer im gleichen Tempo [2]. Wird die Belastung höher, schneller oder anders verändert, als das jeweilige Gewebe tragen kann, steigt das Verletzungsrisiko. Das klingt schlicht. Es ist dennoch das tragfähigste Modell des ganzen Felds.

Dabei bedeutet Belastung weit mehr als Wochenkilometer. Tempo, Untergrund, Schuhwechsel, Schlaf, frühere Verletzungen, Energieverfügbarkeit, Wettkampfdichte und der Wiedereinstieg nach einer Pause verändern, was dieselbe Trainingswoche den Körper tatsächlich kostet [2], [17].

Auch die epidemiologische Seite ist eindeutig genug, um jede romantische Vorstellung zu bremsen. Laufverletzungen sind häufig, und Anfänger scheinen stärker betroffen zu sein als erfahrenere Freizeitläufer. Die Metaanalyse von Videbæk und Kollegen fand etwa

17,8 Verletzungen pro 1000 Laufstunden bei Novizen gegenüber 7,7 bei Freizeitläufern [18]. Besonders oft betroffen sind Knie, Fuß und Sprunggelenk sowie der Unterschenkel [18], [19].

Aus solchen Zahlen wird jedoch oft die falsche Lehre gezogen. Viele lesen sie, als müsse sich nur ein einzelner Schuldiger finden lassen. Genau das geben die Daten nicht her.

Die robusteste Einzelbeobachtung der Risikoforschung lautet vielmehr: Frühere Verletzungen gehören zu den stärksten Risikofaktoren für neue Verletzungen [15], [16]. Das ist keineswegs banal. Es zeigt, dass ein verletztes System häufig Spuren behält: geringere Belastbarkeit, veränderte Lastverteilung, einen unvollständigen Wiedereinstieg oder weiterhin bestehende Kontextfaktoren.

Die Trainingsfrage bleibt wichtig, ist aber unbequemer, als es der Laufsport gern hätte. Der systematische Review von Fredette und Kollegen zeigt keine konsistente Evidenz dafür, dass einzelne Trainingsparameter wie Distanz, Dauer, Häufigkeit, Intensität oder kurzfristige Änderungen über verschiedene Läufergruppen hinweg zuverlässig Verletzungen vorhersagen [17].

Gerade deshalb ist die bekannte 10-Prozent-Regel eher ein Kulturprodukt als ein belastbares Naturgesetz. Nicht weil Lastsprünge harmlos wären, sondern weil Prozentformeln ohne Kontext zu grob bleiben [17].

Bereich	Was die Literatur eher stützt	Was daraus nicht werden darf
frühere Verletzung	einer der robustesten Risikofaktoren [15], [16]	keine fatalistische Geschichte, sondern ein Hinweis auf unvollständige Wiederherstellung
Trainingslast	wichtig, aber nicht über einzelne Variablen sauber erklärbar [2], [17]	keine starre Prozentregel als Naturgesetz
Biomechanik	eher verletzungsspezifisch als global vorhersagend [20], [21], [22]	keine Suche nach dem einen falschen Laufstil
Präventionstraining	insgesamt gemischte Evidenz, bessere Signale bei gezielten und teilweise überwachten Ansätzen [23], [24], [25]	keine beliebige Übungssammlung als garantierter Schutz
Online-Aufklärung	bislang schwache Ergebnisse in großen randomisierten Studien [26], [27], [28]	keine Hoffnung, dass Information allein Verletzungen verhindert

Genau an dieser Stelle wird Biomechanik oft falsch verstanden. Sie ist sehr wichtig und nur selten universal.

Prospektive Reviews zeigen, dass breite globale Screenings über alle Verletzungen hinweg nur eine begrenzte Vorhersagekraft besitzen [21], [22]. Aussagekräftiger werden biomechanische Daten dort, wo gewebespezifisch gedacht wird: patellofemorale Schmerz anders als Knochenstress, Achillessehne anders als Iliotibialbandsyndrom [20].

Die falsche einfache Formel lautet deshalb: Technik verursacht Verletzungen.

Die brauchbarere Formel lautet: Technik kann Lasten so verteilen, dass bestimmte Gewebe unter bestimmten Bedingungen stärker belastet werden.

Das ist ein entscheidender Unterschied. Er schützt vor zwei Irrtümern zugleich: vor dem alten Irrtum, Biomechanik erkläre alles, und vor dem neueren Irrtum, sie erkläre gar nichts.

Auch die Präventionsliteratur ist hier sehr hilfreich, auch wenn sehr überschaubar und zurückhaltend. Große onlinebasierte Präventionsprogramme konnten in mehreren randomisierten Studien die Zahl laufbezogener Verletzungen nicht senken [26], [27],

KAPITEL 19

Kniebeschwerden bei Läufern

Kaum ein Gelenk ist mit so vielen Laufmythen beladen wie das Knie. Der bekannteste lautet: Laufen macht die Knie kaputt. Er hält sich, weil er auf den ersten Blick plausibel wirkt. Bei jedem Schritt muss das Knie Kräfte aufnehmen, weiterleiten und kontrollieren. Daraus wurde die einfache Vorstellung, dass viele Schritte zwangsläufig viel Verschleiß bedeuten.

So schlicht ist es nicht.

Freizeitlaufen ist kein sicherer Weg in die Arthrose. In einer Metaanalyse zeigten Freizeitläufer sogar eine geringere Prävalenz von Hüft- und Kniearthrose als körperlich inaktive Vergleichsgruppen. Ungünstiger wirkte dagegen eine sehr hohe, über viele Jahre betriebene wettkampforientierte Belastung [9]. Das Knie nutzt sich beim Laufen also nicht einfach wie ein Reifen ab. Es reagiert auf Belastung, passt sich an und kann über lange Zeit erstaunlich viel vertragen.

Das bedeutet nicht, dass jedes Knie jede Form des Laufens verträgt.

Der Begriff Läuferknie trägt bereits zur Verwirrung bei. Er klingt nach einer Diagnose, bezeichnet in Wirklichkeit aber nur eine Gruppe möglicher Beschwerden. Ein Schmerz an der Vorderseite des Knies kann aus dem patellofemorale Gelenk stammen. Ein lateraler Schmerz kann mit dem Tractus iliotibialis zusammenhängen. Ein belastungsabhängiger Schmerz unterhalb der Kniescheibe kann auf eine patellare Tendinopathie hinweisen. Medialseitige Beschwerden können vom Innenmeniskus, vom Gelenkknorpel, vom Pes anserinus oder von anderen Strukturen ausgehen. Diese Probleme liegen nah beieinander, folgen aber nicht derselben biologischen und mechanischen Logik [10].

Beschwerdebild	Was häufig dahinterliegt	Typischer Denkfehler
patellofemorale Schmerz	hohe Belastung im vorderen Kniegelenk	ausschließlich lokal am Knie behandeln [11], [12]
ITB-bezogene Beschwerden	laterale Reiz- und Lastproblematik	nach einer einzigen Ursache suchen [10], [12]
patellare Tendinopathie	unzureichend tolerierte Sehnenlast	zu viel Schonung und zu wenig kontrollierter Belastungsaufbau
medialeseitiger Knieschmerz	Meniskus, Knorpel, Pes anserinus oder mediales Gelenkfach	jeden medialen Schmerz als Meniskusriss werten
degenerative Meniskusläsion	alters- und belastungsbedingte Gewebeveränderung	jeden MRT-Befund operieren
arthrotische Beschwerden	Gelenkproblem mit Vorgeschichte und veränderter Belastbarkeit	Laufen grundsätzlich verbieten [9]

Am besten untersucht ist im Laufsport der patellofemorale Schmerz. Gemeint sind Beschwerden an oder hinter der Kniescheibe, die häufig beim Laufen, Bergablaufen, Treppensteigen, längeren Sitzen oder bei tiefen Kniebeugen auftreten. In Studien zeigen betroffene Läufer wiederholt eine stärkere Hüftadduktion und teilweise auch eine vermehrte Hüftinnenrotation [11].

Die schnelle Erklärung lautet dann oft, die Hüfte sei zu schwach und deshalb schuld am Knieschmerz. Diese Schlussfolgerung ist zu einfach. Auffällige Bewegungsmuster können an der Entstehung beteiligt sein. Sie können aber ebenso eine Folge des Schmerzes, eine individuelle Bewegungsstrategie oder schlicht eine Variante normaler Bewegung sein. Das Knie zahlt häufig für ein Lastmuster, das im gesamten Bein organisiert wird. Daraus folgt jedoch nicht, dass jede Abweichung korrigiert werden muss.

Die Behandlung muss auch hier nicht spektakulär sein. Eine leicht erhöhte Schrittfrequenz kann die patellofemorale Gelenkbelastung reduzieren [13]. In einer Studie führte eine Erhöhung der Schrittfrequenz um zehn Prozent bei ausgewählten Läufern zu Verbesserungen von Schmerz, Funktion und Laufkinematik [14]. Dabei geht es nicht darum, eine bestimmte Kadenz als neue Norm festzulegen. Der Nutzen liegt darin, den Schritt geringfügig zu

KAPITEL 22

Return to Running nach Verletzung

Die Rückkehr zum Laufen scheitert selten an fehlender Motivation. Häufiger scheitert sie an einem Irrtum, der zunächst vernünftig klingt: Seit der Verletzung sei genug Zeit vergangen, also müsse das Gewebe wieder belastbar sein.

Zeit heilt. Sie trainiert aber nicht.

Vier, sechs oder acht Wochen können biologisch notwendig sein. Sie sagen dennoch wenig darüber aus, ob eine Sehne wieder schnelle Lastwechsel verträgt, ein Knochen wieder Tausende Schritte verkraftet oder ein Hamstring hohe Laufgeschwindigkeit kontrollieren kann. Ein Läufer kann im Alltag beschwerdefrei sein, Treppen steigen und spazieren gehen – und beim ersten längeren Lauf unmittelbar wieder an dieselbe Grenze stoßen.

Return to Running sollte deshalb nie einem starren Kalender folgen. Es ist eine geplante Wiederannäherung an die Belastung, die zuvor nicht mehr vertragen wurde [6], [30].

Dabei geht es nicht nur darum, wieder laufen zu können. Es geht darum, das Laufen in einer Form zurückzugewinnen, die sich wiederholen lässt. Eine einzelne schmerzfreie Einheit beweist wenig. Erst wenn das Gewebe mehrere angemessen dosierte Reize verarbeitet, ohne dass Beschwerden von Einheit zu Einheit zunehmen, beginnt echte Belastbarkeit.

Gerade nach Knochenstressverletzungen wird diese Logik deutlich. Vor dem ersten Lauf sollten der Alltag und zügiges Gehen weitgehend schmerzfrei möglich sein. Die lokale Druckempfindlichkeit sollte deutlich zurückgegangen sein. Funktionelle Belastungen müssen toleriert werden, und bei

Hochrisikoverletzungen kann zusätzlich eine bildgebend gesicherte Heilung erforderlich sein [6].

Ein Teil dieser Kriterien beruht stärker auf klinischem Konsens als auf großen randomisierten Studien. Das macht sie nicht wertlos. Es zeigt vielmehr, dass Rückkehrentscheidungen nicht auf eine einzelne Zahl reduziert werden können [6].

Phase	Was jetzt zählt	Woran die Rückkehr häufig scheitert
vor dem ersten Lauf	schmerzarmer Alltag, ruhiges Gehen, funktionelle Bereitschaft	Zeitablauf mit Heilung verwechseln [6]
erste Laufeinheiten	kurze Laufintervalle, klare Reaktion des Gewebes	zu früh durchlaufen [6]
frühe Progression	Regelmäßigkeit und Dauer	Tempo zu früh zurückholen [6]
mittlere Progression	mehr zusammenhängende Laufzeit	Umfang und Intensität gleichzeitig steigern
späte Rückkehr	Berge, Geschwindigkeit, lange Läufe und sportartspezifische Belastung	gutes Gefühl mit voller Belastbarkeit verwechseln [30]
Wettkampfrückkehr	Robustheit unter Ermüdung und höherem Tempo	Trainingsfähigkeit mit Rennreife gleichsetzen

Der erste Lauf ist deshalb kein Test, den man bestehen muss. Er dient oft als diagnostische Belastung.

Geeignet sind zunächst kurze Run-Walk-Einheiten. Einige Minuten Gehen wechseln sich mit kurzen Laufabschnitten ab. Das Tempo bleibt ruhig, die Strecke eben und der Schritt bewusst unspektakulär. Ziel ist nicht, Kondition zu beweisen. Ziel ist, eine Belastungsdosis zu finden, die das Gewebe verarbeiten kann.

Die entscheidende Information liefert nicht nur das Gefühl während des Laufens. Ebenso wichtig sind die Stunden danach und der nächste Morgen. Eine leichte, rasch abklingende Reaktion kann je nach Verletzung akzeptabel sein. Eine deutliche Zunahme von Schmerz, Steifigkeit, Schwellung oder Druckempfindlichkeit zeigt dagegen, dass die Belastung zu hoch war.

Gerade bei Sehnenproblemen ist die Morgenreaktion oft besonders aussagekräftig. Bei Knochenstressverletzungen ist eine

KAPITEL 23

Laufschuhe, Carbon Shoes und der Schuhmythos

Über kaum einen Gegenstand des Laufsports wird so grundsätzlich gesprochen wie über Schuhe. Aus unterschiedlichen Konstruktionen werden schnell Weltanschauungen. Es gibt dann natürliche und unnatürliche Schuhe, ehrliche und künstliche Schuhe, starke und schwache Füße.

Die Evidenz ist deutlich unspektakulärer. Schuhe verändern, wie ein Mensch läuft. Sie verändern diese Bewegung jedoch selten nur an einer Stelle und kaum jemals so eindeutig, wie es Werbung, Social Media und die Erzählungen der Laufszene nahelegen [1], [5].

Für die allgemeine Prävention laufbezogener Verletzungen gibt es keinen überzeugenden Nachweis, dass ein bestimmter Schuhtyp allen Läufern überlegen ist [1]. Neutrale Schuhe zeigen gegenüber minimalistischen Modellen keinen eindeutigen generellen Vorteil. Auch weichere Mittelsohlen ergeben im Vergleich mit härteren Konstruktionen auf Review-Ebene kein durchgehend erkennbares Schutzsignal [1]. Ebenso wenig trägt die lange verbreitete Vorstellung, der passende Schuh lasse sich zuverlässig aus der statischen Form des Fußes ableiten [1].

Das bedeutet nicht, dass Schuhe bedeutungslos sind. Es bedeutet, dass ihre Wirkung vom jeweiligen Läufer, von der Belastung und vom konkreten Problem abhängt.

Ein Schuh kann den Komfort erhöhen, lokale Belastungen verschieben und dazu beitragen, dass Training besser vertragen wird. Er tut dies jedoch nicht unabhängig vom Menschen, der ihn

trägt. Derselbe Schuh kann bei einem Läufer gut funktionieren, bei einem anderen wirkungslos bleiben und bei einem dritten Beschwerden provozieren. Der Schuh verändert die Belastung. Wie der Körper auf diese Veränderung reagiert, ist damit noch nicht entschieden.

Die Wirkung moderner Wettkampfschuhe

Eine deutliche Ausnahme in der insgesamt zurückhaltenden Schuhliteratur bilden Carbon-Schuhe beziehungsweise, präziser, Schuhe mit Advanced Footwear Technology, kurz AFT. Hier ist der Leistungsgewinn gut belegt.

Hoogkamer und Kollegen zeigten in ihrer Prototypenstudie eine Verbesserung der Running Economy um ungefähr vier Prozent [2]. Neuere Meta-Analysen bestätigen, dass moderne AFT-Schuhe die Sauerstoffkosten des Laufens im Mittel tatsächlich senken. Die gefundenen Effekte liegen häufig zwischen etwa zwei und vier Prozent [3], [6].

Das klingt zunächst nach wenig. Im Ausdauerleistungssport ist es erheblich. Running Economy beschreibt, wie viel Sauerstoff ein Läufer benötigt, um ein bestimmtes Tempo aufrechtzuerhalten. Benötigt er für dieselbe Geschwindigkeit weniger Energie, kann er entweder länger mit diesem Tempo laufen oder bei vergleichbarer Stoffwechselbelastung schneller werden.

Der Schuh macht den Läufer nicht automatisch vier Prozent schneller. Eine um vier Prozent verbesserte Laufökonomie lässt sich nicht eins zu eins auf die Wettkampfzeit übertragen. Sie senkt jedoch die energetischen Kosten jedes Schrittes. Über Tausende Schritte kann daraus ein relevanter Leistungsvorteil entstehen.

Warum nicht allein die Carbonplatte schnell macht

Die verbreitete Kurzfassung lautet, die Carbonplatte mache den Schuh schnell. Diese Erklärung ist zu einfach.

Die mechanische und neuere Review-Literatur spricht dafür, dass der Effekt aus dem Zusammenspiel mehrerer Eigenschaften entsteht: aus einem leichten und hoch resilienten Schaum, aus der Geometrie der Sohle, aus ihrer Höhe und Form sowie aus der Biegesteifigkeit des gesamten Schuhs [2], [3], [7], [8].

Die Platte ist ein Teil dieses Systems. Sie stabilisiert den weichen Schaum, beeinflusst die Abrollbewegung und verändert die Art, wie sich der Schuh unter Belastung verformt. Ohne den passenden Schaum und die entsprechende Geometrie entsteht daraus jedoch nicht automatisch eine bessere Laufökonomie.

Stephen und Kollegen zeigen, dass weder eine isolierte Erhöhung der longitudinalen Biegesteifigkeit noch ein höherer Energy Return der Mittelsohle allein den Sauerstoffverbrauch zuverlässig senkt [3]. Entscheidend scheint vielmehr die Abstimmung des gesamten Systems zu sein.

Ein sehr steifer Schuh ist deshalb nicht zwangsläufig ein schneller Schuh. Ebenso wenig lässt sich die Wirkung moderner Wettkampfmodelle durch das bloße Einsetzen einer Platte in eine beliebige Mittelsohle nachbilden. AFT-Schuhe funktionieren als abgestimmte Konstruktionen.

Was sich biomechanisch verändert

Auch biomechanisch ist die Wirkung weniger spektakulär, als viele Diskussionen vermuten lassen. Die neuere Metaanalyse zu Carbonplatten zeigt keine vollständige Neuorganisation der Laufbewegung. Die Veränderungen sind eher klein und betreffen vor allem den distalen Bewegungsapparat, insbesondere Fuß und Sprunggelenk [9].

KAPITEL 25

Wearables, Laufdaten und KI-Coaching

Viele Läufer tragen heute Messsysteme am Körper, die vor wenigen Jahren noch spezialisierten Laboren vorbehalten waren. Eine Uhr erfasst Strecke, Tempo, Herzfrequenz, Schrittfrequenz, Schlaf, Belastung und Erholung. Manche Geräte berechnen zusätzlich Laufleistung, Trainingsbereitschaft, Stress und den idealen Zeitpunkt für die nächste intensive Einheit.

Das erzeugt den Eindruck großer Präzision. Zunächst entsteht daraus jedoch eine andere Aufgabe: zwischen Messung, Schätzung und Interpretation zu unterscheiden.

Nicht jede Zahl auf einem Display wurde tatsächlich gemessen. Manche Werte werden aus anderen Signalen berechnet. Andere entstehen aus Modellen, die Durchschnittswerte auf einen einzelnen Läufer übertragen. Wieder andere sind bereits Interpretationen, obwohl sie wie objektive Messwerte dargestellt werden.

Gerade deshalb bleiben die einfachen Größen oft die belastbarsten.

Pace beschreibt die äußere Leistung. Zeit und Distanz beschreiben den Umfang. Die Herzfrequenz kann zeigen, wie stark das Herz-Kreislauf-System auf eine gegebene Belastung reagiert. Jede dieser Größen beantwortet eine andere Frage. Keine reicht für sich allein aus, doch zusammen ergeben sie häufig bereits ein brauchbares Bild des Trainings.

Die erste Ernüchterung beginnt bei der Sensorik. Nicht jeder Wert ist gleich zuverlässig, nur weil er mit einer Nachkommastelle angezeigt wird [16], [17].

Herzfrequenz: nützlich, aber nur so gut wie ihre Messung

Für die Herzfrequenzmessung bleibt der Brustgurt unter Bewegung meist die robustere Referenz. Er erfasst die elektrische Aktivität des Herzens und liegt damit näher an einem Elektrokardiogramm als ein optischer Sensor am Handgelenk.

Optische Sensoren arbeiten anders. Sie senden Licht in die Haut und versuchen, aus Veränderungen des Blutvolumens den Herzschlag abzuleiten. In Ruhe kann das gut funktionieren. Beim Laufen kommen jedoch Bewegung, Schweiß, Hautkontakt, Temperatur und Erschütterungen hinzu. Das macht die Messung anfälliger.

Die Metaanalyse zu handgelenkbasierten PPG-Geräten zeigt, dass optische Systeme unter bestimmten Bedingungen brauchbare Werte liefern können. Ihre Genauigkeit schwankt jedoch deutlich zwischen Geräten, Belastungsformen und Intensitäten [16].

Navalta und Kollegen konnten dies beim Trailrunning besonders klar zeigen. Ein EKG-basierter Brustgurt war die einzige durchgehend überzeugende Lösung. Optische Systeme am Handgelenk, Unterarm, Ohr oder Finger schnitten deutlich schwächer ab [17].

Das bedeutet nicht, dass die Uhr am Handgelenk wertlos ist. Für Alltagstrends, ruhige Läufe oder eine grobe Orientierung kann sie ausreichen. Wer jedoch Trainingszonen präzise steuern, Schwellenintervalle beurteilen oder ungewöhnliche Herzfrequenzreaktionen einordnen möchte, sollte die Qualität des Sensors berücksichtigen.

Eine ungenaue Messung wird nicht dadurch besser, dass eine App daraus eine genaue Empfehlung berechnet.

Herzfrequenz ist keine feste Antwort

Auch bei korrekter Messung darf die Herzfrequenz nicht isoliert gelesen werden. Sie reagiert nicht nur auf das Lauftempo, sondern auch auf Wärme, Flüssigkeitshaushalt, Schlaf, Stress, Koffein, Infekte und Ermüdung.

Bei längeren Belastungen kann die Herzfrequenz trotz gleichbleibender Pace allmählich ansteigen. Dieses Phänomen wird als Cardiac Drift bezeichnet. Der Körper muss dann zunehmend mehr

Kreislaufarbeit leisten, obwohl die äußere Leistung unverändert bleibt.

Gerade darin liegt der Wert der Herzfrequenz. Sie zeigt nicht nur, wie schnell jemand läuft, sondern welchen inneren Preis dieses Tempo an einem bestimmten Tag fordert.

Läuft ein Athlet seine übliche lockere Pace bei deutlich höherer Herzfrequenz, kann das auf Hitze, Erschöpfung, Dehydratation oder beginnende Krankheit hinweisen. Die Zahl liefert keine Diagnose. Sie kann aber einen Anlass geben, genauer hinzusehen.

HRV: ein Trend, kein Tagesurteil

Die nächste Stufe moderner Trainingssteuerung ist die Herzfrequenzvariabilität, kurz HRV. Gemeint sind kleine zeitliche Unterschiede zwischen aufeinanderfolgenden Herzschlägen.

Ein gesundes Herz schlägt nicht wie ein Metronom. Die Abstände verändern sich fortlaufend unter dem Einfluss des autonomen Nervensystems. Vereinfacht gesprochen kann die HRV Hinweise darauf geben, wie der Körper zwischen Aktivierung und Erholung reguliert.

Das macht sie für Training und Regeneration interessant. Es macht sie jedoch nicht zu einem direkten Maß für Fitness, Erschöpfung oder Trainingsbereitschaft.

Die bessere Literatur zeigt, dass HRV im Längsschnitt helfen kann, Trainingsstress, Anpassung und mögliche Fehlbelastungen zu erkennen [4], [18]. Entscheidend ist dabei nicht ein einzelner Wert, sondern das Muster über mehrere Tage oder Wochen.

Dafür müssen die Messbedingungen möglichst konstant bleiben. Sinnvoll sind standardisierte Morgenmessungen, dieselbe Körperposition, ein vergleichbarer Zeitpunkt und eine individuelle Ausgangslinie [18]. Ohne diese Standardisierung ist schwer zu unterscheiden, ob sich der Körper verändert hat oder nur die Messsituation.

HRV reagiert auf Schlaf, Krankheit, Alkohol, psychischen Stress, Trainingsbelastung und die mittlere Herzfrequenz [18]. Ein niedriger Wert nach einer schlechten Nacht muss deshalb keine Trainingskrise

KAPITEL 28

Das Run-Code-Assessment und das fünfstufige Laufentwicklungssystem

Viele Trainingspläne sind in sich schlüssig und scheitern trotzdem. Nicht unbedingt, weil die Einheiten falsch gewählt wurden, sondern weil der Plan bereits beginnt, bevor der Läufer richtig eingeordnet worden ist.

Wie belastbar ist er gegenwärtig? Was begrenzt seine Leistung? Welche Strukturen verkraften die vorhandene Belastung gut, welche reagieren schon auf kleine Veränderungen? Wie stark beeinflussen Schlaf, Hitze, Alltagsstress, Ernährung oder eine zurückliegende Verletzung seine Antwort auf das Training?

Erst wenn diese Fragen beantwortet sind, lässt sich sinnvoll entscheiden, was als Nächstes trainiert werden sollte. Gute Laufentwicklung beginnt deshalb nicht mit einer Wochenübersicht, sondern mit einer Bestandsaufnahme.

Wochenkilometer allein reichen dafür nicht aus. Drei Läufer können denselben Umfang absolvieren und dennoch völlig unterschiedlichen Belastungen ausgesetzt sein. Der eine läuft überwiegend locker auf flachem Untergrund, der zweite sammelt Höhenmeter, der dritte verbindet dieselbe Distanz mit Intervallen und langen Läufen. Die Zahl der Kilometer ist gleich, die mechanische, metabolische und innere Last ist es nicht [1].

Ein belastbares Bild entsteht erst, wenn äußere Belastung, körperliche Reaktion, Gewebekapazität, Vorgeschichte und Lebensumstände gemeinsam betrachtet werden [2], [3], [4]. Genau das ist die Aufgabe des Run-Code-Assessments.

Was ein gutes Assessment leisten muss

Ein Assessment soll nicht möglichst viele Auffälligkeiten produzieren. Es soll erklären, wo ein Läufer steht und was daraus folgt.

Das klingt selbstverständlich, wird in der Praxis aber häufig verfehlt. Beweglichkeit, Kraft, Fußform, Lauftechnik oder einzelne Messwerte werden getestet und anschließend behandelt, als hätten sie für sich allein bereits eine klare Bedeutung. Ein auffälliger Wert ist jedoch noch keine Ursache. Er wird erst dann relevant, wenn er zum Beschwerdebild, zur Belastung und zur Reaktion des Läufers passt.

Auch Laufverletzungen lassen sich selten auf einen einzelnen Fehler zurückführen. Die Übersichtsarbeiten zu Risikofaktoren zeigen ein uneinheitliches Feld, in dem Trainingsmerkmale, frühere Verletzungen, biomechanische Eigenschaften, allgemeine Gesundheit und Verhalten zusammenwirken [4]. Manche Faktoren erhöhen die Wahrscheinlichkeit eines Problems, erklären aber nicht, warum genau dieser Läufer zu genau diesem Zeitpunkt Beschwerden entwickelt.

Napier und Willy fassen diese Grenze für die Biomechanik treffend zusammen: Bewegungsmuster beeinflussen, wo Lasten wirken. Sie erklären eine Verletzung jedoch nicht unabhängig von Belastung, Gewebekapazität und Vorgeschichte [3]. Dasselbe gilt für Kraft, Schuhe oder Beweglichkeit. Wer nur auf einen dieser Bereiche schaut, sieht einen Ausschnitt und hält ihn leicht für das Ganze.

Das Run-Code-Assessment ordnet den Läufer deshalb auf fünf Profilebenen ein.

Bereich	Kernfrage	Wichtige Signale
Lastprofil	Was wirkt tatsächlich auf den Körper ein?	Umfang, Trainingsdichte, Intensitätsverteilung, Gelände, Lastspitzen, Monotonie sowie Verhältnis von äußerer und innerer Belastung [1], [2]
Leistungsprofil	Was begrenzt das derzeit mögliche Tempo?	Schwellentempo, Critical Speed, Laufökonomie, aerobe Kapazität und Ermüdungsresistenz [5]
Gewebeprofil	Welche Struktur besitzt die geringste Belastungsreserve?	frühere Verletzungen, aktuelle Reizbarkeit, Knochen- und Sehnenhistorie sowie lokale Belastungstoleranz [3], [4]
Regulationsprofil	Wie gut verarbeitet der Körper die gesetzten Reize?	Schlaf, subjektive Ermüdung, Herzfrequenzverhalten, HRV, Energieverfügbarkeit und Erholung zwischen den Einheiten [2], [6]
Kontextprofil	Unter welchen Bedingungen soll Entwicklung stattfinden?	Zielrennen, Trainingserfahrung, Alter, verfügbare Zeit, Motivation, Beruf, Familie und Alltagsstress [7]

Zusammen beantworten diese Ebenen eine grundlegende Frage: Fehlt diesem Läufer ein wirksamer Trainingsreiz, fehlt ihm eine tragfähige Ordnung oder fehlt ihm gegenwärtig die Kapazität, zusätzliche Belastung zu verarbeiten?

Diese Unterscheidung verändert die Trainingsentscheidung vollständig.

Ein Läufer kann langsamer sein als gewünscht, weil ihm Geschwindigkeit fehlt. Ebenso kann seine Schwelle zu niedrig liegen, seine Laufökonomie ungünstig sein oder seine Leistung unter längerer Belastung zu stark abfallen. Vielleicht wäre sein Herz-Kreislauf-System zu mehr in der Lage, doch die Wade reagiert auf jede Steigerung. Vielleicht ist die einzelne Qualitätseinheit passend, der Abstand zur nächsten aber zu kurz. Vielleicht fehlt nicht Training, sondern Schlaf oder Energie.

Von außen kann all das ähnlich aussehen: Die Zeiten stagnieren. Der Trainingsbedarf ist dennoch jeweils ein anderer.

Das Run-Code-Selbstassessment

Das folgende Raster ersetzt keine Diagnostik. Es verhindert jedoch, dass ein Läufer zu früh über Tempo und Umfang entscheidet, obwohl die Voraussetzungen dafür noch nicht stabil sind. Beantworten Sie jede Aussage mit Ja, Teilweise oder Nein. Maßgeblich ist der typische Verlauf der vergangenen zwei bis sechs Wochen, nicht ein einzelner guter oder schlechter Tag.

Gate	Prüffrage
Stabilität	Beschwerden sind stabil oder rückläufig; es bestehen kein Ruhe- oder Nachtschmerz und keine sichtbare Gangveränderung.
Stabilität	Lockere Läufe fühlen sich über mehrere Wochen wieder berechenbar an.
Stabilität	Schlaf, Energie und allgemeine Belastbarkeit sind ausreichend, um Training zu verarbeiten.
Tragfähigkeit	Die geplante Laufhäufigkeit wird seit mindestens sechs Wochen ohne größere Unterbrechung getragen.
Tragfähigkeit	Der Long Run ist innerhalb von etwa 24 bis 36 Stunden weitgehend verarbeitet.
Tragfähigkeit	Mindestens eine Kraft- oder Belastbarkeitseinheit pro Woche ist etabliert.
Tragfähigkeit	Umfang und Intensität steigen nicht gleichzeitig und nicht sprunghaft.
Entwicklung	Der wahrscheinlich wichtigste Leistungsengpass ist benennbar.
Entwicklung	Mindestens ein Qualitätsreiz pro Woche wird sauber verarbeitet, ohne die übrige Woche zu entwerten.
Entwicklung	Die Leistung stagniert trotz stabiler Grundlagen oder bleibt unter Ermüdung auffällig instabil.
Spezifität	Das Zielrennen liegt ungefähr sechs bis sechzehn Wochen entfernt.
Spezifität	Das geplante Renntempo wurde in kürzeren Blöcken kontrolliert getestet.
Spezifität	Fueling, Schuhe und Pacing wurden unter ähnlichen Bedingungen erprobt.

Gate	Prüffrage
Übergang	Ein Peak oder Wettkampf liegt erst wenige Wochen zurück.
Übergang	Es besteht kein unmittelbarer Anlass, die nächste spezifische Vorbereitung sofort zu beginnen.

AUSWERTUNG

Wenn eines der ersten drei Stabilitätskriterien klar verfehlt wird, lautet die Priorität Stabilisieren. Sind diese Kriterien erfüllt, aber weniger als drei der vier Tragfähigkeitskriterien, folgt Tragen. Liegt ein Zielrennen in sechs bis sechzehn Wochen und sind die drei Spezifitätskriterien erfüllt, folgt Zuspitzen. Nach Peak oder Wettkampf ohne unmittelbares neues Ziel ist Verstetigen sinnvoll. In allen übrigen stabilen Situationen lautet die Hauptaufgabe Entwickeln.

Die Zuordnung ist eine Hauptpriorität, keine vollständige Beschreibung des Menschen. Ein Läufer kann physiologisch bereit sein zu entwickeln und gleichzeitig eine einzelne Struktur stabilisieren müssen. Die Hauptstufe bestimmt, welcher Reiz die Woche prägt; lokale Nebenaufgaben bleiben bestehen.

Die fünf Leitfragen des Run Code

Vor jeder Entscheidung über Umfang, Intensität, Krafttraining oder Wettkampfvorbereitung stehen fünf Fragen.

KAPITEL 29

Trainingspläne für 5 km, 10 km, Halbmarathon und Marathon

Ein Trainingsplan wird häufig behandelt, als müsse er nur exakt genug befolgt werden, um zwangsläufig zum gewünschten Ergebnis zu führen. In der Praxis funktioniert Training selten so geradlinig.

Ein guter Plan gibt Richtung, Rhythmus und Prioritäten vor. Er legt fest, welche Fähigkeiten in einer bestimmten Phase entwickelt werden sollen und wie sich harte und leichte Belastungen zueinander verhalten. Zugleich muss er veränderbar bleiben. Krankheit, Schlafmangel, beruflicher Stress, ungewohnte Hitze oder eine beginnende Beschwerde machen einen Plan nicht wertlos. Sie verändern nur die Bedingungen, unter denen er gelesen werden muss.

Die Literatur zu sehr guten und Weltklasse-Läufern zeigt trotz unterschiedlicher Schulen und Trainingskulturen einige wiederkehrende Muster. Der größte Teil des Umfangs wird bei niedriger Intensität absolviert. Harte Tage besitzen eine klare Funktion. Die Wochen folgen oft wiederkehrenden Rhythmen, und mit näher rückendem Wettkampf wird das Training zunehmend spezifisch [8], [9].

Diese Grundordnung verändert sich zwischen 5 Kilometern und Marathon weniger, als es zunächst scheint. Was sich verändert, ist die Gewichtung. Jede Distanz stellt ähnliche physiologische Systeme vor unterschiedliche Aufgaben.

Was gute Trainingspläne gemeinsam haben

Prinzip	Warum es trägt
Ein großer Anteil niedriger Intensität	Lockere Läufe ermöglichen Umfang, ohne die Erholung zwischen den entscheidenden Einheiten zu verhindern [8], [9].
Eine klare Funktion der Trainingstage	Qualität wirkt besser, wenn harte Belastungen nicht in einer Woche aus vielen halbharten Tagen verschwimmen [8].
Zunehmende Spezifität im Verlauf	Die allgemeinen Grundlagen werden schrittweise in jene Anforderungen übersetzt, die im Zielrennen tatsächlich auftreten [9].
Progression in kleinen Schritten	Ausdauer, Kraft und Gewebetoleranz wachsen über wiederholte Belastung, nicht über einzelne außergewöhnliche Wochen [3], [9].
Regelmäßige Überprüfung	Läufer reagieren unterschiedlich auf denselben Reiz. Ein Plan muss deshalb angepasst werden können [6], [7].

Gerade der Blick auf die Weltklasse führt leicht in die falsche Richtung. Eliteathleten laufen häufig sehr oft, absolvieren hohe Wochenumfänge und vertragen eine Trainingsdichte, die für die meisten Freizeitläufer nicht sinnvoll wäre. Diese Belastbarkeit ist jedoch nicht allein Ausdruck größerer Motivation. Sie ist über viele Jahre entstanden.

Von sehr guten Läufern lässt sich deshalb vor allem die Ordnung übernehmen, nicht ohne Weiteres die Menge. Wer nur die Kilometerzahlen kopiert, übernimmt den sichtbarsten Teil des Trainings und lässt seine Vorgeschichte außer Acht. Hohe Umfänge sind kein Trainingsprinzip. Sie sind das Ergebnis einer gewachsenen Fähigkeit, hohe Umfänge zu verarbeiten.

Wie sich die Anforderungen der Distanzen unterscheiden

Distanz	Zentrale Aufgabe	Was im Training stabil werden muss	Häufiger Denkfehler
5 Kilometer	hohes Tempo über mehrere Minuten aufrechterhalten	aerobe Obergrenze, Ökonomie bei hoher Geschwindigkeit und Toleranz gegenüber hoher metabolischer Belastung	nur schnell zu laufen, ohne die aerobe Grundlage und Ökonomie zu entwickeln
10 Kilometer	hohe Geschwindigkeit mit stabiler Schwellenleistung verbinden	Verhältnis von Schwellenarbeit, VO ₂ max-nahen Reizen und kontrolliertem Umfang	zu viele Einheiten in einem unspezifischen mittelharten Bereich
Halbmarathon	hohes Tempo über lange Zeit metabolisch und muskulär tragen	Schwelle, Tempostabilität, Long Run und zunehmende Ermüdungstoleranz	den Halbmarathon als verlängerten 10-km-Lauf zu behandeln
Marathon	den Leistungsabfall möglichst lange hinauszuzögern	Fueling, muskuläre Haltbarkeit, Pace-Stabilität und Ermüdungsresistenz [5]	den Marathon nur als Frage des Kilometerumfangs zu betrachten

Diese Einteilung ist keine vollständige Beschreibung der jeweiligen Distanz. Sie zeigt jedoch, welches Problem im Training zunehmend in den Vordergrund rückt.

5 Kilometer

Der 5-km-Lauf verlangt eine hohe Geschwindigkeit, ist aber zu lang, um allein über Schnelligkeit entschieden zu werden. Wer ein schnelles Tempo erreichen kann, es jedoch nicht ökonomisch hält, verliert früh. Wer über eine gute Ausdauer verfügt, aber kaum Geschwindigkeit entwickelt, bleibt ebenfalls unter seinen Möglichkeiten.

Ein wirksamer 5-km-Plan muss deshalb mehrere Fähigkeiten miteinander verbinden. Der Läufer braucht eine hohe aerobe Leistung, muss bei schnellem Tempo möglichst wenig Energie verschwenden und lernen, mit der wachsenden metabolischen Belastung umzugehen [8], [9].