

Amy Ashmore



# TIMING IM KRAFTTRAINING

Wie du deine Muskeluhr nutzt,  
um die perfekte Performance zu erreichen

© 2020 das Fiebs »Timing im Krafttraining« von Amy Ashmore (ISBN 978-3-7423-1450-5)  
by mvv Verlag, ein Imprint der Münchner Verlagsgruppe GmbH, München. Nähere Infor-  
mationen unter: [www.mvvg.de](http://www.mvvg.de)

riva



HUMAN  
KINETICS

# VORWORT

© 2020 des Titels »Timing im Krafttraining« von Amy Ashmore (ISBN 978-3-7423-1450-5)  
by mvg Verlag, ein Imprint der Münchner Verlagsgruppe GmbH, München. Nähere Infor-  
mationen unter: [www.mv-g.de](http://www.mv-g.de)

Wer zu diesem Buch greift, hat bestimmt Interesse an der Entwicklung seiner Maximal- und Schnellkraft und möchte mehr über die Planung und Gestaltung von Krafttraining erfahren. Sie haben sich außerdem in die neueste Forschung über Muskelphysiologie eingelesen und sind – wie ich – von der Entdeckung der Muskeluhren fasziniert und was sie für die Zukunft des Krafttrainings und die Steigerung der sportlichen Leistungsfähigkeit bedeuten.

Muskeluhren zeigen uns, dass Muskeln keine einfachen Befehlsempfänger sind, die der Kontrolle des Nervensystems unterliegen; sie sind vielmehr intelligente und autonome Strukturen, die – sofern wir die richtigen Cues (Reize) geben – lernen können, bevorstehende Trainingseinheiten zu antizipieren und die Leistung zu verbessern. (Unter Cues werden, wie auch an späterer Stelle erklärt, verschiedene innere und äußere Reize verstanden, die im Körper, hier direkt in der Muskulatur, zu Zeitgebern werden.) Der Schlüssel zum Verständnis von und die Arbeit mit Muskeluhren ist das strategische Timing.

Sportwissenschaftler wissen seit dem Aufkommen des Konzepts der Trainingsperiodisierung in der Sowjetunion in den 1950er-Jahren, dass das Timing eine der wichtigsten Variablen in der Gestaltung von Trainingsprogrammen ist und Einfluss auf sportliche Spitzenleistungen nimmt. Obwohl dieses Buch auf das bereits vorhandene Wissen über die Periodisierung aufbaut, werden hier die Muskeln und die

Gestaltung von Krafttrainingsprogrammen auf eine völlig neue Weise betrachtet. Der Ursprung dieses Buchs liegt in einem 16-wöchigen Programm zur Steigerung der Kondition von Profiboxern, das Ende der 1990er-Jahre im Top Rank Gym in Las Vegas umgesetzt und dokumentiert wurde. In den Jahren, die ich in Boxsport-Leistungszentren mit Spitzensportlern zusammenarbeitete, fielen mir bei ihren hocheffektiven Trainingsprogrammen zwei Tendenzen auf: die konsequente, über einen längeren Zeitraum erfolgende Verwendung ähnlicher Übungen und die strikte Einhaltung von Timing-Vorgaben. Jahre später übertrug ich die neue Forschung über Muskeluhren und den neuen Fokus auf das Timing auf den Boxsport, um einen neuen Ansatz für die Gestaltung von Krafttrainingsprogrammen zu entwickeln. Das vorliegende Buch wurde für drei Zielgruppen geschrieben:

- Sportler, die an der Entwicklung ihrer Maximal- und Schnellkraft arbeiten, und ihre Betreuer.
- Personal Trainer, Fitness- und Athletiktrainer sowie Physiotherapeuten, die mit Leistungssportlern und ambitionierten Freizeitsportlern arbeiten.
- Interessierte Leistungs- und Freizeitsportler die die Konzepte verstehen und die Richtlinien auf ihre eigenen Workouts und Trainingsprogramme anwenden können.

Dieses Buch besteht aus drei Teilen. Sie beschreiben die Wissenschaft der Muskel-



uhren, die wichtigsten Hilfsmittel der Programmgestaltung und die Ausarbeitung wirksamer Trainingsprogramme.

**Kapitel 1** befasst sich mit der Frage, was Muskeluhren überhaupt sind und was ihre Entdeckung für die Zukunft des Krafttrainings und der sportlichen Leistungsfähigkeit bedeutet. Das Kapitel beschreibt die Forschung, die belegt, dass jeder unserer 600 Skelettmuskeln seine eigene innere Uhr besitzt, sogenannte Muskeluhren. Ihre Zerstörung wirkt sich negativ auf die Funktionalität des betreffenden Muskels aus, was veranschaulicht, wie wichtig die Muskeluhren für die Muskelleistung sind.

In **Kapitel 2** wird die Interferenztheorie vorgestellt, die einen wissenschaftlichen Beweis dafür liefert, dass ein kardiovaskuläres Ausdauertraining, das zu dicht auf ein Kraft-Workout folgt, die Entwicklung der Maximal- und Schnellkraft beeinträchtigt. In diesem Kapitel werden mögliche Interferenzmechanismen vorgestellt und die Frage behandelt, wie man sein Kraft- und Ausdauertraining so gestaltet, dass der Interferenzeffekt vermieden wird.

In **Kapitel 3** geht es um die drei Arten von Timing-Cues, die Muskeluhren benutzen, um Trainingsintervalle zu überwachen. Diese Cues [Reize] werden in Bezug zu gängigen Periodisierungsvariablen gesetzt. In diesem Kapitel wird auch die intermittierende Ruhe besprochen – was meint, dass die trainingsfreien Tage nicht aufeinander folgen. Es wird erklärt, wie diese Pausen angewendet werden können, um Kraft-Workouts, hochintensives Intervalltraining und

Erholungsphasen so zu gestalten, dass ein optimaler Nutzen erzielt wird.

In **Kapitel 4** werden eine Reihe von Übungen vorgestellt, die Ihnen in den späteren Kapiteln wiederbegegnen. Sie lassen sich zu Übungspaaren zusammenstellen. Mit diesen Übungspaaren lassen sich wiederum Workouts zur Steigerung der Maximal- und Schnellkraft entwerfen, die man im Rahmen eines simultanen Trainings der Kraft und Ausdauer beziehungsweise Beweglichkeit einsetzen kann. Anhand der Timing-Cues, die die Muskeln durch die Übungen erhalten, werden die Übungen in sechs Kategorien unterteilt: Ganzkörper-Schnellkraft-, bilaterale Unterkörper-, unilaterale Unterkörper-, Oberkörper-, Isolations- und plyometrische Übungen. Die Übungen werden je nach primär beanspruchten Gelenken und Muskelbewegungen aufgeteilt und analysiert, welche die Grundlage für die Workout-Methode der biomechanisch ähnlichen Übungspaare bilden.

In **Kapitel 5** wird das Antizipationstraining vorgestellt, eine Trainingsform, die strategisches Timing nutzt, um die Muskeluhren anzusprechen und den Muskeln beizubringen, bevorstehende Ereignisse zu antizipieren. Hier findet man Anleihen aus den Konzepten des motorischen Lernens und es werden die Ähnlichkeiten zwischen neuronaler und muskulärer Antizipation aufgezeigt sowie der Vorgang erklärt, wie Muskeluhren diese beiden Arten der Antizipation nutzen, um die Ergebnisse des Krafttrainings zu verbessern. Eine Zusammenfassung der wichtigsten Forschungsar-

beiten am Ende des Kapitels zeigt auf, wie man die Konzepte sofort auf die Gestaltung seines Krafttrainings anwenden kann.

**Kapitel 6** befasst sich mit bewusstem Untertraining. Hier wird erklärt, dass Untertraining eine legitime Methode ist, wenn das Timing regelmäßig stattfindender, terminierter Workouts und Aktivitäts-Ruhe-Phasen als Hauptvariablen der Programmgestaltung angewandt werden. Wenn ein Krafttrainingsprogramm mit dem Schwerpunkt Timing konsequent über einen längeren Zeitraum ausgeführt wird, werden im Muskel stattfindende molekulare Prozesse und die Erholung optimiert, was wiederum die Leistung steigert. Das bewusste Untertraining wird einem Trainingssystem gegenübergestellt, das sich nur auf die Variablen Volumen und Intensität konzentriert – was leicht dazu führt,

dass die Muskeln erschöpfen und ein Übertraining eintritt.

Schließlich setze ich in den **Kapiteln 7 bis 10** alle Puzzleteile zusammen und zeige, wie sich die Trainingsmethode der Übungspaare nutzen lässt, um neue Workouts und Programme zur Verbesserung der Maximal- und Schnellkraft, der Kraft und Ausdauer beziehungsweise der Beweglichkeit zu erschaffen, die die Muskeluhren ansprechen. Unter Verwendung zuvor besprochener Konzepte wie die Vermeidung des Interferenzeffekts, der Antizipation, des bewussten Untertrainings, der intermittierenden Ruhe und des Komplextrainings zeige ich, wie sich das strategische Timing anwenden lässt und die vorgestellten Übungen kombiniert werden können, um neue Kraft-Workouts und -programme zu erschaffen.



TEIL 1

# DIE WISSENSCHAFT VON DEN MUSKELUHREN



© 2020 des Titels »Timing im Krafttraining« von Amy Ashmore (ISBN 978-3-7423-1450-5)  
by mvv Verlag, ein Imprint der Münchner Verlagsgruppe GmbH, München. Nähere Infor-  
mationen unter: [www.mvvg.de](http://www.mvvg.de)



Von den Ursprüngen der Trainingsperiodisierung bis zu den zahlreichen Trainingsmethoden, die es heute gibt – Timing war und ist der Schlüssel für ein produktives Krafttraining. Damit ein Krafttrainingsprogramm erfolgreich ist, muss auf strategisches Timing geachtet werden: wann und wie oft das Training stattfindet, wie lange ein Workout dauert, wie lange die Pausen innerhalb der einzelnen Sätze sind und sogar wie schnell die Muskeln kontrahieren. Obwohl durchaus bekannt ist, dass Timing für das Krafttraining wichtig ist, begreifen Wissenschaftler erst jetzt, wie die Muskeln mittels der neu entdeckten Muskeluhren das Timing überwachen und bei ihrer Arbeit berücksichtigen.

Kapitel 1 befasst sich mit der Frage, was Muskeluhren überhaupt sind und warum sie für die Zukunft des Krafttrainings so wichtig sind. Muskeluhren sind nur eine von vielen internen biologischen Uhren, darunter die Hauptuhr im Gehirn und die vielen anderen gewebespezifischen Uhren wie Knochen-, Sehnen- und Knorpeluhren, die den Körper in einem täglichen 24-Stunden-Takt halten. In Kapitel 1 wird erklärt, wie Muskeluhren spezifische Cues nutzen, um Zeitintervalle zu überwachen und die molekularen Prozesse, die für Kraftsteigerungen zuständig sind, mit den Workouts, die sie nun antizipieren können, zu koordinieren. In diesem Kapitel wird ausführlich auf diverse Studien eingegangen, die zeigen, dass jeder der über 600 Skelettmuskeln seine eigene innere Uhr hat, die den Muskeln beibringt, bevorstehende Workouts vorherzusehen. Hier wird die Theorie vorgestellt, dass Muskeln intelligente Regulatoren sind, die selbst Aktionen einleiten, statt nur auf die Befehle des Zentralnervensystems zu reagieren. Indem die neuen Forschungsergebnisse über die Muskeluhren mit dem klassischen Konzept der Trainingsperiodisierung verknüpft wird, zeigt Kapitel 1, dass Muskeluhren nicht nur die Muskelmasse, die Maximal- und die Schnellkraft verbessern, sondern auch die Erholung beschleunigen.

Das Timing aller Workouts ist entscheidend, weil es hilft, den Interferenzeffekt oder Wettstreit zwischen Kraft- und Ausdauertraining zu vermeiden. Dazu werden in Kapitel 2 die Interferenztheorie, ihre Mechanismen und Möglichkeiten zur Entwicklung von Kraft-Workouts und -programmen erläutert. Krafttraining und kardiovaskuläres Ausdauertraining sind zwei miteinander konkurrierende Trainingsmethoden, die unterschiedliche molekulare Prozesse in den Muskeln bewirken und diese dadurch verwirren. Wenn Kraft und Ausdauer im selben Workout oder sogar am selben Tag trainiert werden, kann sich das negativ auf die Muskelleistung auswirken. Das liegt daran, weil Muskeln nach gleichbleibenden Cues suchen, um einen Anhaltspunkt zu bekommen,



welche molekularen Prozesse sie einleiten sollen. Die molekularen Prozesse unterscheiden sich abhängig vom Trainingsziel und suchen nach jeweils anderen Cues. Wenn die Cues völlig verschieden sind – wie zum Beispiel laufen und eine Kniebeuge machen – und innerhalb einer Stunde eintreten, wissen die Muskeln nicht, was sie tun sollen, weshalb sie »dichtmachen«, und diese Reaktion wirkt sich negativ auf die Leistung aus.

Im ersten Teil von Kapitel 2 wird ausführlich darauf eingegangen, was die Muskelverwirrung auf molekularer Ebene verursacht. Hier wird erläutert, was in der Forschung diskutiert wird, nämlich die Frage, wie die Art des Trainings, der Modus, die Frequenz, das Volumen, die Intensität und die Dauer der Trainingseinheiten in den Muskeln Interferenzen verursachen und zu negativen Trainingsresultaten beitragen. Der zweite Teil des Kapitels setzt sich mit der Tatsache auseinander, dass die meisten Athletik- und Fitnessprogramme aus einer Form von Kraft- und Ausdauertraining bestehen müssen; daher werden in diesem Kapitel Lösungen aufgezeigt, wie man Workouts und Programme so gestalten kann, dass ein Interferenzeffekt weitgehend vermieden wird.

## KAPITEL 1



# Was ist eine Muskeluhr?

Obwohl der Wissenschaft schon seit Anfang der 1970er-Jahre die Existenz einer Hauptuhr bekannt ist,<sup>1</sup> ist die Entdeckung der Muskeluhren vergleichsweise neu. Zylka und Kollegen stellten 1998 erstmals die Theorie von der Existenz der Muskeluhren auf.<sup>2</sup> Studien haben gezeigt, dass sich die Zerstörung von Muskeluhren negativ auf die Skelettmuskeln auswirkt. Die Muskeln werden schwach und weisen eine geringere Anzahl von Mitochondrien sowie eine reduzierte Funktionalität auf.<sup>3,4</sup> Obwohl die Funktionsweise der Muskeluhren noch nicht vollständig erforscht ist und Wissenschaftler gerade erst anfangen, die Bedeutung der Muskeluhren und ihre Wirkung auf die Muskelleistung zu begreifen, ist offensichtlich, dass Muskeluhren eine wichtige Rolle für die Regulierung der Muskelfunktion und damit für die sportliche Leistungsfähigkeit spielen.

Das Ziel aller internen Uhren ist es, den Körper rund um die Uhr auf die Außenumgebung abzustimmen, einen zirkadianen Rhythmus zu erschaffen, der den Körper auf tägliche Umweltveränderungen wie den Wechsel von Tag und Nacht vorbereitet und Schlaf- und Wachzeiten beeinflusst.

## Muskeluhren: Was sie sind und wozu sie dienen

Muskeluhren sind Transkriptionsfaktoren oder Gene in jedem Muskel, die, abhängig von Umgebungsveränderungen und der körperlichen Aktivität, physiologische Kreisläufe regulieren. Die Hauptaufgabe der Muskeluhren ist zu überprüfen, was in 24 Stunden innerhalb und außerhalb des Körpers geschieht. Damit die Muskeln optimal arbeiten können, achten die Muskeluhren akribisch auf Dinge wie Tag-Nacht-Phasen, Aktivitäts-Ruhe-Zyklen, Hormonspiegel, Körpertemperatur und Ernährungs- und Bewegungsgewohnheiten.

Die Entdeckung dieser internen autonomen-regulativen Uhren im Muskel ist wichtig, weil sie unsere Sichtweise auf die Muskeln verändert. Muskeln reagieren nicht einfach auf die Befehle des Zentralnervensystems; vielmehr sind sie selbst in der Lage, eine Aktion zu verursachen.

Muskeluhren spielen für die Regulierung der Muskelfunktion eine Rolle. Sie kommunizieren nicht nur miteinander, son-

dern auch mit dem muskuloskelettalen System, dem Gehirn und dem gesamten Körper. Muskeluhren synchronisieren Muskeln mit der biologischen Hauptuhr im Gehirn. Sie verbinden die Muskeln auch mit anderen peripheren Uhren im Gewebe innerhalb und außerhalb des muskuloskelettalen Systems.

Muskeluhren sind wie interne Tempomacher. Auf Zellebene stellt eine molekulare Uhr eine essenzielle Methode der Zeitnahme dar, um den Muskel auf die täglichen Veränderungen in der Umgebung vorzubereiten. Die Kapazität, die molekulare Uhr und intrazelluläre Aktivität mit äußeren Ereignissen wie dem Tag-Nacht-Zyklus zu synchronisieren, weist auf eine Fähigkeit hin, sich an Umweltbedingungen anzupassen. Unter diesem Gesichtspunkt sind Muskeln klug und beweisen die Fähigkeit, sich auf ihre Umgebung einzustellen. Ein Beispiel für eine andere Uhr des muskuloskelettalen Systems ist eine Knochenuhr; ein Beispiel für eine periphere Uhr ist jene, die sich in der Leber befindet.

## Die Muskeluhren und ihr Verhältnis zum Muskelgewebe

Die Muskulatur macht etwa 40 bis 45 Prozent der Gesamtmasse des Körpers aus und ist damit das mengenmäßig am stärksten vertretene Gewebe im menschlichen Körper. Allein aufgrund ihres Volumens macht es schon Sinn, dass die Muskulatur nicht einfach ein Effektor oder Befehlsemp-

fänger ist, eine Struktur, die vom Zentralnervensystem gesteuert wird und nur auf seine Befehle reagiert. Die Muskulatur ist vielmehr ein wichtiger Regulator, der in anderen Körpersystemen bestimmte Prozesse auslöst und Fähigkeiten besitzt, die weit über eine bloße Befehlsausführung gehen.

Alles, was Muskeln tun, wirkt sich auf den gesamten Körper aus. Die Entdeckung, dass Muskeln Uhren haben, die ihre Funktionen kontrollieren und mit anderen Körpersystemen kommunizieren, ist revolutionär. Sie zeigt, dass Muskeln durch eine Vielzahl von Cues, einschließlich strategisch geplanter Workouts, eine entscheidende Rolle spielen, um die Funktionsfähigkeit des gesamten Körpers zu regulieren. Mithilfe der Muskeluhren kommunizieren die Muskeln beispielsweise mit der Leber, sie spielen also auch für die Aufrechterhaltung der metabolischen Homöostase im Körper eine wichtige Rolle.

Die Vorstellung, dass Muskeln mehr als Befehlsempfänger sind, ist nicht neu. Weil die Muskelmasse einen großen Anteil des Gesamtkörpergewichts ausmacht, erschien es vielen Fachleuten unlogisch, dass die einzige Funktion der Muskulatur darin bestehen sollte, auf die Befehle des Zentralnervensystems zu reagieren und Bewegungen auszuführen. Obwohl die Hypothese nicht neu ist, sind die Beweise, die die Vorstellung stützen, neu; deshalb werden wir in diesem Kapitel noch ausführlicher darauf eingehen.



## Die Gesamtmenge unserer Muskeln

Es gibt mehr als 600 Skelettmuskeln im menschlichen Körper. Jeder Muskel hat seine eigene Muskeluhr, die aus vielen verschiedenen Arten von genetischem Material bestehen.<sup>5,6</sup> Weil Menschen über 600 Muskeln haben und jeder Muskel seine eigene Uhr hat, gibt es über 600 Skelettmuskeluhren, die 24 Stunden am Tag arbeiten, um die Muskelaktivität mit der Hauptuhr im Gehirn und der Umgebung zu synchronisieren. Muskeluhren lassen sich nicht pauschal über einen Kamm scheren. Sie unterscheiden sich abhängig von der Zusammensetzung der Fasertypen in den einzelnen Muskeln. Auf die Bedeutung der verschiedenen Arten von Muskeluhren werden wir im weiteren Kapitelverlauf noch zu sprechen kommen.

## Der Stoff, aus dem Muskeluhren gemacht sind

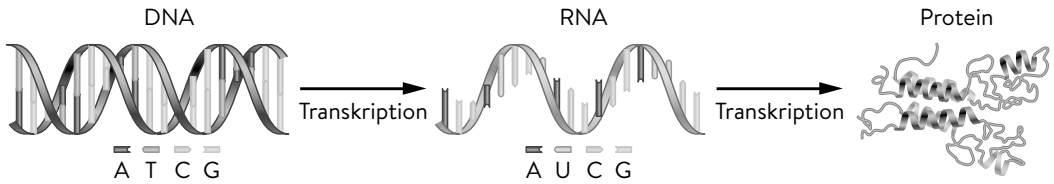
Die Muskeluhren befinden sich in den Muskeln. Sie bestehen aus Transkriptionsfaktoren, ein sequenzspezifisch bindender Faktor, der die Transkriptionsrate genetischer Informationen kontrolliert (Transkription ist der Prozess, durch den genetische Informationen aus einem DNA-Strang verwendet werden, um einen komplementären RNA-Strang zu produzieren) und der an der Umwandlung von DNA in RNA beteiligt ist (Abbildung Seite 19). Sobald die DNA

in RNA umgewandelt worden ist, wird die RNA benutzt, um Gene zu regulieren und mit ihrer Hilfe genetische Informationen in Proteine umzusetzen, die für die Funktion der Muskeluhren wichtig sind. Zu den Transkriptionsfaktoren zählen essenzielle Proteine, die die Genaktivität im Muskel einleiten und regulieren. Jede innere Uhr besteht aus zahlreichen Transkriptionsfaktoren, die für die Steuerung der Uhr unterschiedliche Rollen spielen. Manche dieser Transkriptionsfaktoren sind der molekularen Kernuhr vorbehalten, während andere in verschiedenen Arten von Uhren zu finden sind; die Muskeluhren enthalten auch Gene, die für skelettmuskelspezifische Funktionen wichtig sind, unter anderem die Proteine Myosin und Troponin, die für den Stoffwechsel und die ATP-Synthese wichtig sind.

## Muskeluhren im Tagesverlauf

Alle biologischen Uhren unterliegen einem 24-Stunden-Takt. Der 24-Stunden-Zyklus spiegelt sich in den täglichen Veränderungen des gesamten Körpers, im globalen Muster der Genexpression und im Stoffwechsel wider. Mit anderen Worten: Die Transkriptionsfaktoren im Muskel und in den anderen (Körper-)Uhren verhalten sich je nach Tageszeit und einwirkendem Stimulus anders.

Die lokale Aktivität von spezifischem peripherem Gewebe wie dem Muskelgewebe spiegelt den 24-Stunden-Zyklus ihrer Uhren wider. Muskeluhren lernen einen



DNA wird in RNA umgewandelt, die es braucht, um Gene, die für die Funktion der Muskeluhren wichtig sind, zu kodieren, zu dekodieren, zu regulieren und um die Genexpression zu unterstützen.

Tagesablauf, indem sie auf externe Cues wie den Hell-Dunkel-Zyklus reagieren, der durch die Erdrotation bedingt wird und ein universeller Entrainment-Cue für alle biologischen Uhren ist. Der Begriff Entrainment bezieht sich auf die Synchronisierung rhythmisch auftretender biologischer Ereignisse wie dem zirkadianen Rhythmus, auf Veränderungen in der inneren oder äußeren Umgebung. Cues, die Auskunft über die Tageszeit geben, stellen alle inneren Uhren ein beziehungsweise um, darunter auch die Muskeluhren. Die Tageszeit ist der offensichtlichste und am besten verstandene Cue für die Muskeluhr, aber wie noch in den späteren Kapiteln beschrieben wird, sind Cues vielfältig und gewebespezifisch. Hinsichtlich der Muskulatur sind der Hormonspiegel, Aktivitäts-Ruhe-Muster und die Trainingsgestaltung wie das Timing des Krafttrainings weitere Cues, die in Kapitel 3 ausführlich besprochen werden.

## Jedes Gewebe hat seine Uhr

Die uhrengesteuerten Gene, die die Muskeluhren bilden, und die Pfade, die sie für die Kommunikation verwenden, sind gewebespezifisch. Das bedeutet, dass jede Art von peripherer Uhr ihre eigenen gewebespezifischen Gene enthält, mit denen sie andere Systeme überwachen und Veränderungen mitteilen kann, die für dieses Gewebe spezifisch sind. Die internen molekularen Uhren in den Muskelzellen erlauben es ihnen, die täglichen, im regelmäßigen Rhythmus eintretenden Veränderungen im Muskel und in ihrer lokalen Umgebung zu antizipieren und muskelspezifische Anpassungen vorzunehmen. Muskeluhren sind für die Muskulatur zuständig, während andere periphere Uhren sich auf die Veränderungen konzentrieren, die in dem Gewebe auftreten, für das sie zuständig sind (Knochenuhren konzentrieren sich zum Beispiel auf die Knochen).

Die Hauptuhr befindet sich im Gehirn und leitet alle Uhren im Körper, darunter auch die Muskeluhren. Das muskuloskelettales System enthält auch Knorpel-, Knochen- und Sehnenuhren. Jede Uhr ist



gewebespezifisch, enthält Transkriptionsfaktoren, die dem jeweiligen Gewebe eigen sind. Dabei gibt es nur wenige gemeinsame Transkriptionsfaktoren. Außerdem verhält sich jede gewebespezifische Uhr besonders. Wenn Muskel-, Knochen- und Knorpeluhren zu Studienzwecken manipuliert werden, treten bei den verschiedenen Uhren jeweils andere negative Wirkungen ein. Wenn zum Beispiel das BMAL1-Protein, ein wichtiger Transkriptionsfaktor für die Funktion der Uhren, in allen drei peripheren Uhren – Muskel-, Knochen- und Knorpeluhr – abgeschaltet wird, treten unterschiedliche physiologische Ereignisse ein. Im Muskel geraten die Muskelfasern in Unordnung, es entsteht eine mitochondriale Dysfunktion und die Größe der Muskelfasern nimmt ab.<sup>7</sup> Außerdem reduziert die Abschaltung des BMAL1-Proteins in den Muskeluhren den Durchmesser der Muskelfasern und leitet Sarkopenie ein (den altersbedingten Abbau des Muskelgewebes).<sup>8</sup> Darüber hinaus wird die Regeneration der Muskulatur nach Anstrengung durch die anschließende Zerstörung des BMAL1-Proteins beeinträchtigt.<sup>9</sup> Diese Ergebnisse veranschaulichen, wie wichtig die Gene, aus denen die Muskeluhren bestehen, für die optimale Funktions- und Leistungsfähigkeit der Muskulatur sind.

Werden die biologischen Uhren abgeschaltet, wirkt sich das nicht nur auf die Muskulatur aus. Wenn das BMAL1-Protein nicht nur in der Muskulatur, sondern im gesamten Körper abgeschaltet wird, verschwindet der normale Aktivitäts-Ruhe-Rhythmus im Muskel und die tägliche

Bewegungsaktivität nimmt ab.<sup>10</sup> Zusammengefasst deuten die muskelspezifischen Ereignisse, die nach der Zerstörung des BMAL1-Proteins eintreten, darauf hin, wie wichtig Muskeluhren sind, um die Funktion und Leistungsfähigkeit der Muskeln zu regulieren.

Die Abschaltung des BMAL1-Proteins ruft im Muskel zahlreiche Wirkungen hervor, hat aber auch Folgen für die anderen Uhren im muskuloskelettalen System. Im Knorpel wirkt sich die Abschaltung des BMAL1-Proteins negativ auf die Wachstumsplättchen aus, was zu kürzeren Knochen führt.<sup>11</sup> Die Abschaltung des BMAL1-Proteins im Knochen selbst führt außerdem zu einem Knochenschwund, der der altersbedingten Osteoporose ähnelt.<sup>12</sup>

Das Fazit ist, dass derselbe Transkriptionsfaktor – in diesem Fall das BMAL1-Protein – je nach Gewebe andere Konsequenzen verursachen kann. Die Folgen der Abschaltung eines Transkriptionsfaktors weisen auf die Bedeutung der internen regulierenden Uhren hin und veranschaulichen, dass es je nach Gewebe andere Uhren gibt, die gewebespezifische, regulierende Funktionen haben. Die Konsequenzen für das Muskelgewebe infolge des Verlusts eines Uhrengens, wie das lokale BMAL1-Protein, veranschaulicht die Autonomie der Skelettmuskeln.

Der Fokus dieses Buches liegt auf den Muskeluhren, weshalb die Sehnen-, Knochen- und Knorpeluhren nicht näher besprochen werden. Es ist aber wichtig zu wissen, dass es diese Uhren gibt und dass sie

mit den Muskeluhren kommunizieren, womit sie zu einer optimalen Entwicklung und Leistungsfähigkeit des muskuloskelettalen Systems beitragen. Sie spielen ebenfalls für die Regulierung des Stoffwechsels des muskuloskelettalen Systems eine Rolle und helfen mit, Stoffwechsel- und Knochen-erkrankungen zu verhindern.

die die Aktivität der molekularen Uhren beeinflussen. Diese werden in Kapitel 3 ausführlich besprochen. Im Augenblick ist es wichtig zu erkennen, dass Muskeluhren Cues benutzen, um Zeitintervalle zu überwachen und von diesen Cues zu erfahren, was sie wann zu erwarten haben und wie sie reagieren sollen.

## Timing-Cues

Muskeluhren überprüfen Zeitintervalle, indem sie genau auf Cues oder sogenannte Zeitgeber achten (dieser deutsche Begriff wird häufig in der internationalen Fachliteratur über biologische Uhren verwendet [in diesem Buch wird der Begriff Cue beibehalten]). Muskeluhren vergleichen das, was in der Umgebung passiert, mit dem, was im Muskel passiert. Die Cues beziehungsweise Zeitgeber geben den Muskeln Auskunft über die Tageszeit und was zu dieser Zeit sowohl innerhalb als auch außerhalb des Körpers geschieht. Mit diesen Informationen können die Muskeln ihre molekularen Ereignisse abstimmen. Die Muskeln sind rund um die Uhr damit beschäftigt, die Muskelaktivität mit ihrer Umgebung zu koordinieren.

Der wichtigste Zeitgeber für alle internen Uhren ist Licht. Licht gibt Informationen über die Tageszeit und Aktivitäts-Ruhe-Muster. Es gibt aber wie bereits angesprochen auch viele andere Cues wie Hormonspiegel, Körpertemperatur, Bewegungs- und Ernährungsgewohnheiten,

## Biologische Rhythmen

Auf der Suche nach den auf Timing bezogenen Cues haben Skelettmuskeln ihre eigenen Biorhythmen. Der erste Hinweis auf die Existenz von Biorhythmen in Skelettmuskeln wurde 1986 erbracht, als Forscher bei Ratten bei der Synthese von Muskelproteinen tageszeitabhängige Schwankungen feststellten.<sup>13</sup> Anfängliche Beobachtungen der Rhythmen wurden nicht als Muskeluhren erkannt, und erst 1998 wurde die Existenz eines unabhängigen zirkadianen Oszillators im Muskel von Zylka und Kollegen festgestellt und beschrieben.<sup>14</sup> 2007 skizzierten Takahashi und Kollegen die erste Skelettmuskeluhr.<sup>15</sup> Sie fanden in der Skelettmuskulatur von Mäusen 215 Gene und in der Skelettmuskulatur von Ratten 107 Gene, die einzigartige rhythmische Expressionsmuster aufwiesen, die mit den Timing-Cues in Zusammenhang standen. Andere Wissenschaftler konnten 2007 über 200 rhythmische Gene in der Skelettmuskulatur von Ratten identifizieren.<sup>16,17</sup>

Die Forschung über Muskeluhren hat sich rasch weiterentwickelt, und Wissen-



schaftler wissen jetzt, dass rhythmische Gene vom Muskelfasertyp abhängig sind.<sup>18</sup> Es wurden aber noch viele weitere rhythmische Gene entdeckt. In Tierstudien wurden 684 rhythmische Gene im schnell zuckenden Musculus tibialis anterior (vorderer Schienbeinmuskel) identifiziert, während 1359 rhythmische Gene im langsam zuckenden Musculus soleus (Schollenmuskel) identifiziert wurden.<sup>19</sup>

Aufgrund der Entdeckung dieser rhythmischen Gene in den Muskeln können Forscher zuverlässig ableiten, dass das muskuloskeletale System eine Rolle für das Ein- und Umstellen der täglichen Ruhe- und Aktivitätsphasen des gesamten Körpers spielt. Die konkreten Rollen der verschiedenen Gewebearten wurden noch nicht bestimmt, und das Ausmaß, in dem die Skelettmuskulatur autonom ist, wie auch der Einfluss terminierter Workouts auf die Rhythmen und Funktionen wird immer noch erforscht.

Muskeln arbeiten nicht allein. Wenn sie die Rhythmen im gesamten Körpersystem beeinflussen, arbeiten sie mit dem Bindegewebe, den Knochen und dem Knorpel zusammen. Was diese Gewebearten beeinflusst, kann somit den zirkadianen Rhythmus der Muskeln und des ganzen Körpers beeinflussen. Spezifische katabole (gewebezersetzende) und anabole (gewebeaufbauende) Timing-Mechanismen wurden im Knorpel von Mäusen bestimmt, in dem der Großteil der katabolen Gene am frühen Morgen, also nach der Nachtphase der Mäuse, den Höchststand erreicht.<sup>20</sup>

Bei den anabolen Genen ist das zwölf Stunden später, am frühen Abend, der Fall. Ein ähnlicher Höchststand anaboler Gene wurde in der Muskulatur festgestellt, was darauf hindeutet, dass das Muskelgewebe bei Mäusen wahrscheinlich zwölf Stunden nach der Nachtphase wächst. Das Timing der rhythmischen katabolen und anabolen Aktivität der verschiedenen Gewebearten des muskuloskeletalen Systems ist wichtig, weil es eine Synchronisation veranschaulicht. Die katabolen und anabolen Rhythmen im Knorpel von Mäusen und Ratten ähneln vermutlich dem bei Menschen.<sup>21</sup> Mehr dazu in Teil 3 ab Seite 126. Das Fazit ist, dass sich der skizzierte biologische Kreislauf von Katabolismus und Anabolismus bei Nagetieren mit den Daten deckt, die die These stützen, dass die Tageszeit Einfluss auf die Antizipation des Wachstumspotenzials der menschlichen Muskulatur hat.

Ein weiterer wichtiger Hinweis betrifft die Knorpelzyklen und ihre Auswirkung auf die Muskelleistung. Dudek und Meng legen nahe, dass die chronische Entkopplung muskuloskeletaler Stoffwechselzyklen und die tägliche Aktivität des Tiers zu degenerativen Knorpelveränderungen und einer allgemein verringerten Muskelleistung führen könnten.<sup>22</sup> Andererseits könnte die gleichzeitige Betrachtung der verschiedenen muskuloskeletalen Gewebearten eine entscheidende Rolle für die positive Muskelphysiologie spielen. Für die wechselseitige Beeinflussung verschiedener Gewebearten des muskuloskeletalen Systems