

Fitoride Software und App für das statische Bike-Fitting

Teilnehmer: Ilja Papilloud (15 Jahre alt)

Erarbeitungsort: Halle (Saale)

Projektbetreuer: Steffen Kreutzmann

Thema des Projektes: Bike-Fitting

Fachgebiet: Informatik

Wettbewerbssparte: Schüler Experiment

Bundesland: Sachsen-Anhalt

Wettbewerbsjahr: 2024



Fitoride App Icon

Kurzfassung

Mein Projekt besteht darin, eine Anwendung für das „Bike-Fitting“ zu entwickeln, die kostenlos und für Menschen ab 15 Jahre (Männlich/Weiblich/Divers) geeignet ist, sowie schnell und unkompliziert auf Desktop-Plattformen (Windows, Linux, MacOS), auf dem Handy (Android) und online als Web-App (Python) verwendbar ist. Bike-Fitting bedeutet grundlegend, dass man eine optimale Position des Körpers auf dem Fahrrad bestimmt, um die Ergonomie (wie etwa die bessere Winddurchdringung) und die Ausdauer (wie etwa die bessere Verteilung der Kraft) auf dem Fahrrad zu verbessern und übliche Schmerzen wie Knieschmerzen, Rücken- und Nackenschmerzen zu vermeiden. Dabei ist mein Ziel, anhand von der vorhandenen wissenschaftlichen Literatur zur Biomechanik und Sportmedizin zu statischen und dynamischen Verhältnissen des Körpers auf dem Fahrrad genauere und erprobte Messungen zu vergleichen und in der Form von einer Software zu verarbeiten. Somit wird eine kostenlose und nicht zuletzt zuverlässige Möglichkeit angeboten, sein „Bike-Fitting“ selbst durchzuführen und – das ist meine Motivation – Menschen mehr zu motivieren, Fahrrad zu fahren und insgesamt die emissionsfreien Bewegungsmöglichkeiten zu fördern.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	2
2. Vorgehensweise, Materialien und Methoden	4
3. Ergebnisse	6
3.1 Fuß und Pedalen	6
3.2 Knie und Sattel	8
3.3 Arm, Rücken und Lenker	11
3.4 Übersetzung der Forschungsergebnisse in die Software/in die App.	14
4. Ergebnisdiskussion	16
5. Zusammenfassung	17
6. Quellen- und Literaturverzeichnis	18
a) Quellen zur App:	18
b) Literaturverzeichnis	19
7. Unterstützungsleistung.....	21

1. Einleitung

Ich möchte mit meiner Arbeit eine kostenlose Software für das Bike-Fitting herstellen, die zugleich für Menschen ab 15 Jahre (Männlich/Weiblich/Divers) geeignet ist, sowie schnell und unkompliziert auf übliche Desktop-Plattformen (Windows, MacOS, Linux) und auf dem Handy (Android, IOS) verwendbar ist. Dadurch ist es möglich die Ergonomie und die Sitzposition auf dem Fahrrad zu verbessern, Schmerzen zu vermindern und allgemein die Effizienz im Sinne einer besseren Verteilung der Kraft auf dem Fahrrad zu erhöhen. Die Software verstehe ich als ein Beitrag zur Förderung von sanften Bewegungsmöglichkeiten, insbesondere als eine Person, die gerne Fahrrad fährt und deshalb auch andere Menschen mehr motivieren möchte, Fahrrad zu fahren. Aus der Literatur ergibt sich, dass dies in den letzten Jahren in Deutschland und in Europa immer mehr angestrebt wird.

Nach dem statistischem Bundesamt *Destatis* auf der Grundlage von Zahlen der Datenbank für EU-Statistiken *Eurostat* (Stand 2019) fahren in Europa im Durchschnitt 24% der Europäer ab 15 Jahren Fahrrad (vgl. Statistisches Bundesamt *Destatis*, 2022a). Dabei sind die Niederlande mit rund 61% der Bevölkerung ab 15 Jahren, die Fahrrad fahren, ganz vorne. Es folgen Dänemark (47,5%), Finnland (38,8%), Ungarn (35,9%) und Slowenien (35,5%). Deutschland ist auf Platz sechs mit einem Anteil von rund 34% der Bevölkerung ab 15 Jahren, die Fahrrad fahren. Diese Zahlen unterscheiden sich nicht zwischen Männern und Frauen, wenn man die Statistik des Mobilitätsverhaltens von Männern und Frauen berücksichtigt, die auf den Zahlen von 2019 des *Eurobarometers* 495 basiert und alle 28 europäischen Länder betrifft (Statistisches Bundesamt *Destatis*, 2022b).

Eine neue Studie vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur zeigt, dass durch die Covid-Pandemie, das Fahrrad an Popularität in Deutschland stark gewonnen hat (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2021). Nach dieser Studie ist Das Fahrrad bzw. Pedelec [...] im Verkehrsmittelvergleich das Fortbewegungsmittel mit dem höchsten Wachstumspotential. In Zukunft wollen es 41 Prozent der Menschen im Alter zwischen 14 und 69 Jahren häufiger nutzen“ (ebd., 7). Wenn 77% der befragten Personen das Fahrrad zumindest selten fahren, fahren 38% der befragten Personen mit dem Fahrrad regelmäßig (ebd., 8). Alle befragten Personen benutzen das Fahrrad sowohl als Verkehrsmittel als auch in der Freizeit. Das Fahrrad wird von diesen Personen für seine gesundheitliche Aspekten und für den Spassfaktor erwähnt, und er positioniert sich unmittelbar hinter der Fortbewegung zu Fuß, die für die befragten Personen die größte Bedeutung in Bezug auf Gesundheit und Spaß hat.

Fahrradfahren als Form der sanften räumlichen Mobilität wird also neben der Fortbewegung zu Fuß in Deutschland stark unterstützt. Wie die Fortbewegung zu Fuß ist das Fahrradfahren umweltfreundlich (keine CO₂-Emissionen, kaum Lärm), und es stellt sich deshalb als ein Verkehrsmittel für die Mikro- bis Mesomobilität dar, wo der Bund im Rahmen des Klimaschutzprogrammes 2030 stark investiert. Insbesondere die Radinfrastruktur soll im Rahmen dieses Programms weiter in der Stadt und auf dem Land ausgebaut werden, damit Fahrradfahrer bequemer und sicherer mit dem Fahrrad unterwegs sein können (Bundesministerium für Digitales und Verkehr, 2021). Diese Entwicklung dient nicht zuletzt der Gesundheit von Menschen, die Fahrrad fahren (vgl. World Health Organisation, 2018), selbst wenn in diesem Bereich die Aussage, nach der Fahrrad fahren die menschliche Gesundheit verbessern würde, nur im Allgemeinen zutrifft.

Im Besonderen zeigen etwa Oja et al. in ihrer Rezension von 16 spezifischen wissenschaftlichen Untersuchungen zur Verbindung zwischen Fahrradfahren und Gesundheit, dass diese Studien tatsächlich eine allgemeine positive Beziehung zwischen Fahrradfahren und Gesundheit insbesondere in Verbindung mit einem besseren Körper-Fitness wie etwa mit einer besseren Beweglichkeit oder mit Gewichtsabnahme zeigen (etwa Møller et al., 2011). Dagegen sind die gesundheitlichen Vorteile vom Fahrradfahren im kardiovaskulären Bereich mittelmäßig, und sie können in Bezug auf die Vorbeugung von Schwerkrankheiten wie Krebs oder degenerativen Krankheiten nicht eindeutig gezeigt werden (Oja et al., 2011). Eine Studie von Bourne, die wie Oja die spezifische Literatur im Bereich Gesundheit und Fahrradfahren

mit elektrischem Antrieb auswertet, kommt zu dem Schluss, dass die physische Aktivität mit einem Pedelec im Vergleich zum Fahren von einem Fahrrad ohne elektrischen Antrieb keine eindeutigen Vorteile weder für die Verbesserung des kardiovaskulären Systems noch für die Vorbeugung von Schwerkrankheiten noch für die Verbesserung der psychologischen Gesundheit bringt (Bourne et al., 2018). Dennoch gibt es in diesem Bereich keinen eindeutigen Beweis, dass Fahrradfahren mehr Vorteile als Pedelecfahren bringen würde, weil es nicht eindeutig belegt werden kann, dass eine gesteigerte physische Aktivität bzw. eine sportliche Aktivität mehr Vorteile im Vergleich zu einer weniger intensiven physischen Aktivität bringen würde (Blair et al., 2001).

Im Bereich dieser Literatur zu den möglichen gesundheitlichen Vorteilen, die das Fahrradfahren bringen würde, ist seit dem Ende der 1990 Jahre eine Literatur zu den physischen Schäden entstanden, die das Fahrradfahren verursachen kann, wenn das gefahrene Fahrrad zu klein oder zu groß ist, oder wenn die Position vom Fahrer auf dem Fahrrad falsch ist und unterschiedliche Schmerzen in den Knien, der Hüfte, dem Rücken und dem Nacken verursacht (etwa Bailey et al., 2003; Callaghan, 2005). Diese Literatur betrifft respektive die Bereiche des Bike-Sizing und des Bike-Fitting, und im Rahmen dieses Forschungsprojektes interessiert uns die Literatur zu Bike-Fitting bzw. zur Position vom Fahrradfahrer auf seinem Fahrrad.

2. Vorgehensweise, Materialien und Methoden

Ich bin wie folgt vorgegangen: a) ich habe nach der Literatur zum Bike-Fitting gesucht und die wichtigsten Beiträge davon gelesen; b) aus dieser Literatur habe ich die Formeln genommen, die vorgeschlagen wurden, und ich habe sie mit meinem Vater an seinem Rennrad empirisch angewendet; c) aus diesen Experimenten habe ich dann die Formeln bewahrt, die die besten Ergebnisse geliefert haben und d) ich habe daraus eine App in zwei Sprachen (Python und GD-Script) programmiert, die erlaubt ein statisches Bike-Fitting in weniger Zeit mit zuverlässigen Ergebnissen zu Hause oder auf dem Weg zu machen. Im Folgenden möchte ich diese Stufen meines Vorgehens zusammenfassen.

Die Bike-Fitting-Literatur zeigt, dass es heutzutage keine optimale Lösung gibt, um ein einfaches und effizientes Bike-Fitting durchzuführen. Abgesehen vom Bike-Fitting, das von erfahrenen Mitarbeitern in Fahrradgeschäften oder von Unternehmen als Dienstleistung gegen einen manchmal auch hohen Preis angeboten wird (vgl. etwa das beliebte Unternehmen für

Bike-Fitting MyVeloFit: <https://www.myvelofit.com/pricing>), gibt es kaum kostenlose Alternativen. Apps für IOS und Android für das eigene durchgeführte Bike-Fitting existieren, selbst wenn sie selten sind. In unserer Forschung haben wir eine App „Bike Fast Fit“ gefunden, die darin besteht, ein Bild mit dem Smartphone vom Fahrer auf seinem Fahrrad oder ein Film davon zu machen, daraus unterschiedliche Messungen produziert werden, um ein Fitting der optimalen Position vom Fahrer auf dem Fahrrad zu ermitteln (vgl. <https://apps.apple.com/de/app/bike-fast-fit-elite/id1145619812>; <https://play.google.com/store/apps/details?id=at.steinbacher.posiclist>). Diese App, die für Android Grundlagemessungen ermittelt, die manchmal von Daten aus der Literatur mehr oder weniger stark abweichen, und die für IOS in unterschiedlichen Versionen je Funktion bezahlt werden muss (<https://apps.apple.com/de/app/bike-fast-fit-elite/id1145619812>), setzt das Kleben von Kontaktpunkten auf dem Körper, um die Messungen durchzuführen. Dies führt häufig zu Unregelmäßigkeiten bei der Messung, je nachdem wie gut die Kontaktpunkte geklebt wurden.

Abgesehen vom Geldfaktor ist die Verwendung dieser App oft aufwändig – ein Smartphone oder eine Kamera muss lateral und parallel zum Fahrer stabil montiert werden. Die Person muss das Gerät aktivieren und sie muss eine Zeit lang (10 bis 20 Minuten) auf einem Fahrrad-Heimtrainer trainieren, um Daten zu generieren, die dann mehr oder weniger präzise sind bzw. davon der Vorteil im Vergleich zu einem traditionellen Bike-Fitting mit einfacheren Maßnahmen nicht eindeutig ist. Anders gesagt, ist diese Lösung für ein Bike-Fitting mit wenigem Aufwand (nicht jeder hat einen Fahrrad-Heimtrainer zu Hause) nicht ideal, und sie kommt im Fall vom gelegentlichen Fahren oder vom Fahrradfahren-on-the-go nicht in Frage. Dagegen kann eine einfachere App ohne Verwendung von Kamera, Bildern, Filmen, 3D Abbildungen, Sensoren oder Fahrrad-Heimtrainer eine zufriedenstellende Bike-Fitting-Lösung anbieten, die nicht nur kostenlos ist, sondern verdichtete Ergebnisse aus der spezialisierten Literatur berücksichtigt, um eine optimale Position des Fahrers auf dem Fahrrad zu ermitteln. Dies ist die Grundidee der Fitoride-Software bzw. der Fitoride-App, die ein Bike-Fitting in wenigen Minuten zu Hause oder on-the-go ohne spezielles Material kostenlos und transparent anbietet.

Aus der Literatur zu Bike-Fitting, die sich am meisten mit Messungen und Winkeln des Unterkörpers beschäftigt, ergibt sich, dass ein Bike-Fitting vom Fuß, zum Knie, zu der Hüfte, zu der Schulter und zu den Armen des Fahrers gehen muss, um optimale Messungen zur

optimalen Position des Fahrers auf dem Fahrrad ermitteln zu können. Nach dieser Methodik sollte die App strukturiert werden, und sie sollte dann zuerst die Füße und die Pedale berücksichtigen. Dann sollte der Oberkörper berücksichtigt werden. Nach dieser Methodik brauchen wir dann für unsere App aus der Literatur zu Bike-Fitting die folgenden Messungen: Innenbein des Fahrers/der FahrerIn, Winkel des Sattelrohrs, Länge des Sattels und Länge ab der Mitte des Sattels bis zur Mitte der Lenkerstange oder Länge des Armes des Fahrers/der FahrerIn. Mit diesen Messungen ermitteln wir:

- die optimale Sitzhöhe auf dem Fahrrad
- die Sattelposition (vorne oder hinten auf dem Sattelrohr)
- die Entfernung des Lenkers in der Relation zur Sitzposition
- Ratschläge zur Optimierung dieses Settings

Die Literatur habe ich recherchiert und gelesen. Für die Experimente und das Verfassen der Ergebnisse habe ich die Unterstützung von meinem Vater geholt.

3. Ergebnisse

3.1 Fuß und Pedalen

Der Blog vom *Cam's Cycling Collective* (<https://neillsbikefit.com.au>) ist deshalb wertvoll, weil er die unterschiedlichen Mythen dekonstruiert, die mit dem Bike-Fitting verbunden sind und auf zahlreiche Videos im Internet von manchmal sehr erfahrenen Sportlern weiter transportiert werden.

Ein erster Mythos betrifft die Position vom Fuß auf dem Pedal insbesondere im Fall vom Fahrradfahren mit Klickpedalen (vgl. insb. https://neillsbikefit.com.au/?page_id=348). Häufig wird erzählt, dass das vordere Drittel des Fußes auf dem Pedal drücken muss, damit die meiste Kraft auf die Pedale aufgehoben wird und das Fahren mit dem Fahrrad beschleunigt wird. Diese Position vom Fuß auf dem Pedal kann im Fall von Klickpedalen am einfachsten geregelt werden, weil die Bindung aus Plastik oder aus Metall an der Sohle des Schuhs genau geregelt werden kann, um die optimale Position zu erreichen, die erlaubt, mehr Kraft in die Bewegung auf die Pedale auszuüben.

Lange galt, dass diese Bindungen an der Schnittstelle zwischen dem zweiten Metatarsalknochen und dem Halux positioniert werden sollten. Diese Idee kam jedoch von

einer Übertragung der Biomechanik des Fußes beim Gehen auf das Fahrradfahren. Auf dem Fahrrad sieht jedoch die Biomechanik des Fußes ganz anders als beim Gehen aus, oder anders gesagt: Der Fuß auf dem Fahrrad bewegt sich anders als beim Gehen, weil auf dem Fahrrad die Zehen wenig belastet werden. Deshalb verteilt sich die Kraft, die vom Bein kommt, anders, und sie kann nicht an der Spitze des Fußes, sondern im oberen Bereich des zweiten Metatarsalknochen am besten befreit werden und ihre Wirkung auf dem Pedal am stärksten ausüben (vgl. auch dazu Gregersen et al., 2006). Daher ist es empfohlen, nicht mit der Spitze des Fußes auf dem Pedal zu drücken, sondern mit diesem Bereich. Für Schuhe mit Bindungen sollten dann die Bindungen am meisten in die Richtung vom Absatz gerückt werden, damit der Fuß und das Bein seine optimale Wirkung auf dem Pedal ausüben kann (vgl. Abbildung 1).

Abbildung 1. Bindungen von oben (rechts) nach unten (links) bringen



Dabei werden auch Krämpfe am Fuß vermieden und die Bedingung für einen optimalen Winkel des Fußes im Verhältnis zur Tibia (zum Schienbein) von $122^\circ (+3^\circ)$ in der Drei-Uhr-Position des Pedals erreicht (dazu vgl. Bini et al., 2016).

Am Fuß kann noch die Rotation des Fußes auf dem Pedal anhand von der Bindung am besten geregelt werden. Dabei muss berücksichtigt werden, dass der Fuß natürlich bewegt werden kann bzw. nicht zu stark nach Innen oder nach Draußen schaut (10° bis höchstens 20° nach links oder rechts). Bei unterschiedlichen Beinlängen können auch spezielle Sohlen für Fahrradschuhe gekauft werden oder Platten auf der Bindung montiert werden, die Unregelmäßigkeiten beim Pedalieren ausgleichen, selbst wenn Menschen asymmetrisch sind und solche Unregelmäßigkeiten nicht endgültig gelöst werden können. Wenn die Fußposition steht, kann es zum Knie und zum Sattel gehen.

3.2 Knie und Sattel

Im Bereich von Knie und Sattel bzw. Hüfte finden wir die meisten Studien, die sich mit dem Bike-Fitting beschäftigen, weil dort die meisten Schmerzen entstehen, die das Fahrradfahren verursacht, wenn die Position des Fahrers auf dem Fahrrad falsch ist. Hier finden wir auch die meisten Tipps und Tricks, die im Internet verlaufen, um den Fahrern eine Idee zu geben, wie sie ihre Position auf dem Sattel am besten erreichen.

Ein erster Tipp ist, den Absatz auf das Pedal zu legen, wenn sich das Pedal in der Sechs-Uhr-Position (unten) sich befindet. In dieser Position sollte das Bein leicht gestreckt sein, und es sollte immer noch möglich sein, rückwärts mit dem Absatz stets auf dem Pedal zu pedalieren. Dann wäre die Sattelhöhe optimal.

Ein zweiter Tipp, der ebenfalls sehr verbreitet ist, verwendet ein Lot. Die Schnur muss in der Mitte der Kniescheibe gehalten werden, und sie soll, da unterscheiden sich die Meinungen, entweder durch die Mitte der Pedalachse oder an der Schnittstelle zwischen dem Ende des Mittelfußknochens und dem Anfang vom Grundglied des kleineren Zehs gehen. Selbst wenn diese Tipps eine grobe Schätzung der Position des Knies und des Knöchels mit Fuß auf dem Pedal wiedergeben können, sind sie sehr ungenau und manchmal führen sie zu falschen Ergebnissen je nachdem, wie lang oder kurz das Bein des Fahrers ist.

Bini (Bini et al., 2010) hat gezeigt, dass eine Verschiebung von einigen Millimetern der Sattelhöhe das Fahrradfahren signifikant beeinflussen bzw. verändern kann, und sie führt zu einer Verteilung der Kraft, die im Fall von einer falschen Sattelhöhe verschwendet wird. Menard hat ebenfalls erklärt, dass die Sattelhöhe mit der Position des Sattels entweder nach vorne oder nach hinten im Verhältnis zur Mitte des Sattelsrohrs so korreliert, dass eine falsche Sattelhöhe mechanisch zu einer falschen Position des Sattels (zu stark nach vorne oder zu stark nach hinten) führt (Menard et al., 2018). Daraus resultieren einerseits Knieschmerzen und andererseits Rücken- und Nackenschmerzen, die bis 60% der Schmerzen ausmachen, worunter Fahrradfahrer leiden. Davon sind am meisten nicht-professionelle Fahrradfahrer betroffen, die mit einem Fahrrad weniger als erfahrene Fahrer unterwegs sind (vgl. etwa Mellion, 1991).

Deshalb sind präzise Messungen von Bein und Beinwinkel auf dem Fahrrad wichtig, damit die Sattelhöhe und die Position des Sattels auf dem Sattelrohr optimal geschätzt werden können. Am besten sollte auch dazu die Müdigkeit des Fahrers berücksichtigt werden, weil

sich mit der Zeit auf dem Fahrrad und die davon verursachte Körpermüdigkeit die Position des Fahrers auf dem Fahrrad verändert wird.

Eine solche optimale Schätzung der Sattelhöhe und der Position des Sattels auf dem Sattelrohr kann nur durch Experimente mit möglichst vielen Fahrradfahrern durchgeführt werden, die während ihres Trainings auf einem Fahrrad-Heimtrainer gemessen werden, damit die Winkel vom Knöchel, Knie und Hüfte dynamisch und statisch im Verhältnis zur Sattelhöhe und zur Position des Sattels auf dem Sattelrohr ermittelt werden können. Die Studie von Bini und Hume (Bini und Hume, 2016) ist deshalb sehr interessant, weil sie ein solches Experiment durchführt und zum Ergebnis kommt, dass optimale Winkel berechnet werden können, um die optimale Position der Sattelhöhe zu ermitteln, die sowohl dynamisch als auch statisch gelten. Diese Winkel sind die Folgenden:

- 38° (Innenwinkel) für Hüfte im Verhältnis zum Oberschenkelknochen
- 62° (Außenwinkel) oder 28° (Innenwinkel) für Knie im Verhältnis zum Oberschenkelknochen
- 122° (Innenwinkel) für Fuß im Verhältnis zur Tibia

Diese Winkel müssen mit einer Toleranzmessung von $\pm 1\text{-}3^\circ$ berücksichtigt werden, da je nach Bein und Bewegung diese Winkel leicht variieren können. In der Nachfolge dieser Arbeit hat Gatti eine allgemeine Formel zur Schätzung der optimalen Sattelhöhe ermittelt, die diese Winkel am besten abbildet, und die deshalb in der Fitoride-App verwendet wird (Gatti et al., 2022). Diese Formel verwendet zwei Messungen:

Abbildung 2. Innenbeinlänge

- Messung vom Innenbein des Fahrers/der Fahrer*in in Zentimetern (vgl. Abbildung 2)

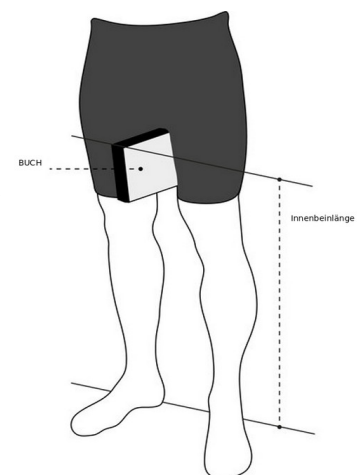


Abbildung 3. Winkel Sattelrohr/Gerade

- Messung des Winkels vom Sattelrohr zu einer Gerade in Grad
(vgl. Abbildung 3)



Entsprechend werden diese Messungen in die folgende Formel eingesetzt: $7,41 + (0,82 \cdot \text{Innennaht}) - 0,1(\text{Knieinnenwinkel im Verhältnis zum Oberschenkelknochen}) + 0,003(\text{Innennaht} \cdot \text{Winkel vom Sattelrohr zu einer Gerade})$. Geben wir ein Beispiel. Für ein Fahrer, der eine Innenbeinlänge von 83,4 Zentimeter hat und ein Fahrrad mit einem Winkel des Sattelrohrs zur Gerade von $19,4^\circ$, dann ergeben sich folgende Werte:

- $7,41 + (0,82 \cdot 83,4) = 7,41 + 68,388 = 75,798$
- $0,1 \cdot 28^\circ = 2,8$
- $0,003 \cdot (83,4 \cdot 19,4^\circ) = 0,003 \cdot 1617,96 = 4,85388$
- Ergebnis: $75,798 - 2,8 + 4,85388 = 77,85188 \text{ cm}$

Die optimale Sattelhöhe von einem Fahrradfahrer mit diesen Massen ist dann 77,85 Zentimeter hoch von der Kurbelachse bis an die Spitze der Sattelmittte (vgl. Abbildung 3).

Abbildung 4. Bestimmung endgültige Sattelrohrlänge



In dieser Position und im Einverständnis mit den erwähnten Studien wird die optimale Sitzposition für diesen Fahrer erreicht bzw. die Position, die eine optimale Verteilung der Kraft beim Fahrradfahren erlaubt. Da diese Position die optimale Position vom Fahrer auf dem Fahrrad ist, kann dann die Position des Sattels ermittelt werden, dessen Mitte mit der Mitte des Sattelrohrs in dieser Position übereinstimmen muss. Menard (Menard et al., 2018) hat in seiner Studie gezeigt, dass der Sattel nach vorne ungefähr bis zum Gravitationszentrum des Sattels ($\sim 2/3$ der Sattellänge) gerückt werden könnte, ohne dass dabei Beschwerden insb. in den Knien entstehen (vgl. Abbildung 5).

Abbildung 5. Sattel: Gravitationszentrum (G) und Zentrum (Z)



Die Position des Fahrers ist „aggressiver“ und die Kraft beansprucht die Quadriceps-Muskeln des Beines mehr, ohne dass jedoch die Studien einen bedeutsamen Durchschnittsgewinn im Sinne einer erhöhten Geschwindigkeit im Vergleich zur Position der Sattelmitte in der Mitte des Sattelrohrs für eine vergleichbare Fahrt von 20 Minuten verzeichnen. Dagegen generiert eine Position des Sattels zu weit nach hinten Schmerzen besonders im unteren Bereich des Rückens, die bei unerfahrenen Fahrern selbst nach einer kurzen Fahrt entstehen können. Schließlich sollte der Sattel parallel zum Boden eingestellt werden. Eine „aggressivere“ Position vom Sattelwinkel mit einem Winkel leicht nach unten ($1-2^\circ$) ist jedoch für erfahrene Fahrradfahrer ohne Bedenken zulässig, selbst wenn diese Position keinen Vorteil im Sinne der Verteilung der Kraft auf dem Fahrrad bzw. der erhöhten Geschwindigkeit bringt.

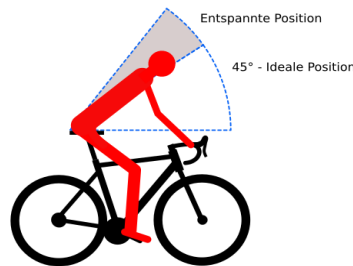
Mit diesen Messungen steht das Bike-Fitting vom unteren Körperbereich, und das Bike-Fitting vom oberen Körperbereich kann vorgenommen werden.

3.3 Arm, Rücken und Lenker

Wenn die Position des Sattels steht, dann ergibt sich an der Hüfte ein optimaler Innenwinkel von 38° ($1-3^\circ$), der die Position des Rückens auf dem Fahrrad im Verhältnis zur Distanz von

der Mitte des Sattels bis zur Mitte der Lenkerstange des Fahrrads bestimmt. Wenn wir von Fahrrädern sprechen, die wie Citybike, Mountainbike, Gravelbike oder Rennräder sowohl für sportliche Tätigkeiten als auch als Verkehrsmittel verwendet werden, dann sollte die Position von Fahrern auf dem Fahrrad nach vorne gebogen sein, bis die Mitte der Hände den Lenker erreichen. Die erwähnten Studien zeigen in dieser Hinsicht, dass für eine optimale Sitzposition auf dem Fahrrad die Biegung des Rückens im Verhältnis zum Oberschenkelbein $80^\circ (+/-1-5^\circ)$ ist, und dass die Position der Arme mit Händen auf dem Lenker einen Winkel von $30^\circ (+/-1-5^\circ)$ im Verhältnis zum Boden zeigen sollte. Dies bedeutet, dass der Innenwinkel zwischen Rücken und Boden $45^\circ (+/-1-5^\circ)$ betragen sollte (Bini et al., 2014; vgl. Abbildung 6).

Abbildung 6. Verhältnis Rückenbiegung/Boden



Diese optimalen Messungen von Winkeln erlauben, sich die Position vom Rücken und von den Armen am Lenkrad in der Form von einem Dreieck vorzustellen, dessen Längen einerseits die Länge von der Sattelmitte bis zum Mittelpunkt des Lenkrads, andererseits vom Mittelpunkt des Lenkrads zum Schulterhauptgelenk, und schließlich vom Schulterhauptgelenk zum Oberschenkelbein ist. Die Winkel von einem solchen Dreieck können nach der üblichen Formel der Winkel von einem Dreieck ermittelt werden. Wenn der Winkel Alpha zwischen Rücken und Oberschenkelbein $45^\circ (+/-1-5^\circ)$ und der Winkel Beta zwischen Armen und Boden $30^\circ (+/-1-5^\circ)$ betragen, dann beträgt der Winkel Gamma zwischen Schulter und Rücken $105^\circ (+/-1-5^\circ)$. Mit einfachen Formeln der Trigonometrie können dann die Länge Lenker-Schulterhauptgelenk und Schulterhauptgelenk-Oberschenkelbein wie folgt ermittelt werden:

- Länge Sattelmitte bis Mittelpunkt des Lenkers = a
- Länge Lenker-Schulterhauptgelenk = $a/\sin(\text{Gamma}) \cdot \sin(\text{Alpha})$
- Länge Schulterhauptgelenk-Oberschenkelbein = $a/\sin(\text{Gamma}) \cdot \sin(\text{Beta})$

Nehmen wir ein Beispiel. Bei einer Länge a zwischen der Sattelmittle zum Mittelpunkt der Lenkerstange von 64,3 Zentimeter ergibt sich:

- die Länge Lenker-Schulterhauptgelenk: $64,3/\sin(105) * \sin(45) = 47,07$ Zentimeter
- die Länge Schulterhauptgelenk-Oberschenkelbein: $64,3/\sin(105) * \sin(30) = 33,28$ Zentimeter

Bei einer „race“ bzw. aggressiveren Position (mehr Biegung) können diese Länge wie folgt variieren:

- die Länge Lenker-Schulterhauptgelenk: $64,3/\sin(110) * \sin(40) = 43,98$ Zentimeter
- die Länge Schulterhauptgelenk-Oberschenkelbein: $64,3/\sin(110) * \sin(25) = 28,91$ Zentimeter

Bei einer Position zur entspannten Tour (weniger Biegung) können diese Länge wie folgt variieren:

- die Länge Lenker-Schulterhauptgelenk: $64,3/\sin(100) * \sin(50) = 50,02$ Zentimeter
- die Länge Schulterhauptgelenk-Oberschenkelbein: $64,3/\sin(100) * \sin(35) = 37,45$ Zentimeter

An diesem Beispiel würde dann Fahrern empfohlen werden, die auf dem Fahrrad zu tief gebogen wären, den Vorbau am Lenker für einen kürzeren Vorbau zu wechseln. Symmetrisch geht es für Fahrer, die sich nicht tief genug auf dem Fahrrad fühlen und entsprechend des Vorbaus am Lenker für einen größeren Vorbau wechseln sollten. Es muss aber hingewiesen werden, dass im Regelfall der Vorbau nicht weniger als 6 Zentimeter lang sein sollte, um Schwierigkeiten beim Drehen zu vermeiden. Ebenfalls und aus demselben Grund sollte er nicht größer als 12 Zentimeter lang sein.

Die hier berechneten Längen stimmen nicht mit der Armlänge bzw. Rückenlänge überein. Dies kommt daher, dass die Arme auf dem Fahrrad nicht ganz gestreckt werden müssen sowie die Schulter nicht nach vorne gehen sollten, damit das Fahrradfahren bequem und biomechanisch ebenfalls effizient erfolgt. Eine andere Strategie besteht darin, die Armlänge

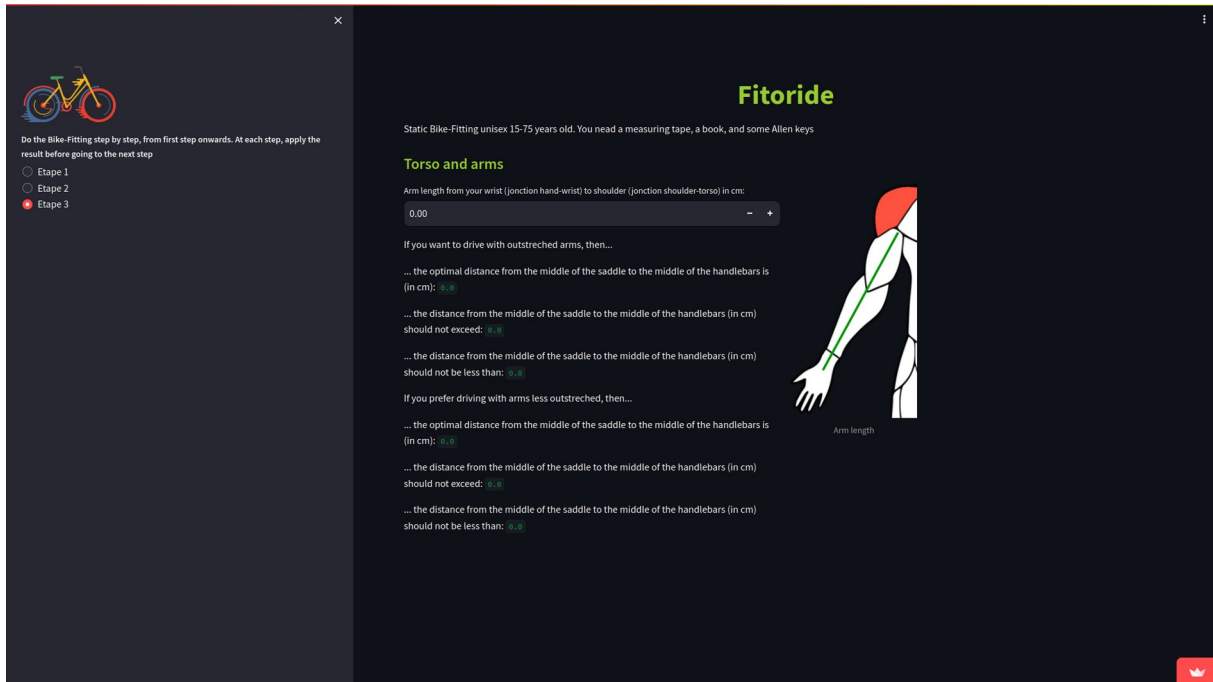
vom Handgelenk bis zur Schnittstelle Schulter-Oberkörper zu messen, damit das Ergebnis die optimale Länge (mit \pm Intervallen in Zentimetern) zwischen der Sattelmittle und dem Lenkermittle ermittelt wird. Dieselben trigonometrischen Formeln als oben gelten. Diese Strategie verwenden wir in der Software bzw. in der App, weil sie sich nach unseren Recherchen als genauer erwiesen hat, um die optimale Position des Oberschenkels auf dem Fahrrad und die Winkel der Arme zu schätzen.

3.4 Übersetzung der Forschungsergebnisse in die Software/in die App.

Das Endprodukt dieser Forschung ist eine App, die ich in zwei verschiedenen Programmiersprachen programmiert habe. Einerseits habe ich zwei Apps in Python und andererseits eine App in der Game-Engine Godot (mit der Sprache GD-Script) programmiert. Python hat den Vorteil, dass es sehr portabel ist, und es ist allgemein sehr gut geeignet für einfache Programme. Die Sprache ist wegen ihrer Struktur gut lesbar und intuitiv verständlich. Im Gegenzug bietet sie jedoch weniger Möglichkeiten, die einfach einzusetzen sind, wenn es um die Ästhetik geht (wie etwa bei Apps für Handy, die nicht nur funktionieren müssen, sondern auch angenehm aussehen sollten). Dagegen ist Godot komplexer auf der Ebene der Struktur und weniger intuitiv, aber als Game-Engine ist Godot für Ästhetik besser. Außerdem kann mit Godot eine Android App relativ unkompliziert generiert werden, was Python im Moment noch nicht anbietet.

Ich habe bei allen Apps die Vorgänge für die mathematischen Berechnungen hergestellt und die Eingabemethoden für den Nutzer angefertigt. Zur online Python-App wie für die Godot-App habe ich zudem Bilder hinzugefügt, damit der Nutzer sofort versteht, welche Messungen er/sie vornehmen muss, um sein/ihr Bike-Fitting zu machen. Die aufwendigste Arbeit habe ich mit der Godot-App gehabt, weil ich mehr Zeit in die Ästhetik investiert habe (Musik, Musikeffekten, Animationen, viele Bilder, eine allgemeine ästhetische Gestaltung mit einem einheitlichen Thema). Ich habe auch vereinzelte Bilder selbst bearbeitet mit dem Programm Krita, insb., um an Farben zu arbeiten.

Interface beider Fitoride-Hauptversionen:



Fitoride App Python (online)



Fitoride App Linux/Windows/Android/MacOS (offline)

4. Ergebnisdiskussion

Bike-Fitting ist trotz der zahlreichen Untersuchungen, die in diesem Bereich vorgenommen wurden, keine exakte Wissenschaft, sondern eine experimentelle Wissenschaft, die vom statistischen zu dynamischen Bike-Fitting und vom reinen experimentellen Wissen aus Erfahrung zu KI und video-unterstützten Techniken der Vermessung von Bewegungen auf dem Fahrrad reihen (etwa Holliday et al., 2017; Holliday, 2019). Die Studien, die in diesem Bereich zur Verfügung stehen und von der Sportmedizin, der Physiotherapie bis zur Biomechanik und Kinematik reichen, kommen zum gemeinsamen Schluss, dass es trotz Fortschritte, die im Bereich des Bike-Fitting besonders durch die vielen Experimenten erzielt und erreicht worden sind, keine einzige Methode für ein Bike-Fitting und kein perfektes Ergebnis aus einem Bike-Fitting gibt. Bike-Fitting trägt zwar zur Verbesserung der Position vom Fahrer auf dem Fahrrad entweder in der Variante des statischen oder des dynamischen Bike-Fitting bei. Aber das perfekte Bike-Fitting gibt es nicht und wird es wahrscheinlich aufgrund der unzähligen unterschiedlichen körperlichen Merkmale bei Menschen, vom unterschiedlichen Fahrstyle der Fahrer und der Entwicklung von diesem Fahrstyle bei Einzelfahrern in der Zeit nie geben (etwa García-López, 2016).

Nichtsdestotrotz und wie die Studien zu Bike-Fitting zeigen, ist es möglich durch die Messung von menschlichen Körpermerkmalen und Winkeln die ideale Position für ein Fahrradfahrer in Bezug auf ein gegebenes Fahrrad zu schätzen, und diese Position in der Zeit und durch regelmäßige Justierung, die insbesondere für professionelle Fahrer auch mit bestimmten physischen Übungen und mit Physiotherapie verbunden werden, zu optimieren. In diesem Zusammenhang ist eine große Anzahl an Methoden und Verfahren entwickelt worden, die zur Dekonstruktion von einigen Mythen im Bereich des Bike-Fitting geführt haben, die mittlerweile eine Anwendung von gender-neutralen Kriterien und Messungen für Menschen ab 15 Jahren unterstützen, davon einige auch sowohl im Kontext vom dynamischen als auch vom statischen Bike-Fitting gelten (vgl. Bini und Hume, 2016).

Daraus hat sich diese Forschung in der Form von einer Software bzw. einer App in zwei Sprachen (Python und GD-Script) ergeben. Zu dieser App haben wir davor berichtet. Folgendes kann hier hinzugefügt werden. Die größte Schwierigkeit war die Übersetzung der verschiedenen Ergebnisse des Experimentes in den zwei formalen Sprachen für alle App-Deklinationen, da mehrere Tests benötigt wurden, um sicher zu gehen, dass die Berechnungen stimmten und funktionierten. Deshalb musste ich die mathematische Richtigkeit überprüfen,

als auch testen, ob die Werte für längere reale Strecken (also nicht nur auf dem Heimtrainer) sich bewahrten – hierzu hat mir mein Vater geholfen, da er diese Strecken mit den unterschiedlichen Messungen gefahren ist. Die Godot-App war definitiv die schwierigste App, die ich geschrieben habe, da ich mehr Schwierigkeiten mit der Implementierung von Berechnungen (Godot kennt etwa keine unmittelbare Sin/Cosin Formel) und mit den optischen Details hatte.

Auch wenn ich mit meinen Apps zufrieden bin, sehe ich dennoch Ausbaupotentiale. Man könnte etwa die Android-App verbessern, indem man sie besser am Handy mit etwa einer angepassten Bildschirmgröße, einem Zoom, einer vertikalen Sicht anpasst. Man kann auch eine Lösung finden, damit der Text besser bzw. größer dargestellt wird, und die Tastatur nicht im Weg steht. Außerdem könnte man mehr Diversität im Bereich Ästhetik einbauen. Eine weitere Ausbaumöglichkeit wäre eine Verbindung zwischen Bike-Fitting und Bike-Sizing anzubieten, welche je nach Position des Körpers auf dem Fahrrad einen geeigneten Fahrradrahmen (aus einer bestimmten Kategorie von Fahrrädern, die sich eine Person auswählen würde) ermittelt bzw. vorschlägt (siehe etwa die erwähnte „Ratschläge zur Optimierung dieses Settings“ oben, dazu eine solche Verbindung zwischen Bike-Fitting und Bike-Sizing gehören würde). Eine Erweiterung zum Bike-Sizing stelle ich mir als sinnvoll dar, da selbst ein perfektes Bike-Fitting bei einem unpassenden Fahrrad zwecklos ist. Diese sind weitere Faktoren, die in einer neuen bzw. verbesserten App implementierbar wären, um ein noch besseres Bike-Fitting zu ermöglichen und den Spaßfaktor auf dem Fahrrad zu erhöhen.

5. Zusammenfassung

Aus der Literatur zum Bike-Fitting lassen sich Messmethoden verdichten, die zu einem unkomplizierten Bike-Fitting mit wenigen Mitteln führen, das in der Lage ist, zuverlässige Werte für die präzise Schätzung der Position vom Fahrer auf dem Fahrrad zu ermitteln. Diese Ergebnisse wurden in der Form von einer Anwendung und einer App vorgeschlagen, die zu Hause oder on-the-go von jedem Fahrradfahrer und von jeder Fahrradfahrerin ab 15 Jahren gebraucht werden können, um ihre ideale Position zu erreichen und sowohl bequemer als auch effizienter auf ihrem Fahrrad unterwegs zu sein. Die Anwendung wurde in den Sprachen Python und GDScript geschrieben. Software und App werden kostenfrei auf GitHub für Windows und Linux und für Smartphone (Android) und als Web-App (MacOS/IOS und

andere Systeme) angeboten. Ein GitHub-Konto wurde hergestellt, die den Quellcode für das Software bzw. für die App enthält. Damit kann der Code von Dritten verbessert und verändert werden.

Die Forschung zu Bike-Fitting hat erlaubt, eine Auswahl aus den besten wissenschaftlich geprüften Methoden der Berechnung der Körperposition auf dem Fahrrad zu treffen, die dann in Programmiersprachen übersetzt worden sind und im Sinne der leichten Verwendung an der Seite der Personen verarbeitet wurden, die diese Software bzw. diese App verwenden möchten. Dies ist ein erster Versuch gewesen, einfach und unkompliziert ein Bike-Fitting so vorzubereiten, dass es den Personen erlaubt, dies selbst zu machen. Dabei ist die Intention einer solchen Forschung, die Umwandlung der räumlichen Mobilität bei Menschen in der Zeit des Klimawandels zu unterstützen und dafür den Menschen ein Werkzeug in die Hand zu geben, damit sie es mit minimalem Aufwand umsetzen können. Mittelbar kann diese Forschung dazu beitragen, die Personen für das Radfahren zu begeistern – angefangen mit meinen Mitschülern und Freunden.

Nichtsdestotrotz kann die Software verbessert werden. Abgesehen von dem Fortschritt in der Forschung zu Bike-Fitting, haben wir einige weiteren Entwicklungsmöglichkeiten erwähnt, die für die Verbesserung dieser Software denkbar wären. Etwa die Koppelung der Software mit dem Bike-Sizing wäre eine Möglichkeit, um mit dieser Software nicht nur eine gute Position auf dem Fahrrad vorzuschlagen, sondern entsprechend auch mögliche Fahrräder, die dem Wunsch der Personen am besten entsprechen würden. Dieser Weg müsste jedoch weiter beschritten werden, da er auch eine Komplexität hinzufügt, die nicht unterschätzt werden sollte (etwa die Einbeziehung von industriellen Normen für Rahmengröße, oder für weitere Teile von einem Fahrrad wie etwa die Kurbellänge usw., die wir in dieser Forschung nicht berücksichtigt haben und die eine zusätzliche Forschung erfordern würde).

6. Quellen- und Literaturverzeichnis

a) Quellen zur App:

Web-App: <https://iljapapilloud-fitoride-fitoride-app-2ekp1t.streamlit.app/>

GitHub: <https://github.com/iljapapilloud/fitoride>

b) Literaturverzeichnis

- Bailey, M. P., Maillardet, F. J., Messenger, N. (2003). „Kinematics of cycling in relation to anterior knee pain and patellar tendinitis“, *Journal of sports sciences*, 21(8), 649–657. <https://doi.org/10.1080/0264041031000102015>
- Bini, R. R., Tamborindéguy, A.C., Mota, C.B. (2010). „Effects of saddle height, pedaling cadence, and workload on joint kinetics and kinematics during cycling“, *Journal of Sport Rehabilitation*, 19(3): 301-314.
- Bini, R., Hume, P., Kilding, A. (2014). „Optimizing Bicycle Configuration and Cyclists' Body Position to Prevent Overuse Injury Using Biomechanical Approaches“ in Bini, R., Carpes, F., *Biomechanics of Cycling*, New York: Springer, 92-107, doi: 10.1007/978-3-319-05539-8_8.
- Bini, R., Hume, P. (2016). „A Comparison of Static and Dynamic Measures of Lower Limb Joint Angles in Cycling: Application to Bicycle Fitting“, *Human Movement*, 17. 36-42. 10.1515/humo-2016-0005
- Blair, S. N., Cheng, Y., & Holder, J. S. (2001). „Is physical activity or physical fitness more important in defining health benefits?“, *Medicine and science in sports and exercise*, 33(6 Suppl), S379–S420. <https://doi.org/10.1097/00005768-200106001-00007>
- Bourne, J. E., Sauchelli, S., Perry, R., Page, A., Leary, S., England, C., and Cooper, A. R. (2018). „Health benefits of electrically-assisted cycling: a systematic review“, *The international journal of behavioral nutrition and physical activity*, 15(1), 116. <https://doi.org/10.1186/s12966-018-0751-8>
- Bundesministerium für Digitales und Verkehr, 2021, „Klimaschutz im Verkehr – Rad- und Fußverkehr“, <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/Klimaschutz-im-Verkehr/klimaschutz-rad-und-fussverkehr.html> (Zugriff am 17.04.2023).
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2021, „Fahrrad-Monitor Deutschland 2021“, https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/StV/fahrrad-monitor-2021.pdf?__blob=publicationFile (Zugriff am 17.04.2023).
- Callaghan, M. J. (2005). „Lower body problems and injury in cycling“, *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 9(3): 226-236.
- Holliday, W., Fisher, J., Theo, R., Swart, J. (2017). „Static versus dynamic kinematics in cyclists: A comparison of goniometer, inclinometer and 3D motion capture“, *European Journal of Sport Science*, 17. 1-14. 10.1080/17461391.2017.1351580.

- García-López, J., Díez-Leal, S., Ogueta-Alday, A., Larrazabal, J., Rodríguez-Marroyo, J.A. (2016). „Differences in pedalling technique between road cyclists of different competitive levels“, *Journal of Sports Sciences*, 34(17), 1619-1626, DOI: 10.1080/02640414.2015.1127987
- Gatti, A.A., Keir, P.J., Noseworthy, M.D., Maly, M.R. (2022). „Equations to Prescribe Bicycle Saddle Height based on Desired Joint Kinematics and Bicycle Geometry“, *European Journal of Sport Science*, 22:3, 344-353.
- Gregersen, C. S., Hull, M.L., Hakansson, N.A. (2006). „How changing the inversion/eversion foot angle affects the nondriving intersegmental knee moments and the relative activation of the vastii muscles in cycling“, *Journal of Biomechanical Engineering*, 128(3): 391- 398
- Holliday, W., Theo, R., Fisher, J., Swart, J. (2019). „Cycling: joint kinematics and muscle activity during differing intensities“, *Sports Biomechanics*, 22. 1-15. 10.1080/14763141.2019.1640279.
- Menard, M., Domalain, M., Decatoire, A., Lacouture, A. (2018). „Influence of saddle setback on knee joint forces in cycling“, *Sports Biomechanics*, doi: 10.1080/14763141.2018.1466906
- Mellion M. B. (1991). „Common cycling injuries. Management and prevention“, *Sports medicine*, 11(1), 52–70. <https://doi.org/10.2165/00007256-199111010-00004>
- Møller, N. C., Østergaard, L., Gade, J. R., Nielsen, J. L., & Andersen, L. B. (2011). „The effect on cardiorespiratory fitness after an 8-week period of commuter cycling--a randomized controlled study in adults“, *Preventive medicine*, 53(3), 172–177. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2011.06.007>
- Oja, P., Titze, S., Bauman, A., de Geus, B., Krenn, P., Reger-Nash, B., Kohlberger, T., 2011 „Health benefits of cycling: a systematic review“, *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 21(4): 496-509; doi: 10.1111/j.1600-0838.2011.01299.x.
- Statistisches Bundesamt *Destatis*, 2022, „Fahrradfahren: Niederlande im EU-Vergleich ganz vorn“, <https://www.destatis.de/Europa/DE/Thema/Verkehr/Fahrrad.html> (Zugriff am 17.04.2023).
- Statistisches Bundesamt *Destatis*, 2022, „Mobilitätsverhalten von Frauen und Männern“, <https://www.destatis.de/Europa/DE/Thema/Verkehr/Mobilitaet-Frauen-Maenner.html?nn=217548> (Zugriff am 17.04.2023).

- World Health Organisation. (2018). „Physical activity“, <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/physical-activity> (Zugriff am 18.04.2023).

7. Unterstützungsleistung

Für die Experimente und das Verfassen der Ergebnisse habe ich die Unterstützung von meinem Vater geholt.

Bezeichnung der Unterstützungsleistung

- Unterstützer: Christian Papilloud
- Funktion und Berufsbezeichnung: Universitätsprofessor MLU Soziologie
- Name der Institution/des Unternehmens: Martin-Luther Universität Halle-Wittenberg
- Art der Unterstützung: Am Smart-Heimtrainer (Elite Suito) und am Fahrrad (Rennrad) vom Unterstützer haben wir zusammen die unterschiedlichen Messungen probiert, die hier vorgestellt wurden. Der Unterstützer hat jede Messung auf dem Heimtrainer während 30 Minuten Trainingseinheiten erprobt, was uns erlaubt hat, die unterschiedlichen Ergebnisse zu vergleichen und die Messungen bzw. Formeln aus der Literatur zu behalten, aus der sich die besten Ergebnisse abgebildet haben. Diese besten Formeln haben wir dann empirisch im Fahrradfahren draußen auf mehrere Wochen fein justiert und diejenige behalten, die das beste Ergebnis geliefert haben.