

Universität Bielefeld
Fakultät für Psychologie und Sportwissenschaften
Abteilung Sportwissenschaften
Wintersemester 2024/2025
Studiengang: BA Sportwissenschaften
Profil Psychologie und Bewegung

Veranstaltung: Sportmedizinische/neuroorthopädische Krankheitsbilder und Diagnostik (610271)
Veranstalter: Herr Dr. med. Andreas Elsner, MHA und Herr Lorenz Bachmann

**Welche Unterschiede in der Laufökonomie, gemessen mit Motion Metrix, sind zwischen Freizeit-,
Amateur- und Eliteläufern festzustellen sind.**

**Es wird die Laufperformance in Abhängigkeit zu der Lauferfahrung bei den drei Gruppen
verglichen.**

Vorgelegt von:
Jana Reinken
Schöneberger Straße 29
33619 Bielefeld
Matrikel Nr.: 4335441
E-Mail: jana.reinken@gmail.com
Telefon: 0176 98285590

Bielefeld, 29.03.2025

[Text eingeben]

Inhalt

1. Einleitung	- 1 -
2. Theoretische Grundlagen	- 1 -
2.1 Laufanalyse	- 1 -
2.1.1 Fuß- und Sprunggelenk	- 1 -
2.1.2 Kniegelenk	- 2 -
2.1.3 Hüftgelenk und Becken	- 2 -
2.1.4 Oberkörper und Arme	- 3 -
2.2 Laufzyklus	- 3 -
3. Methodik	- 4 -
3.1 Durchführung	- 4 -
4. Ergebnisse	- 5 -
4.1. Auswertung	- 5 -
5. Diskussion	- 6 -
6. Schlussteil	- 7 -
Literaturverzeichnis	- 8 -

1. Einleitung

Laufen ist eine der bekanntesten Sportarten der Welt und gleichzeitig die Grundlage vielfältigen Sporttreibens. Es kann unsere Gesundheit fördern oder Verletzungen hervorrufen und somit unsere Gesundheit einschränken. Die Laufanalyse ist ein entscheidendes Instrument in der biomechanischen Diagnostik (Wunsch & Schwameder, 2023). In der folgenden Arbeit steht die Laufanalyse im Fokus und es wird untersucht, welche Unterschiede in der Laufökonomie, gemessen mit Motion Metrix, zwischen Freizeit-, Amateur- und Eliteläufern festzustellen sind. Es wird die Laufperformance in Abhängigkeit zu der Lauferfahrung bei den drei Gruppen verglichen.

Damit Unterschiede erkenntlich werden, wurde ein Versuch mit Läufern verschiedener Lauferfahrung durchgeführt. Jedoch handelt es sich um kleine Versuchspersonengruppen und auch die Rahmenbedingungen sind nicht optimal. Im Abschnitt zu der Methodik wird genauer auf die Ausgangssituation, die Rahmenbedingungen und Abläufe eingegangen. Im Anschluss werden Ergebnisse und unsere Auswertung vorgestellt. Diese werden dann eingeordnet und der Versuch wird reflektiert.

Grundsätzlich dient die Laufanalyse zur Beurteilung des Laufstils einer Person und wird für üblich von Sportwissenschaftlern, Physiotherapeuten oder Orthopäden angewendet. Sie kann sowohl therapeutisch, wie auch präventiv eingesetzt werden. Zudem ist die Laufanalyse ein hilfreiches Mittel um die Laufökonomie zu verbessern und eine Leistungssteigerung zu erzielen. (Laufanalyse, o. D., S. 13)

2. Theoretische Grundlagen

2.1 Laufanalyse

Die Laufanalyse ist in den letzten Jahren immer bedeutender geworden und vor allem immer präziser. Es gibt neue Technologien und detailliertere Forschungsergebnisse, sodass Laufanalysen weitläufiger angewendet werden können. Die Relevanz für die Leistungssteigerung ist gerade in den letzten Jahren enorm gestiegen, da es immer neue Bestzeiten gibt und immer mehr zu Verletzungen und Rehabilitation geforscht wird. Neben der Steigerung der Laufleistung kann die Laufanalyse präventiv angewendet werden. Sie dient dabei als Hilfe, Fehlstellungen und Fehlbelastungen frühzeitig zu identifizieren. Auch wird die Schrittlänge und die Schrittfrequenz, sowie Bodenreaktionskräfte und die Position des Körperschwerpunktes unter Berücksichtigung der Laufökonomie gemessen. Zusätzlich werden durch eine Laufanalyse Fußaufsatzmuster und Verläufe einzelner Gelenkwinkel gemessen. Mit Hilfe dieser Parameter können Empfehlungen für Trainingsprogramme, Schuhwerk oder Anpassungen im Laufstil gegeben werden. (vgl. Präsentation)

2.1.1 Fuß- und Sprunggelenk

Fuß und Sprunggelenk werden in ihrer Funktion beim Laufen durch moderne Sohlentechnologien stark beeinflusst. Das Schuhwerk kann sowohl einen negativen, wie auch einen positiven Einfluss auf den Laufstil und die Belastungsverteilung, aber auch die Energieübertragung nehmen. Es wird vor

[Text eingeben]

allem das Fußaufsatzmuster, welches ein intrinsisch dynamischer Prozess ist, untersucht. Wichtig ist, dass der Standfuß nicht zu weit vor dem Körper aufgesetzt wird, um die horizontalen Bremskräfte gering zu halten und die Reduktion der Horizontalgeschwindigkeit zu minimieren. (Laufanalyse, o. D., S. 19–22)

Es wird unterschieden zwischen dem Fersenlauf, dem Mittelfußlauf und dem Vorderfußlauf. Dabei ist vor allem wichtig, dass der Laufstil effizient ist. Es wird also bei gewählter Laufgeschwindigkeit möglichst wenig Energie verbraucht. Hervorzuheben ist, dass jeder Laufstil individuell ist.

Fersenlauf: Dieser Laufstil wird von vielen Läufern, besonders von Anfängern angewendet, da dieser leicht zu erlernen ist. Dabei rollt der Läufer über den gesamten Fuß ab und stößt sich dann über den Vorderfuß und die Zehen ab. Die Gelenkbelastung beim Fersenlauf ist hoch und es kommt zu einer geringen Abfederung durch die Muskulatur. Da der Läufer sich selber ausbremst ist dieser Laufstil nicht sehr ökonomisch. (Sandrina Illes, 2013)

Mittelfußlauf: Der erste Bodenkontakt ist mit dem Mittelfuß. Für üblich trifft zuerst die äußere Seite der Sohle auf den Boden. Bei diesem Laufstil ist die Belastung der Gelenke gering und die Energie wird beim Abdruck teilweise zurück gegeben. Der Mittelfußlauf ist also ökonomischer als der Fersenlauf, aber auch schwerer zu erlernen. (Séhel, 2017)

Vorderfußlauf: Zeichnet sich aus durch eine starke Abfederung durch die Wadenmuskulatur und die Achillessehne. Gleichzeitig werden bei dem Vorderfußlauf die Vorfußknochen und die Achillessehne stark belastet. Zudem ist dieser Laufstil kraftaufwendig und fühlt sich gerade für Anfänger instabil an. (Sandrina Illes, 2013)

2.1.2 Kniegelenk

Der Kniegelenkwinkel in der Sagitalebene ist ein wichtiger Indikator dafür, wie gut ein Läufer das eigene Körpergewicht in der Standphase tolerieren kann. Bei einem Beugewinkel $> 40^\circ$ im Kniegelenk nehmen Tibia- und patellofemorale Kompressionskräfte zu. (Laufanalyse, o. D., S. 24)

In unserer Laufanalyse haben wir die Gelenkbelastung auf die Knie in verschiedene Ebenen gemessen (Sagitalebene, Frontalebene). Zudem wurde die vertikale Kraft und die laterale Auslenkung gemessen.

2.1.3 Hüftgelenk und Becken

Die Werte, die bei der Gelenkbelastung des Knies gemessen wurden, wurden auch für die Gelenkbelastung der Hüfte gemessen. Dabei wurden erneut beide Beine berücksichtigt und die durchschnittlichen Werte eines Eliteläufers, sowie der generellen Norm in Referenz gestellt.

In der Hüfte haben Läufer ein individuelles Maß an Kippung, welches einen direkten Einfluss auf die Gelenkbelastung nimmt. Die Hüfte wird während der Standphase gestreckt. Zum Zeitpunkt des Abdrucks sollte der Hüftwinkel $20-35^\circ$ betragen. Der Hüftwinkel ist besonders wichtig für die Schrittlänge, welchen einen großen Einfluss auf die Laufökonomie hat. (Laufanalyse, o. D., S. 26–28)

[Text eingeben]

2.1.4 Oberkörper und Arme

Für einen ökonomischen Laufstil sollte der Läufer eine stabile, aufrechte Körperposition haben und dabei eine leichte Vorlage einnehmen. Im Lauf sollte der Ellenbogenwinkel 90° betragen. Die Arme werden seitlich am Körper vorbei geführt. Der Armschwung hat einen Einfluss auf die Schrittfrequenz und sollte niemals vernachlässigt werden. Alle Bewegungen unterhalb der Hüfte haben einen direkten Zusammenhang mit dem Armschwung. Werden die Arme falsch eingesetzt oder der Oberkörper in falscher Position gehalten geht Energie verloren. Der Armschwung sollte von den Schultern ausgehen und immer entgegengesetzt zu der Bewegung der Beine ausgeführt werden.

2.2 Laufzyklus

Die Laufökonomie kann als Energieverbrauch bei submaximaler Laufgeschwindigkeit definiert werden. Neben metabolischen, kardiorespiratorischen, biomechanischen und neuromuskulären Änderungen beeinflusst eben auch der Laufzyklus die Ökonomie des Laufes und damit die Leistung die ein Läufer erreichen kann.

Standphase: Es gibt eine linke und eine rechte Standphase, welche durch eine Flugphase voneinander getrennt werden. Die Standphase setzt sich zusammen aus der Landephase, dem Mittelstütz und der Abdruckphase. Die Phase zwischen Landung und Mittelstütz zeichnet sich durch die exzentrische Arbeitsweise der Muskulatur aus um die Gewichtskraft des Athleten abzufangen. In dieser Zeit senkt sich der Körperschwerpunkt, sodass es zu einer Beugung im Sprunggelenk, Kniegelenk und Hüftgelenk kommt. Während des Mittelstützes lastet das gesamte Körpergewicht auf dem Standbein, das Knie ist dabei maximal gebeugt (30-50 Grad Kniebeugung). Aus dieser Kniebeuge heraus arbeitet die Beinmuskulatur bis zur Abdruckphase konzentrisch. Durch die konzentrische Arbeitsweise strecken sich Sprunggelenk, Kniegelenk und Hüftgelenk wieder. Wenn die Zehen den Boden verlassen endet die Standphase und die Schwungphase des Laufzyklus startet. (Wastl & Wollny, o. D.)

Schwungphase: Das Schwungbein beugt sich am Knie und Hüftgelenk, nachdem die Zehen den Boden verlassen haben. Es bildet sich eine kompakte Einheit. Durch eine konzentrische Arbeitsweise kann der Hüftbeuger schnell bewegt werden. Das Knie sollte in Abhängigkeit von der Laufgeschwindigkeit eine optimale Höhe einnehmen, sodass das Schwungbein aus dieser Position zum nächsten Bodenkontakt nach unten geführt wird. Ziel ist es, das Bein möglichst weit nach vorne zu bringen, um eine große Schrittlänge zu erzielen. (Wastl & Wollny, o. D.)



(Lauf ABC, 2019)

[Text eingeben]

3. Methodik

Um die Unterschiede zwischen Laufanfängern, fortgeschrittenen Läufern und Eliteläufern bezogen auf die Laufökonomie und die Laufleistung herauszustellen wurde eine quantitative Felduntersuchung durchgeführt. Im Folgenden wird der Versuch, die Rahmenbedingungen und Abläufe erklärt. Die Untersuchung ist deduktiv aufgebaut und überprüft die Hypothese, dass Eliteläufer bei einer Laufanalyse gemessen durch Motion Metrix eine bessere Laufökonomie und damit Laufleistung erzielen, wie unerfahrene Laufanfänger. Zudem wird die Validität des Gerätes getestet und beobachtet, ob bei den Laufanfängern eine größere Variabilität im Laufstil festzustellen ist. Die aus dem Versuch erhobenen Daten wurden im Anschluss mit dem Statistik Programm ANOVA ausgewertet. Dafür wurden unterschiedliche statistische Test durchgeführt. Zur Prüfung der Validität wurden die Zusammenhänge getestet und die Signifikanzen bestimmt. Außerdem gab es eine Berechnung der Effektstärke.

Die Gütekriterien konnten nur teilweise erfüllt werden, was den Versuch an Wertigkeit verlieren lässt. Objektivität als erstes Gütekriterium ist erfüllt, da unabhängig von der forschenden Person keine Abweichungen auftreten können. Die Daten werden von Motion Metrix aufgezeichnet und nicht von der forschenden Person. Die Einstellungen wie Geschwindigkeit und Dauer wurden vorab festgelegt und werden ebenfalls vom System eingehalten. Die Reliabilität ist zu Teilen erfüllt. Es konnte nicht mit absoluter Sicherheit festgestellt werden, dass bei identischer Leistung auch das identische Ergebnis erzielt wird. Die Validität ist gegeben, da das System das misst, was es messen soll. Dennoch ist aufgefallen, dass es immer wieder zu Abweichungen kommt und eine gewisse Variabilität in der Messgenauigkeit und Ergebnisqualität vorliegt.

3.1 Durchführung

Für jede Versuchspersonengruppe (Eliteläufer, fortgeschrittene Läufer, unerfahrene Läufer) gibt es drei Versuchspersonen. Die Anzahl an Versuchspersonen ist für eine nachhaltige Studie viel zu gering.

Jeder Proband absolviert insgesamt drei Messungen unter standardisierten Bedingungen. Zu Beginn wurde eine kurze Aufwärmphase durchgeführt, um die Muskulatur auf die bevorstehende Belastung vorzubereiten und mögliche Verletzungen zu vermeiden. Anschließend wird der Ablauf der Laufanalyse erklärt und der Proband geht dann auf das Laufband. Die Geschwindigkeit wird vom Versuchsleiter auf 10km/h (6 Minuten pro Kilometer) eingestellt. Während der Laufanalyse laufen die Probanden kontinuierlich ohne Pause. Sobald die drei erforderlichen Messungen bei 10 km/h abgeschlossen sind, wurde die Geschwindigkeit reduziert und das Laufband gestoppt. Bei den unerfahrenen und fortgeschrittenen Läufern wurden alle drei Messungen ausschließlich bei 10 km/h durchgeführt, um eine vergleichbare Datengrundlage zu schaffen. Für die erfahrenen Läufer wurden zusätzlich weitere Messungen bei höheren Geschwindigkeiten (13 km/h, 15 km/h, 17km/h) ausgeführt. Diese Messungen dienen dazu, mögliche Veränderungen in der Lauftechnik unter erhöhter Belastung zu analysieren und festzustellen, ob sich bestimmte biomechanische Parameter mit steigender Geschwindigkeit signifikant verändern.

Die Wahl der Geschwindigkeit basiert darauf, dass 10 km/h eine moderate Geschwindigkeit darstellt, die für alle Probanden umsetzbar ist. Höhere Geschwindigkeiten wurden nur für erfahrene Läufer

[Text eingeben]

gewählt, da diese eine bessere Leistungsfähigkeit und Laufökonomie besitzen. Zudem sind die erfahrenen Läufer gewöhnt über längere Zeit mit erhöhter Intensität zu laufen. Das Laufband wurde bewusst gewählt, da es gleichbleibende Geschwindigkeiten und standardisierte Bedingungen ermöglicht. Bei Outdoor-Läufen verfälschen externe Faktoren, wie Wind oder Bodenbeschaffenheit, den Laufstil und die Laufökonomie. Jedoch weicht das Laufgefühl auf dem Laufband von dem bei normalem Straßenlauf etc. ab. Gerade unerfahrene Läufer brauchen daher eine längere Eingewöhnungszeit, da sonst das natürliche Abdruckverhalten zu stark beeinflusst wird und der Laufstil somit variiert.

4. Ergebnisse

Die von uns erhobenen Daten wurden mit einer einfachen Varianzanalyse (ANOVA) ausgewertet. Mit dieser Methode wird geprüft, ob sich die Mittelwerte der drei Versuchspersonengruppen (unerfahrene Läufer, fortgeschrittene Läufer, erfahrene Läufer) signifikant unterscheiden. Der zentrale Wert der Auswertung ist die Signifikanz, wobei ein Wert $< 0,05$ auf einen signifikanten Unterschied hinweist. Zudem wurde die Effektstärke, also Größe des Unterschiedes zwischen den Gruppen bewertet.

4.1. Auswertung

Rumpfneigung: Die Mittelwerte für die Rumpfneigung der einzelnen Gruppen sind: unerfahrene Läufer (5,08), fortgeschrittene Läufer (4,81), erfahrene Läufer (6,39). Der Levene-Test zeigt keine signifikanten Unterschiede in der Varianz. Die ANOVA zeigt keine signifikanten Unterschiede bezüglich Rumpfneigung zwischen den Gruppen und auch die Effektstärke ist gering, was darauf hinweist, dass die Gruppenzugehörigkeit kaum Einfluss auf die Rumpfneigung hat.

Spurbreite: Die Mittelwerte für die Spurbreite der einzelnen Gruppen sind: unerfahrene Läufer (22,67 cm), fortgeschrittene Läufer (38,11 cm), erfahrene Läufer (44,16 cm). Der Levene-Test zeigt, dass die Varianzen homogen sind. Die ANOVA ergibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen. Auch hier ist die Effektstärke gering, was darauf hinweist, dass die Gruppenzugehörigkeit wenig Einfluss auf die Spurbreite hat.

Laufprofil: Bei den Laufprofilen dominiert bei den unerfahrenen Läufern der „easy strider“, bei den Fortgeschrittenen Läufern „long strider“, bei den erfahrenen Läufern dominiert ebenfalls der „long strider“. Der Levene-Test zeigt signifikante Unterschiede in der Varianz, was eine Einschränkung der ANOVA darstellt. ANOVA zeigt einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen. Die Effektstärke ist hoch und deutet darauf hin, dass die Gruppenzugehörigkeit einen Einfluss auf das Laufprofil hat.

Vertikale Kraft: Die Mittelwerte der vertikalen Kraft sind: unerfahrene Läufer (2,06 kN), bei fortgeschrittenen Läufern (2,28 kN), bei erfahrenen Läufern (2,19 kN). Der Levene-Test zeigt auch hier keine signifikanten Varianzunterschiede. Auch die ANOVA zeigt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen. Die Effektstärke jedoch ist moderat und könnte bei einer größeren Stichprobe bedeutsamer werden.

[Text eingeben]

Knieflexion: Die Mittelwerte bei der Knieflexion sind: unerfahrene Läufer (8,37), fortgeschrittene Läufer (11,02), erfahrene Läufer (9,78). Die Standardabweichung zeigt, dass die fortgeschrittenen Läufer die größte Streuung aufweisen. Das kann damit erklärt werden, dass in dieser Gruppe die größten Leistungsunterschiede vorhanden sind. Bei Prüfung der Varianzhomogenität mit dem Levene-Test stellte sich heraus, dass es keinen signifikanten Unterschied in der Varianz der Gruppen gibt. Insgesamt liegt kein signifikanter Unterschied in der Knieflexion zwischen den Gruppen vor, was sich auch in einer geringen Effektstärke widerspiegelt. Inhaltlich bedeutet das, dass die Lauferfahrung keinen signifikanten Einfluss auf die Knieflexion hat.

Kadenz: Die Mittelwerte bei der Kadenz sind: unerfahrene Läufer (159.5), bei den fortgeschrittenen Läufern 157.78, bei den erfahrenen Läufern 155.75. Zudem wurde mit Hilfe des ANOVA-Programmes die Standardabweichung (SD) berechnet. SD für die unerfahrenen Läufer beträgt 3.54, für die fortgeschrittenen Läufer 4.39 und bei den erfahrenen Läufern 4.16. Bei den Mittelwerten sind kleine Differenzen zu erkennen, wobei die unerfahrenen Läufer den größten Wert haben. Über den Levene-Test wurde herausgestellt, dass kein signifikanter Unterschied in den Varianzen vorliegt. Bei der Varianzanalyse stellte sich heraus, dass kein signifikanter Unterschied bezüglich der Kadenz zwischen den Gruppen vorliegt und auch der Effekt der Gruppenzugehörigkeit klein bis sehr gering ist.

5. Diskussion

Der Versuch sollte die Unterschiede in der Laufökonomie und Konstanz des Laufstils in den verschiedenen Versuchspersonengruppen verdeutlichen und erkenntlich machen welche Parameter in den Gruppen unterschiedlich ausgeprägt sind. Zudem sollte daraus abgeleitet werden, woran die Anfänger konkret arbeiten können um die Lauftechnik und damit die Ökonomie ihres Laufstils zu verbessern.

Der obige Versuch zeigt mehrere Schwachstellen, die optimiert werden müssen um verwertbare Ergebnisse und Aussagen zu erhalten. Zuerst ist die Stichprobenanzahl zu gering. Pro Gruppe sollten 20-30 Probanden teilnehmen um eine höhere Anzahl an Werten zu erhalten. Zudem sind die Leistungsunterschiede unserer Versuchspersonen der einzelnen Gruppen zu gering, was bedingt, dass kaum signifikante Unterschiede bei den einzelnen Parametern vorliegen. Zudem müssen die Bedingungen angepasst werden. Jeder Läufer sollte zusätzlich in seiner Wohlfühlgeschwindigkeit laufen, da er sonst seinen Laufstil unnatürlich anpassen muss und die Parameter unwillentlich verfälscht. Neben einer zu geringen Anzahl an Versuchspersonen sind auch zu wenige Werte gesammelt worden. Es sollten pro Proband fünf statt drei Werte erhoben werden. Außerdem sollte einheitlich darauf geachtet werden die Probanden während der Messungen durchlaufen zu lassen und keine Pausen zwischen den einzelnen Aufzeichnungen zu machen.

Dennoch kann man bei genauer Betrachtung der Werte und der individuellen Ergebnisse eine Tendenz erkennen. Diese Tendenz zeigt sich auch in dem errechneten Laufprofil, wobei es als einziges einen signifikanten Unterschied und eine hohe Effektstärke gibt. Trotz geringer Signifikanzen kann festgehalten werden, dass die erfahreneren Läufer eine höhere Konstanz im Laufstil und eine bessere Laufökonomie zeigen.

[Text eingeben]

6. Schlussteil

Durch den Versuch ist erkenntlich geworden welche Parameter noch angepasst und verändert werden müssen um klare Ergebnisse erzielen zu können Die vorliegende Untersuchung verfolgt das Ziel, Unterschiede in der Laufökonomie zwischen Freizeit-,Amateur- und Eliteläufern anhand biomechanischer Parameter gemessen durch Motion Metrix zu analysieren. Die Fragestellung, ob Unterschiede in der Laufökonomie, gemessen mit Motion Metrix, zwischen Freizeit-, Amateur- und Eliteläufern festzustellen sind konnte nicht klar beantwortet werden, da keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen bei den einzelnen Parametern festgestellt werden konnten. Es gibt keine klare Korrelation zwischen der Lauferfahrung und der Laufleistung.

Zu diesen unklaren Ergebnissen tragen mehrere Faktoren bei. Unter anderem kann eine größere Stichprobengröße und größere Anzahl an Probanden die Aussagekraft erheblich verbessern und differenzierteren Ergebnissen hervorbringen. Damit signifikante Unterschiede erkenntlich werden müssen zudem die Leistungsunterschiede zwischen den Gruppen größer sein.

Trotz dieser Einschränkungen konnten gewisse Tendenzen beobachtet werden. So zeigen erfahrene Läufer eine höhere Konstanz im Laufstil, was insbesondere beim Laufprofil zu erkennen ist, da hier signifikante unterschiede mit hoher Effektstärke festgestellt wurden. Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass die Laufökonomie nicht alleine durch das Erfahrungsniveau beeinflusst wird, sondern durch eine Vielzahl individueller interner und externer Faktoren, die in zukünftigen Studien detaillierter untersucht werden sollten.

Abschließend lässt sich festhalten, dass die durchgeführte Studie wertvolle Erkenntnisse für die Weiterentwicklung biomechanischer Analysen liefern konnte. Gleichzeitig wurden methodische Herausforderungen sichtbar, die zukünftig berücksichtigt werden müssen, um präzise und aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten.

[Text eingeben]

Literaturverzeichnis

Lauf ABC. (2019, 22. Oktober). SART - Aktiv Vernetzt - Schweizerische Arbeitsgruppe für Rehabilitationstraining. <https://www.sart.ch/2019/10/22/lauf-abc/>

Laufanalyse. (o. D.). Google Books.

https://books.google.de/books?hl=de&lr=&id=mXE7D9bYYVsC&oi=fnd&pg=PA12&dq=Laufanalyse&ots=uDSaRHVdAN&sig=Vrn9O0dCVlilb84riy54w_piWOk#v=onepage&q=Laufanalyse&f=false

Mittelfußlauf. (o. D.). Google Books.

https://books.google.de/books?hl=de&lr=&id=QoddEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT12&dq=mittelfu%C3%9Flauf&ots=622C-Rm00u&sig=7cs1BxaidyOAZTKobvYXum82r8c&redir_esc=y#v=onepage&q=mittelfu%C3%9Flauf&f=false

Sandrina Illes. (2013). *Orientierung* » Nr. 1/2013. https://www.sandrina-illes.at/sites/default/files/OEFOL_Artikel-7.pdf

Séhel, S. (2017). *Mittelfußlauf: Biomechanische Grundlagen, praktische Tipps und die effektivsten Übungen*. Stiebner Verlag.

Wastl, P. & Wollny, R. (o. D.). *Laufen: Leichtathletik in Schule und Verein* (Bd. 3, S. 74). <https://www.hofmann-verlag.de/pdfs/2741.pdf>

Wunsch, T. & Schwameder, H. (2023). Biomechanik des Laufens und Laufanalyse. In *Springer eBooks* (S. 133–152). https://doi.org/10.1007/978-3-662-53410-6_11