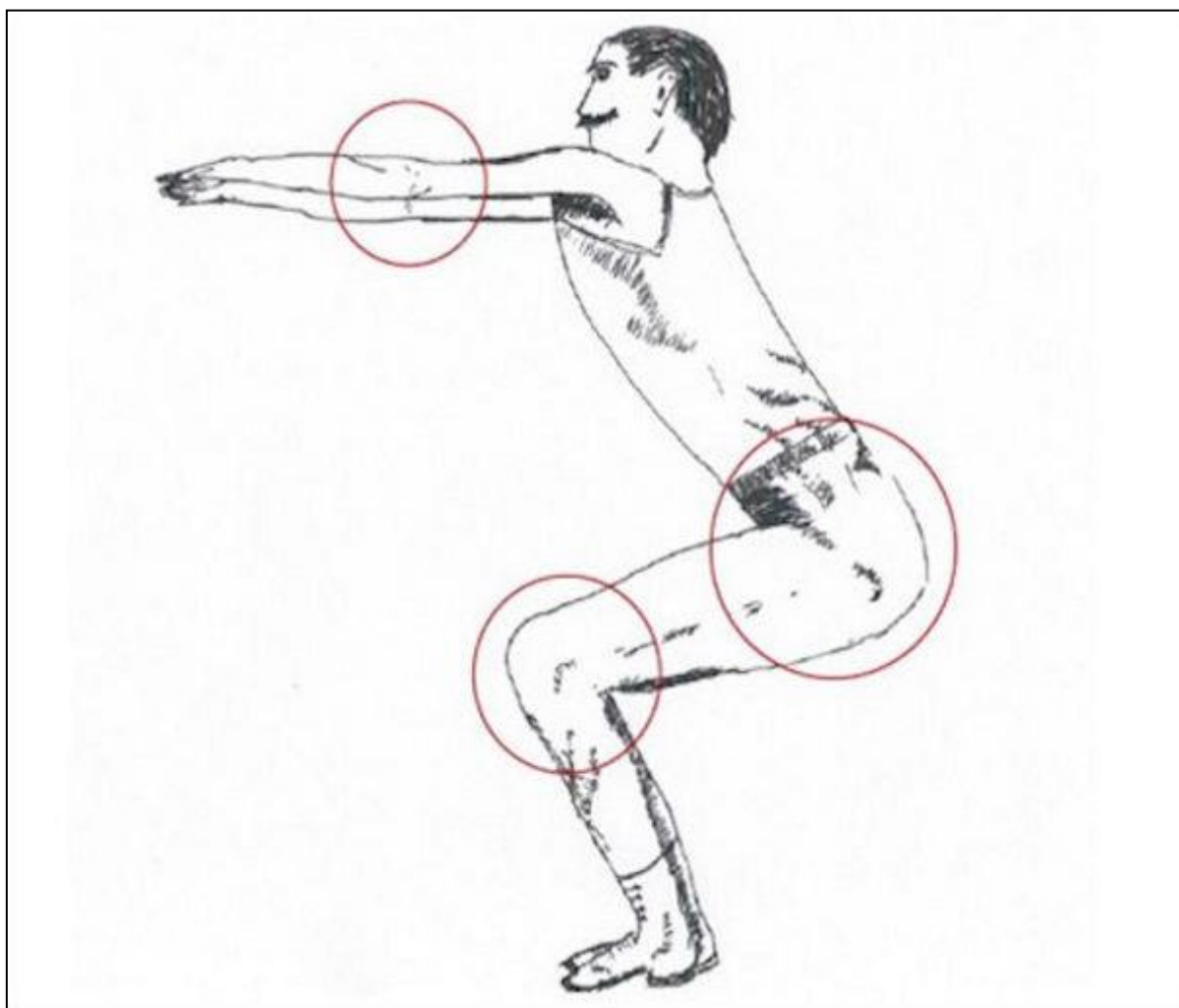


# BESTIMMUNG DER GELENK- KRÄFTE ALS ANWENDUNG DER HEBELGESETZE



## Übersicht

- **Einleitung**
- **Hinführung Momentengleichgewicht**
  - Aufbau und Funktionsweise des Kniegelenks
- **Bestimmung der im Knie übertragenen Kräfte**
  - Berechnung Momentengleichgewicht
  - Berechnung Kräftegleichgewicht
- **Bei einer statischen Kniebeuge wirkende Kräfte**
  - Berechnung Momentengleichgewicht
  - Berechnung Kräftegleichgewicht
- **Fazit**
- **Quellenverzeichnis**

## Einleitung

Aus dem Bericht „Verletzungen und deren Folgen – Prävention als ärztliche Aufgabe“ (Hrsg. Bundesärztekammer 2001) geht hervor, dass die Sportarten mit den häufigsten Unfallfolgen Fußball, Ski-Alpin und Inlineskaten sind. Die daraus resultierenden Verletzungen liegen mit bis zu 28% in der Kniegelenksregion. Damit liegt das Kniegelenk an der Spitze der Sportverletzungen. Drastischere Zahlen weist der Artikel von Steinbrück und Cotta in der „Zeitschrift für Mediziner“ von 1983 auf. Hier liegen noch 46,8% aller Verletzungen beziehungsweise Überlastungsschäden im Bereich des Kniegelenkes.

Ein Trend ist zu erkennen. So kann man aus aktuellsten Studien erkennen, dass Verletzungen am Sprunggelenk häufiger auftreten als Verletzungen am Kniegelenk. Dafür könnte der Trendwechsel von den klassischen Sportarten hin zu den modernen Trendsportarten wie „Parkour“ oder „Speedminton“ verantwortlich sein. Sprunggelenksverletzungen sind hier durch Umknicken an der Tagesordnung. Andererseits könnte das Thema der sportlichen Aufklärung eine wichtige Rolle für die Verschiebung der Sportverletzungen spielen. Dabei geht es um das ganzheitliche Training, sowie das Verständnis für Körperstrukturen und deren Biomechanik. Im Bereich der Gelenke, betrifft das hauptsächlich die dort herrschenden Gelenkkräfte. Im Rahmen dieser Ausarbeitung werden die Gelenkkräfte am Beispiel des Kniegelenkes bestimmt und bewertet.

## Hinführung Momentengleichgewicht

Um die Funktionsweise des menschlichen Skelettes im Zusammenspiel mit den Muskeln verstehen zu können, müssen die Eigenschaften der Kräfte und insbesondere die Eigenschaften des Drehmoments bekannt sein. „Wenn eine Kraft aus einem gewissen Abstand (l) auf einen Punkt einwirkt, übt sie im Hinblick auf den Punkt ein gewisses Drehmoment aus. Das Drehmoment wird mit dem Buchstaben (M) bezeichnet und folgendermaßen berechnet: die Größe der Kraft (F) wird mit der Länge des Hebels (l) multipliziert.  $M = F \cdot l$ . Das Drehmoment ist somit das Produkt aus einer Kraft und der senkrechten Entfernung zu seiner Achse.“<sup>1</sup> Sobald ein Drehmoment wirkt, gerät das System in Rotation. Auf den menschlichen Körper bezogen bedeutet das, dass eine Kraft, die auf einen Punkt des Körpers wirkt, den Körper unmittelbar in Rotation versetzt. Da der menschliche Körper gewillt ist, in Ruhe zu bleiben, muss ein weiteres System entgegenwirken. Das Ziel ist ein Momentengleichgewicht zu erreichen. Hierfür bedarf es der Bestimmung des Last- und des Kraftarms. In einem System, in dem eine Kraft mit einem Abstand auf einen Punkt wirkt, steht der Abstand

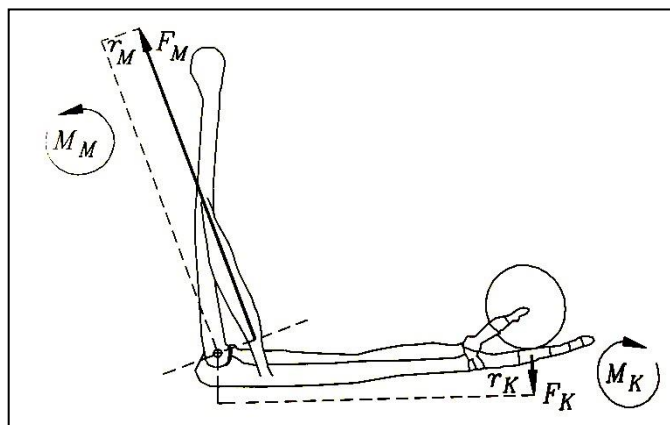


Abb. 1: Momentengleichgewicht. <sup>2</sup>

<sup>1</sup> \_vgl. Wirhed, 2011, 36

<sup>2</sup> vgl. Kassat, 1993, 99

für den Lastarm und die Kraft für die Last. Der Abstand im entgegenwirkenden System bildet den Kraftarm und die Kraft wird weiter als Kraft definiert. Sobald beide Systeme mit dem gleichen Produkt in entgegengesetzter Drehrichtung wirken, herrscht ein Momentengleichgewicht. Last ( $F$ ) • Lastarm ( $l$ ) = Kraft ( $F_2$ ) • Kraftarm ( $l_2$ ). Im Beispiel (Abb. 1) wirkt die Kugel (FK) mit ihrer Gewichtskraft als Last in Verbindung mit dem Lastarm ( $r_K$ ) in Form des Unterarmknochens als Drehmoment auf den Ellbogen. Da die Kugel in Ruhe bleiben soll, muss ein weiteres Drehmoment entgegenwirken. So sorgen die Kraft ( $F_M$ ), in Form der Muskelkraft, der Kraftarm ( $r_M$ ) und der senkrechte Abstand zu der Drehachse als Gegendrehmoment für den Momentenausgleich. In diesem Beispiel lässt sich schon erkennen, welche enorme Muskelkraft ( $F_M$ ) aufgebracht werden muss, um den kleinen Kraftarm ( $r_M$ ) auszugleichen.

### Aufbau und Funktionsweise des Kniegelenks

Das Kniegelenk befindet sich zwischen dem Oberschenkelknochen (Femur) und den beiden Unterschenkelknochen (Fibula und Tibia). Da das Gelenk eine Kombination aus Scharniergelenk und Zapfengelenk ist, ist es möglich das Bein zu flektieren sowie den Unterschenkel zu pronieren und zu suppinieren.<sup>3</sup> „Die Bewegungen im Knie können auf zwei verschiedene Arten ablaufen. Der Oberschenkelkopf (Femur) rollt auf dem Schienbein (Tibia) nach hinten, oder der Oberschenkelknochen gleitet auf dem gleichen Punkt auf dem Schienbein.“<sup>4</sup> Für die Beugung des Oberschenkels sowie die Streckung des Unterschenkels ist der musculus rectus femoris zuständig. Er ist einer von vier Muskeln des Muskelbündels musculus quadriceps femoris. Er hat seinen Ursprung am Becken und setzt an der Kniescheibe (Patella) an. Die Kniescheibe wiederum ist durch die Patellasehne mit der Rauigkeit des Schienbeines verbunden. Das bedeutet, dass die Kraft des m. rectus femoris um das Kniegelenk hin zum Schienbein herumgeleitet wird. Die Kniescheibe hat dabei zwei wesentliche Aufgaben: Zum einen dient sie als kraft-umlenkende Rolle und zum anderen vergrößert sie den Hebelarm des Muskels.<sup>6</sup> Der Vorteil einer kraftumlenkenden, festen Rolle ist, dass die Krafrichtung variiert werden kann. Die aufzubringende Kraft selbst bleibt jeder Zeit dieselbe.

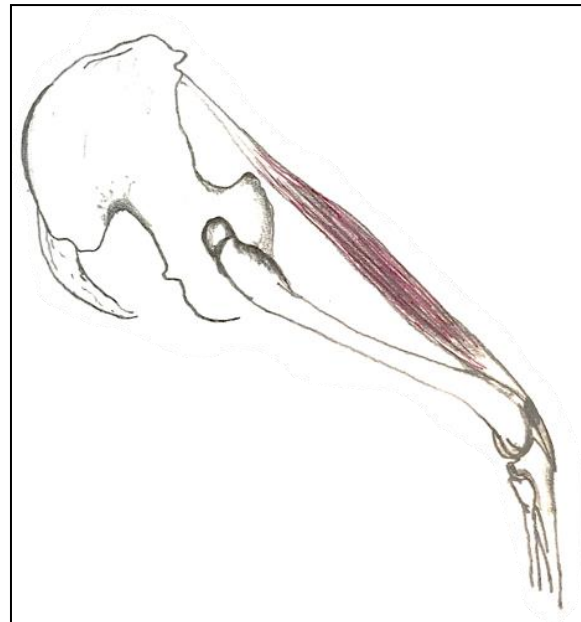


Abb.2: Aufbau Kniegelenk<sup>5</sup>

Die Kniescheibe wiederum ist durch die Patellasehne mit der Rauigkeit des Schienbeines verbunden. Das bedeutet, dass die Kraft des m. rectus femoris um das Kniegelenk hin zum Schienbein herumgeleitet wird. Die Kniescheibe hat dabei zwei wesentliche Aufgaben: Zum einen dient sie als kraft-umlenkende Rolle und zum anderen vergrößert sie den Hebelarm des Muskels.<sup>6</sup> Der Vorteil einer kraftumlenkenden, festen Rolle ist, dass die Krafrichtung variiert werden kann. Die aufzubringende Kraft selbst bleibt jeder Zeit dieselbe.

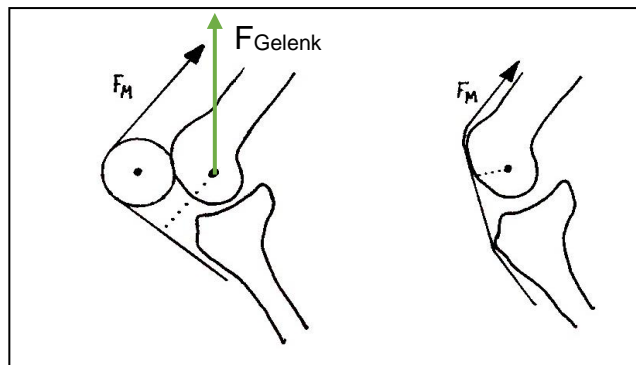


Abb.3: Funktionen der Kniescheibe<sup>7</sup>

3, 4, 5 vgl. Wirhed, 2011, 55

6, 7 vgl. Hüter-Becker, Dölken 2005, 55

Zerlegt man diese Kraft in ihre Einzelteile anhand des Kräfteparallelogramms, so erhält man die Gewichtskraft ( $F_G$ ), die Seilkraft ( $F$ ) und die Kraft, mit der die Umlenkrolle auf das Seil wirkt ( $F_U$ ). Anhand des folgenden Beispiels (Abb.4) erkennt man, wie die Kraft ( $F_U$ ) mit zunehmender Umlenkung größer wird und mehr Kraft auf das Seil ausübt. Sie wird dabei wesentlich größer als die Seilkraft ( $F$ ). Die Gewichtskraft und die Seilkraft sind in allen Varianten gleich groß.<sup>8</sup>

Diese Erkenntnis kann man direkt auf die Belastungen der Kniescheibe anwenden. Das hier betrachtete Seil entspricht der Kombination Patellasehne – Patella – Quadricepssehne. Bei gebeugten Knie und der Kontraktion des m. rectus femoris erfährt die Kniescheibe die oben genannte Umlenkkraft ( $F_U$ ). Je mehr das Knie

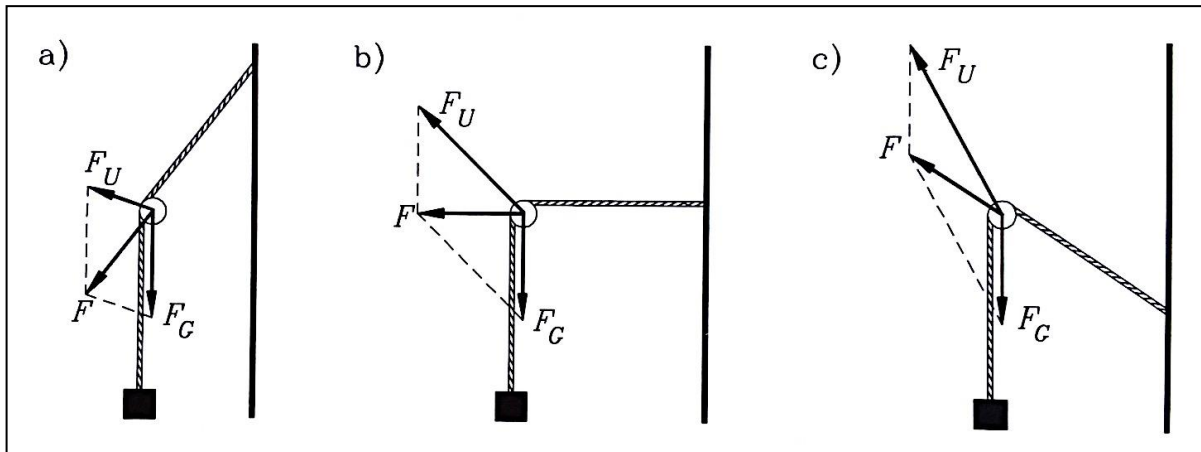


Abb.4: Funktionsweise einer Umlenkrolle.<sup>9</sup>

gebeugt ist, desto größer wird die Umlenkkraft und die Belastung gegen die Kniescheibe. Um die Stabilität und Festigkeit im Gelenk gewährleisten zu können, muss die Gelenkkraft  $F_{\text{Gelenk}}$  (Abb. 3) mit gleicher Intensität entgegenwirken.

## Bestimmung der im Knie übertragenen Kräfte

Die Gewichtskraft greift, so wie alle anderen Kräfte auch, im Schwerpunkt des jeweiligen Körpers an. Gleiches gilt auch beim Menschen. Für die Bestimmung der Kräfte im Kniegelenk ist die Gewichtskraft von großer Bedeutung. Allerdings belastet nicht die gesamte Gewichtskraft des Körpers das Kniegelenk. Aus diesem Grund wird die Gesamtgewichtskraft um die Gewichtskraft unterhalb des Knies reduziert. Das durchschnittliche Gewicht eines Unterschenkels samt Fuß wird zweifach von dem Durchschnittsgewicht eines Mannes subtrahiert (Hrsg. statistisches Bundesamt).  $84\text{KG} - (2 \cdot 7\text{KG}) = 70\text{KG}$ . Da die Unterschenkel in der Berechnung eine untergeordnete Rolle spielen, sind sie für den Körperschwerpunkt (S) ebenfalls nicht mehr von Bedeutung. Das hat zur Folge, dass sich dieser weiter nach oben in den Bereich des Brustkorbs verlagert. In dem Schwerpunkt greift also die Gewichtskraft ( $G_{\text{RO}} = \text{Gewichtskraft Rumpf/ Ober-schenkel}$ ) von 70KG oder

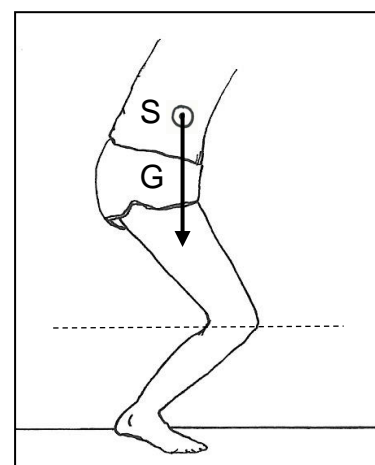
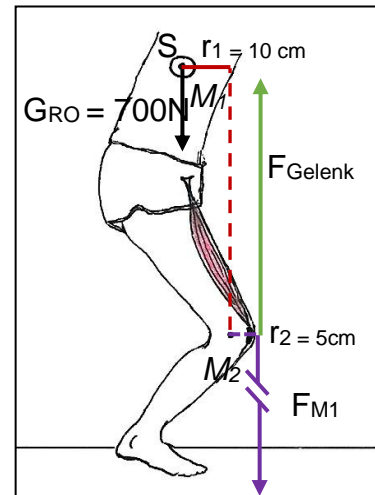


Abb.5: Körperschwerpunkt.<sup>10</sup>

8, 9 vgl. Kassat, 1993, 24

10 vgl. Wirhed, 20013, 59

700Newton (N) an. Das Beispiel (Abb. 4+5) zeigt eine leicht gebeugte Körperhaltung, wie sie beim Inlineskaten typisch ist. Das Kniegelenk weicht so von der Körperbewegungsachse ab. Dadurch entsteht ein Hebelarm. Dieser Hebelarm ( $r_1$ ) bildet mit der Gewichtskraft (GRO) das Drehmoment ( $M_1$ ). Da nun der Schwerpunkt hinter der Bewegungsachse der Knie liegt, droht der Körper in sich zusammenzusinken. So müssen die Kniestrecke (quadriceps femoris) so stark angespannt werden, dass sie gemäß des Wipp Prinzips der Gewichtskraft trotzen können (vgl. Wirhed, 20013, 59). Hierzu bedarf es allerdings eines zweiten entgegengesetzten Drehmoments ( $M_2$ ). Dies bildet sich aus der Muskelkraft des m. rectus femoris ( $FM_1$ ) und dem Hebelarm ( $r_2$ ), der aus der anatomischen „Umlenkrolle“ entsteht. Anhand des kleinen Hebelarms ( $r_2$ ) erkennt man, dass die Muskelkraft ( $FM_1$ ) sehr groß sein muss, um ein Momentengleichgewicht herstellen zu können. Der Hebelarm ( $r_1$ ) wird hier mit 10cm und der Hebelarm ( $r_2$ ) mit 5cm Länge angenommen.


 Abb.6: Kräfte im Kniegelenk. <sup>11</sup>

Daraus resultieren folgende Berechnungen:

#### Berechnung Momentengleichgewicht:

$$\begin{aligned}
 M_1 &= M_2 \\
 (GRO/2) \cdot r_1 &= FM_1 \cdot r_2 \\
 (GRO/2) \cdot (r_1/r_2) &= FM_1 \\
 (700N/2) \cdot (10cm/5cm) &= FM_1 \\
 350N \cdot 2 &= FM_1 \\
 700N &= FM_1
 \end{aligned}$$

#### Berechnung Kräftegleichgewicht:

$$\begin{aligned}
 FGelenk &= (GRO/2) + FM_1 \\
 FGelenk &= (700N/2) + 700N \\
 FGelenk &= 350N + 700N \\
 FGelenk &= 1050N
 \end{aligned}$$

<sup>11</sup> vgl. Wirhed, 20013, 59



## Bei einer statischen Kniebeuge wirkende Kräfte

Bei einer statischen Kniebeuge verharrt der Sportler in der niedrigsten Position der dynamischen Kniebeuge. Diese Position entspricht der Rennposition eines Ski-Alpin Läufers. Auch hier werden die Gewichtskräfte unterhalb des Knies von der Gesamtgewichtskraft subtrahiert, da sie das Kniegelenk nicht belasten. Daraus resultiert eine Gewichtskraft von 700N, die im Körperschwerpunkt greift. Der Hebelarm ( $r_3$ ), der aus der extremen Position heraus entsteht, wirkt gemeinsam mit der Gewichtskraft ( $GRO$ ) als Drehmoment ( $M_3$ ) auf das Kniegelenk. Das entgegenwirkende Drehmoment ( $M_4$ ) entsteht aus der Muskelkraft ( $FM_2$ ) und dem Hebelarm ( $r_4$ ). Der Hebelarm ( $r_3$ ) wird hier mit 30cm und der Hebelarm ( $r_4$ ) mit 5cm angenommen.

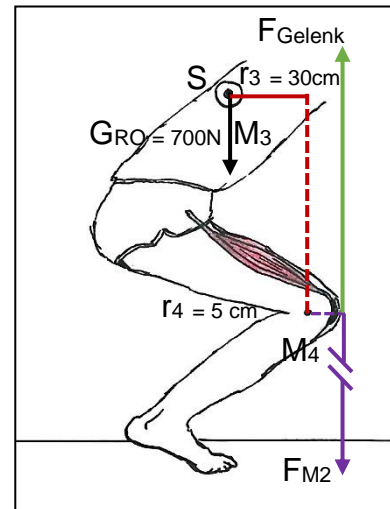


Abb.7: statische Kniebeuge <sup>12</sup>

Daraus entstehen folgende Rechnungen:

### Berechnung Momentengleichgewicht:

$$\begin{aligned}
 M_3 &= M_4 \\
 (GRO/2) \cdot r_3 &= FM_2 \cdot r_4 \\
 (700N/2) \cdot (30cm/5cm) &= FM_2 \\
 350N \cdot 6 &= FM_2 \\
 2100N &= FM_2
 \end{aligned}$$

### Berechnung Kräftegleichgewicht:

$$\begin{aligned}
 FGelenk &= (GRO/2) + FM_2 \\
 FGelenk &= (700N/2) + 2100N \\
 FGelenk &= 350N + 2100N \\
 FGelenk &= 2450N
 \end{aligned}$$

<sup>12</sup> vgl. Wirhed, 20013, 59

## Fazit

Aus der Erläuterung der Funktionsweise einer einfachen, festen Rolle geht bereits hervor, dass die Umlenkraft bei zunehmender Umlenkung ebenfalls zunimmt. Auf das Kniegelenk übertragen bedeutet das eine sehr hohe Belastung der Patella sowie enorm große Druckkräfte, die auf die Knochen Femur und Tibia wirken. So kann man sagen, dass die Ergebnisse der Berechnungen (siehe S.8) diese These bestätigen. Die Berechnungen geben Aufschluss darüber wie groß die Belastung im Kniegelenk schon bei leicht gebeugten Knien ist. Das Ergebnis des Momentengleichgewichts des ersten Beispiels (siehe S.8) zeigt auf, dass der musculus rectus femoris in leicht gehockter Position eine Kraft von 700N aufbringen muss, um den Körper stabil halten zu können. Das entspricht 70KG. Das führt zu einer Kraft von 1.050N im Kniegelenk. Im Beispiel der statischen Kniebeuge (siehe S.9), ist die Umlenkung der Kombination Patellasehne – Patella – Quadricepssehne deutlich stärker. So entsteht ein viel größerer Hebelarm des agierenden Drehmoments, was eine deutlich stärkere Belastung des Kniegelenks zur Folge hat. Der Oberschenkelmuskel (m. rectus femoris) muss hier eine Kraft von 2.100N aufbringen, um die Körperstabilität zu wahren. Die Kräfte im Kniegelenk belaufen sich auf 2.450N. Das bedeutet, dass bei einer statischen Kniebeuge mehr als 300% des Körpergewichts (abz. Gewichtskraft unterhalb des Knies) auf die jeweiligen Kniegelenke wirken. Aus den Berechnungen geht ebenfalls hervor, dass die Belastung der Kniegelenke bei gestrecktem Bein deutlich geringer ist. Das heißt nicht, dass die Kniegelenke im geraden Stand nicht belastet werden. Sie erfahren keine Gelenkkraft allerdings natürlich eine Gewichtskraft. Zwischen diesen beiden Kräften ist deutlich zu unterscheiden. Die Berechnungen machen deutlich, dass die Gewichtskraft lediglich eine Komponente der Gelenkkraft ist.

Die Gewichtskraft ist demnach nur zweitrangig, wenn es um die Ursache der Belastung von Kniegelenken geht. Die Hauptbelastung erzeugt die enorm hohe Anspannung der gelenkumgebenden Muskulatur, die den Körper im Gleichgewicht hält. Genau diese Anspannung entsteht bei stark gebeugten Knien und im Beispiel des Ski-Alpins findet sie sogar als Dauerbelastung statt. Die Läufer halten die Position von bis zu 90° im Kniegelenk nahezu 3 Minuten lang. Hier wirken also bis zu 3 Minuten lang über 300% des gesamten Körpergewichtes in jedem der beiden Kniegelenke. Im Bereich des Inlineskatens ist zwar der Winkel im Kniegelenk nicht so klein wie bei den Ski-Alpin Läufern, jedoch wird die Position hier wesentlich länger gehalten. Zudem wirkt die Gewichtskraft mit einhergehendem Drehmoment durch das abwechselnde Abstoßen und Schwingen zeitweise nur auf einem der beiden Kniegelenke. So lässt sich die hohe Verletzungsrate des Kniegelenks bei diesen Sportarten auf die extrem hohe Belastung des Gelenks zurückführen. Die Ursache für die hohe Verletzungsrate des Kniegelenks im Fußball ist jedoch nicht in der hohen Belastung des Gelenks zu finden. Eher wird die Ursache hier der Körperkontakt mit dem Gegner sowie das Verdrehen des Knies durch „Hängenbleiben“ mit den Stollen und den daraus resultierenden Scherkräften sein.

Dennoch ist ein Schaden im Sprunggelenk heute die häufigste Sportverletzung. Der Wechsel weg von den klassischen Sportarten, hin zu den Trendsportarten ist im vollem Gange. Dadurch wird sich auch das individuelle Training, die Körperbelastung und die damit verbundenen Verletzungen verschieben. Das macht eine Aufklärung der Sportler im ganzheitlichen Training umso essentieller.



## Quellenverzeichnis

### Literatur

Autor	Literaturname	Erscheinungsort	Erscheinungsjahr	Verlag
Steinbrück, K Cotta, H.	Zeitschrift für Sport- medizin	Augsburg	1983	Dynamic Media Sales
Wirhed, R.	Sportanatomie & Bewegungslehre	Stuttgart	2011	Schattauer
Hüter- Becker, A. Dölken, M.	Biomechanik, Bewe- gungslehre, Leis- tungsphysiologie, Trainingslehre	Stuttgart	2005	Thieme
Kassat, G.	Biomechanik für nicht Biomechaniker	Rödinghausen	1993	Fitness- Contur-Verlag

### Abbildung / Foto

Nummer	Urheber
1, 4	Kassat, 1993 – angepasst Wetzel
2	Wirhed, 2011 – angepasst Wetzel
3	Hüter-Becker/ Dölken, 2005 – angepasst Wetzel
5,6,7, Titelbild	Wetzel, 2017

### Urheber des Beitrages

Autor	Berater	Institution
Johannes Wetzel / Lehramtsstudent	Minnich, Marlis	Institut für Sportwissenschaft, Universi- tät Koblenz- Landau, Campus Koblenz