
ANALYSE: ASYMMETRISCHE MUSKELBELASTUNG BEI KNIEBEUGEN VOR UND NACH AUSGLEICHSTRAINING



Franziska Brugger, Giorgio Faerber, Maximilian Gerg, Felix Muenzer

12. Januar 2025

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

1 Motivation

Ambidextrie beschreibt die Fähigkeit mit beiden Händen gleich geschickt zu sein ¹. Da die meisten Menschen nicht ambidextr sind, haben die sie eine stärkere und eine schwächere Seite. Das ist beim Schreiben oder Malen nicht weiter problematisch. Werden aber bei Belastung wie körperlicher Arbeit oder beim Sport Muskeln unterschiedlich stark belastet, kann das zu Fehlhaltungen und Schmerzen führen. Dadurch können Gelenke ungünstig belastet werden, was zu Gelenkverschleiß führen kann. Muskuläre Dysbalancen können verschiedene Ursachen haben.

1.1 Fehlhaltung im Alltag

Personen die im Alltag überwiegend sitzen nehmen häufig eine Fehlhaltung ein, was zu einer Dysbalance zwischen Brust- und oberer Rückenmuskulatur führen kann. Auch werden viele anstrengende Aufgaben, wie das Tragen von schweren Taschen oder das Öffnen von Marmeladengläsern, meist mit der stärkeren Hand erledigt. Dadurch wird diese Seite sträker und beweglicher, was zu Schulterproblemen führen kann.

1.2 Fehlhaltung nach Verletzungen

Durch Verletzungen können kompensierende Fehlhaltungen entstehen. Ein verletztes Knie kann zum Beispiel dazu führen, dass Menschen mit der verletzten Seite weniger stark auftreten. Das unverletzte Bein wird dadurch stärker beansprucht, wodurch das gesunde Bein stärker beansprucht wird und die Muskeln am verletzten Knie sogar weiter abnehmen.

1.3 Falsches Training

Werden beim Kraftsport Übungen fehlerhaft ausgeführt, gleicht der Körper das ungleiche Kräfteverhältnis meist unbemerkt aus.

Steht das Becken nach rechts schief, dreht der Brustwirbel den Oberkörper nach links ein, das Kopfgelenk neigt den Kopf wieder nach rechts und so weiter – bei Sportlern findet meistens eine Art Kettenreaktion von unten nach oben statt. Dann sind die Augen wieder horizontal und man merkt nicht, dass man überhaupt eine Fehlhaltung eingenommen hat”².

Bei Kniebeugen kann es dann zum Beispiel passieren, dass sich der Sportler auf eine Seite lehnt und dadurch das kräftigere Bein stärker beansprucht als das ohnehin bereits schwächere Bein.

¹<https://www.wissen.de/lexikon/ambidexter>

²<https://www.menshealth.de/krafttraining/so-erkennst-du-muskulaere-dysbalancen-rechtzeitig/>

2 Methodik

3 Messinstrumente

3.1 Wägezelle

Wägezellen messen mechanische Verformungen. Wird auf eine Wägezelle eine Gewichtskraft $F = m \cdot g \left[\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \right]$ (m = aufgebrachte Masse und $g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$) aufgebracht, verformt sich diese unter der Krafteinwirkung. Auf der Wägezelle sind Dehnungsmessstreifen aufgebracht, deren Widerstand sich bei Verformung ändert. Die Dehnungsmessstreifen sind in einer Wheatstone-Brücke verschaltet, die die Widerstandsänderung in eine Spannungsänderung umwandelt, die meist nur im Bereich weniger Millivolt liegt. Diese Spannungsänderung ist proportional zu aufgebrachten Gewichtskraft.

In diesem Versuch wird eine Wägezelle mit dem Wägesensor HX711 eingesetzt. Der Sensor HX711 ist ein Analog-Digital-Wandler, der die analogen Spannungsänderungen der Wheatstone-Brücke verstärkt und in ein digitales Signal umwandelt. Dieses digitale Signal kann dann von einem Mikrocontroller verarbeitet werden. In diesem Projekt wird der Arduino Nano verwendet.

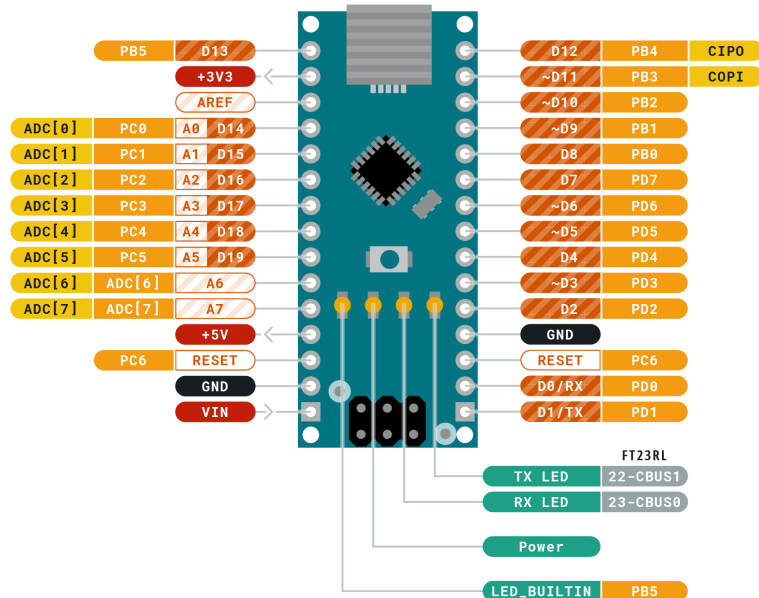


Abbildung 3.1: Nano-Pinlayout [Arduino.cc]

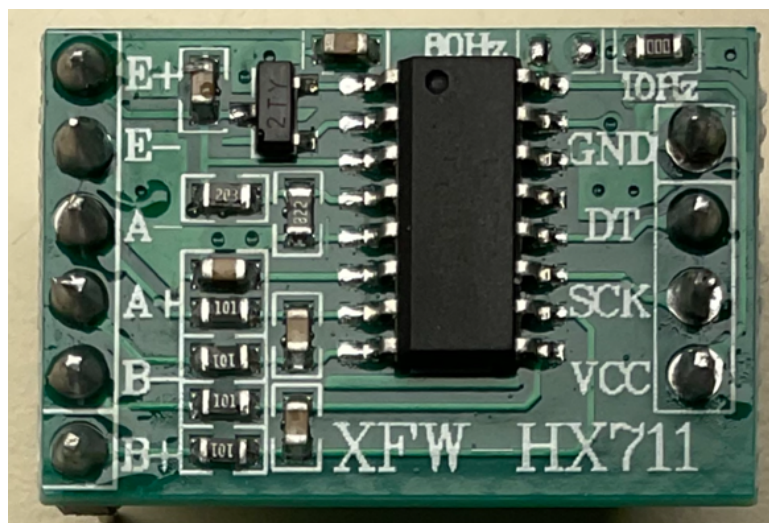


Abbildung 3.2: HX711 [prilchen.de]

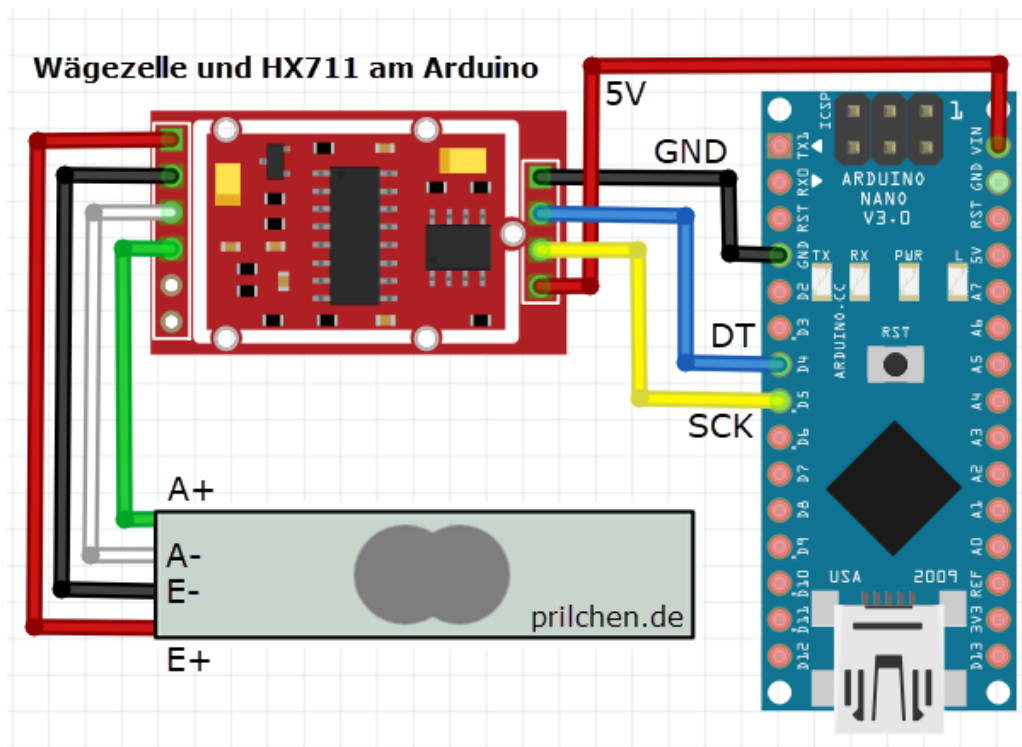


Abbildung 3.3: HX711 [prilchen.de]

Um die Signale der Wägezelle an den HX711 weiterzugeben und die Signale des HX711 mit dem Arduino Nano verarbeiten und die Daten lesbar darzustellen, müssen die drei Komponenten miteinander verschaltet werden und korrekt kommunizieren.

Zuerst wird die Wägezelle an eine 5 V Gleichstromquelle angeschlossen und dann mit dem HX711 verbunden. Wodurch die Wägezelle die analogen Signale an den HX711 weitergeben kann. Der HX711 wandelt sie dann in ein digitales Signal und gibt dieses an den Arduino Nano weiter. Der VCC-Pin HX711 wird mit dem 5V-Pin des Arduino Nano verbunden. Der GND-Pin mit dem GND-Pin des Arduinos. Der DT-Pin ist der Datenausgang des HX711 und wird mit irgendeinem der Digital-Pins des Nanos verbunden, genauso wie der SCK-Pin, z.B. *DT – Pin – > D3 – Pin* und *SCK – Pin – > D2 – Pin*. Der SCK-Pin oder serial-clock-Pin steuert die Übertragung des Signals des DT-Pins. Der Arduino gibt auf dem SCK-Pin den Takt vor, mit dem der HX711 die Daten an den Mikrocontroller sendet. Der Arduino setzt den SCK-Pin auf high und dann wieder auf low. Dieser Wechsel, vom Ende eines low-Signals zu einem high- und wieder einem low-Signal ist ein Takt. Der HX711 sendet dann pro Takt ein Bit, also einen low-Puls für 0 und einen high-Puls für 1.

Der Arduino-Nano wird dann an einen Computer angeschlossen. In der Arduino IDE können mithilfe der passenden Library und einem Code die Daten ausgelesen und gespeichert werden.

Der auf dem Arduino ausgeführte C-Code liest periodisch den analogen Wert des HX711 aus. Zunächst muss der Sensor initialisiert werden. Dies geschieht durch:

1. **Angabe eines Kalibrationswertes:** Dieser Wert dient der genauen Gewichtsmessung.
2. **Tara-Einstellung:** Die Waage wird auf 0 kg gesetzt, um sicherzustellen, dass nachfolgende Messungen korrekt sind.

Nach der Initialisierung ist die Waage bereit, Messdaten auszugeben.

Für die Ausgabe eines Messwerts werden die gemessenen Daten über den Serial-Port übertragen. Dabei wird angegeben, ob die Messung von der linken oder rechten Waage stammt. Die Ausgabe erfolgt beispielsweise wie folgt:

```
Gewicht rechts [kg]: -0.00118
Gewicht links [kg]: -0.00321
Gewicht rechts [kg]: -0.00118
Gewicht links [kg]: -0.00223
```

Der serielle Monitor verarbeitet die Ausgabe des Arduinos und ergänzt jeden Messwert mit einem Zeitstempel, der den Zeitpunkt angibt, zu dem der Messwert den Computer erreicht. Dadurch wird es möglich, die seriellen Daten in Echtzeit als Graph über die Zeit darzustellen, wie in Abbildung ?? veranschaulicht.

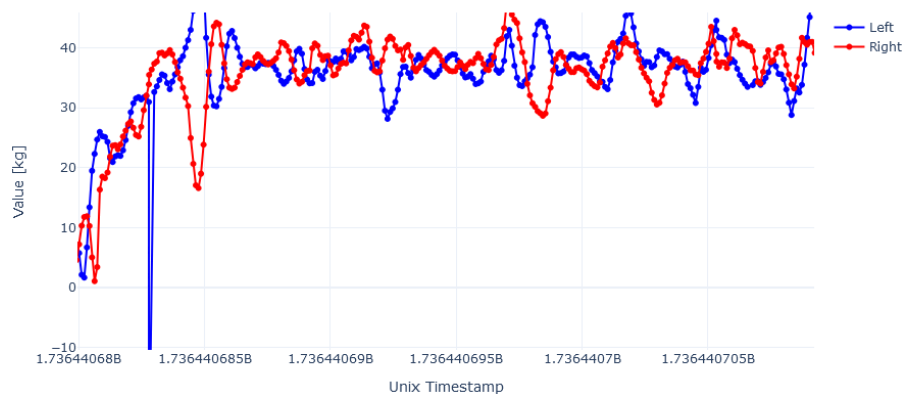


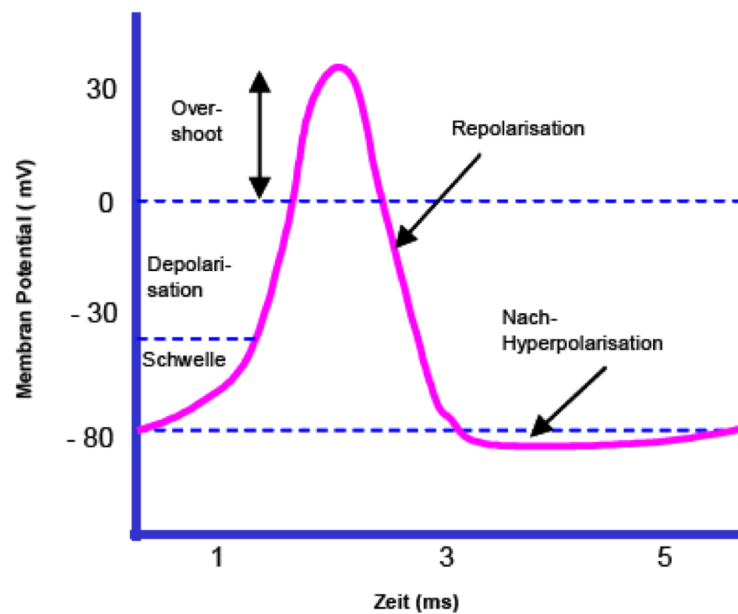
Abbildung 3.4: Ausgabe der Messdaten mit Python

Allen Daten werden in einem CSV-Format gespeichert. Sie können nun beliebig aufbereitet und analysiert werden.

3.2 Elektromyographie

Mit einem EMG kann die elektrische Muskel-Aktivität gemessen werden.

Dazu wird die elektrische Aktivität in einem ruhenden und einem kontrahierten Muskel gemessen. Das Signal entsteht aus dem Aktionspotential der Muskelfasermembran und dem Depolarisations- und Repolarisationsverlauf, der in ?? als Funktion der Zeit dargestellt ist. Im Ruhetonus liegt das Potential zwischen -80 und -90 mV.



[h!]

Abbildung 3.5: De- und Repolarisation und Aktionspotential Muskelfasermembran
[Vorlesung Dr. Lehner: Muskulatur-EMG]

Eine Muskelkontraktion startet auf Sarkomerebene. Durch das Zusammenwirken aller Sarkomere wird die Umwandlung von chemischer Energie in mechanische Energie als Kontraktion des Muskels sichtbar.

Ein Nervenimpuls gelangt als Aktionspotential über das Axon eines Motoneurons zum Axonende. Durch Neurotransmitter, die in den postsynaptischen Spalt ausgeschüttet und dann an den Rezeptor der postsynaptischen Membran binden, wird der Prozess der Depolarisation in der Muskelfaser ausgelöst, der auf der linken Seite von ?? dargestellt ist:

Der Rezeptor ist ein Kanal für Kationen, also positiv geladene Ionen wie Natrium-, Calcium- oder Kaliumionen. Wird der Ionenkanal geöffnet, kommt es zum Einfluss von Kationen und zu einer Depolarisation der Muskelfaser. Wird ein gewisses Schwellenpotential überschritten, öffnen sich spannungsabhängige Natriumkanäle, wodurch ein Aktionspotential ausgelöst wird, das als EMG-Signal gemessen werden kann. In ?? als Schwelle gekennzeichnet, ab der die Steigung der Potential-Funktion zunimmt, bis die Funktion bis +20 bis +30 mV steigt. Das Aktionspotential löst nun wiederum die Öffnung von spannungsgesteuerten Calcium-Kanälen aus, wodurch Calcium-Ionen in der Muskelfaser freigesetzt werden. Es kommt zu einer Anhäufung von Calcium-Ionen in der Muskelfaser. Dadurch steigt Calciumkonzentration, was die Kontraktion der Muskelfaser auslöst.

Noch bevor der Höhepunkt des Aktionspotentials erreicht ist, werden die Natriumkanäle inaktiv und positiv geladene Kalium strömen aus der Zelle. Das Potential nähert sich nach einer Hyperpolarisationsphase, während der das Potential unter das Ruhepotential von -80 mV fällt, wieder dem Ruhepotential an.

Die EMG-Messung findet in der Hochschule im Labor für Ergonomie statt. Die Daten werden mithilfe eines Programms von NORAXON ausgelesen und analysiert.



Abbildung 4.1: Mobilisation der Hüftinnen-Rotation [betterbodygroup.co.uk]

4 Ausgleichsübungen

Um mögliche vorhandene Ungleichgewichte auszugleichen, haben die Probanden in diesem Projekt drei Ausgleichsübungen trainiert. Diese dienen dem Muskelaufbau und sollen die Beweglichkeit verbessern.

4.1 Mobilisation in Hüftinnen-Rotation

Diese Übung dient dazu, die Beweglichkeit und Symmetrie der Hüftgelenke zu verbessern, insbesondere in der Innenrotationsbewegung.

4.1.1 Ausführung der Übung

- **Startposition:**

- Setzen Sie sich auf den Boden, die Beine vor Ihnen angewinkelt
- Die Fußsohlen zeigen nach oben, die Knie sind leicht gespreizt


- **Bewegung:**

- Lehnen Sie sich leicht nach hinten, stützen Sie sich mit den Händen ab (wie auf dem Bild rechts)
- Kippen Sie ein Knie nach innen, während das andere Bein möglichst stabil bleibt
- Halten Sie die Position für einige Sekunden, kehren Sie dann in die Ausgangsposition zurück und wechseln Sie die Seite

- **Wiederholungen:** Führen Sie die Übung langsam und kontrolliert aus. Jede Seite etwa 8–12 Wiederholungen, in 2–3 Sätzen

4.1.2 Ziel der Übung

- **Ausgleich von Rechts-Links-Defiziten:** Durch gezielte Mobilisation wird die Beweglichkeit der weniger beweglichen Seite verbessert.
- **Verbesserung der Hüftinnenrotation:** Diese Bewegung ist oft eingeschränkt, was zu Asymmetrien im Gangbild und bei sportlichen Aktivitäten führen kann.



img/Heel-down-bung.jpg

Abbildung 4.2: Caption

- **Prävention von Hüftproblemen:** Eine bessere Symmetrie der Hüftbewegungen beugt langfristig Überlastungen vor.

4.1.3 Was passiert im Körper?

- **Mobilisation der Hüftgelenkscapsel**

- Die Übung dehnt und mobilisiert die Gelenkkapsel der Hüfte in der Innenrotation
- Verkürzte oder verspannte Strukturen, wie das Ligamentum iliofemorale oder die Innenrotatoren, werden durch die kontrollierte Bewegung gedehnt.

- **Verbesserung der neuromuskulären Kontrolle:** Durch die kontrollierte Bewegung wird das Zusammenspiel zwischen Muskeln, die die Hüfte stabilisieren, und den Bewegungsmuskeln trainiert.

- **Symmetrie im Bewegungsapparat:** Rechts-Links-Defizite werden gezielt reduziert, was die Statik der gesamten unteren Extremitäten positiv beeinflusst.

- **Förderung der Durchblutung:** Durch die Bewegung wird die Durchblutung der umliegenden Strukturen verbessert, was die Regeneration und Beweglichkeit fördert.

4.2 Heel Down

Diese Übung wird in der Regel eingesetzt, um die Beinachse, Kraftkontrolle und Stabilität der unteren Extremitäten zu verbessern. Sie fokussiert insbesondere auf die Exzentrik der Muskulatur (kontrolliertes Absenken) und eignet sich ideal zur Behandlung von Dysbalancen zwischen den Beinen oder zur Rehabilitation.

4.2.1 Ausführung der Übung

- **Startposition:**

- Stellen Sie sich mit einem Fuß auf eine Erhöhung. Der andere Fuß hängt frei in der Luft.
- Der Körper ist aufrecht, Schultern entspannt und die Arme können seitlich hängen oder leicht zur Balance beitragen.

- **Bewegung:**

- Beugen Sie das Standbein kontrolliert, sodass der freie Fuß nach unten Richtung Boden sinkt.
- Halten Sie dabei die Hüfte und den Oberkörper gerade und stabil.
- Achten Sie darauf, dass die Bewegung langsam und kontrolliert erfolgt.
- Sobald der freie Fuß knapp über dem Boden schwebt, drücken Sie sich durch das Standbein wieder in die Ausgangsposition.

- **Wiederholungen:** Führen Sie pro Seite 10-15 Wiederholungen durch, in 2-3 Sätzen.

4.2.2 Ziel der Übung

- **Verbesserung der exzentrischen Kraft:** Die kontrollierte Abwärtsbewegung trainiert die Muskulatur, insbesondere Quadriceps, Gluteus und Waden, auf exzentrische Belastungen.
- **Stärkung der Beinachse:** Durch die isolierte Belastung wird die Stabilität des Standbeins gefördert, besonders in Knie und Hüfte.
- **Reduktion von Asymmetrien:** Die Übung kann helfen, Rechts-Links-Defizite in Kraft und Kontrolle auszugleichen.
- **Förderung der Balance und Propriozeption:** Da das Standbein stabilisiert, wird die Balance und die Wahrnehmung der Körperhaltung verbessert.

4.2.3 Was passiert im Körper?

- **Muskuläre Kontrolle:**

- Die exzentrische Belastung aktiviert den Quadriceps intensiv, der während des Absenkens die Bewegung kontrolliert.
- Unterstützende Muskeln wie Gluteus maximus und die Wadenmuskulatur helfen bei der Stabilisierung und Kraftentwicklung.

- **Knie- und Hüftstabilität:**

- Die Übung stärkt die muskulären und ligamentären Strukturen im Knie und in der Hüfte.
- Sie verbessert das Tracking der Patella (Kniescheibe) und reduziert das Risiko von Fehlbelastungen.

- **Verbesserung der Bewegungsqualität:** Die gezielte Kontrolle des Absenkens fördert die Koordination und die Präzision der Bewegung, was besonders im Alltag und bei sportlichen Aktivitäten hilfreich ist.

4.3 Mobilisation Sprunggelenk

Diese Übung dient der Mobilisation des oberen Sprunggelenks (Dorsalflexion) und der Verbesserung der Beweglichkeit und Stabilität im Fuß- und Knöchelbereich. Sie ist besonders hilfreich, um Bewegungseinschränkungen in der Dorsalflexion zu beheben, die oft Ursache für Knie- oder Hüftprobleme sind.

4.3.1 Ausführung der Übung:

- **Startposition:**

- Gehen Sie in den Kniestand
- Ein Bein ist aufgestellt, der Fuß steht fest auf dem Boden, während das andere Knie am Boden ruht.
- Die Hände umfassen den Fuß des aufgestellten Beins, um ihn zu stabilisieren.

- **Bewegung:**

- Beugen Sie das vordere Knie langsam nach vorne, sodass Sie das Sprunggelenk in die Dorsalflexion bringen (wie auf dem rechten Bild).
- Achten Sie darauf, dass die Ferse des vorderen Fußes fest am Boden bleibt.
- Halten Sie die Position für einige Sekunden und kehren Sie langsam in die Ausgangsposition zurück.

- **Wiederholungen:** Führen Sie 8-12 Wiederholungen pro Bein durch, in 2-3 Sätzen.

4.3.2 Ziel der Übung

- **Verbesserung der Sprunggelenk-Mobilität:** Insbesondere der Dorsalflexion, die für viele Bewegungen wie Gehen, Laufen und Kniebeugen entscheidend ist.
- **Stabilisierung des Fußes:** Förderung der Kontrolle und Belastungsfähigkeit im Sprunggelenk.
- **Prävention und Rehabilitation:** Vermeidung von Kompensationsbewegungen in Knie und Hüfte durch eingeschränkte Sprunggelenksmobilität.

4.3.3 Was passiert im Körper?

- **Mobilisation des oberen Sprunggelenks:**

- Die Bewegung trainiert die Gelenkkapsel und dehnt die Wadenmuskulatur
- Gleichzeitig wird das Ligamentum talofibulare anterius (vorderes Band) mobilisiert, wodurch die Gelenkmechanik optimiert wird.

- **Verbesserung der Dorsalflexion:** Einschränkungen können durch Verkürzungen der Wadenmuskulatur oder steife Gelenkstrukturen entstehen. Die Übung hilft, diese Blockaden zu lösen.

- **Förderung der Gelenkmechanik:** Eine bessere Mobilität im Sprunggelenk führt zu einer korrekten Belastung der Knie und Hüfte, wodurch Fehlstellungen und Überbelastungen vermieden werden.

-
- -

4.4 Auswertung

5 Fazit

6 Anhang