Marco Toigo
Muskel Revolution
Konzepte und Rezepte zum Muskel- und Kraftaufbau
EBOOK INSIDE
Springer

MuskelRevolution

Marco Toigo

MuskelRevolution

Konzepte und Rezepte zum Muskel- und Kraftaufbau

2. Auflage

Springer

Marco Toigo
Zürich, Schweiz

ISBN 978-3-662-54764-9 ISBN 978-3-662-54765-6 (eBook)
https://doi.org/10.1007/978-3-662-54765-6

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2019
Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.
Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.
Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Verantwortlich im Verlag: Marion Krämer
Einbandentwurf: deblik, Berlin
Einbandabbildung: (C) tribalium81, fotolia.com

Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature
Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Vorwort

In praktisch jeder Zeitschrift finden Sie Tipps und Empfehlungen von „Experten" zur effektiven und effizienten Trainingsgestaltung und zur optimalen Ernährung. Im Buchhandel füllen die Bücher über Kraft- und Fitnesstraining ganze Regale und Abteilungen. Auch im Fernsehen wimmelt es von entsprechenden Botschaften und das Internet stellt diesbezüglich einen wahren Informationsdschungel dar. Wie nur soll sich ein normaler Mensch, der sich über Training und Ernährung informieren möchte, in diesem Meinungssumpf zurechtfinden? Denn so viel ist klar: Es gibt nicht annähernd so viele wissenschaftlich gesicherte Fakten zum Thema Training und Ernährung, wie es Trainingsempfehlungen und sogenannte Trainingssysteme gibt.

Um einen Weg durch den Dschungel an Trainings- und Ernährungsmeinungen zu finden und den Blick fürs Wesentliche zu schärfen, gibt es nur eines: Eignen Sie sich die nötige Fachkompetenz an. Dazu benötigen Sie lediglich verständliche, qualitätskontrollierte Informationen. *Die* Quelle für qualitätskontrollierte Fachinformationen ist die gesamte *peer reviewed*-publizierte Literatur (Literatur, die vor ihrer Veröffentlichung von unabhängigen Experten begutachtet wurde) aus den verschiedensten Disziplinen der naturwissenschaftlichen Muskelforschung wie der Muskelphysiologie, der Molekular- und Zellbiologie, der Genetik, der Neurowissenschaft, der Ernährungswissenschaft und der Biomechanik. Erst durch die Integration der unterschiedlichen wissenschaftlichen Perspektiven und Erkenntnisse sowie den Abgleich mit der Trainingspraxis ergibt sich ein

Gesamtbild, aus dem man Schlussfolgerungen ziehen kann, was hinsichtlich Training und Ernährung sinnvoll bzw. verhältnismäßig ist.

In diesem Buch versuche ich, eine logische und robuste Brücke zwischen diesen naturwissenschaftlichen Erkenntnissen und der Trainings- und Ernährungspraxis zu bauen. Ich weiß, an dieser Stelle käme normalerweise der Punkt, an dem der Autor Ihnen auf subtile Art und Weise seinen Expertenstatus signalisiert, damit Sie auch glauben, was im Buch steht. Dies geschieht üblicherweise über die Kommunikation von Statussymbolen, das heißt über eine Aufzählung der wissenschaftlichen Auszeichnungen, von sportlichen Erfolgen, der jahrelangen Erfahrung oder schlicht über das muskulöse Aussehen. Sie werden dieses Bling-Bling hier nicht vorfinden. Ich ziehe es vor, harte Fakten sprechen zu lassen.

Marco Toigo

Gebrauchsanweisung für dieses Buch

Das Buch besteht aus den fünf folgenden Elementen: Haupttext, Zusammenfassungen, Infoboxen („Wissenstropfen“), Abbildungen und Literaturverzeichnis. In den Boxen, die über das ganze Buch verteilt sind, sollen weitverbreitete Fragen kurz und klar beantwortet werden. Im Literaturverzeichnis finden Sie die genauen Angaben zu allen im Text zitierten wissenschaftlichen Arbeiten, Büchern oder Internetseiten. Die Abbildungen und Diagramme sollen helfen, Textinhalte zu veranschaulichen und dadurch verständlicher zu machen, bzw. einen an- deren Zugang zu ermöglichen. Der Haupttext ist in 24 Kapitel gegliedert, die allesamt einen sehr tiefen, aber trotzdem praxisbezogenen Einblick in die Natur(wissenschaft) von Skelettmuskeln und deren Formbarkeit durch Krafttraining liefern.

In diesem Buch stehen Ihnen mehrere Zugangsarten und inhaltliche Schwierigkeitsgrade zur Verfügung. Dadurch können Sie sich gemäß Ihren Vorkenntnissen und Interessen an den Inhalt herantasten. Zum Beispiel erhalten Sie in den Boxen rasch fundierte Antworten auf Ihre Fragen, ohne dass Sie zuerst unzählige Seiten wälzen müssen. Ausgehend von diesen Boxen können Sie sich in den entsprechenden Kapiteln noch detaillierter informieren oder Sie können bei einem beliebigen Kapitel einsteigen und von dort aus, dank der Querverweise, die restlichen Inhalte erkunden. Die Zusammenfassungen reflektieren in konziser Form die präsentierten Inhalte und zeigen mitunter mit konkreten Tipps die Praxisrelevanz auf. Schließlich können Sie das Buch aber auch als klassisches Lehrbuch und Nachschlagewerk verwenden.

Das erste Drittel (Kap. 1 bis 8) des Buches beschäftigt sich vor allem mit dem muskelphysiologischen Grundlagenwissen. Dies kann zeitweise ein bisschen trocken erscheinen, ist aber nicht minder wichtig. Halten Sie durch! Sie werden dafür mit erleuchtenden und unerwarteten Einsichten belohnt. Danach wenden wir uns den Eigenheiten und Gesetzmäßigkeiten des willentlichen Muskel(faser)gebrauchs im Krafttraining zu und gehen der Frage nach, wie Sie den Aufbau von Skelettmuskeln und Kraft durch Training und Ernährung gezielt beeinflussen können. Der Fokus liegt dabei immer auf der Übertragung der naturwissenschaftlichen Erkenntnisse in den Trainingsalltag.

Ich erhoffe mir, dass Sie von diesem Buch profitieren, indem Sie in erster Linie verstehen, wie Krafttraining, Ernährung und Muskelanpassung auf der Basis der individuellen Voraussetzungen interagieren und welche praktischen Konsequenzen sich daraus für Ihr Training und Ihr Ernährungsverhalten ergeben. Ich wünsche Ihnen eine interessante und befriedigende Reise in die wunderbare Welt des Muskeltrainings!

Danksagung

Ich danke dem Physiker Raphael Barengo für die künstlerische grafische Umsetzung meiner rohen Abbildungsvorlagen. Vielen Dank an Marko Cevid und Jan Zierold, die den Text der 1. Auflage gekonnt redigiert haben. Meinen ehemaligen Doktoranden und Masterstudierenden danke ich für die kritischen Diskussionen und die Beiträge zum Bildmaterial. Ich danke den Redakteurinnen des Springer-Verlags Marion Krämer und Martina Mechler für die Unterstützung bei der Realisierung dieses Buchprojektes. Ein besonderer Dank geht an Jonathan von Oppen, der sich im Rahmen seines Praktikums bei Springer voll für dieses Projekt eingesetzt hat und eine optimale Zusammenarbeit ermöglichte. Weiter bin ich Dr. Sandro Müller, meinem langjährigen Mitarbeiter, für die äußerst wertvolle Unterstützung bei der Realisierung der 2. Auflage sehr dankbar. Dr. Andrea Scherer danke ich für die Hilfe bei der Prüfung der Korrekturabzugs. Schließlich danke ich auch den vielen Lesern und Leserinnen dieses Buches. Sie ermöglichen nicht nur die Zweitauflage, sondern tragen mit ihren konstruktiven Feedbacks auch zur Weiterentwicklung des Buches bei.

Inhaltsverzeichnis

1 Wovon sprechen wir überhaupt? Klares Denken durch klare Begrifflichkeiten und *vice versa* 1

1.1 Muskeln kontrahieren – nicht (nur)! 1
1.2 Mäuse unter der Haut 4
1.3 Warum Skelettmuskeln keine exzentrischen Allüren haben 4
1.4 Lassen Sie sich von Äußerlichkeiten nicht täuschen 6
1.5 Die „Dreifaltigkeit“ der Kraftproduktion 7
1.6 Der Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit der Längenänderung und der Kraft eines Muskels 8
1.7 Was heißt „Training“ eigentlich und wie wird es quantifiziert? 10
1.8 Wenn Sie Gewicht verlieren wollen, fliegen Sie zum Mond! 11
1.9 Muskeln wollen nur das eine: Lasten um Gelenke drehen 12
1.10 Warum Ihre Muskeln arbeiten (müssen), obwohl Sie keine Arbeit leisten 13
1.11 Was haben menschliche Muskeln mit Pferden zu tun? 15
1.12 Kraft schmeckt immer nach Newton 16
1.13 Warum Sie Ihren Trainingswiderstand nicht mit einem Projektil verwechseln sollten 17

1.14 Jogging auf der Beinpresse 18
1.15 Zusammenfassung: Warum Muskelkraft nicht immer zu sichtbarer Bewegung führt 18

2 Es ist nicht alles Gold, was glänzt 21
2.1 Surrogate für die interne Muskelkraft 21
2.2 Wie stark ist „stark“? 22
2.3 Maximale Kraft ist nicht gleich Spitzenkraft 23
2.4 Die Entschlüsselung der Muskelkraft 24
2.5 Muskeln im Zebrafell 28
2.6 Qual der Wahl bei der Auswahl des besten Trainingsmittels? 29
2.7 Maschine ist nicht gleich Maschine, oder doch? 29
2.8 Die ominöse Kraftkurve 31
2.9 Zusammenfassung: Folgen sie nicht blind dem Kniebeugen-Trend 35

3 Dick und/oder lang? Eine immer wiederkehrende Frage 37
3.1 Die funktionelle Rolle der Muskellänge 37
3.2 Die funktionelle Rolle der Muskeldicke (Muskelquerschnittsfläche) 40
3.3 Zusammenfassung 43

4 Der neuromuskuläre Ursprung der Muskelkraft 45
4.1 Die Muskeln im Gehirn 45
4.2 Wie ist die Muskelkraft „codiert“? 47
4.3 Muskelfasern arbeiten als Teil der motorischen Einheit immer im Team 48
4.4 Warum sind neuromuskuläre Verbindungen getüpfelt? 49
4.5 Nicht alle Muskelfasern verlaufen von Sehne zu Sehne 50
4.6 Neuromuskuläre Einzugsgebiete 51
4.7 Worin sich motorische Einheiten unterscheiden können 53
4.8 Zusammenfassung 55

5 Ein Bouquet an zellulärer Diversität 57
5.1 Die farbige Welt der Muskelfasern 57
5.2 Molekulare Motoren des Muskels 58

5.3 Fasertypspezifische Motorklassen 60
5.4 Verteilung der Muskelfasertypen beim Menschen: Wodurch wird sie bestimmt? 63
5.5 Veränderung der Verteilung von Muskelfasertypen durch Training bzw. Inaktivität 66
5.6 Warum Sie pliometrisch mehr Kraft produzieren können als miometrisch 68
5.7 Zusammenfassung: Macht „schnelles" Training Ihre Muskelmotoren schneller? 69

6 Muskuläre Energiebündel 71
6.1 Die Dynamik des muskulären Energieverbrauchs 71
6.2 Abstimmung von Angebot und Nachfrage 72
6.3 Muskelfasern haben mehrere Ressourcen zur Regeneration von Energie 72
6.4 Das phosphagene System: ein Feuerwerk an Energie 74
6.5 Das glykolytische System: die zuckersüße ATP-Regeneration 75
6.6 Die mitochondriale Atmung: wozu wir Sauerstoff brauchen 81
6.7 Mitochondrien: klein, aber oho! 82
6.8 Integration der drei Systeme zur Regeneration von ATP 84
6.9 Zusammenfassung: ATP-Moleküle erinnern an wiederaufladbare Batterien 85

7 Warum Sie beim Training ermüden 87
7.1 Die verschiedenen Komponenten der neuromuskulären Ermüdung 87
7.2 Metaboliten als Ermüdungsmediatoren 87
7.3 Mikrotraumata als Ermüdungsmediatoren 88
7.4 Vom Muskelmäuschen zum Muskelkater 89
7.5 Zusammenfassung: Verkatert ohne Alkohol 91

8 Das molekulare und zelluläre Muskeluniversum 93
8.1 Muskelregeneration: ein Balanceakt 93
8.2 DNA: das Muttermolekül aller (Muskel-) Proteine 94
8.3 Alle Muskelfasern sind Muskelzellen, aber nicht alle Muskelzellen sind Muskelfasern 98
8.4 Wenn Satellitenzellen geweckt werden 99

8.5 Die Gabe zur Selbsterneuerung 99
8.6 Muskelspindeln enthalten auch Muskelfasern 106
8.7 Charakterisierung von menschlichem Muskelgewebe 106
8.8 Zusammenfassung 108

9 Wie Sie beeinflussen können, welche Muskelfasern im Training eingesetzt werden 111
9.1 Zurück zu den motorischen Einheiten 111
9.2 Wie wird die Kraft eines Muskels bei willentlicher Kraftproduktion moduliert? 112
9.3 Kriegsschauplatz der Muskeln: rekrutieren und feuern! 112
9.4 Wie codieren die Rekrutierung und die Steigerung der Feuerfrequenz die Höhe der Kraft? 113
9.5 Was haben autonome Reserven mit dem Winterschlaf zu tun? 114
9.6 Der tonische Rekrutierungsschwellenwert 116
9.7 Die regelhafte Rekrutierung von motorischen Einheiten 117
9.8 Mechanismus der Rekrutierung von motorischen Einheiten 118
9.9 Wo Hirn auf Muskeln trifft 120
9.10 Wie wird die Schnelligkeit der Kraftentwicklung durch Rekrutierung und Frequenzierung codiert? 122
9.11 Praxisrelevanz: Höhe der Kraft und Schnelligkeit der Bewegung 126
9.12 Wollen Sie große und starke Muskeln? Schwächen Sie sie! 129
9.13 Können Typ-2-Fasern selektiv aktiviert werden? 132
9.14 Neuroanatomische Muskelkartografie 134
9.15 Kraftübertragung zwischen Nachbarn 139
9.16 Tensionale Integrität und Mechanotransduktion: Inwiefern sind Muskelfasern integer? 141
9.17 Kann ein Muskel gezielt modelliert werden? 142
9.18 Zusammenfassung 144

10 Wenn Krafttraining auf Muskelplastizität trifft 147
10.1 Wie passen sich Muskeln durch Krafttraining an? 147
10.2 Längenadaptation (longitudinale Hypertrophie oder Atrophie) bei Tieren und Menschen 148

10.3 Breitenwachstum des Muskels (radiale Hypertrophie oder Atrophie) beim Menschen 165
10.4 Zusammenfassung 165

11 Wie wird Skelettmuskelprotein auf- und abgebaut? 167
11.1 Aufbau von Muskelproteinmasse 167
11.2 Die Beziehung zwischen MPS und MPB 168
11.3 Wie Ihre Muskeln stündlich hypertrophieren und atrophieren 169
11.4 Zusammenfassung 170

12 Nahrungsprotein als anaboler Stimulus 173
12.1 Ganzkörper- ist nicht gleich Muskelproteinstoffwechsel 173
12.2 Der anabole Effekt von Nahrungsprotein auf den Muskelstoffwechsel 174
12.3 Die Proteinqualität zählt! 178
12.4 Die Proteinquantität zählt ebenso! 187
12.5 Warum Sie sich keine Muskeln anfuttern können 190
12.6 Das Konzept des satten Muskels 191
12.7 Aminosäuren, Proteinshakes oder Mahlzeiten? 194
12.8 Sind Kohlenhydrate im Proteinshake nötig? 195
12.9 Warum nicht gleich isolierte Aminosäuren zuführen? 197
12.10 Zusammenfassung 197

13 Krafttraining als anaboler Stimulus 201
13.1 Die akute anabole Muskelreaktion auf Krafttraining 201
13.2 Brückenschlag zwischen Muskelproteinsynthese und Rekrutierung motorischer Einheiten 203
13.3 Wie wirkt sich die Trainingsintensität auf die Muskelproteinsynthese aus? 204
13.4 Die Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen der Trainingslast und dem akuten Anstieg der Muskelproteinsynthese 205
13.5 Welchen Einfluss hat die muskuläre Spannungsdauer auf den Anabolismus des Muskels? 206
13.6 Was ist effektiver: Einsatz- oder Mehrsatztraining? – eine sinnlose Frage 208
13.7 Der Schlüssel zum Muskelwachstum 209

13.8 Der Unterschied zwischen der Spannungsdauer, der effektiven Spannungsdauer und der Anzahl an Wiederholungen 219
13.9 Ist pliometrisch (exzentrisch) effektiver als miometrisch (konzentrisch)? 221
13.10 Skelettmuskeln haben auch ein „Sättigungsgefühl“ 222
13.11 Was ist das optimale Zeitintervall, mit dem ein bestimmter Muskel trainiert werden soll? 223
13.12 Fehlkonzept der Superkompensation 223
13.13 Zusammenfassung 224

14 Die synergistische Beziehung zwischen Krafttraining und der Zufuhr von Nahrungsprotein 227
14.1 Der Synergieeffekt zwischen Krafttraining und Nahrungsprotein 227
14.2 Proteinzufuhr: Am besten vor, während oder nach dem Krafttraining? 232
14.3 Beeinträchtigt Krafttraining die Proteinverdauung? 235
14.4 Ist unmittelbar nach dem Krafttraining eine Kohlenhydratzufuhr nötig, um die MPS zu maximieren oder die MPB zu minimieren? 236
14.5 Ist die anabole Reaktion des Muskels schwächer, wenn Sie mit relativ leeren Muskelglykogenspeichern trainieren? 237
14.6 Übertrag von Akut- zu Langzeiteffekten? 238
14.7 Wann macht die Proteinsupplementierung Sinn? 240
14.8 Zusammenfassung 249

15 Hemmt Ausdauertraining das Muskelwachstum? 253
15.1 Wer beißt wen – das Krafttraining das Ausdauertraining oder umgekehrt? 253
15.2 Warum die Muskelproteinsynthese bei gleichzeitigem Energiestress keine Priorität genießt 254
15.3 Fehlkonzept der Periodisierung 255
15.4 Macht Krafttraining für Ausdauersportler Sinn? 258
15.5 Warum Krafttraining Ihr Herz kaum fitter macht 260
15.6 Zusammenfassung 262

16 Die Jagd nach hormonellen Geistern 267
16.1 Ganzkörper- oder Splittraining? 267
16.2 Warum Testosteron als anaboles Hormon überbewertet ist 268
16.3 Wie beeinflusst Krafttraining die Blutkonzentration von anabolen Hormonen? 269
16.4 Zusammenfassung 273

17 Männer sind keine Marsianer und Frauen keine Venusianer 275
17.1 Was hat die Planetenkunde mit dem geschlechtsspezifischen Muskelaufbau zu tun? 275
17.2 Wie die Antibabypille Ihre Muskelmasse beeinflussen kann 277
17.3 XXY 278
17.4 Zusammenfassung 279

18 Spezifität der Anpassung an Training 281
18.1 Profitiert Ihr rechter Arm, wenn Sie den linken trainieren? 281
18.2 Anfangs mit der Schrotflinte, später mit dem Präzisionsgewehr 281
18.3 Exerceuticals 282
18.4 Zusammenfassung 283

19 Warum Muskeltraining nicht optional ist 285
19.1 Die verborgenen Seiten der Skelettmuskulatur 285
19.2 Die Muskel-Knochen-Einheit 288
19.3 Das knochenaufbauende Potenzial von Training und Bewegung rein aus Sicht der erzielten Knochendeformation: Praxistipps 290
19.4 Training in der Schwangerschaft 293
19.5 „Ab 25 Jahren geht es mit Kraft und Muskeln abwärts" – wer's glaubt! 293
19.6 Die anabole Resistenz 295
19.7 Der Anti-Aging-Effekt von Krafttraining 298
19.8 Zusammenfassung 301

20 Was macht Sie letzten Endes ästhetisch? 303
20.1 Der Unterschied zwischen Muskel- und Körpermasse 303
20.2 Wenn messen, dann richtig 305

20.3 Fettabbau 306
20.4 Warum Sie trotz noch mehr Sport nicht weiter abnehmen 307
20.5 Über Problemzonen und Cellulitis 312
20.6 Gibt es den optimalen Tageszeitpunkt für Muskeltraining? 316
20.7 Der Weg vom Trainingsreiz zur Muskeladaptation 319
20.8 Zusammenfassung 320

21 Laune der Natur: Das Ausmaß der Anpassung an Training ist individuell 323
21.1 Die interindividuelle Variabilität der Anpassung an das Training – das neue Mantra? 323
21.2 Doppelt so viel Muskelmasse – ohne Training! 326
21.3 Was darf man im Mittel an Muskelwachstum erwarten? 328
21.4 Warum wir auch im Training manchmal Ursache und Wirkung verwechseln 330
21.5 Zusammenfassung 332

22 Neuronale Aspekte beim Krafttraining 333
22.1 Kraft versus Übungskompetenz 333
22.2 Ist ein größerer Muskel auch ein stärkerer Muskel? 335
22.3 Sind 100 Newton gleich 100 Newton? 338
22.4 Rumpftraining 340
22.5 Schnelligkeit der Kraftentwicklung 344
22.6 Zusammenfassung 347

23 Anabole Verstärker 351
23.1 Vitamin D 351
23.2 β-Hydroxy-β-methylbutyrat (HMB): top oder flop? 354
23.3 Fischöl als anaboler Verstärker 357
23.4 Kreatinsupplementation – warum? Wozu? 358
23.5 Zusammenfassung 361

24 Packen Sie es an! 363

Literatur 365

Sachverzeichnis 379

1

Wovon sprechen wir überhaupt? Klares Denken durch klare Begrifflichkeiten und *vice versa*

1.1 Muskeln kontrahieren – nicht (nur)!

Was kommt Ihnen beim allgemein bekannten Begriff „Muskelkontraktion" als Erstes in den Sinn? Nun, ich muss kein Hellseher sein, um zu erraten, dass Sie dabei automatisch an das Zusammenziehen bzw. die Verkürzung des Muskels denken. Dies ist nicht weiter erstaunlich. Auch die Definition im *Duden Fremdwörterbuch* lautet „(Med.) das Sichzusammenziehen (bes. von Muskeln)". Leider ist diese Definition völlig unzureichend, um die Muskelfunktion zu beschreiben, und verleitet zu falschen Vorstellungen. Warum?

Stellen Sie sich vor, Sie stehen aufrecht, Ihre Arme hängen seitlich am Körper und in der rechten Hand halten Sie eine Hantel. Die gewählte Hantelmasse können Sie erfahrungsgemäß ohne Schwierigkeiten mehrmals auf- und abbewegen. Nun führen Sie die Hantel zum Kinn, und zwar so, wie Sie auch einen Apfel zum Mund führen. Was geschieht bei dieser Beugebewegung? Beim Anheben (Heranziehen) der Hantel produzieren unter anderem die Armbeugermuskeln Kraft, während sich die Unterarmknochen, an denen die Muskeln über Sehnen befestigt sind, dem Oberarmknochen und Schulterblatt nähern. Von außen betrachtet kommt es zur Muskelverkürzung, der Winkel zwischen Ober- und Unterarm wird kleiner. Und wie gelangt nun die Hantel wieder in die Ausgangsposition? In diesem Fall gelingt dies, indem Sie die aufgebrachte Kraft willentlich reduzieren. Dadurch verkleinert sich das muskuläre Drehmoment im Vergleich zum externen Drehmoment – die Hantel bewegt sich infolgedessen in

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2019
M. Toigo, *MuskelRevolution,* https://doi.org/10.1007/978-3-662-54765-6_1

die Ausgangsposition zurück. Beim Absenken (Bremsen) generieren die Armbeugermuskeln daher ebenfalls Kraft, sie werden dabei äußerlich betrachtet aber länger und der Winkel zwischen Ober- und Unterarm wird größer. Wenn Sie an den Umkehrpunkten zwischen Beugung und Streckung (oder *vice versa*) kurz innehalten, während Sie gegen die Hantel halten, so ist von außen zwar keine Bewegung sichtbar, Ihre Muskeln generieren aber trotzdem ununterbrochen Kraft.

Es gibt aber auch eine zweite Möglichkeit, wie Sie die Hantel in die Ausgangsposition (gestreckte Arme seitlich am Körper, Hände seitlich der Hüfte) bringen können. Stellen Sie sich hierzu vor, dass Sie – an Ihren Füßen befestigt – kopfüber an einer Reckstange hängen, die Hantel noch immer mit gebeugtem Unterarm am Kinn haltend. In diesem Fall gelangen Sie in die Ausgangsposition, indem der Gegenspielermuskel (der sogenannte Antagonist) des Armbeugers, der Armstreckermuskel, die Hantel durch Streckung im Ellbogengelenk zurückbewegt. Dabei produziert hauptsächlich der Armstreckermuskel Kraft, und verkürzt sich (Außensicht). Als Resultat wird der Winkel zwischen Ober- und Unterarm größer. Die Wirkungsabsicht mancher Muskeln, zum Beispiel des Armbeugers, ist demnach, dass sie den Winkel zwischen Ober- und Unterarm (Winkel des Ellbogengelenks) reduzieren. Bei anderen Muskeln wie den Armstreckern ist dies genau umgekehrt.

Was lernen wir aus diesen Betrachtungen? Die Muskeln *versuchen,* sich zu verkürzen, die Verkürzung ist aber nicht unbedingt das Resultat. Je nach Krafteinsatz oder Höhe der zu überwindenden Kraft kann das Ergebnis auch eine relative Verlängerung oder keine Längenänderung sein (*notabene* immer von außen betrachtet). Die Gleichsetzung von Muskelkontraktion mit Muskelverkürzung greift daher viel zu kurz. Wenn Sie sich beim Training Ihrer Muskeln ausschließlich auf die muskelverkürzende Bewegungsphase konzentrieren, weil Sie denken oder Ihnen gesagt wurde, dass Ihre Muskeln nur in dieser Bewegungsphase arbeiten, so vernachlässigen Sie die für den Trainingserfolg ebenso wichtigen anderen Einsatzformen. Zudem blenden Sie aus, dass gerade der Aspekt der neuronalen Aktivierung und Kraftproduktion (unabhängig von der Richtung der Längenänderung) zentral für die Trainingsanpassungen ist. Und wenn Muskelkontraktion gleich Muskelverkürzung sein soll, wie bitte soll die häufig gebrauchte Begriffskombination „isometrische Muskelkontraktion" verstanden werden? Genau! Gar nicht, denn „isometrisch" – „iso-" (gr. *ísos* für ähnlich, entsprechend, gleich) und „-metrisch" (auf den Meter als Längeneinheit bezogen) – bedeutet so viel wie „gleiche Länge", was im Widerspruch zur Muskelkontraktion steht, wenn sie als Muskelverkürzung verstanden wird.

Box 1.1 Quintessenz: Was ist „Funktionelles Training" wirklich?

Skelettmuskeln sind für die Funktion unseres Organismus und somit für unsere Gesundheit von grundlegender Wichtigkeit. Sie erfüllen mehrere wichtige Aufgaben. Im Zusammenhang mit der menschlichen (Fort-) Bewegung ist die eigentliche Funktion von Skelettmuskeln, Kraft zu produzieren (vgl. Abschn. 1.15). Dabei versucht der Muskel, sich zu verkürzen, was im Alltag auch oft gelingt. Wenn Sie beispielsweise einen Apfel zum Mund führen, verkürzt sich Ihr Bizepsmuskel. Eine Muskelverkürzung ist aber nicht immer das Resultat der Krafterzeugung. Anders ausgedrückt ist die äußerlich sichtbare Bewegung von Gliedmaßen nicht zwingend das Resultat der Muskelkrafterzeugung. Dieser Tatsache werden Sie sich bewusst, sobald Sie mit maximaler Kraftanstrengung versuchen, einen Panzer anzuheben. Er wird sich nicht von der Stelle rühren, obwohl Ihre Muskeln sehr viel Kraft generieren. Auch beim Halten oder Tragen von Einkaufstaschen produzieren Ihre Schulter- und Nackenmuskeln Kraft, obwohl die Einkaufstaschen mehr oder weniger auf der gleichen Höhe verharren. Schließlich kommt es im Alltag auch oft vor, dass Sie Bewegung abbremsen müssen, z. B. beim Gehen oder wenn Sie die Treppen hinuntersteigen. Nach Aufsetzen des Fußes beugt sich das Knie und die Oberschenkelmuskeln produzieren Kraft, um zu vermeiden, dass Sie einknicken. In diesem Fall produzieren die Muskeln Kraft, während Sie ein bisschen gedehnt werden. Aus diesen Betrachtungen wird klar, was „funktionell" für einen Muskel wirklich bedeutet: Er wird willentlich oder reflexartig durch Nervenimpulse angeregt und produziert Kraft. Ob dabei äußerlich eine Bewegung sichtbar wird und wie schnell diese Bewegung ist, hängt primär vom Krafteinsatz Ihrer Muskeln und der Höhe der externen Last ab. Der Krafteinsatz hängt wiederum von neuronalen und muskulären Faktoren ab, nämlich von der Rekrutierung und Frequenzierung von motorischen Einheiten und den strukturellen und metabolischen Eigenschaften deren Muskelfasern. In diesem Sinne ist Ihr Training automatisch „funktionell", sobald Ihre Muskeln neuronal stimuliert werden und Kraft produzieren. Allerdings kann das Ziel der Kraftproduktion (Verkürzung) eines Muskels variieren, denn ein einzelner Muskel kann im Normalfall mehrere Bewegungsaufgaben erfüllen. Der Bizepsmuskel hat beispielsweise nicht nur die Aufgabe, den Arm zu beugen, sondern bei gebeugtem Arm auch das Handgelenk nach außen zu drehen oder den Arm nach vorne anzuheben. Aus dieser Perspektive wird ein Training funktioneller, wenn Sie einen bestimmten Muskel in allen seinen Bewegungsaufgaben trainieren. Im Krafttraining bedeutet dies, dass Sie die verschiedenen anatomisch-neuromuskulären Kompartimente eines Muskels, *notabene* falls vorhanden, mit mehreren, funktionell unterschiedlichen Übungen bearbeiten sollten. Dadurch erhöht sich die Chance, dass die Trainingseffekte auch in Ihrer Sportart oder während Alltagsaktivitäten wirksam werden. Anders gesagt erhöht sich dadurch der Transfereffekt des Krafttrainings. Klar ist: Für Behauptungen, wonach isolierte Übungen weniger funktionell seien als es mehrgelenkige Übungen sind, gibt es keine überzeugende wissenschaftliche Basis.

1.2 Mäuse unter der Haut

Übrigens, etymologisch lässt sich der Begriff „Muskel“ vom lateinischen Wort *musculus* (Mäuschen) herleiten, denn das Bild von sich anspannenden Muskeln gleicht der Vorstellung von unter der Haut rennenden Mäusen. Historisch betrachtet sind die ersten Erklärungsversuche zur Funktionsweise von Muskeln auf den griechischen Arzt Hippokrates (460–377 v. Chr.) datiert. Es war aber Galen (129–216 n. Chr.), ein Arzt aus Pergamon (heute Bergama, Türkei), der versuchte, die Muskelfunktion mechanistisch zu erklären. So postulierte er unter anderem, dass sich im Gehirn eine Substanz befinde (lat. *spiritus animalis*), die in der Lage sei, durch die Nerven, die man sich hohl vorstellte, in die Muskeln zu fließen und diese zu expandieren. Dadurch würden, gemäß seiner Vorstellung, die Muskeln aktiviert. Diese Theorie war so durchdringend, dass sie bis ins 17. Jahrhundert Bestand hatte. Erst Swammerdam zeigte 1663 anhand eines eleganten neurophysiologischen Versuchs, dass ein isolierter Muskel bei Stimulation sein Volumen nicht vergrößert. Damit war die Theorie von Galen experimentell widerlegt. Scheinbar wurde dabei aber das ebenso klare Resultat übersehen, dass es bei einer Stimulation ebenso wenig zu einer Volumenverkleinerung (d. h. Volumenkontraktion) des isolierten Muskels kommt. Trotzdem kann sich bis heute der unpassende Ausdruck der Muskelkontraktion hartnäckig halten. Sie wissen es jetzt aber besser: Verwenden Sie statt „Kontraktion“ einfach „Kraftproduktion“!

1.3 Warum Skelettmuskeln keine exzentrischen Allüren haben

Nebst „isometrisch“ werden auch die beiden Adjektive „konzentrisch“ und „exzentrisch“ sehr häufig mit dem Substantiv „Muskelkontraktion“ kombiniert, nur sind diese beiden Adjektive im Kontext der Skelettmuskelaktivität noch sinnloser als die genannte „Muskelkontraktion“. „Konzentrisch“ bedeutet so viel wie „einen gemeinsamen Mittelpunkt habend“ (auf Kreise bezogen) während „exzentrisch“ mit „außerhalb des Mittelpunktes (von Kreisen) liegend“ übersetzt werden kann. Während diese beiden geometrischen Begriffe zwar mit den physiologischen oder pathologischen Anpassungsformen des Herzmuskels, bzw. der Herzkammern vereinbar sind, ergeben sie im Kontext der Herzmuskel- und Skelettmuskelfunktion

keinen Sinn. Auch wenn eine Herzvergrößerung exzentrischer Natur ist (z. B. eine nur linksventrikuläre Herzvergrößerung) und der Herzmuskel dann unter exzentrischen Bedingungen Kraft produziert, werden dabei die Muskelfasern immer kürzer, bleiben gleich lang oder werden unter speziellen Umständen gedehnt. Die weitere Bedeutung von „exzentrisch" als „auf übertriebene Weise ungewöhnlich", macht die Begriffskombination „exzentrische Kontraktion" dann endgültig zum Kuriosum.

Sie fragen sich vielleicht, warum ich ständig die Außensicht hervorhebe. Die Antwort lautet: weil sich im Inneren ganz andere Vorgänge abspielen können. Die vielen Muskelfasern (d. h. die mehrkernigen Muskelzellen) sind in Bündeln (Faszikeln) organisiert und in ein Netzwerk aus Bindegewebe, gemeinhin auch als extrazelluläre Matrix bezeichnet, eingebettet. Außen ist der Muskel von einer Schicht derben Bindegewebes (Muskelfaszie) umgeben. Muskelfasern und extrazelluläre Matrix sind über den Muskel-Sehnen-Übergang mit den Sehnen verbunden, welche wiederum das Bindeglied zum Knochen darstellen. Man spricht in diesem Zusammenhang von der Muskel-Sehnen-Einheit (Abb. 1.1).

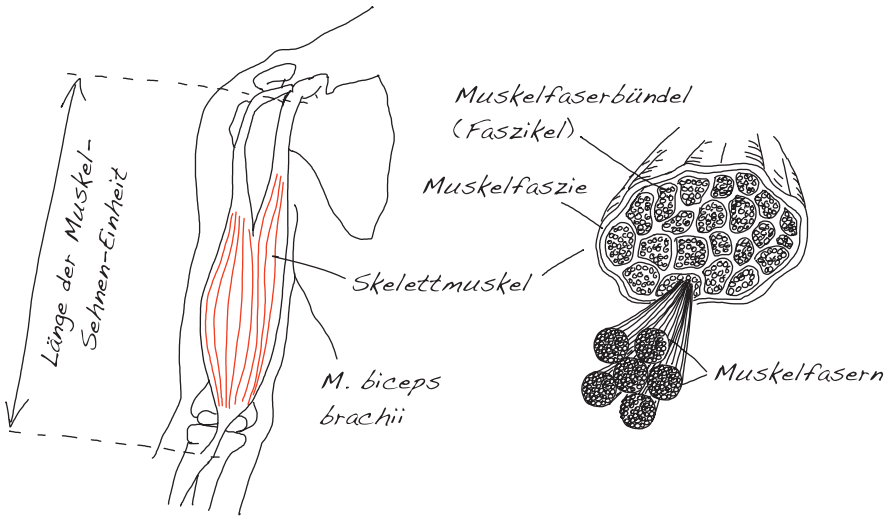

Abb. 1.1 Muskel-Sehnen-Einheit und Aufbau des Skelettmuskels. Beachten Sie, dass unter gegebenen Umständen die Länge der Muskel-Sehnen-Einheit bei gleichzeitiger Muskelverkürzung zunehmen kann. Die Länge der Muskel-Sehnen-Einheit ist daher nicht gleichbedeutend mit der Muskellänge. Ein Skelettmuskel besteht aus vielen Bündeln von einzelnen Muskelfasern (Faszikel)

1.4 Lassen Sie sich von Äußerlichkeiten nicht täuschen

Wenn von außen betrachtet, zum Beispiel im Fall der Armbeugermuskeln, der Gelenkwinkel zwischen Ober- und Unterarm kleiner wird, so spricht man davon, dass sich der Muskel verkürzt. Genau genommen verkürzt sich aber die Muskel-Sehnen-Einheit und nicht in allen Fällen zwingend auch der Muskel bzw. die Muskelfaszikel. Wie das? Denken Sie an den zweibeinigen Sprung. Diesen Sprung können Sie aus dem Stand einleiten. Dabei schwingen Sie mit den Armen und gehen gleichzeitig in die Knie (Ausholbewegung), um dann unmittelbar in die Höhe zu schnellen. Man spricht in diesem Fall von einem *countermovement jump*. Solche Ausholbewegungen beinhalten definitionsgemäß einen Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus, in diesem Fall für die Kniestreckermuskeln. Für Dehnungs-Verkürzungs-Zyklen ist es typisch, dass aufgrund der höheren Vorspannung zu Beginn der Verkürzung der Muskel-Sehnen-Einheit (d. h. am Ende der Ausholbewegung in der Hocke) die Sehnendehnung größer ist als die Faszikeldehnung. Dies bedeutet, dass sich die Faszikel der Kniestreckermuskeln verkürzen, bevor im Kniegelenk eine Bewegung stattfindet (d. h. die Muskel-Sehnen-Einheit verändert in dieser Phase ihre Länge nicht). Während des Sprungs bleibt die Faszikellänge dann relativ konstant, während die Sehnen mit hohem Speed zurückschnellen (die Muskel-Sehnen-Einheit wird dabei kürzer). Müssten sich die Muskeln bei hoher Geschwindigkeit verkürzen, um die Sprungbewegung zu vollbringen, dann wäre die Muskelkraft gering (s. Abschn. 1.6).

Die schnelle Verkürzung der Muskel-Sehnen-Einheit hängt daher bei Dehnungs-Verkürzungs-Zyklen primär von der Verkürzung der Sehne ab. Im Gegensatz dazu ist die Verkürzung der Muskel-Sehnen-Einheit der Kniestreckermuskeln bei Bewegungen ohne Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus, zum Beispiel bei einem zweibeinigen Sprung ohne Ausholbewegung (d. h. in der Hocke startend), primär auf die Verkürzung der Muskelfaszikel zurückzuführen (mehr oder weniger gleichbleibende Sehnenlänge; Cormie et al. 2011). Gleichzeitig verhält sich bei dieser Sprungart die Wadenmuskulatur (speziell der mediale Kopf des Zwillingswadenmuskels, M. gastrocnemius medialis) wie die Oberschenkelmuskulatur beim Sprung mit Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus. Die Achillessehne spielt im Zusammenhang mit der Energiespeicherung und -freisetzung eine wichtige Rolle.

Wie ich Ihnen soeben erläutert habe, sind der Begriff „Muskelkontraktion“ wie auch die damit verwendeten Adjektive „konzentrisch“ und „exzentrisch“

unzulänglich bzw. falsch, um die Muskelfunktion zu beschreiben. Notwendig ist eine unmissverständliche und korrekte Nomenklatur. Im englischen Sprachgebrauch hat man das Problem gelöst, indem man ganz einfach die Adjektive *shortening* (kürzer machend), *lengthening* (länger machend) oder *isometric* vor *muscle action* (Muskelwirkung, Muskeleinsatz) setzt. Man beschreibt also das Resultat der Muskelfunktion. Die Funktion des Muskels ist, wie bereits vorher erwähnt, Kraft zu produzieren. Dabei versucht er, sich zu verkürzen. Die Umsetzung einer korrekten Begrifflichkeit in die deutsche Sprache ist schwieriger. Wer würde schon „die Muskel-Sehnen-Einheit kürzer machende Muskelwirkung" statt „konzentrische Kontraktion" verwenden, auch wenn Ersteres richtig ist?

1.5 Die „Dreifaltigkeit" der Kraftproduktion

Bereits 1938 erkannten Hubbard und Stetson, dass Muskeln ihre Funktion unter drei Bedingungen wahrnehmen können. Sie nannten diese drei Bedingungen „miometrisch", „isometrisch" und „pliometrisch" (Hubbard und Stetson 1938). Diese Adjektive setzen sich aus den griechischen Präfixen „mio-" (kürzer), „iso-" (gleich) und „plio-" (länger) und dem Wort „-metrisch" zusammen und bringen das Resultat der Kraftwirkung bzw. des Krafteinsatzes auf die Länge der Muskel-Sehnen-Einheit exakt auf den Punkt. Für den Rest des Buches werde ich daher statt von „konzentrischer, isometrischer, exzentrischer Kontraktion" von „miometrischer, isometrischer, pliometrischer Kraftproduktion" sprechen.

Wie können Sie sich merken, für welche Längenänderung „miometrisch" und „pliometrisch" stehen („isometrisch" ist ja im Sprachgebrauch bereits etabliert)? Ganz einfach: Im Wort „pliometrisch" kommt der Buchstabe „l" für „länger" oder „lang" vor. Seien Sie sich beim Lesen immer bewusst, dass die Adjektive in erster Linie die Längenänderung der Muskel-Sehnen-Einheit beschreiben. Im Buch wird auch häufig von Muskelfasern die Rede sein. Im Kontext von einzelnen Muskelfasern oder Muskelfaserbündeln beziehen sich die Adjektive folglich auf die Länge dieser Strukturen. Beachten Sie schließlich, dass das hier verwendete Adjektiv „pliometrisch" nicht mit dem falsch verwendeten Begriff des „plyometrischen Trainings" in Verbindung gebracht werden darf. Plyometrisches Training (engl. *plyometrics*) wird fälschlicherweise leider oft für Sprungtraining bzw. Training mit Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus verwendet.

1.6 Der Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit der Längenänderung und der Kraft eines Muskels

Einerseits beschreibt die Geschwindigkeit-Kraft-Relation (Hill 1922; Katz 1939; Abb. 1.2) den Umstand, dass ein Muskel mit zunehmender Verkürzungsgeschwindigkeit weniger Kraft produziert. Umgekehrt bedeutet dies, dass ein Muskel bei Verkürzung nur eine große Kraft produzieren kann, wenn die Verkürzungsgeschwindigkeit gering ist. Sie kennen das aus Ihrer täglichen Erfahrung: Ein Bleistift (geringe Last, wenig Muskelkraft) lässt sich schneller bewegen als ein Baumstamm (hohe Last, viel Muskelkraft), auch wenn Sie in beiden Fällen versuchen, den Widerstand möglichst schnell zu bewegen. Andererseits beschreibt die Geschwindigkeit-Kraft-Relation, dass bei negativer Verkürzungsgeschwindigkeit, das heißt bei Dehnung, mit zunehmender Dehnungsgeschwindigkeit bis zu einem Plateau zunehmend mehr Kraft produziert wird, und zwar mehr, als isometrisch möglich ist. Auch dieses Phänomen kennen Sie aus der Praxis. Wenn Sie die Hantel im Training jeweils senken (bremsender Teil der Bewegung bzw. negative Verkürzungsgeschwindigkeit), fühlt sich die Last

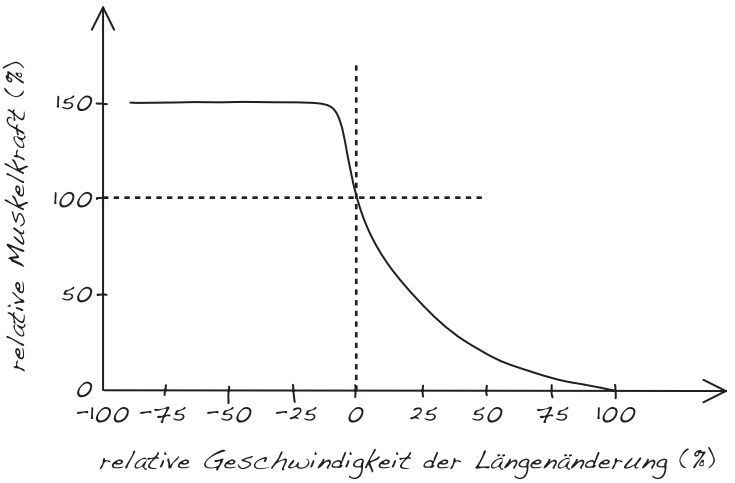

Abb. 1.2 Geschwindigkeit-Kraft-Relation für einen Skelettmuskel. Beachten Sie, dass die Muskelkraft bei negativer Geschwindigkeit der Längenänderung (d. h. bei pliometrischer Aktivität) zunächst rapide zunimmt, sich dann im weiteren Verlauf nicht mehr verändert und mit zunehmender (positiver) Verkürzungsgeschwindigkeit (d. h. bei miometrischer Aktivität) stark abnimmt. Bei der Muskelkraftproduktion mit einer Verkürzungsgeschwindigkeit von Null spricht man von isometrischer Muskelaktivität

leichter an, weil der Muskel in diesem Kraftproduktionsmodus stärker ist. Die Höhe der generierten Muskelkraft hängt also von der Geschwindigkeit der Längenänderung des Muskels ab, dies aber gleich in zweierlei Hinsicht: Richtung und Betrag.

Richtung

Konventionsgemäß ist bei der Kraftproduktion mit Muskelverkürzung die Geschwindigkeit positiv, während sie bei der Kraftproduktion mit Muskeldehnung negativ ist. Davon abgeleitet sind übrigens Begriffe wie „positive oder negative Bewegungsphase" und „Negativtraining". Bei einer Geschwindigkeit der Längenänderung von Null findet die Kraftproduktion isometrisch statt.

Betrag

Bei miometrischer Kraftproduktion können Sie den zu bewegenden physikalischen Körper schneller bewegen, wenn seine Gewichtskraft im Verhältnis zur augenblicklich verfügbaren willkürlichen Spitzenkraft klein ist. Während der pliometrischen Kraftproduktion ist es so, dass der Speed der Längenänderung (in diesem Fall der Dehnung) größer ist, wenn die Gewichtskraft des Objektes relativ zur augenblicklich verfügbaren willkürlichen Spitzenkraft groß ist. Anders gesagt: Je schwerer die Hantel bei gegebener Muskelkraft oder je ermüdeter Ihr Muskel bei gegebener externer Last ist, desto schneller ist die Abbremsbewegung.

Box 1.2 Was können Sie aus der beschriebenen Geschwindigkeit-Kraft-Relation für Ihr Training ableiten?

Sie können zwei Dinge ableiten: Erstens ist bei schneller miometrischer Kraftproduktion die produzierte Muskelkraft relativ klein. Umgekehrt gilt: Je langsamer die Verkürzungsgeschwindigkeit, desto mehr Kraft kann der Muskel produzieren. Davon ausgehend, dass für die Muskelkräftigung im Training hohe interne Kräfte förderlich sein können, sollte die Trainingslast bei der Muskelverkürzung langsam bewegt werden. Zweitens ist die Muskelkraft bei maximaler Aktivierung während der pliometrischen Kraftproduktion (unabhängig von der Dehnungsgeschwindigkeit) immer größer als bei isometrischer oder miometrischer Kraftproduktion. Versuchen Sie während des Trainings zu jedem Zeitpunkt, langsam zu bewegen, auch wenn das nicht immer das sichtbare Resultat ist.

Als Beispiel beschreibe ich hier die Durchführung von Negativklimmzügen (Negativtraining). Wenn Sie weniger als vier anatomisch perfekt und langsam ausgeführte Klimmzüge schaffen, reichen für dieses Experiment eine Klimmzugstange und eine kleine Treppe vollends aus. Steigen Sie die Treppe hoch und halten Sie sich mit Untergriff an der Stange fest, sodass Ihr Kinn bei

geradem Nacken höher als die Stange ist und sich Ihr Unter- und Oberarm sowie die Schulter auf jeder Seite in einer Ebene befinden. Winkeln Sie nun die Unterschenkel an und überkreuzen Sie die Füße, während Sie sich noch immer fest in der Ausgangsposition halten. Sie hängen jetzt sprichwörtlich in der Luft. Versuchen Sie nun, die Abwärtsbewegung Ihres Körpers gleichmäßig und langsam (in ca. 10 s) abzubremsen. Lassen Sie den Griff nicht los, wenn Sie unten angelangt sind und steigen Sie unverzüglich und schnell über die Treppe wieder in die Ausgangsposition hoch. Wiederholen Sie den Bremsvorgang. Sie werden feststellen, dass die Abwärtsbewegung mit zunehmender Anzahl an Bremsvorgängen (d. h. Wiederholungen) immer schneller vonstatten geht, obwohl Sie mit maximaler willkürlicher Kraftanstrengung versuchen, Ihren Körper langsam zu bremsen. Nach ein paar Wiederholungen werden Sie quasi ungebremst, das heißt in weniger als 1 s, in die Tiefe fallen – dieser Zeitpunkt entspricht dann dem Übungsende.

1.7 Was heißt „Training" eigentlich und wie wird es quantifiziert?

Nachdem wir nun die Bewegungsfunktion von Muskeln geklärt haben, sind wir besser in der Lage, die Bedeutung des Begriffs „Training" unter die Lupe zu nehmen. Training (engl. *exercise*) ist die potenzielle Störung der Homöostase durch Muskelaktivität, die entweder ausschließlich oder in Kombination miometrischer, isometrischer oder pliometrischer Natur ist. Diese Definition berücksichtigt, dass einerseits die Störung von Stoffwechselvorgängen wahrscheinlich ist, dass andererseits Bewegung aber nicht unbedingt ein Resultat sein muss. Zudem kann die Definition auf alle Situationen und alle Muskeln (Herzmuskulatur, glatte Muskulatur und Skelettmuskulatur) angewendet werden. Diese Definition ist übrigens auch auf den Begriff „körperliche Aktivität" anwendbar. Der Unterschied zwischen Training und körperlicher Aktivität besteht also im unterschiedlichen Kontext der Muskelaktivität und der damit zusammenhängenden unterschiedlichen Interpretation der Motivation bzw. der Absicht des Individuums.

Die nächste Frage ist nun, wie Training quantifiziert werden kann. Die Antwort auf diese Frage finden wir im internationalen Einheitensystem (frz. *Système International d'Unités,* SI). Das SI wurde 1960 als zwölfte Beschlussfassung der elften Generalversammlung über Gewichte und Maße eingeführt. Es wird vom internationalen Maß- und Gewichtsbüro (frz. *Bureau International des Poids et Mesures,* http://www.bipm.org) verwaltet, welches alle paar Jahre das zum SI gehörende Referenzregelwerk (die SI-Broschüre) publiziert. Darin sind die international anerkannten und für

alle Messungen geltenden Größen, Einheiten und Symbole festgelegt. In der Wissenschaft ist das Befolgen des SI zwingend, denn nur so kann man beispielsweise Messresultate aus den unterschiedlichsten (Labor-)Ecken dieser Erde miteinander vergleichen. In der Trainingspraxis sollte man zumindest unterscheiden können, welche Begriffe SI-konform sind und welche keinen Sinn ergeben.

1.8 Wenn Sie Gewicht verlieren wollen, fliegen Sie zum Mond!

Wie gesagt, eine wichtige Funktion von Muskeln ist, Kraft auszuüben. Natürlich nehmen Muskeln auch andere fundamentale Funktionen für unser (Über-)Leben wahr, auf die ich später eingehen werde. Doch was ist Kraft überhaupt? Im Jahre 1687 publizierte Isaac Newton sein Werk *Philosophia Naturalis Principia Mathematica* (Mathematische Prinzipien der Naturphilosophie). Darin formulierte er drei Grundsätze bzw. Gesetze der Bewegung. Das Konzept der Kraft stammt vom ersten der drei Newton'schen Gesetze, dem Trägheitsgesetz. Es besagt, in einfachen Worten ausgedrückt, Folgendes: Kraft ist, was dahingehend wirkt, den Ruhezustand oder den gleichförmigen geradlinigen Bewegungszustand (d. h. eine Bewegung mit gleichbleibender Geschwindigkeit und ohne Richtungsänderung) zu verändern. Die SI-Einheit der Kraft ist das Newton (N). Im Fall der linearen Bewegung, das heißt einer Bewegung entlang einer geraden Linie, tendiert eine auf ein stationäres oder sich bewegendes Objekt applizierte Kraft also dazu, das Objekt zu beschleunigen. Das „Widerstreben" oder eben die Trägheit des Objektes, seinen Zustand zu ändern, ist auf seine Masse zurückzuführen.

Die SI-Einheit für Masse ist das Kilogramm (kg). Aufgrund des Effektes der Gravitation (der Schwerkraft) übt die Masse eine Kraft aus und diese Kraft entspricht dem Gewicht des Objektes. Die beide Größen „Gewicht" und „Masse" werden oft nicht voneinander unterschieden, speziell wenn es um unsere Körpereigenschaften geht. Das Körpergewicht ist eine Kraft und sollte daher in Newton angegeben werden, die Körpermasse hingegen in Kilogramm. Wenn Ihre Körpermasse 80 kg beträgt, dann ist Ihr Körpergewicht auf der Erde ca. 800 N. Wenn Sie Körpergewicht verlieren wollen, fliegen Sie zum Mond. Dort werden Sie ca. sechsmal weniger wiegen als auf der Erde. Scherz beiseite, es ist eher anzunehmen, dass Sie Fettmasse verlieren und Muskelmasse zulegen wollen, und ich hoffe, dass Sie der Inhalt meines Buches dabei unterstützen kann.

1.9 Muskeln wollen nur das eine: Lasten um Gelenke drehen

Gerade im Kontext von Training sind wir aber nicht primär an den linearen, sondern den angularen Effekten der Kraft interessiert. Wenn Sie einen Apfel mit einer Hand zum Mund führen, so rotiert die Hand dabei um das Ellbogengelenk, das heißt der Apfel bewegt sich kreisförmig und nicht linear um das Ellbogengelenk. Auch wenn Sie einen Gegenstand mehr oder weniger entlang einer Linie bewegen (z. B. beim Hochdrücken einer Hantel), kommt die geradlinige Bewegung der Hantel nur durch gleichzeitige Rotation des Oberarmknochens im Schultergelenk und der Unterarmknochen im Ellbogengelenk zustande. Die Wirkung eines Muskels manifestiert sich folglich als Drehmoment um das entsprechende Gelenk und nicht als lineare Kraft. Das Widerstreben des Körpers seine Winkelbewegung zu ändern, nennt man Trägheitsmoment. Das Trägheitsmoment wiederum hängt von der Masse des physikalischen Körpers und der Verteilung dieser Masse um die Rotationsachse ab. Das muskuläre Drehmoment berechnet sich aus dem vektoriellen Kreuzprodukt zwischen Momentarm und der wirkenden Kraft. Der Momentarm stellt wiederum den Betrag der zum Drehpunkt des Gelenks senkrecht stehenden Muskelkraftkomponente dar, während der Hebelarm dem Abstand zwischen dem Gelenkmittelpunkt und der Kraftansatzstelle am zu bewegenden Knochen entspricht (im Beispiel des M. biceps brachii, dem zweiköpfigen Armmuskel, entspricht dies der Sehnenansatzstelle am Unterarmknochen). Einfach gesagt handelt es sich beim Momentarm um die senkrecht zur Wirkungslinie der Muskelkraft stehende Distanz von der Wirkungslinie zum Drehpunkt (Gelenk).

Die SI-Einheit des Drehmoments ist das Newtonmeter (N m). Das muskuläre Drehmoment wirkt dem Drehmoment entgegen, welches durch die externe Kraft erzeugt wird (Abb. 1.3). Wenn Sie also eine Hantel in der Hand halten, so entspricht das externe Drehmoment dem Produkt aus dem Betrag der *senkrecht* zum Unterarm wirkenden Gewichtskraftkomponente der Hantel und dem Abstand der Hantel zum Zentrum des Ellbogengelenks. Grob gesagt entspricht dieser Abstand der Länge Ihres Unterarmknochens. Aus diesen Betrachtungen wird klar, warum Sie während des Hebens einer Hantel (Beugung im Ellbogengelenk) in derjenigen Gelenksposition am meisten Widerstand verspüren, bei der der Unterarmknochen waagrecht zur Erdoberfläche steht: An der Stelle wirkt die Gewichtskraft der Hantel ausschließlich senkrecht auf den Unterarmknochen. Ist das muskuläre

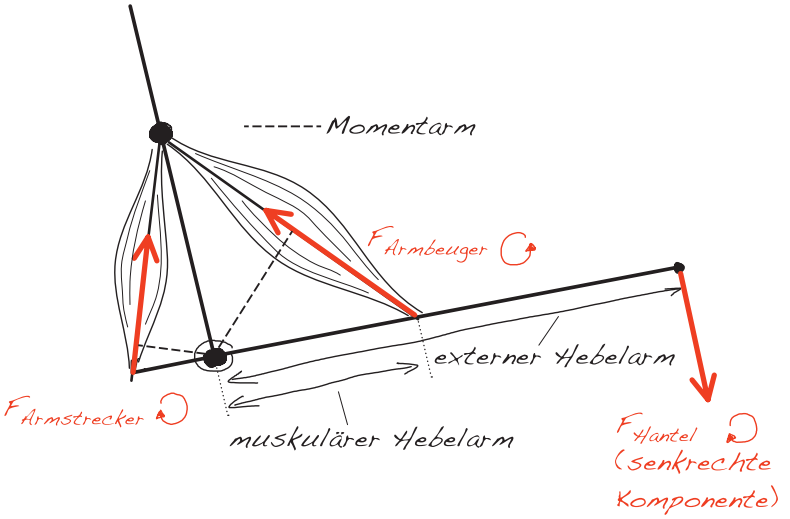

Abb. 1.3 Kräfte, die bei einem Bizepscurl mit einer Hantel wirken. Die Muskel-Sehnen-Einheit der Armbeuger verkürzt sich (miometrische Kraftproduktion) nur dann, wenn das muskuläre Drehmoment (Produkt aus dem Betrag des Momentarms und des muskulären Hebelarms) der Armbeuger größer ist als die Summe der Drehmomente, die durch den Trainingswiderstand (Hantel) sowie die Armstreckermuskulatur verursacht werden. Das externe Drehmoment entspricht dem Produkt aus dem Betrag der zum Unterarm senkrecht stehenden Gewichtskraftkomponente der Hantel und dem externen Hebelarm

Drehmoment eines Muskels (z. B. des Armbeugermuskels, M. brachialis) größer als das externe Drehmoment und auch größer als das Drehmoment des Antagonistenmuskels (in diesem Fall des Armstreckers, M. triceps brachii), so ist die resultierende Muskelwirkung miometrischer Natur. Im umgekehrten Fall ist der Muskeleinsatz pliometrisch. Halten sich die entgegengesetzten Drehmomente die Waage, so kommt es zu keiner äußerlich sichtbaren Bewegung (isometrischer Fall).

1.10 Warum Ihre Muskeln arbeiten (müssen), obwohl Sie keine Arbeit leisten

Bewegt sich der Angriffspunkt einer Kraft so, dass die Bewegungsrichtung ganz oder teilweise in der Linie der Kraftrichtung liegt, wird mechanische Arbeit verrichtet. Folglich berechnet sich die mechanische Arbeit aus dem Produkt von Kraft mal Distanz (Weg). Aber Achtung! Mechanische Arbeit wird nur dann verrichtet (d. h. das Vorzeichen der Arbeit ist positiv), wenn