

# Untere Extremität IV

## Kniegelenk, Fuss

David P. Wolfer  
Institut für Bewegungswissenschaften und Sport, D-HEST, ETH Zürich  
Anatomisches Institut, Medizinische Fakultät, Universität Zürich

376-0905-00 Funktionelle Anatomie, Di 16.04.2024 16:15

### Funktionelle Anatomie

des menschlichen Bewegungsapparates  
Vorlesung 376-0905-00  
Frühjahrssemester 2024

Hörsaal Y15-G60, Universität Zürich-Irchel, Winterthurerstrasse 190  
Zeit Dienstag 16:15-18:00  
Dozierende I. Amrein (Am), D.P. Wolfer (Wo)

Datum/Woche	Dozent	Thema
20.02.24	1 Wo	Allgemeine Anatomie I
27.02.24	2 Wo	Allgemeine Anatomie II
05.03.24	3 Wo	Allgemeine Anatomie III
12.03.24	4 Wo	Allgemeine Anatomie IV
19.03.24	5 Wo	Untere Extremität I
26.03.24	6 Wo	Untere Extremität II
02.04.24		keine Vorlesung (Osterferien)
09.04.24	7 Wo	Untere Extremität III
➔ 16.04.24	8 Wo	Untere Extremität IV
23.04.24	9 Wo	Rumpf I
30.04.24	10 Wo	Rumpf II
07.05.24	11 Am	Obere Extremität I
14.05.24	12 Am	Obere Extremität II
21.05.24	13 Am	Obere Extremität III
28.05.24	14	keine Vorlesung (Reservetermin)

# Bewegungen im Kniegelenk

- **Zusammengesetztes Gelenk**
  - Femoropatellargelenk: planes Gelenk, Bewegung durch Gelenkgeometrie eingeschränkt auf 1 FG der Translation, durch Patellarsehne gekoppelt an Flexion / Extension
  - Femorotibialgelenk: bikondyläres Gelenk, Bandführung → 2 FG der Rotation, keine freie Translation
- **Flexion / Extension**
  - Flexion: 130°, passiv bis 150° limitiert durch Weichteile
  - Extension: 0-5°, limitiert va durch Kollateralbänder
  - durch Kreuzbänder geführte Roll/Scharnierbewegung
  - ähnlicher Umfang wie Hüftgelenk
- **Schlussrotation**
  - 5-10° Innenrotation des Femurs bei vollständiger Streckung des Standbeins: «Einrasten» in stabiler Streckstellung wie «Bajonettverschluss» (via Trochanter major tastbar)
  - passives Phänomen, erzwungen durch Gelenkgeometrie
- **Aussen- / Innenrotation**
  - Aussenrotation: 40°
  - Innenrotation: 10° (zusätzlich limitiert durch Kreuzbänder)
  - Rotation nur in Flexionsstellung möglich

	Flexion	Extension	Aussenrotation	Innenrotation
M. gracilis <sup>1</sup>	++			+
M. sartorius <sup>1</sup>	+			++
M. semitendinosus <sup>1,2</sup>	+++			++
M. semimembranosus <sup>2</sup>	+++			++
M. biceps femoris <sup>2</sup>	+++		++	
M. gluteus maximus		+ <sup>4</sup>	+	
M. tensor fasciae latae		+ <sup>4</sup>	+	
M. rectus femoris <sup>3</sup>		+++		
M. vastus medialis <sup>3</sup>		+++		
M. vastus lateralis <sup>3</sup>		+++		
M. vastus intermedius <sup>3</sup>		+++		
M. popliteus	+			+
M. gastrocnemius	+			
M. plantaris <sup>5</sup>	(+)			

<sup>1</sup> Ansatz = Pes anserinus

<sup>2</sup> ischiokrurale Muskeln

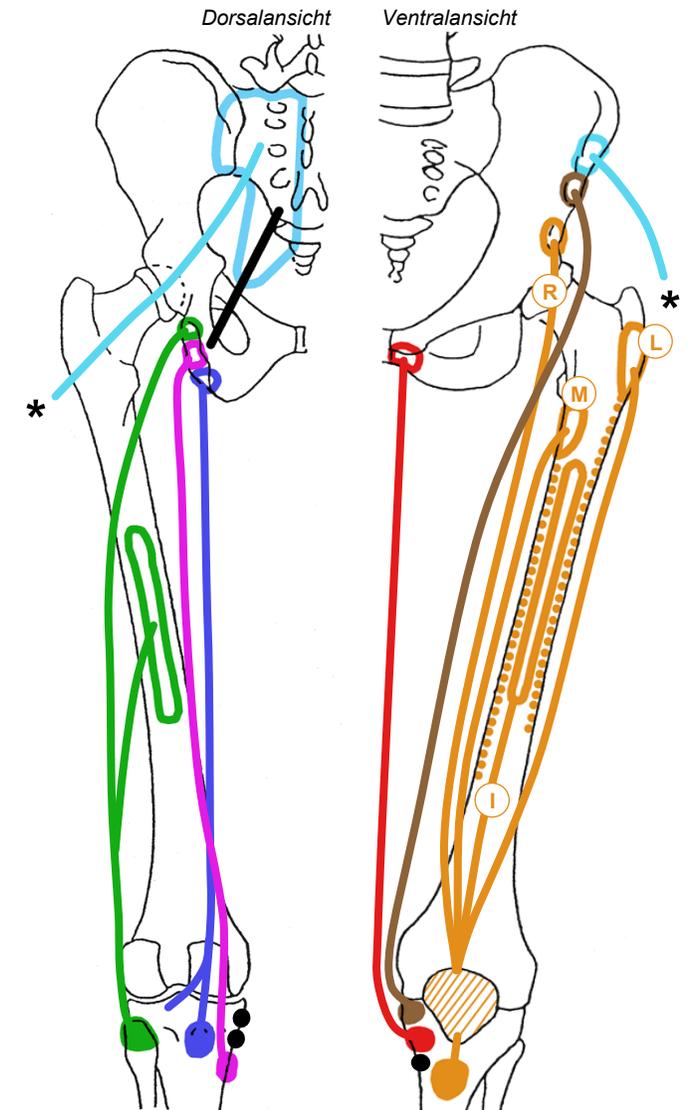
<sup>3</sup> zusammen = M. quadriceps femoris

<sup>4</sup> nur Stabilisation der Streckstellung via Tractus iliotibialis, M. quadriceps femoris einziger Strecker

<sup>5</sup> Wirkung vernachlässigbar

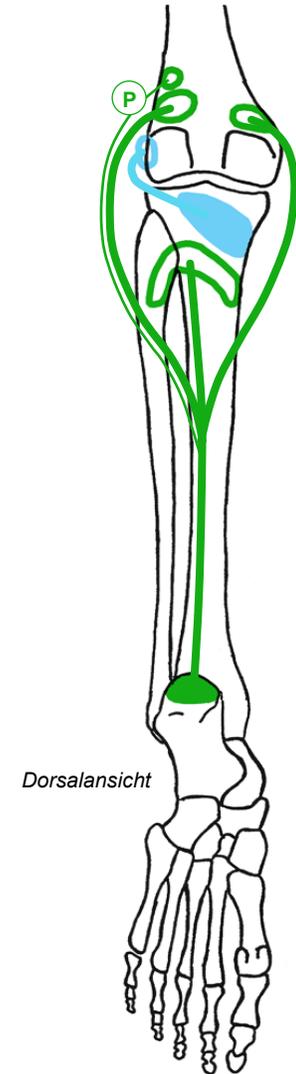
# Kniegelenksmuskeln an Hüfte und Oberschenkel

- M. gluteus maximus, M. tensor fasciae latae @
  - via \*Tractus iliotibialis lateral und in Extension leicht ventral des Kniegelenks
- M. quadriceps femoris (vierköpfiger Oberschenkelmuskel) @ siehe auch Hüftgelenk
- R** M. rectus femoris: 2-gelenkig @
- M** ○**I** ○**L** M. vastus medialis-intermedius-lateralis (innerer-mittlerer-äusserer Schenkelmuskel): 1-gelenkig  
Femur dorsal & ventral → Patellarsehne & Retinacula patellae
  - grösster Muskel des Menschen
  - gemeinsame Endsehne ventral des Kniegelenks
- M. sartorius@
- M. gracilis@
  - medial des Kniegelenks, mit Flexion leicht dorsal des Kniegelenks
- Ischiokrurale Muskelgruppe @
- Mm. semitendinosus & semimembranosus:  
dorsal und medial des Kniegelenks, Sehnen in Kniekehle tastbar
- M. biceps femoris:  
dorsal und lateral des Kniegelenks, Sehne in Kniekehle gut tastbar



# Kniegelenksmuskeln am Unterschenkel

- **M. popliteus (Kniekehlenmuskel)**
  - sehnig lateraler Femurkondylus → fleischig Dorsalfläche des medialen Tibiakondylus
  - verläuft lateral des Kniegelenks schräg von proximal-ventral nach distal-dorsal, Sehne zwischen lateralem Kollateralband und Gelenkkapsel
- **M. gastrocnemius (Zwillingswadenmuskel)**
  - Dorsalfläche des Femurs kranial der Femurkondylen (medial: Caput mediale, lateral: Caput laterale) (innerer und äußerer Wadenmuskel) → via Achillessehne am Calcaneus (Fersenbein), mehrgelenkig
  - dorsal des Kniegelenks
  - bildet mit M. soleus (Schollenmuskel, ohne Wirkung auf Kniegelenk) den M. triceps surae (dreiköpfiger Wadenmuskel)
- Ⓟ **M. plantaris (langer Sohlenmuskel)**
  - begleitet Caput laterale des M. gastrocnemius
  - funktionell unbedeutend, inkonstant, Material für Rekonstruktionen von Sehnen oder Bändern



# Kniegelenksmuskeln am Querschnitt

## ⓪V ventrale Oberschenkelloge

▨ M. rectus femoris (oberflächlich)

▨ ▨ ▨ M. vastus lateralis-intermedius-medialis

▨▨▨ M. sartorius (oberflächlich)

## ⓪M mediale Oberschenkelloge

■ M. gracilis (oberflächlich)

## ⓪D dorsale Oberschenkelloge

▨▨ M. biceps femoris (lateral)

▨▨ M. semitendinosus (intermediär)

▨▨ M. semimembranosus (medial)

## ⓪U oberflächliche dorsale Unterschenkelloge

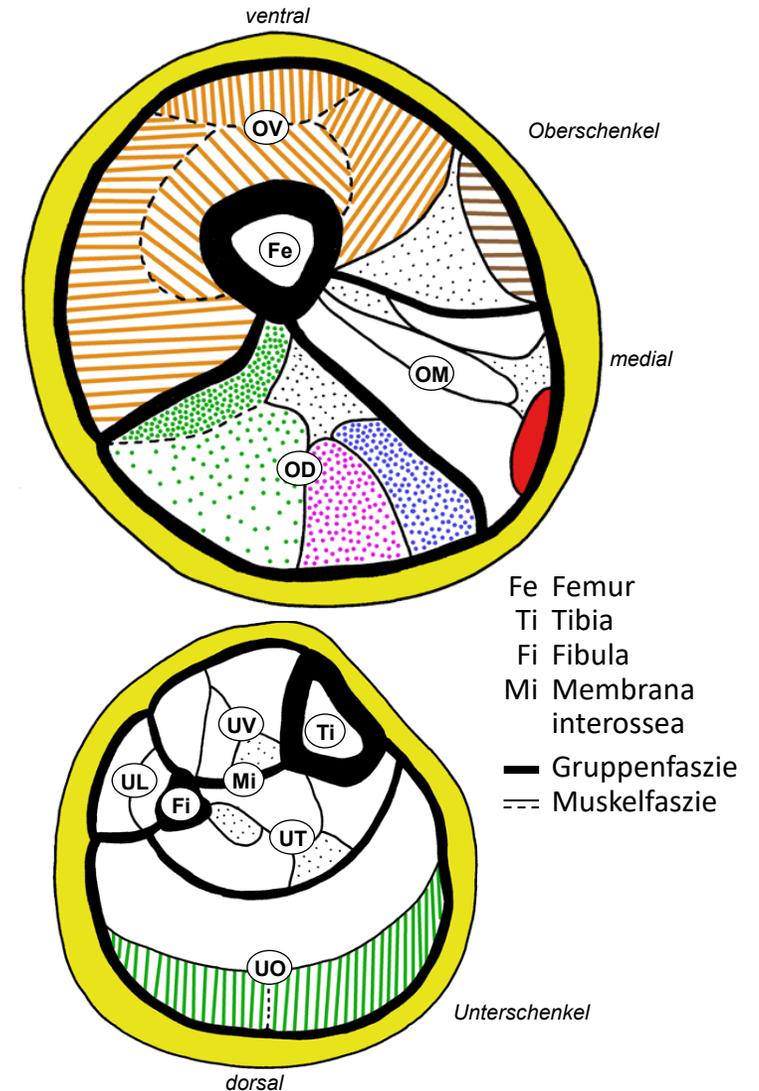
▨▨▨ M. gastrocnemius (oberflächlich)

## ⓪T tiefe dorsale Unterschenkelloge

## ⓪L laterale Unterschenkelloge

## ⓪V ventrale Unterschenkelloge

- nur extrinsische Fußmuskeln ohne Wirkung auf Kniegelenk



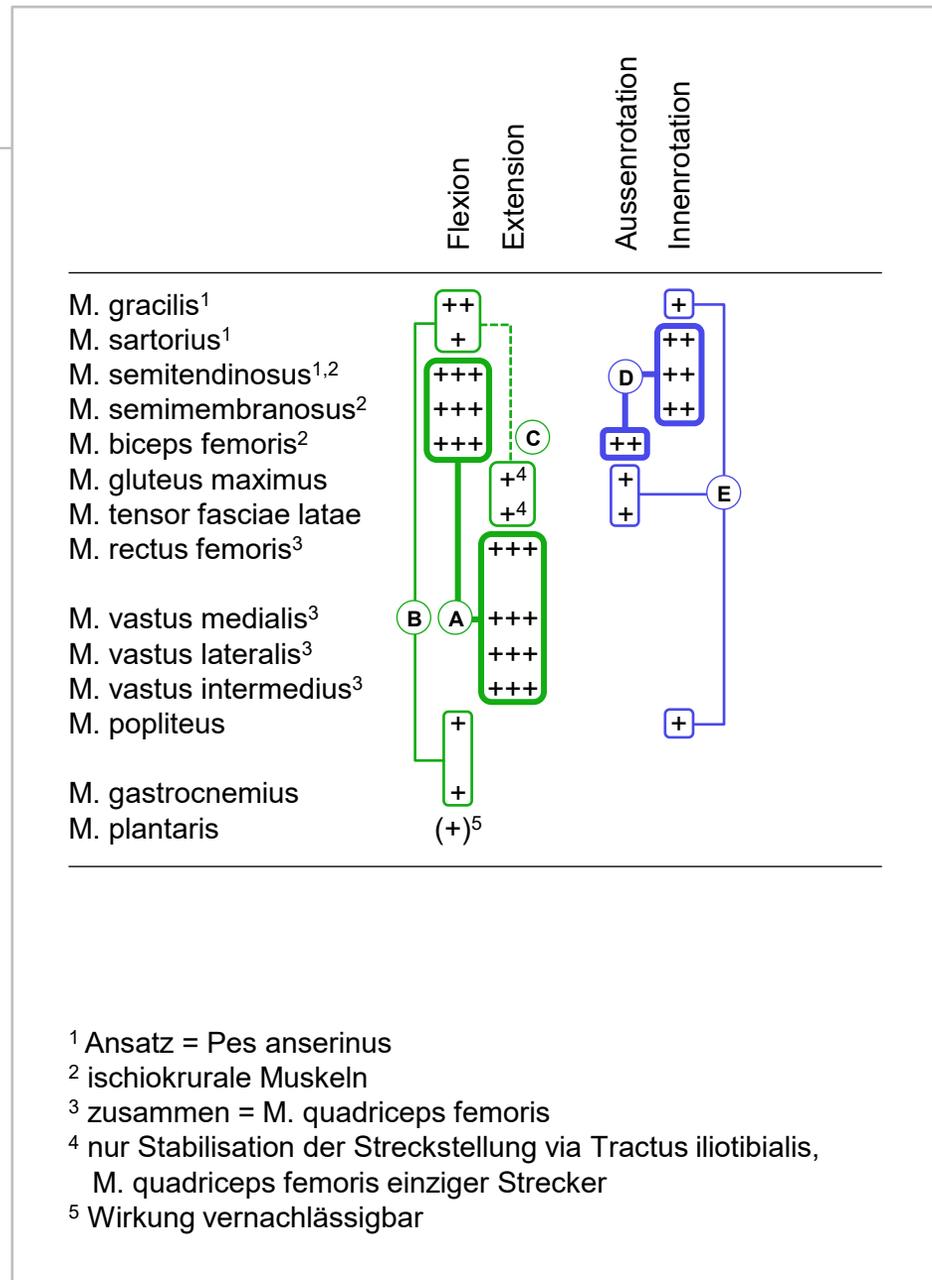
# Muskelfunktionen am Kniegelenk

## • Flexion / Extension

- Ⓐ Hauptmuskeln: ischiokrurale Muskeln  
↔ M. quadriceps
- Ⓑ M. gracilis unterstützt Flexion, in geringerem Mass auch Mm. sartorius, gastrocnemius und popliteus
- Ⓒ Zug auf Tractus iliotibialis stabilisiert dank leicht ventraler Lage Kniegelenk in Streckstellung: M. quadriceps einziger Strecker, unerlässlich für Treppensteigen und Aufrichten aus Hocke
- normale aktive Insuffizienz der ischiokruralen Muskeln: bei gestrecktem Hüftgelenk weniger Kraft und kleinerer aktiver Bewegungsumfang für Flexion im Kniegelenk
- normale passive Insuffizienz der ischiokruralen Muskeln: bei flektiertem Hüftgelenk keine volle Extension im Kniegelenk möglich
- Kraftverhältnis Extension : Flexion = 3 : 2

## • Aussen- / Innenrotation

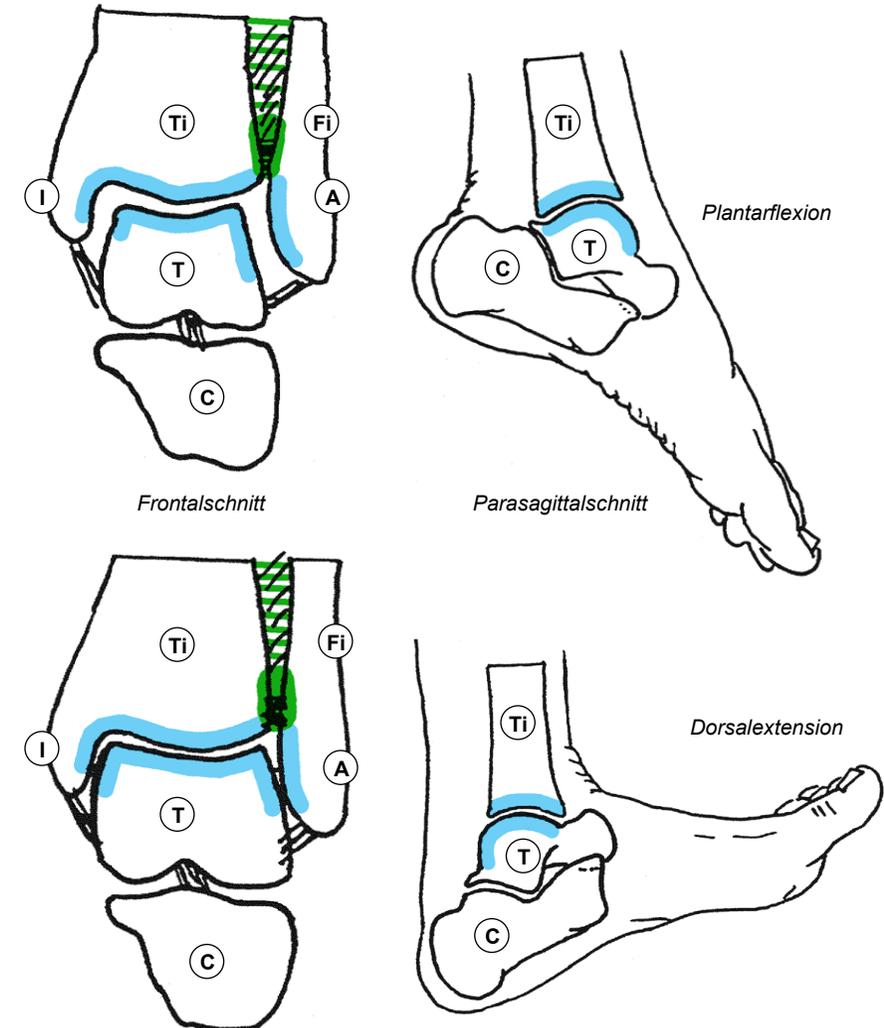
- Ⓓ Hauptmuskeln: M. biceps femoris  
↔ Mm. semitendinosus + semimembranosus & M. sartorius
- Ⓔ Hilfsmuskeln: Zug auf Tractus iliotibialis  
↔ Mm. gracilis & popliteus



# Oberes Sprunggelenk

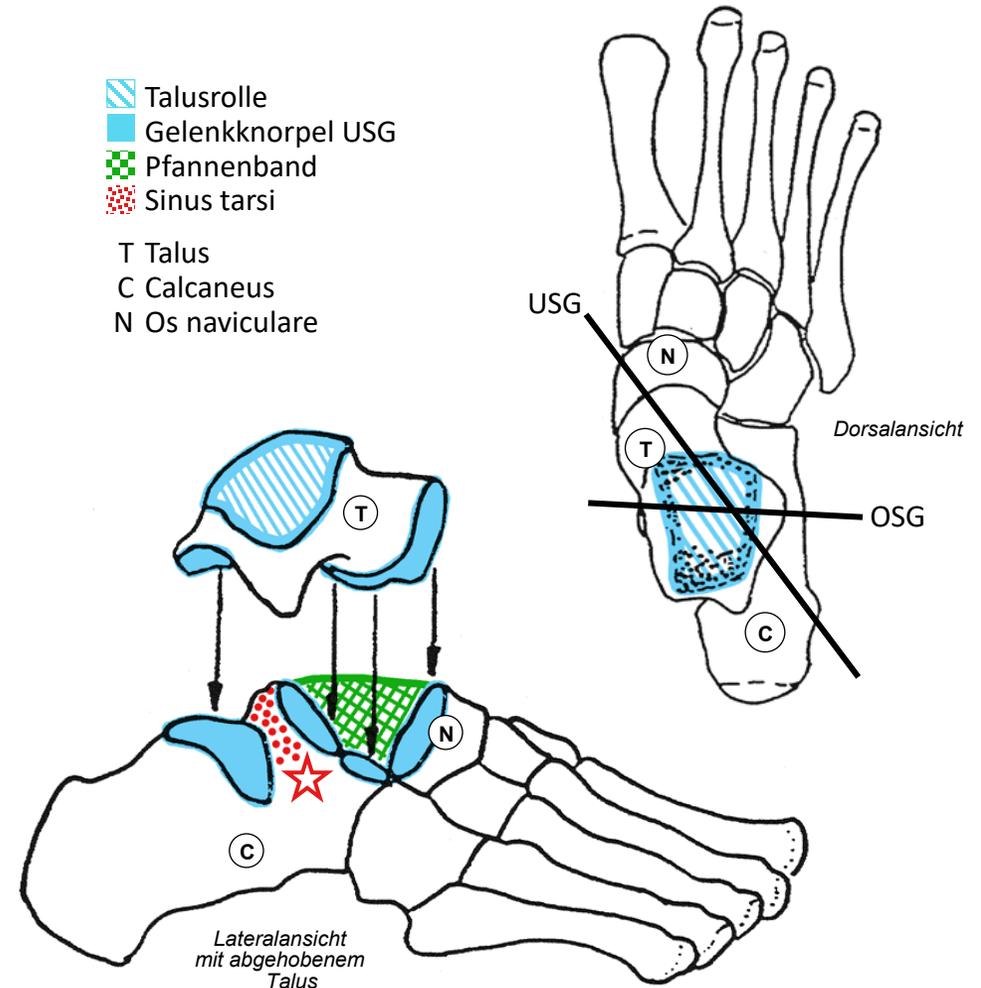
- Sprunggelenke
  - oberes und unteres Sprunggelenk mit getrennten Gelenkhöhlen → arbeiten mechanisch zusammen
- Oberes Sprunggelenk
  - Scharniergelenk: Plantarflexion, Dorsalextension
  - Syndesmose verbindet Tibia (distale Fläche und Innenknöchel überknorpelt) mit Fibula (Aussenknöchel überknorpelt) → Malleolengabel als zusammengesetzte Gelenkpfanne
  - Talus (Sprungbein) → Talusrolle als Gelenkkopf, ventral breiter als dorsal: maximale Stabilität in Neutralstellung - Dorsalextension (Standbein), mehr Spiel und schlechte Sicherung in Plantarflexion (Spielbein, Spitzentanz!)
  - schwache knöcherne Führung, Stabilisierung hauptsächlich durch Bänder, Bandverletzungen häufig (ähnlich Kniegelenk!)

- |   |                     |    |               |
|---|---------------------|----|---------------|
|  | Gelenkknorpel       | Ti | Tibia         |
|  | Syndesmose          | Fi | Fibula        |
|  | Membrana interossea | T  | Talus         |
|   |                     | C  | Calcaneus     |
|   |                     | I  | Innenknöchel  |
|   |                     | A  | Aussenknöchel |



# Unteres Sprunggelenk

- vordere Abteilung
  - Articulatio talocalcaneonavicularis
  - Kugelgelenk: Taluskopf ↔ zusammengesetzte Pfanne aus Os naviculare (Kahnbein) + zwei Gelenkfacetten des Calcaneus (Fersenbein)
  - Pfannenband mit Knorpelüberzug schliesst Lücke
- hintere Abteilung
  - Articulatio subtalaris
  - Scharniergelenk: Calcaneus liefert Rolle, Talus liefert konkave Gelenkfläche (Pfanne)
- 2 Gelenke - mechanisch gekoppelt
  - Gelenkhöhlen der Abteilungen durch Sinus tarsi getrennt, separate Gelenkkapseln
  - ★ lateraler Eingang zum Sinus tarsi vor und unterhalb Aussenknöchel als Grube gut tastbar
  - Bewegung gekoppelt: Rotation um Verbindungsgerade der beiden Abteilungen = Umwendbewegung: Eversion (Sohle nach aussen wenden), Inversion (Sohle nach innen wenden)



# Fussgelenke & Gewölbe

## • Längsgliederung

- ⓧ Tarsus (Fusswurzel): Talus, Os naviculare, Calcaneus, 4 weitere Würfelknochen
- Ⓜ Metatarsus: Metatarsalknochen I-V mit Basis, Schaft und Kopf } I sehr kräftig
- Ⓟ Digiti pedis (Zehen): Grund-, (ausser I) Mittel-, Endphalanx
- Klinik: Rückfuss – Chopart-Gelenk – Mittelfuss – Lisfranc-Gelenk – Vorfuss

## • Quergliederung

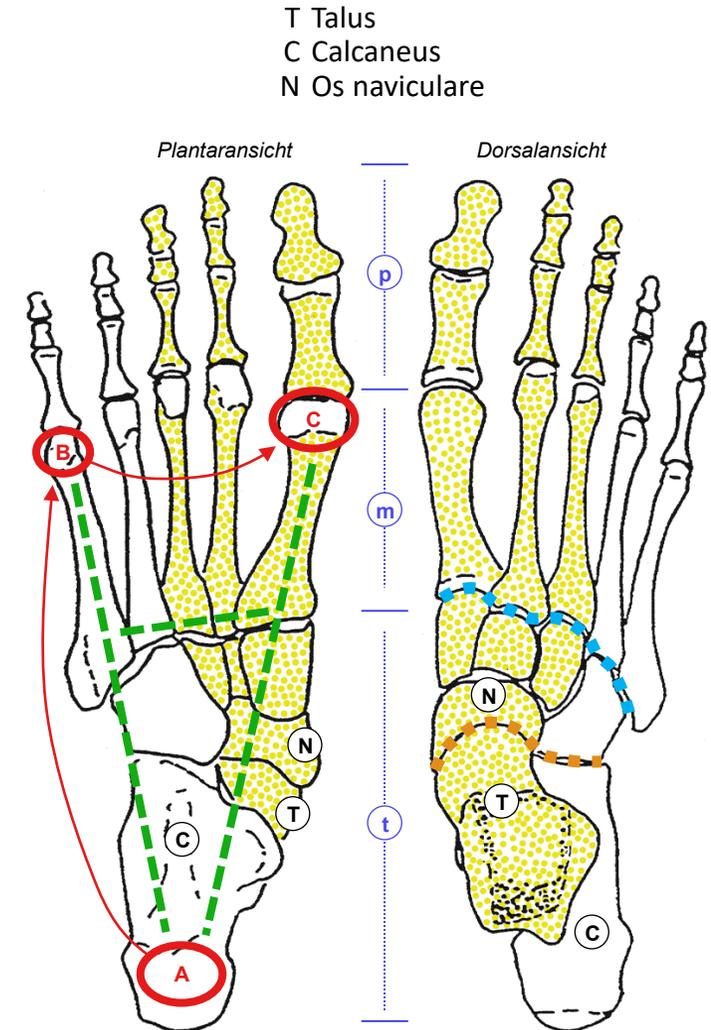
- lateraler Fussesstrahl: Zehen IV+V ↔ Calcaneus (Bodenkontakt)
- ▨ medialer Fussesstrahl: Zehen I-III ↔ Talus & Os Naviculare (ohne Bodenkontakt)

## • Fussgewölbe

- 3 Auflagepunkte: A (Calcaneus), BC (Kopf Metatarsale I & V)
- Längsgewölbe A→BC (Höhe innen 16mm, aussen 4mm) } versteifter
- Quergewölbe B →C: Basis Metatarsale II höchster Punkt } mechanischer Hebel
- Abrollsequenz beim Fersengang: A → AB → ABC (Stand) → C (Abstossen),  
Laufsequenz beginnt mit Vorfuss: BC (→ ABC, je nach Laufstil und Tempo) → BC

## • Gelenke

- beweglich: USG, Zehengelenke (Kugel- & Scharniergelenke wie Finger)
- übrige Amphiarthrosen: Σ vieler kleiner Bewegungen  
→ verformbarer gewölbter Hebel: zusammen mit Sprunggelenken  
Anpassung an Bodenneigung und Unebenheiten, Stosdämpfung



# Bandapparat des Fusses

- Sicherung der Sprunggelenke

- OSG und USG durch mediales und laterales Kollateralband gemeinsam gesichert (hauptsächlich Kapselbänder)

- mediales Kollateralband breit und fächerförmig

- laterales Kollateralband = Einzelbänder von Fibula zu Talus (1-gelenkig) und Calcaneus (2-gelenkig, freies Band)

- Lig. talocalcaneum interosseum liegt zwischen vorderer und hinterer Abteilung des USG im Sinus tarsi und sichert nur USG (mit Lig. iliofemorale eines der stärksten Bänder)

- Malleolengabel: tibiofibuläre Syndesmose durch Membrana interossea und kräftige Bänder gesichert

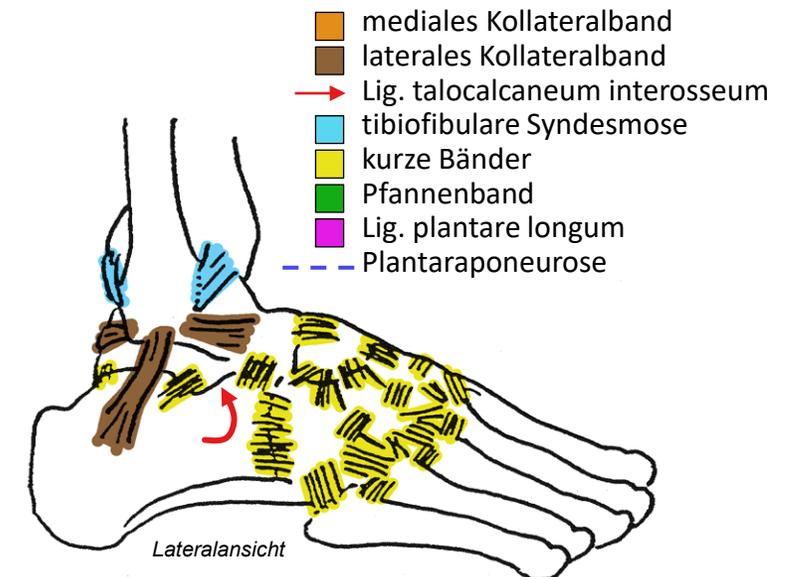
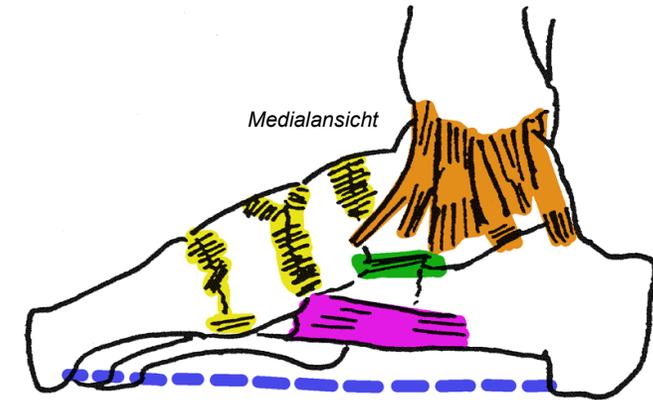
- Passive Sicherung der Fussgewölbe

- geringe passive Sicherung durch Form der Knochen und kurze Bänder der Amphiarthrosen der Fusswurzel

- ■ 3 Etagen zusätzlicher passiver Sicherung des Längsgewölbes durch lange Bänder: Pfannenband, Lig. plantare longum, Plantaraponeurose

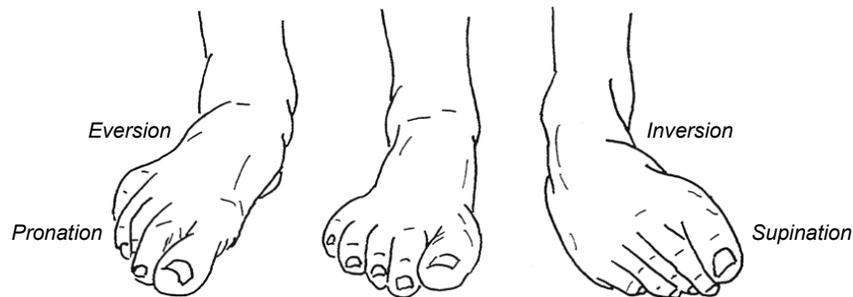
- Bandsicherung der Fussgewölbe wird ergänzt durch aktive Verspannung durch in- und extrinsische Fussmuskeln

- Fussgewölbe bilden sich beim Kind erst mit dem Gehenlernen

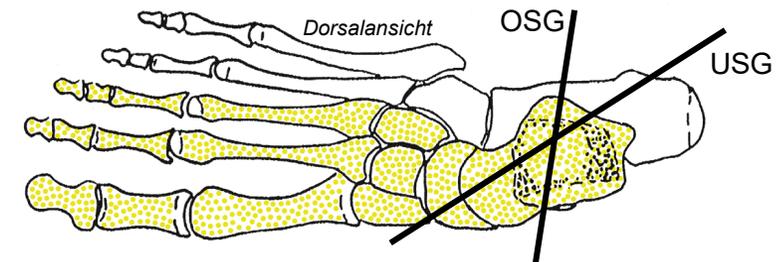


# Bewegungen der Sprunggelenke

- Oberes Sprunggelenk OSG
  - 50° Plantarflexion (= Plantarextension)
  - 20° Dorsalextension (= Dorsalflexion)
- Unteres Sprunggelenk USG
  - 10° Eversion des Rückfusses im USG, durch Torsion des Fußskeletts ergänzbar bis zu 30° Pronation des Vorfusses
  - 20° Inversion des Rückfusses im USG, durch Torsion des Fußskeletts ergänzbar bis zu 60° Supination des Vorfusses
- OSG+USG=Kardangelenken
  - Talus = Mittelstück (60% Gelenkknorpel) ohne Sehnenansätze
  - Bewegung ergänzt durch Verformung des übrigen Fußskeletts
  - sicherer Stand und effiziente Kraftübertragung auf schiefem und unebenem Boden



	Plantarflexion	Dorsalextension	Eversion	Inversion
M. plantaris	(+)			(+)
M. gastrocnemius <sup>1</sup>	+++			+++
M. soleus <sup>1</sup>	+++			+++
M. tibialis anterior		+++		+
M. extensor digitorum longus		++	++	
M. extensor hallucis longus		+	+	
M. fibularis longus <sup>2,3</sup>	++		++	
M. fibularis brevis	+		++	
M. tibialis posterior <sup>2,3</sup>	+			++
M. flexor digitorum longus <sup>2</sup>	+			+
M. flexor hallucis longus <sup>2</sup>	++			+



<sup>1</sup> zusammen = M. triceps surae  
<sup>2</sup> verspannen Längsgewölbe  
<sup>3</sup> verspannen Quergewölbe («Kreuzverband»)

# Dorsale extrinsische Fussmuskeln

- extrinsisch (lang): Ursprung + Muskelmasse am Unterschenkel, Ansatz am Fuss

oberfl.

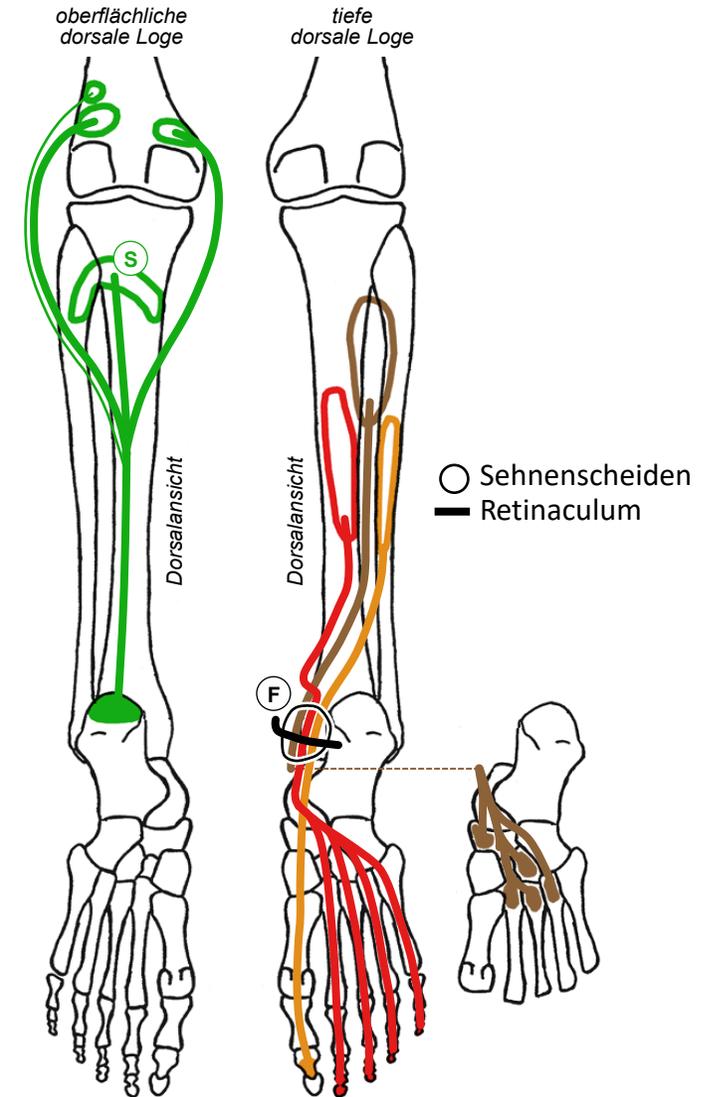
- M. triceps surae (siehe auch Kniegelenk)
- Ⓢ tiefer Kopf: M. soleus (Schollenmuskel): Soleusarkade → Calcaneus

tief

- M. flexor hallucis longus (langer Grosszehenbeuger)
  - Fibula dorsal → Grosszehenendglied
- M. tibialis posterior (hinterer Schienbeinmuskel)
  - Membrana interossea & angrenzende Knochen → Plantarfläche verschiedener Fusswurzelknochen & Basis Metatarsale II-IV
  - schräg verlaufender Sehnenfächer an Fusssohle, ergänzt Sehne des M. fibularis longus zu «Kreuzverband»
- M. flexor digitorum longus (langer Zehenbeuger)
  - Tibia dorsal → Zehenendglieder II-V
  - «verkehrte Lage»: Sehne überkreuzt am Unterschenkel diejenige des M. tibialis posterior (Chiasma crurale), an Fusssohle diejenige des M. flexor hallucis longus (Chiasma plantare)

## ⓕ Flexoren-Retinaculum

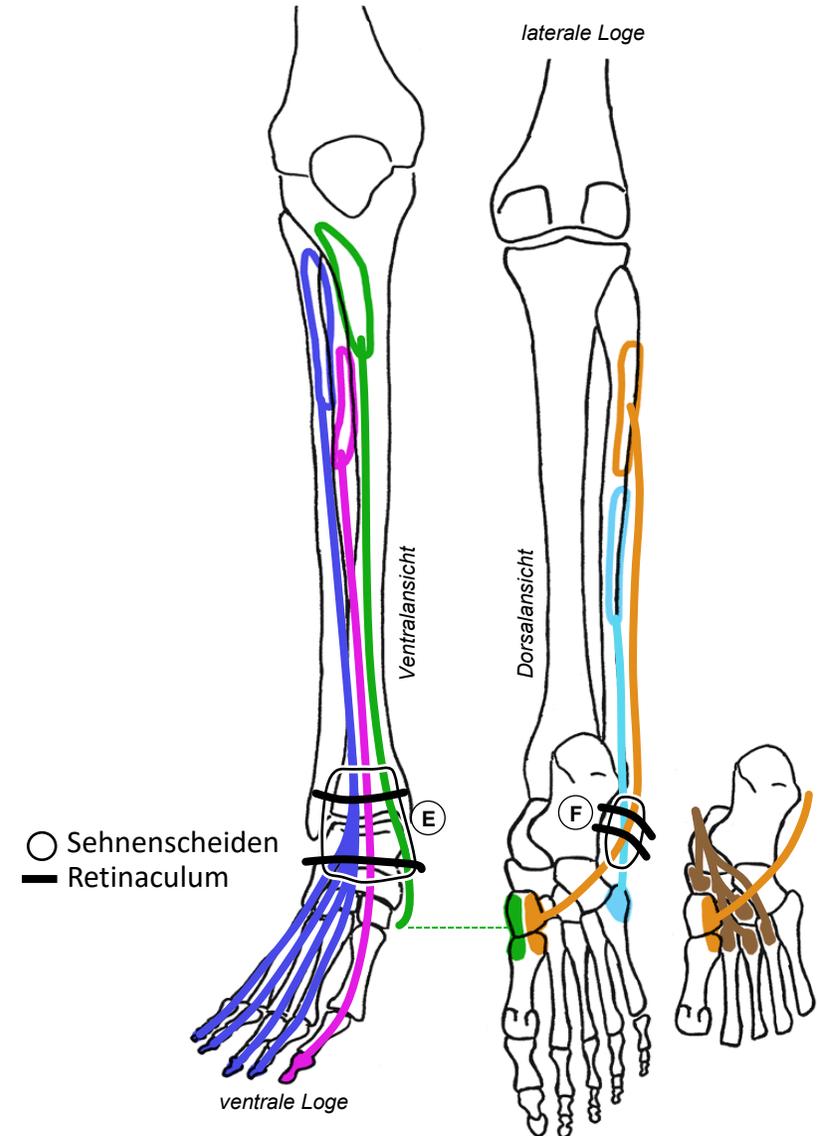
- führt 3 Sehnenscheiden dorsal des Innenknöchels mit 90° Kurve vom Unterschenkel zur Fusssohle



# Ventrale und laterale extrinsische Fussmuskeln

- ventral**
- M. extensor digitorum longus (langer Zehenstrecker)
    - Fibula & Membrana interossea → Endglieder Zehen II-V
  - M. extensor hallucis longus (langer Grosszehenstrecker)
    - Membrana interossea & Fibula → Endglied Grosszehe
  - M. tibialis anterior (vorderer Schienbeinmuskel)
    - Tibia → mediale Fusswurzel, Basis Metatarsale I
- lateral**
- ⓔ Extensoren-Retinaculum
    - superiore und inferiore Abteilung, führt 3 Sehnenscheiden über Sprunggelenke zum Rücken und Innenrand des Fusses
  - M. fibularis longus (langer Wadenbeinmuskel)
    - Fibula proximal → mediale Fusswurzel, Basis Metatarsale I
    - ergänzt Sehne des ● M. tibialis posterior zu «Kreuzverband»
  - M. fibularis brevis (kurzer Wadenbeinmuskel)
    - Fibula distal → Basis Metatarsale V
  - ⓕ fibulares Retinaculum
    - superiore und inferiore Abteilung, führt 2 Sehnenscheiden hinter Aussenknöchel zu Sohle und Aussenrand des Fusses

«Steigbügel»



# Extrinsische Fussmuskeln am Querschnitt

## UV) Ventrale Unterschenkelloge

- M. extensor digitorum longus (lateral, fibular)
- M. extensor hallucis longus (intermediär)
- M. tibialis anterior (medial, tibial)

## UL) Laterale Unterschenkelloge

- M. fibularis longus (oberflächlicher, weiter proximal)
- M. fibularis brevis (tiefer, distal)

## UO) Oberflächliche dorsale Unterschenkelloge

- M. gastrocnemius (oberflächlicher)
- M. soleus (tiefer)

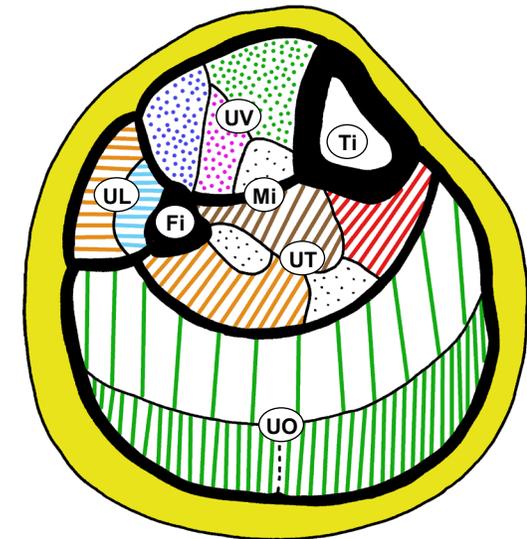
## UT) Tiefe dorsale Unterschenkelloge

- M. flexor hallucis longus (lateral, fibular)
  - M. tibialis posterior (intermediär)
  - M. flexor digitorum longus (medial, tibial)
- Chiasma plantare  
- Chiasma crurale  
2x Kreuzung wegen «verkehrter» Lage

## • Logensyndrom = Kompartmentsyndrom

- Schwellung + Überdruck durch Trauma/Überlastung → Einschränkung der Blutzirkulation → Schmerz → ev. Nekrose (va. ventrale Unterschenkelloge, auch Fuss, Unterarm)

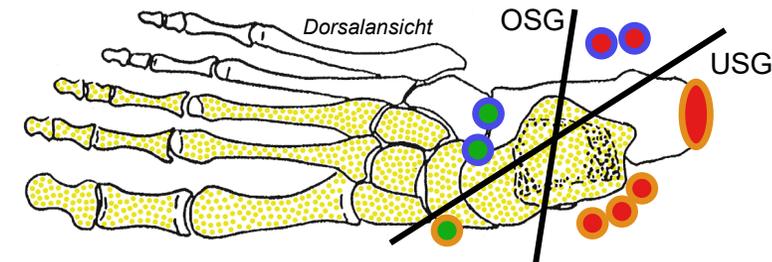
Ti Tibia  
Fi Fibula  
Mi Membrana  
interossea  
— Gruppenfaszie  
--- Muskelfaszie



# Muskelfunktionen an Sprunggelenken

- alle Muskeln wirken auf OSG und USG: Effekt je nach OSG/USG-Achsenquadrant, in dem die Sehne verläuft
- Plantarflexion / Dorsalextension
  - Ⓐ Hauptmuskeln: M. triceps surae (teils 2-gelenkig) ↔ M. tibialis anterior (kräftig, bester Hebelarm)
  - Ⓑ Zehenstrecker strecken auch OSG
  - Ⓒ fibulare & tiefe dorsale Muskeln unterstützen Plantarflexion
- Eversion / Inversion
  - Ⓓ Hauptmuskeln: Mm. fibulares ↔ M. triceps surae
  - Ⓔ tiefe dorsale Muskeln → Inversion
  - Ⓕ ventrale Muskeln → In- oder Eversion je nach Lage
- Besonderheiten
  - Kraftverhältnisse: Plantarflexion > Dorsalextension, Inversion > Eversion, M. triceps surae: essenziell für Zehenstand, ohne ist Gehfähigkeit vermindert, ev. aufgehoben
  - Fixpunkt Fuss: Balance im Stehen, Vortrieb beim Gehen
  - M. gastrocnemius: passive Insuffizienz (Interferenz Dorsalextension OSG ↔ Extension Kniegelenk), aktive Insuffizienz (Plantarflexion geschwächt bei flektiertem Kniegelenk)
  - als extrinsische Fussmuskeln → Fussgewölbeverspannung

	Plantarflexion	Dorsalextension	Eversion	Inversion
M. plantaris	(+)	(+)	(+)	(+)
M. gastrocnemius <sup>1</sup>	+++	+++	+++	+++
M. soleus <sup>1</sup>	+++	+++	+++	+++
M. tibialis anterior	+++	+++	+	+
M. extensor digitorum longus	++	++	++	++
M. extensor hallucis longus	+	+	+	+
M. fibularis longus <sup>2,3</sup>	++	++	++	++
M. fibularis brevis	+	+	++	++
M. tibialis posterior <sup>2,3</sup>	+	+	++	++
M. flexor digitorum longus <sup>2</sup>	+	+	+	+
M. flexor hallucis longus <sup>2</sup>	++	++	+	+



<sup>1</sup> zusammen = M. triceps surae  
<sup>2</sup> verspannen Längsgewölbe  
<sup>3</sup> verspannen Quergewölbe («Kreuzverband»)

# Intrinsische Fussmuskeln

- M. extensor hallucis brevis (kurzer Grosszehenstrecker)
- M. extensor digitorum brevis (kurzer Zehenstrecker)
  - Calcaneus → Grundglied I, Mittelglied II-V
- M. flexor hallucis brevis (kurzer Grosszehenbeuger)
  - zweiköpfig Fusswurzel → Grundglied I
- M. flexor digitorum brevis (kurzer Zehenbeuger)
  - Calcaneus → Mittelglied II-V, Ansatz gespalten für Durchtritt ● langer Beugersehne zum Endglied
- Weitere 17 kurze Muskeln
  - alle plantar gelegen
- Funktion
  - kurze = intrinsische (Ursprung & Ansatz am Fuss) Fussmuskeln bewegen zusammen mit extrinsischen Muskeln Zehen
  - von 21 intrinsischen Fussmuskeln nur 2 dorsal, Rest plantar → mit extrinsischen Muskeln zusammen aktive Verspannung und Verwindung des Längs- und Quergewölbes

