

**Abb. 3.3:** Trainings- und Immobilisationsbedingte Anpassungen (Transformationen) der Muskelfaserzusammensetzung.

Nur einseitige  
Umwandlung  
möglich

Mit niedriger Frequenz durchgeführte **Elektrostimulation** wandelt Typ-II-Muskelfasern innerhalb weniger Wochen vollständig in Typ-I-Fasern um. **Eine Umwandlung von Typ-I-Fasern in Typ-II-Muskelfasern ist nicht möglich, auch nicht durch Elektrostimulation.**

*Krüger (2019)* weist nochmals darauf hin, dass Umbauten von schnellen zu langsamen Muskeln bei Sportlern durch Ausdauertraining nachgewiesen worden sind, von langsamen zu schnellen bisher jedoch nicht.

Hoher genetischer Anteil

In **Spiesportarten** hat sich in den letzten Jahren gezeigt, dass bei hochtrainierten Sportlern die Schnelligkeit kaum trainierbar ist. Dies deutet auf einen entsprechend hohen genetischen Anteil hin, man spricht nicht umsonst vom „geborenen Sprinter“.

### Schlussfolgerungen für die Trainingspraxis

Ausdauer besser  
trainierbar als  
Schnelligkeit

Krafttraining kann durch höherfrequente Innervation (maximale, explosive Krafteinsätze) zur besseren Rekrutierung und Frequenzierung der Muskulatur führen, jedoch die Muskelfaserzusammensetzung nur zeitweise (insbesondere in Richtung ST-Fasern) und nicht grundlegend ändern. Niedrige Innervationsfrequenzen wie beim Ausdauertraining oder eines Krafttrainings mit geringer Belastung führen dazu, dass der Athlet langsamer und gleichzeitig ausdauernder wird, weil speziell durch diese Belastung die ST-Fasern angesteuert werden. In der Praxis zeigt sich auch, dass die Ausdauer besser als die Schnelligkeit trainiert werden kann.

**Im Hochleistungsfußball** sind längere Ausdauerläufe für die Entwicklung der Grundlagenausdauer zwar wichtig, aber weniger geeignet für die Anforderungen im azyklischen und schnellkräftigen Fußball, welcher auf hohe Innervationsfrequenzen und schnellkräftige Muskelfasern angewiesen ist.

Eine Umwandlung von Typ-II-Fasern zu Typ-I-Fasern ist durch Ausdauertraining bzw. Krafttraining mit geringen Widerständen wahrscheinlich. Für die

Trainingspraxis ist wichtig, dass zur Steigerung der Schnelligkeit das Krafttraining immer hochintensiv ausgeführt werden sollte und bei Ermüdungserscheinungen abgebrochen werden müsste (vgl. *Freiwald/Greiwing* 2016).

### Agonist und Antagonist in der sportlichen Bewegung

An einer sportlichen Bewegung sind immer mehrere Muskeln beteiligt. Dabei bezeichnet man Muskeln, die die gleiche Arbeit verrichten als Agonisten oder Synergisten, diejenigen Muskeln, welche der Arbeit anderer Muskeln entgegenwirken, als Antagonisten.

Bei dem Rückhand-Topspin von *Dimitri Ovtcharov* kann man in der Ausholbewegung (Foto 1) eine fast 90-gradige Beugung im Ellbogengelenk erkennen. Auf dem rechten Foto (Foto 2), der Endphase der Bewegung, ist der Ellbogen deutlich gestreckter. Für die Beugung zur Ausholbewegung ist der Biceps brachii (Oberarmvorderseite) verantwortlich. Für die Streckung des Ellbogens und Beschleunigung des Unterarms ist der Triceps brachii (Oberarmrückseite) der Agonist, der Biceps wirkt als Antagonist, da die Streckbewegung von ihm abgebremst wird.



**Abb. 3.4:** Rückhand-Topspin von Dimitri Ovtcharov (Foto 1 und 2)

Während einer Bewegung arbeiten jedoch nicht nur die Muskelgruppen der zusammenwirkenden, sondern auch die der entgegengesetzten Funktion, wodurch ein **fein koordinierter Bewegungsablauf** wie der Rückhand-Topspin von *Ovtcharov* erst möglich wird. Die Antagonisten haben einen regulierenden Einfluss auf die sonst stoßartigen und ruckartigen Bewegungen der Agonisten. Muskeln, welche für eine bestimmte Bewegung Agonisten sind, können für andere Bewegungen zu Antagonisten werden. Kein Muskel ist also ausschließlich Agonist oder Antagonist (vgl. *Tittel* 1985).

Die folgende Abbildung zeigt die Beinmuskulaturbeteiligung an der Sprintbewegung.

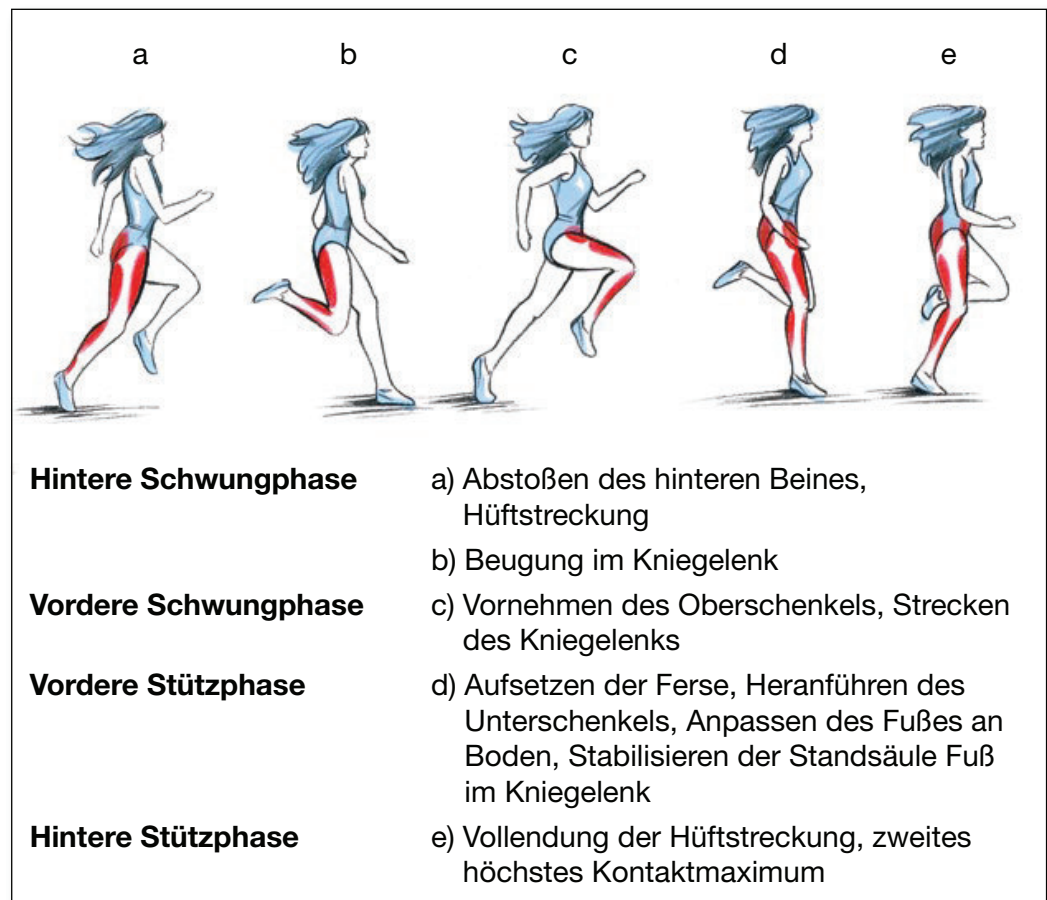


Abb. 3.5: Beinmuskulaturbeteiligung beim Sprint (Schönborn 2010).

### Anpassungsmöglichkeiten der Muskeln an Krafttraining

An spezifische Krafttrainingsreize zeigt der Muskel im Bereich der Energiebereitstellung spezifische Anpassungen. Die wichtigsten Anpassungserscheinungen stellt folgende Tabelle dar:

Physiologisches System/Parameter	Anpassungen an Krafttraining
<b>Mitochondrien</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumen</li> <li>• Dichte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abnahme des Volumens</li> <li>• Abnahme der Dichte</li> </ul>
<b>Kontraktionsgeschwindigkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zunahme</li> </ul>

Tab. 3.4: Physiologische Anpassungserscheinungen der Energiespeicher und Energiebereitstellung an Krafttraining (mod. nach Freiwald/Greiwing 2016); Fortsetzung auf der nächsten Seite.

Physiologisches System/Parameter	Anpassungen an Krafttraining
<b>Enzyme</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kreatinphosphokinase</li> <li>• Myokinase</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zunahme</li> <li>• Zunahme</li> </ul>
<b>Enzyme der Glykolyse</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Phosphofruktokinase</li> <li>• Laktatdehydrogenase</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zunahme</li> <li>• Keine Veränderungen</li> </ul>
<b>Enzyme des aeroben Metabolismus</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enzyme des KH-Stoffwechsels</li> <li>• Enzyme des Fettstoffwechsels</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zunahme</li> <li>• unbekannt</li> </ul>
<b>Intramuskuläre Speicherkapazitäten</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adenosintriphosphat (ATP)</li> <li>• Phosphokreatin (KP)</li> <li>• Glykogen</li> <li>• Triglyceride</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zunahme</li> <li>• Zunahme</li> <li>• Zunahme</li> <li>• unbekannt</li> </ul>

Tab. 3.4: Fortsetzung

Die Muskulatur des Menschen ist sehr anpassungsfähig, insbesondere an die unterschiedlichen Krafttrainingsmethoden. Grundsätzlich sind es **zwei Reizformen**, auf welche der Muskel mit Anpassung reagiert:

### 1. Mechanische Spannungsreize

Der für die Anpassung notwendige Spannungsreiz zur Auslösung eines Trainingseffektes ist u.a. von Faktoren wie dem Trainingszustand oder auch der trainierten Muskelgruppe abhängig.

### 2. Metabolische Reize

Mehrere Studien belegen die Bedeutung von metabolischem Stress für das Muskelwachstum. Darunter ist zu verstehen, dass es durch intensives Krafttraining zu einer Anhäufung von Metaboliten wie Wasserstoffionen und Laktat in der Muskelzelle kommt.

**Bodybuilder** verursachen durch ihre Trainingsformen (z.B. 60 bis 85 Prozent des EWM) mit hohen Wiederholungszahlen und kurzen Pausen eine Beanspruchung des anaerob-laktaziden Stoffwechsels mit deutlichem pH-Wertabfall und verstärkter Laktatbildung im Muskel. **Gewichtheber** arbeiten mit hohen Belastungsintensitäten (ca. 90 Prozent des EWM) und geringeren Wiederholungszahlen sowie längeren Pausen. Diese Trainingsmethode beansprucht stärker den anaerob-alaktaziden Stoffwechsel, und es fallen deutlich weniger Metaboliten an. Die Bedeutung des metabolischen Stresses für

das **Muskelwachstum** wird an dem Beispiel der Bodybuilder deutlich (vgl. *Freiwald/Greiwing 2016*).

Im Hinblick auf den Sport ist ebenfalls die **Verbesserung der Kontraktionsgeschwindigkeit der Muskelfasern** von großer Bedeutung. Aus der Trainingspraxis ist bekannt, dass Sprinter\*innen in den leichtathletischen Disziplinen wie z.B. 100 Meter oder 110 Meter Hürden sowie Weitspringer und Dreispringer Krafttraining machen, um ihre Leistungen zu verbessern. Sowohl bei den Ausdauerathleten als auch bei Sprintern spielt die genetische Disposition eine wichtige Rolle (vgl. *Krüger 2013* und *Freiwald/Greiwing 2016*).

Die folgende Tabelle fasst die Anpassung des Muskels an unterschiedliche Trainingsformen sowie den Einfluss auf strukturelle und funktionelle Eigenschaften der Muskelfasern zusammen:

Krafttraining	Anpassungen und Auswirkungen
<b>1. Hypertrophie<sup>1</sup></b>	<b>Massenzunahme</b> der Muskulatur durch Vergrößerung des Myofibrillenquerschnitts sowie der Myofibrillenzahl
<b>2. Hyperplasie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Datenlage uneinheitlich, maximaler Anteil zwischen 3 und 5 % am gesamten Muskelwachstum</li> </ul>
<b>3. Fiederungswinkel der Muskulatur</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>beim quadriceps femoris (Oberschenkelvorderseite) führt es zu einer Vergrößerung des Fiederungswinkels. Es können dadurch mehr Myofibrillen an einer größeren Fläche der Sehne ansetzen.</li> </ul>
<b>4. Kapillargefäße</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Keine Zunahme</li> </ul>
<b>5. Anpassung der Mitochondrien</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zunahme der Volumendichte und Oberfläche der Membranen</li> <li>Kombiniertes Kraft- und Ausdauertraining führt zu einem geringen Anstieg</li> </ul>
<b>6. Anpassung des Faserspektrums</b>	
<b>6.1 an Kraft- und Ausdauertraining</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Krafttraining (KT) führt zur Hypertrophie in erster Linie der FTa- und FTx-schnellkräftigen Fasern</li> <li>Es kommt durch KT zur Umwandlung von schnell-zuckenden und schnell ermüdbaren Typ-IIx-Fasern in langsamere Muskelfasern</li> </ul>
<b>6.2 durch Inaktivität</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Trainingspausen und Immobilisation führen zu einer Rückverwandlung von langsameren ST- zu schnellen Fasern FT IIx</li> </ul>

**Tab. 3.5:** Auswirkungen und Anpassungserscheinungen von Krafttrainingsformen auf den Muskel (vgl. *Freiwald/Greiwing 2016*); Fortsetzung auf den nächsten Seiten.