

Bachelorarbeit

Geschwindigkeiten von Fahrrädern, E-Scootern und E-Bikes im Vergleich

Claudia Hötzing

Datum: 19.06.2019

Kurzfassung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit dem Vergleich der Geschwindigkeiten von Fahrrädern, E-Scootern und E-Bikes. Besonders wird auf die Frage eingegangen, wie sich diese auf Radwegen mit Gefällestrecken verhalten. Die Annahme ist, dass elektrisch betriebene Fahrräder/Scooter bergauf im Durchschnitt schneller als herkömmliche Fahrräder unterwegs sind. Durch Aufnahmen mittels einer Videokamera sind die Geschwindigkeiten der vorbeifahrenden Verkehrsmittel auf einem definierten Streckenabschnitt in Wien bestimmt worden. Das Ergebnis bei Betrachtung der bergauffahrenden Verkehrsteilnehmer ist, dass das E-Bike mit $\varnothing 17,18$ km/h schneller als der ausleihbare E-Scooter mit $\varnothing 14,95$ km/h und der private E-Scooter mit $\varnothing 14,67$ km/h ist, jedoch das herkömmliche Fahrrad mit $\varnothing 11,86$ km/h langsamer ist. Bei der Beurteilung der bergabfahrenden Personen ist das E-Bike mit $\varnothing 23,57$ km/h, das Rennrad mit $\varnothing 22,92$ km/h, das herkömmliche Fahrrad mit $\varnothing 21,15$ km/h und das Citybike mit $\varnothing 19,19$ km/h schneller als die E-Scooter-Typen mit $\varnothing 18,33$ km/h (ausleihbarer E-Scooter) bzw. $\varnothing 18,42$ km/h (privater E-Scooter). In Bezug auf die Geschwindigkeiten sind auch die kinetischen Energien der Verkehrsmittel in verschiedenen Modellen berechnet worden. Bei höherer Geschwindigkeit der aufeinanderprallenden Verkehrsmittel ist eine höhere kinetische Energie im System vorhanden und daraus folgend eine mögliche größere Unfallschwere.

1 Einleitung

In Österreich hat der Radverkehr in den letzten Jahren an Bedeutung und Stärke zugenommen. Dabei ist zu erkennen, dass das Fahrrad nicht mehr nur als reines Sportgerät dient, sondern auch für den alltäglichen Gebrauch vermehrt eingesetzt wird. (vgl. [1])

Um gut und zügig ans Ziel kommen zu können, müssen die Radverkehrsanlagen bestimmten Anforderungen gerecht werden. Neben dem komfortablen und sicheren Befahren der Radwege, sollten auch verschiedene Geschwindigkeiten zugelassen werden, um unterschiedliche Zielgruppen ansprechen zu können. Ein Beispiel für unterschiedliche Geschwindigkeiten der Radfahrer sind Pendler, die relativ schnell zur Arbeit möchten. Dann gibt es noch andere Gruppen wie Senioren und Kinder, die langsam sicherer unterwegs sind. Die Berufspendleranzahl hat in den letzten Jahren an Bedeutung zugenommen, aufgrund der Nutzung von Pedelecs und E-Bikes, mit denen eine höhere Geschwindigkeit auf Radwegen möglich ist. (vgl. [2] S.6) Daher ist es wichtig, gut ausgebauten Radinfrastrukturen zu planen und auszuführen, um höheren Geschwindigkeiten gerecht

zu werden. Vor allem die Breite der Radwege ist ein wichtiger Punkt, um gefahrlos Überholen zu können. (vgl. [2])

Ein weiteres Fortbewegungsmittel ist im September 2018 auf Wiens Radwegen hinzugekommen – die ausleihbaren E-Scooter. Diese stehen von einigen Verleihern auf verschiedenen Plätzen in Wien und können von Personen ausgeliehen werden, die im Straßenverkehr teilnehmen dürfen. Durch die Benutzung der E-Scooter auf den Radverkehrsanlagen wird vermutet, dass alle Wege mit höheren Geschwindigkeiten befahren werden und dadurch stärker frequentierte Radwege entstehen. Dennoch bleibt zu beachten, dass noch mehrheitlich auch die nicht motorisierten Fahrräder unterwegs sind.

2 Fragestellung

Durch die in Wien neuen ausleihbaren E-Scooter werden die Radwege zusätzlich zu den herkömmlichen Fahrrädern vermutlich mehr benutzt und die Geschwindigkeiten auf diesen Wegen erhöhen sich. Dabei ist zu untersuchen, welche Auswirkungen die E-Scooter auf den Verkehrsfluss haben. Interessant ist dabei auch, wie sich die E-Scooter auf Radwegen mit einer Aufwärtssteigung in Fahrtrichtung bezüglich der Geschwindigkeit verhalten.

Die Annahme ist, dass elektrisch betriebene Fahrräder/Scooter bergauf im Durchschnitt schneller als die herkömmlichen Fahrräder unterwegs sind. Deshalb die Frage: Hat der Geschwindigkeitsunterschied zwischen herkömmlichen Fahrrad und E-Bike/E-Scooter eine Auswirkung auf die Unfallschwere?

Dabei werden die tatsächlichen Geschwindigkeiten der Verkehrsmittel auf einem bestimmten Streckenabschnitt in Wien erfasst und durch eine Auswertung genauer analysiert. Die kinetische Energie wird zusätzlich berechnet und herangezogen, um die Unfallschwere zu bestimmen.

Die Analyse beinhaltet unterschiedlichste Verkehrstypen. Dazu zählen das herkömmliche Fahrrad, das E-Bike, das Rennrad, das Citybike, das Donkey Republic Bike, das Lastenrad, das Fahrrad mit Anhänger, die ausleihbaren E-Scooter wie Bird, Lime und Tier, die privaten E-Scooter sowie die Tretroller.

2.1 Definition von Fahrrad, E-Scooter und E-Bike

In der Auswertung wurden verschiedene Verkehrsmittel erfasst. Als Hilfestellung sind im Anschluss einige Fortbewegungsmittel genauer erklärt, um die Merkmale aufzuzeigen, nach denen die Auswertung erfolgt.

Fahrrad

Ein Fahrrad wird als eine Vorrichtung angesehen, welche die menschliche Kraft auf die Antriebsräder überträgt. (vgl. [3]) Dabei werden etliche Arten von Fahrrädern unterschieden, wie zum Beispiel Rennräder, Citybikes, Trekkingbikes und Mountainbikes. Alle Fahrräder, die nicht in einer folgenden Kategorie beschrieben sind, werden als herkömmliche Fahrräder bezeichnet.

Elektrisch angetriebenes Fahrrad

Unter dem Begriff des elektrisch angetriebenen Fahrrads sind zwei Antriebstypen zu unterscheiden. Einerseits gibt es die E-Bikes, welche ohne Tretunterstützung gefahren werden können. Andererseits gibt es noch die Pedelec. Diese sind elektrische Fahrräder mit Tretunterstützung, wobei menschliche Kraft zur Ingangsetzung des Rades benötigt wird. Der Elektromotor unterstützt dabei den Fahrer erst nach dem Anfahren.

Die Motorleistung beider Elektrofahrräder darf die höchst zulässige Leistung von 600Watt und die Bauartgeschwindigkeit von 25km/h nicht überschreiten. Bei Überschreitung der genannten

Werte gilt das Elektrorad als Kraftfahrzeug, es muss ein Helm getragen werden und man darf damit nicht mehr auf den Radfahranlagen fahren. (vgl. [4])

In dieser Arbeit wird nur das elektrische Fahrrad mit Tretunterstützung ausgewertet, da alle Personen auf elektrisch betriebenen Fahrrädern in die Pedale getreten haben. Es wird dabei zur Vereinfachung nur der Begriff E-Bike verwendet, welche laut obiger Definition ein Pedelec ist.

Rennfahrrad

Ein Rennfahrrad wird wie ein Fahrrad betrieben. Technische Merkmale, die ein Rennfahrrad auszeichnen sind das Gewicht von höchstens 12kg, der Rennradlenker, der äußere Felgendurchmesser von mindestens 630mm und die äußere Felgenbreite von höchstens 23mm. Es wurde bei der Auswertung allerdings nur die Form des Rennradlenkers zur Unterscheidung von anderen Fahrrädern verwendet. (vgl. [5])

Im folgenden Bild ist ein Rennrad dargestellt. Nach der genannten Beschreibung wurde das Rennrad bei der Auswertung bestimmt.



Abbildung 1: Rennfahrrad
(Quelle: <https://de.depositphotos.com/119464566/stock-photo-road-bicycle-bike-flat-icon.html>)

E-Scooter, Tretroller

Ein E-Scooter und Tretroller besteht im Wesentlichen aus einem Trittbrett, einer Lenkstange und aus zwei Rädern. Ein Tretroller wird nur mit menschlicher Kraft angetrieben. Der E-Scooter wird mit elektrischem Motor angetrieben. Für den Radweg ist die Geschwindigkeit des E-Scooters auf 25km/h begrenzt und seine Leistung auf 600W. Bei dieser Bauart und Geschwindigkeit besteht keine Helmpflicht. Der E-Scooter hat daher dieselben Anforderungen wie ein E-Bike. Wenn ein E-Bike/E-Scooter eine höhere Bauartgeschwindigkeit besitzt, wird es laut StVO als Moped eingestuft und ist somit helmpflichtig.

Laut StVO gelten die E-Scooter als Kleinfahrzeuge. Das bedeutet, dass sie auf Gehsteigen fahren dürfen. Doch es gibt unterschiedliche Ansichten der einzelnen Bundesländer. In Wien werden die neuen Scooter nicht als Kleinfahrzeuge gesehen, sondern wie Fahrräder behandelt. Daher dürfen sie nur auf den vorgeschriebenen Radfahranlagen und nicht auf Gehsteigen oder Gehwegen verkehren. In allen anderen Bundesländern ist es erlaubt, mit dem E-Scooter auf Gehsteigen zu fahren, solange die Fußgänger dabei nicht verletzt werden. Das Abstellen der E-Scooter ist jedoch auf den Gehsteigen bzw. Gehwegen in Wien erlaubt. (Stand: vor StVO Novelle 1.Juni 2019)

Das neue Bundesgesetz der StVO „§88b Rollerfahren“, welches seit 1. Juni 2019 in Kraft getreten ist, beschreibt die Benutzung von elektrisch betriebenen Klein- und Miniroller. Dieses sieht vor, dass das Betreiben der Roller auf Gehwegen, Gehsteigen und Schutzwegen verboten ist. Das Verbot ist ausgenommen, wenn es durch Verordnungen von Behörden erlaubt ist. Mit einer Bauartgeschwindigkeit vom maximal 25km/h und einer Leistung von maximal 600W ist es laut StVO erlaubt mit Klein- und Miniroller auf den Radfahrbahnen zu fahren. Weiters ist vorgeschrieben, dass die Roller mit einer wirksamen Bremsvorrichtung mit Rückstrahlern oder mit Rückstrahlfolien ausgestattet sein müssen.

In Abbildung 2 ist ein E-Scooter der Firma Bird zu sehen. Dieser E-Scooter wird von einer der drei Verleihfirmen in Wien zur Verfügung gestellt. Weitere E-Scooter-Anbieter sind Lime und Tier Mobility (Stand: Herbst 2018).

Anzumerken ist, dass seit Anfang 2019 vier weitere E-Scooter-Anbieter auf Wiens Straßen zum Ausleihen angeboten werden, diese sind Wind (Byke), Flash, Hive und Voi. Diese vier Scoortertypen sind nicht in der Auswertung mitinbegriffen, da die Auswertung im Oktober und November stattfand.



Abbildung 2: Bird E-Scooter
(Quelle: <https://www.bird.co/>)

Citybike

Das Citybike ist ein öffentliches Verkehrsmittel, welches in ganz Wien an verschiedenen Stationen ausgeliehen werden kann.



Abbildung 3: Citybike
(Quelle: <https://www.citybikewien.at>)

Donkey Republic Bike

Das Donkey Republic Bike ist auch ein Leihfahrrad, das in ganz Wien entlehnt und an bestimmten Abgabeorten abgestellt werden kann.



Abbildung 4: Donkey Republic Bike
(Quelle: <https://owners.donkey.bike/the-bike-fleet/>)

2.2 Dimensionen Zweirichtungsradweg

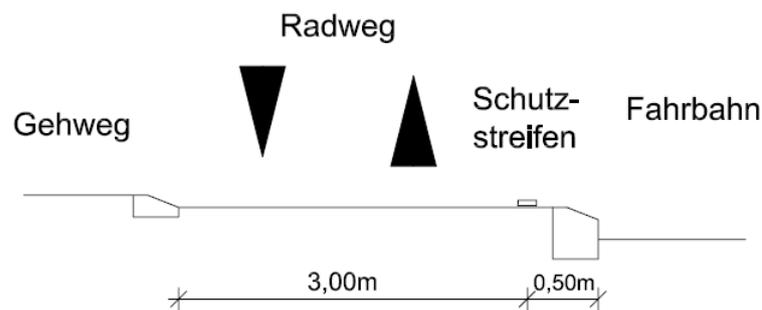


Abbildung 5: Zweirichtungsradweg;
(Vgl. RVS 03.02.13 ; S.19)

Laut den Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen (RVS) ist die Regelbreite des Zweirichtungsradweges mit 3,00m vorgegeben. Aber eine Mindestbreite von 2,00m ist auch erlaubt. Um das Nebeneinanderfahren bei Gegenverkehr möglichst angenehm zu gestalten, wird eine Breite von 3,00m empfohlen.

Der Schutzstreifen ist als Abstand zum ruhenden oder fließenden Kfz-Verkehr vorgeschrieben. Die Breite soll mindestens 50cm betragen. Normalerweise trennt eine Bodenmarkierung den Radweg vom Kfz-Fahrbahnrand. Diese Bodenmarkierung befindet sich auf dem Radwegniveau und kann notfalls von den Radwegbenutzern befahren werden. (vgl. [6])

3 Modellbildung kinetische Energie

3.1 Definition kinetische Energie

„Die kinetische Energie (von griechisch kinesis = Bewegung) oder auch Bewegungsenergie oder selten Geschwindigkeitsenergie ist die Energie, die ein Objekt aufgrund seiner Bewegung enthält. Sie entspricht der Arbeit, die aufgewendet werden muss, um das Objekt aus der Ruhe in die momentane Bewegung zu versetzen. Sie hängt von der Masse und der Geschwindigkeit des bewegten Körpers ab.“ (Zitat [7])

Formel 1: Berechnung der kinetischen Energie

$$E = \frac{1}{2} * m * v^2$$

m ...Masse in kg

v ...Geschwindigkeit in m/s

E ...kinetische Energie in $J = kg * \frac{m}{s^2}$ wobei J=Joule

Kinetische Energie von Fahrrädern und Pkw bei niedriger und hoher Geschwindigkeit

Quelle: FGM, 2013

	Gewicht	km/h niedrig	km/h hoch
Fahrrad	90 kg	17	35
Pkw	1.200 kg	35	150



Abbildung 6: Darstellung der kinetischen Energie
(Quelle: Forschungsgesellschaft Mobilität - FGM; 2013)

Abbildung 6 veranschaulicht die unterschiedlichen kinetischen Energien, die sich ergeben wenn ein Pkw oder ein herkömmliches Fahrrad gegen eine Wand prallen. Gut zu sehen ist, dass durch den Masseunterschied des PKWs zum herkömmlichen Fahrrad eine viel größere kinetische Energie entsteht, welche im weiteren Sinne auch abgebaut werden muss.

Darüber hinaus steigt die Unfallschwere mit dem Masseunterschied der Unfallbeteiligten und der fehlenden Möglichkeit zum Abbau der Kollisionsenergie sowie der erhöhten Fahrgeschwindigkeit. (vgl. [8])

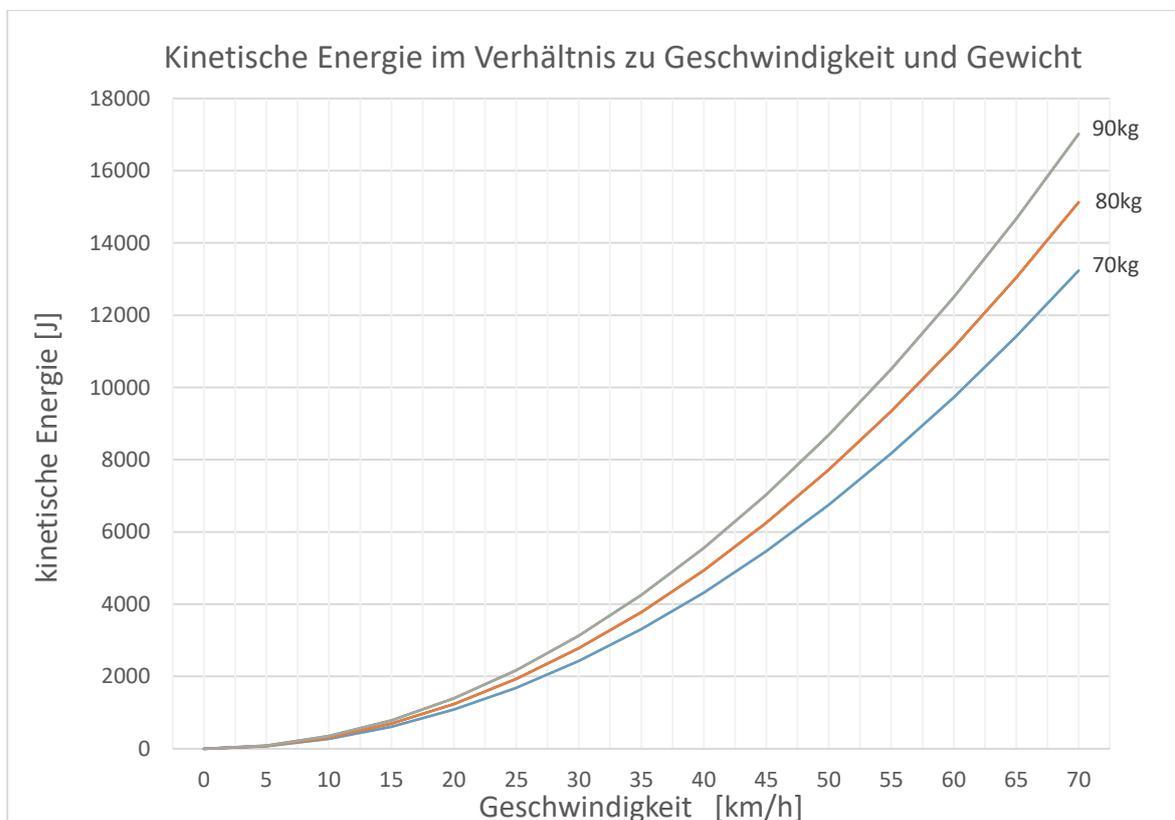


Abbildung 7: Kinetische Energie im Verhältnis von Geschwindigkeit und Gewicht

In Abbildung 7 sind die kinetischen Energien in Abhängigkeit verschiedener Gewichte und Geschwindigkeiten eines Verkehrsmittels ablesbar. Durch die graphische Darstellung ist eine vereinfachte Ermittlung der kinetischen Energie möglich.

Da in die Formel 1 die Geschwindigkeit zum Quadrat eingeht, ist eine nichtlineare Kurve zu erkennen. Wenn beispielsweise die Geschwindigkeit doppelt so schnell ist, ist die entstehende kinetische Energie viermal so hoch. Würde das Gewicht verdoppelt werden, hätte es nur einen linearen Einfluss und die kinetische Energie wäre nur doppelt so groß.

In nachfolgenden Modellen werden Szenarien über mögliche Fahrrad- und E-Scooter-Unfälle aufgezeigt und die dabei entstehende kinetische Energie berechnet.

3.2 Modell 1

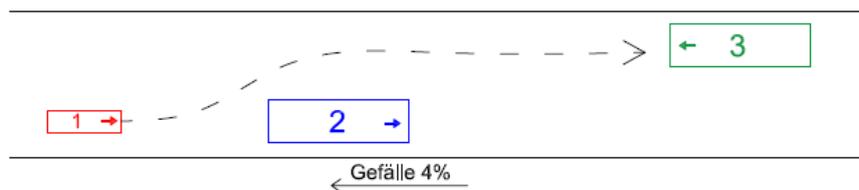


Abbildung 8 : Darstellung des Überholvorgangs (Modell 1)

Modell 1 zeigt den E-Scooter 1 beim Überholvorgang bei 20km/h von herkömmlichen Fahrrad 2 bei 10km/h. Das entgegenkommende herkömmliche Fahrrad 3 fährt mit 25 km/h bergab. Erst der Überholvorgang des E-Scooters führt zu einem unvermeidlichen Unfall. Infolge der hohen Geschwindigkeit des E-Scooters 1 und des Radfahrers 3, sowie des zu späten Erkennens des entgegenkommenden bergabfahrenden Fahrrads 3, kommt es zu dem Unfall zwischen dem E-Scooter 1 und Fahrrad 3. Aufgrund des eingeleiteten Überholvorgangs kann der E-Scooter nicht mehr rechtzeitig ausweichen, da er sich mittlerweile auf Höhe des Fahrrads 2 befindet.

Physikalisch gesehen, gibt es viele unterschiedliche Arten von Stößen. Überblicksmäßig werden der zentrale unelastische Stoß, der nicht zentrale Stoß und der reale Stoß unterschieden. Der reale Stoß ist eine Mischung aus einem idealelastischen und einem idealplastischen Stoß, wobei sich die zusammengestoßenen Körper elastisch und plastisch verformen. Die Berechnung erfolgt nach einem komplizierteren Verfahren als der zentrale unelastische Stoß. Zwecks vereinfachter Berechnung der kinetischen Energie wird angenommen, dass es sich um einen zentralen unelastischen Stoß handelt.

Folgende Aufzählungen sind Annahmen:

- Masse von Objekt 1: E-Scooter Gewicht 12,5kg* + Gewicht Lenker 80 kg = 92,5 kg
- Masse von Objekt 3: herkömmliches Fahrrad Gewicht 15kg# + Gewicht Lenker 80kg = 95 kg
- Geschwindigkeit von Objekt 1: $v_1 = 20$ km/h
- Geschwindigkeit von Objekt 3: $v_3 = 25$ km/h

*(vgl. [9]) # (vgl. [10])

Die kinetische Gesamtenergie vor dem Stoß ergibt sich aus den jeweiligen kinetischen Energien der beiden Fortbewegungsmittel.

$$\Sigma E_{kin,vor} = \frac{1}{2} * m_1 * v_1^2 + \frac{1}{2} * m_3 * v_3^2$$

$$\Sigma E_{kin,vor} = \frac{1}{2} * 92,5 * (20/3,6)^2 + \frac{1}{2} * 95 * (25/3,6)^2 = 3718,17 J$$

$$\Sigma E_{kin,vor} = \Sigma E_{kin,nach} + \Delta E$$

Durch den Einsatz des Impulserhaltungssatzes, welcher besagt, dass der Gesamtimpuls aller Stoßkörper vor und nach dem Stoß gleich sein muss, ist die kinetische Energie zu berechnen.

$$v' = \left| \frac{m_1 * \vec{v}_1 + m_3 * \vec{v}_3}{m_1 + m_3} \right| = \left| \frac{92,5 * 20 + 95 * (-25)}{92,5 + 95} \right| = 2,8 \text{ km/h}$$

$$E_{kin,nach} = \frac{1}{2} * (m_1 + m_3) * v'^2 = \frac{1}{2} * (92,5 + 95) * (2,8/3,6)^2 = 56,7 \text{ J}$$

$$\Delta E = E_{kin,vor} - E_{kin,nach} = 3718,17 - 56,7 = 3661,46 \text{ J}$$

Die Differenz der kinetischen Energien wird in Deformations- und Wärme-Energie umgewandelt. Die Auswirkung auf den Menschen zeigt sich durch Verletzungen wie Knochenbrüche und Prellungen, etc. Das herkömmliche Fahrrad und der E- Scooter werden auch beschädigt.

3.3 Modell 2

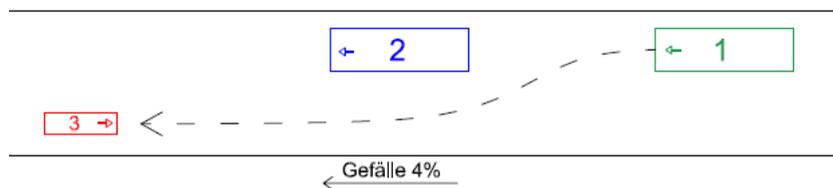


Abbildung 9: Darstellung des Überholvorgangs (Modell 2)

Der Rennradfahrer 1 ist in diesem Modell 2 mit 35 km/h bergab unterwegs und überholt den vorfahrenden Fahrradfahrer 2. Dieser fährt mit 15 km/h bergab. Auf der Gegenseite kommt der E-Scooter 3 mit 15 km/h bergauf entgegen. Der Rennradfahrer 1 kann den Überholvorgang nicht mehr abbrechen und es kommt folglich zum Aufprall mit dem E-Scooter 3.

Zwecks vereinfachter Berechnung der kinetischen Energie wird angenommen, dass es sich um einen zentralen unelastischen Stoß handelt.

Folgende Aufzählungen sind Annahmen:

- Masse von Objekt 1: Rennrad Gewicht 10 kg + Gewicht Lenker 80kg = 90 kg
- Masse von Objekt 3: E-Scooter Gewicht 12,5kg + Gewicht Lenker 80kg = 92,5kg
- Geschwindigkeit von Objekt 1: $v_1 = 35 \text{ km/h}$
- Geschwindigkeit von Objekt 3: $v_3 = 15 \text{ km/h}$

+(vgl. [11]) #(vgl. [9])

Die kinetische Gesamtenergie vor dem Stoß ergibt sich aus den jeweiligen kinetischen Energien der beiden Fortbewegungsmittel.

$$\Sigma E_{kin,vor} = \frac{1}{2} * m_1 * v_1^2 + \frac{1}{2} * m_3 * v_3^2$$

$$\Sigma E_{kin,vor} = \frac{1}{2} * 90 * (35/3,6)^2 + \frac{1}{2} * 92,5 * (15/3,6)^2 = 5056,42 \text{ J}$$

$$\Sigma E_{kin,vor} = \Sigma E_{kin,nach} + \Delta E$$

$$v' = \left| \frac{m_1 * \vec{v}_1 + m_3 * \vec{v}_3}{m_1 + m_3} \right| = \left| \frac{90 * 35 + 92,5 * (-15)}{90 + 92,5} \right| = 9,66 \text{ km/h}$$

$$E_{kin,nach} = \frac{1}{2} * (m_1 + m_3) * v'^2 = \frac{1}{2} * (90 + 92,5) * (9,66/3,6)^2 = 657,03 J$$

$$\Delta E = E_{kin,vor} - E_{kin,nach} = 5056,42 - 657,03 = 4399,39 J$$

4 Beobachtungsstandort

4.1 Beschreibung des Standorts & der Messmethode

Um einen Vergleich der Geschwindigkeiten ausführen zu können, wurden die Geschwindigkeiten der vorbeifahrenden Verkehrsteilnehmer an dem 2,00m breiten Zweirichtungsradweg gemessen. Die Messung erfolgte an einem ausgewählten Punkt in der Argentinierstraße, 1040 Wien, etwas unterhalb der Hausnummer 37. Der 13,00m lange Streckenabschnitt, der für die Auswertung verwendet wurde, befindet sich zwischen Plößlgasse und Theresianumgasse, genauer ersichtlich in Abbildung 10 und Abbildung 11. Gemessen wurde mittels Aufzeichnungen der Videokamera des Streckenabschnitts an bestimmten Tagen und Zeiten, wie in Tabelle 1 ersichtlich ist. Wie in Abbildung 10 zu sehen ist, wurde der Standort der Kamera an der gegenüberliegenden Seite des Radweges gewählt, sodass der ganze vordefinierte Radwegabschnitt im Bild ist. Ein wichtiges Merkmal der Straße ist das mittlere Gefälle von 4,00%. Dies ist in Abbildung 11 ersichtlich. Diese Längsneigung der Argentinierstraße errechnet sich über die Höhenpunkte (HP), welche im Mittelpunkt der Kreuzungen von der Plößlgasse und Theresianumgasse mit der Argentinierstraße liegen. Das Gefälle der Straße von 4% wurde als konstant angesehen, da eine genauere Ermittlung der Neigung an verschiedenen Punkten der Straße nicht möglich war.

Ausgewertet wurde die Geschwindigkeit über die Zeit mit vordefiniertem Abstand aus den Videos.

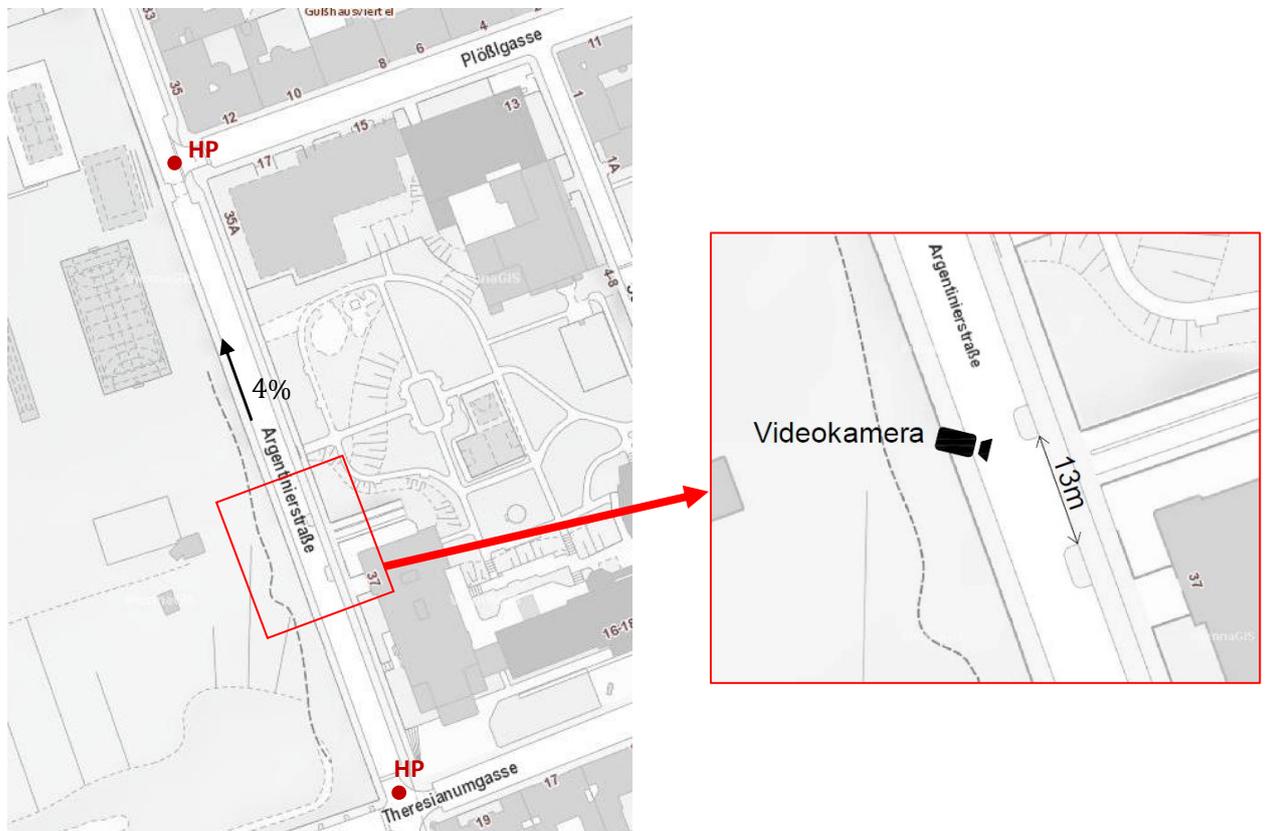


Abbildung 10: Messstelle

(Quelle: <https://www.wien.gv.at/stadtplan/> ; Stand 21.12.2018)



Abbildung 11: Fotoaufnahme der Messstelle vom 22.10.2018

Es wurden an folgenden Tagen Aufzeichnungen mittels Videokamera vorgenommen.

Datum	Wochentag	Uhrzeit	Std.	Anzahl der Fahrzeuge (bergab)	Anzahl der Fahrzeuge (bergauf)	Gesamtanzahl der Fahrzeuge	Anzahl pro Stunde
22.10.2018	Montag	7:00-9:00 & 16:00-18:00	4	458	402	860	215
23.10.2018	Dienstag	7:00-9:00 & 16:00-18:00	4	280	208	488	122
29.10.2018	Montag	16:30-17:30	1	68	92	160	160
30.10.2018	Dienstag	7:30-8:30	1	143	70	213	213
31.10.2018	Mittwoch	7:30-8:30	1	163	88	251	251
07.11.2018	Mittwoch	16:30-17:30	1	92	91	183	183
15.11.2018	Donnerstag	7:30-8:30	1	115	76	191	191
16.11.2018	Freitag	7:30-8:30	1	111	61	172	172
			Σ 14h	Σ 1430	Σ 1088	Σ 2518	$\bar{\Sigma}$ 188,4

Tabelle 1: Tage der Aufzeichnung und Anzahl der ausgewerteten Fahrzeuge/Verkehrsteilnehmer

5 Die Auswertung

Aus dem Videomaterial wurde nicht nur die Geschwindigkeit berechnet, sondern auch die vorbeifahrenden Fahrzeuge in Fahrradtypen, E-Scoortypen und Tretroller unterteilt, sowie Personen nach Alter, Geschlecht, Bekleidung und Helm unterschieden. Die Kategorie Fahrradtypen beinhaltet dabei Folgendes: herkömmliches Fahrrad, E-Bike, Rennrad, Citybike, Donkey Republic Bike, Lastenrad und Fahrrad mit Anhänger. Bei den E-Scootern ist zwischen ausleihbaren E-Scootern wie Bird/Lime/Tier und privaten E-Scootern unterschieden worden. Zwischen den bergauf-fahrenden und bergabfahrenden Fahrrädern, E-Scootern und E-Bikes wurde ebenfalls unterschieden.

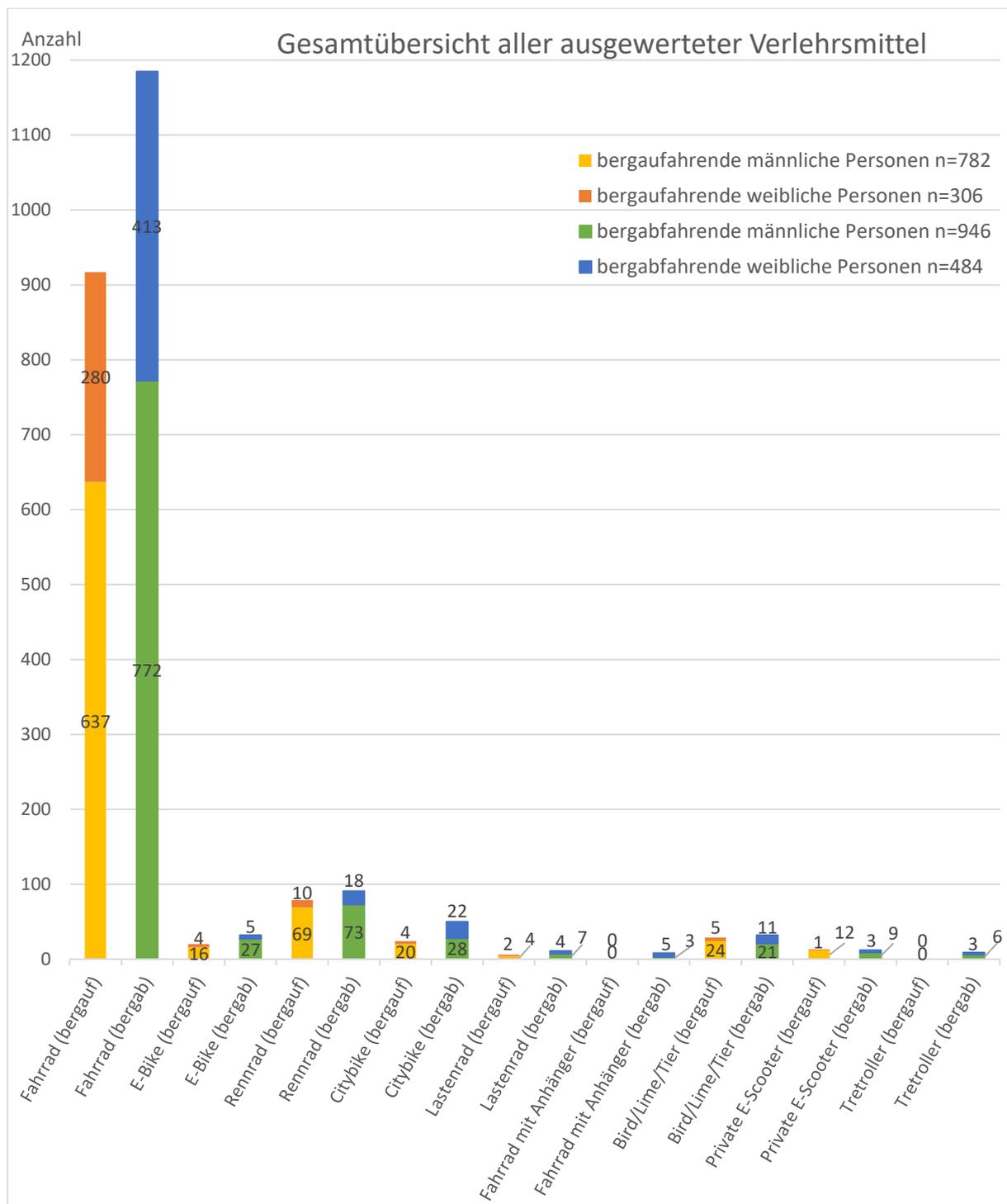


Abbildung 12: Gesamtübersicht aller ausgewerteten Verkehrsmittel

In Summe sind 2518 vorbeifahrende herkömmlichen Fahrräder, E-Bikes und E-Scooter am Zweirichtungsradweg nach den aufgezählten Kategorien ausgewertet worden. Diese Zahl teilt sich in 1088 bergauffahrende und 1430 bergabfahrende Fahrzeuge. Von den 1088 Verkehrsteilnehmern waren 782 männliche und 306 weibliche Verkehrsteilnehmer. Bei der Betrachtung der bergabfahrenden Personen betrug der weibliche Anteil 484 und der männliche Anteil 946.

Den größten Anteil der bergauffahrenden Fahrzeuge macht das herkömmliche Fahrrad aus, geteilt in 280 weibliche und 637 männliche Personen. Gefolgt von den Rennrädern mit 69 der männlichen und 10 der weiblichen Personen, den ausleihbaren E-Scootern mit 24 und 5, den Citybikes mit 20 und 4 und E-Bikes mit 16 und 4. Die anderen übrigen Verkehrsmittel machen einen wesentlich geringeren Anteil aus. Bei Säulen mit Null sind keine Verkehrsmittel an der Messstelle ausgewertet worden. Dies ist bei den Kategorien Fahrrad mit Anhänger und Tretroller zu sehen.

Die anteilmäßige Verteilung ist bei den bergabfahrenden Verkehrsteilnehmern sehr ähnlich und in Abbildung 12 in grün und blau dargestellt. 772 beträgt der Anteil der männlichen Fahrradfahrer. Den größten Teil machen die weiblichen Fahrradfahrer mit 413 aus. Folgend sind die Rennräder mit einem männlichen Anteil von 73 und einem weiblichen Anteil von 18. Die Reihung der Verkehrsmittel hinsichtlich Nutzung unterscheidet sich in bergabfahrenden und bergauffahrenden. Nach den Rennrädern folgen zuerst die Citybikes und dann die ausleihbaren E-Scooter, E-Bikes und Private E-Scooter. So wie bei den bergauffahrenden Fahrzeugen sind auch Kategorien vorhanden, welche bei der Auswertung nicht erfasst worden sind, wie das Fahrrad mit Anhänger.

Anzumerken ist, dass Donkey Republic Bikes ein Kriterium der Auswertung sind. Es wurden in der Analyse jedoch keine erfasst, somit entfällt diese Kategorie zur Gänze.

5.1 Vergleich der Geschwindigkeiten aller ausgewerteten Fahrzeuge

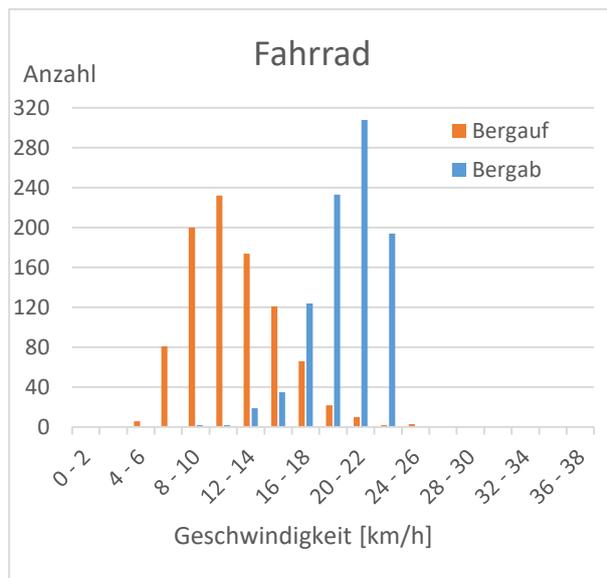


Abbildung 13: Histogramm herkömmliche Fahrrad

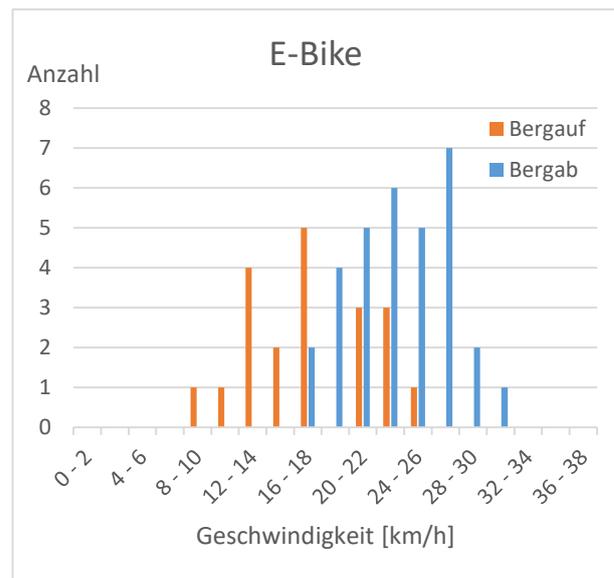


Abbildung 14: Histogramm E-Bike

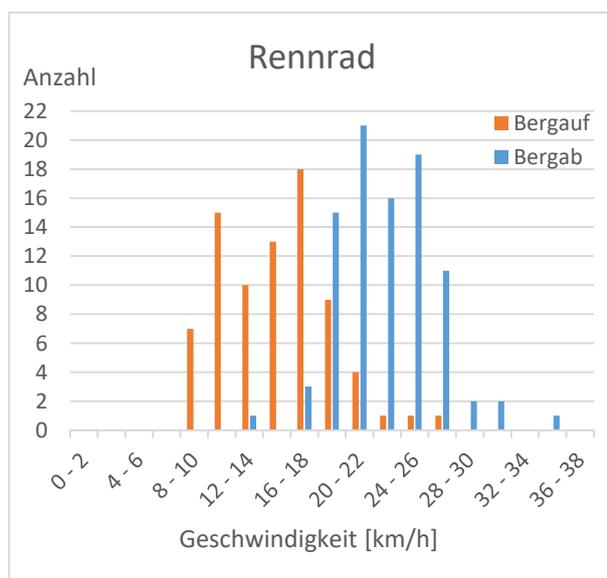


Abbildung 15: Histogramm Rennrad

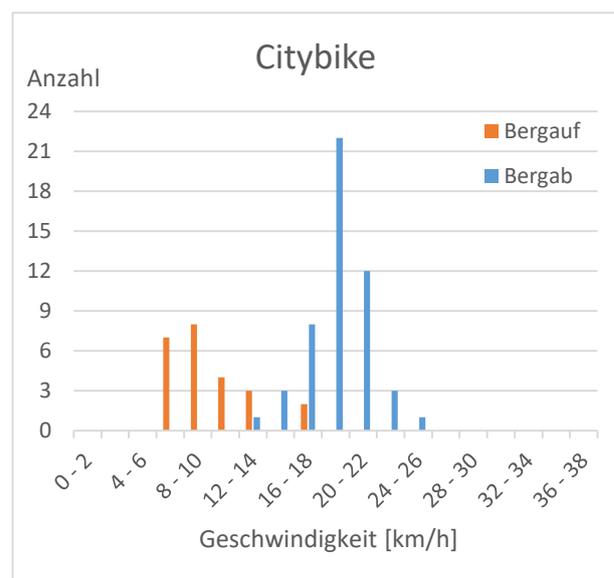


Abbildung 16: Histogramm Citybike

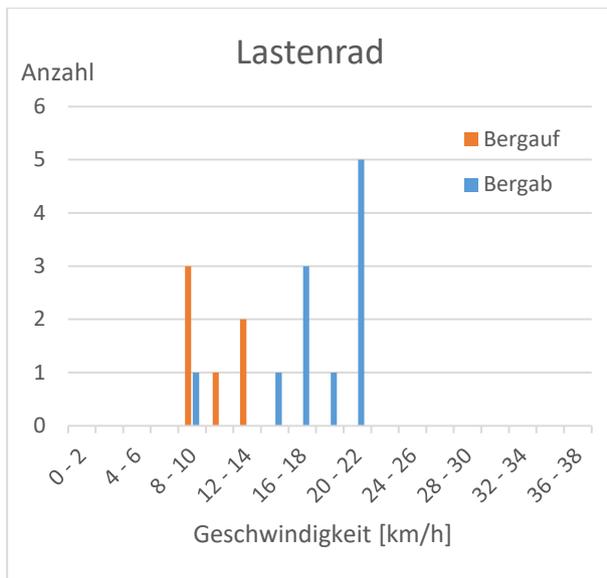


Abbildung 17: Histogramm Lastenrad

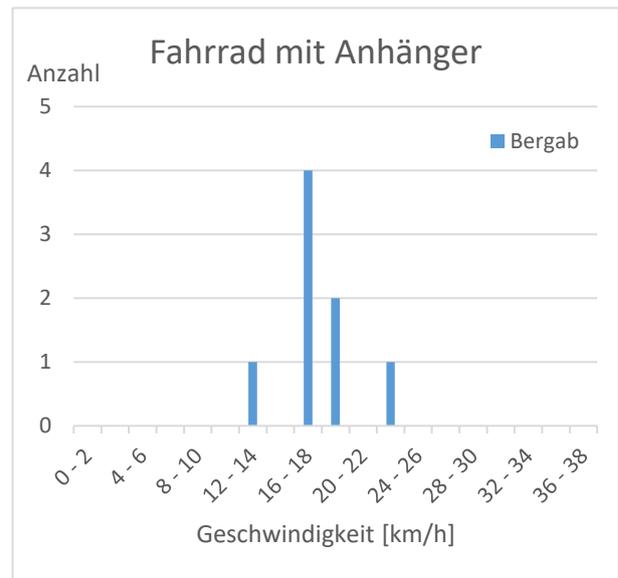


Abbildung 18: Histogramm Fahrrad mit Anhänger

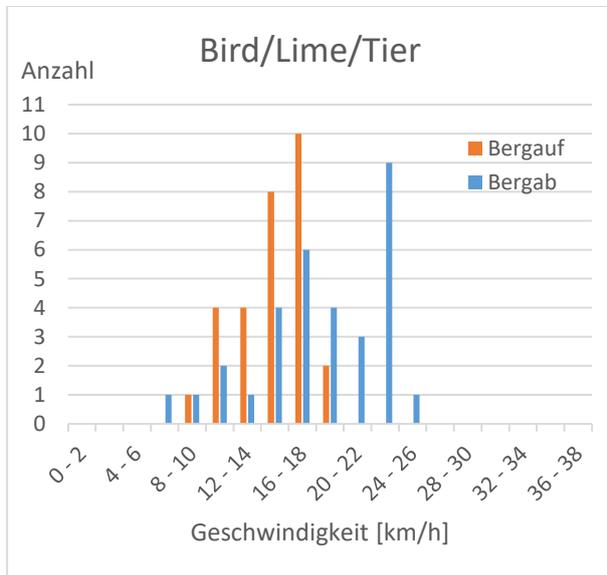


Abbildung 19: Histogramm Bird/Lime/Tier

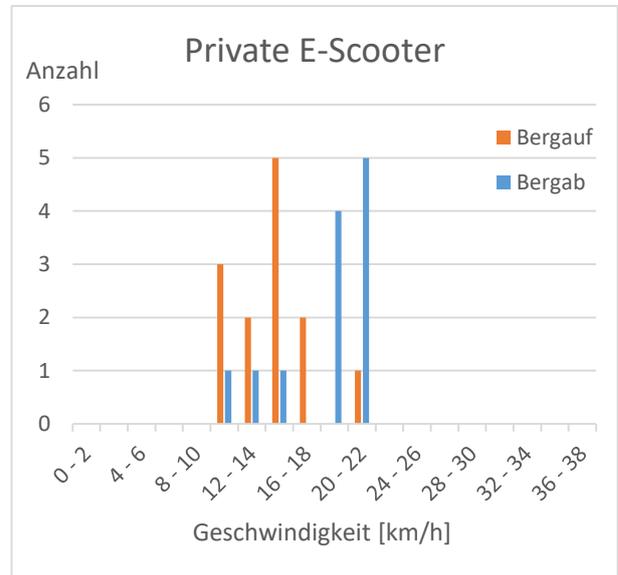


Abbildung 20: Histogramm Private E-Scooter

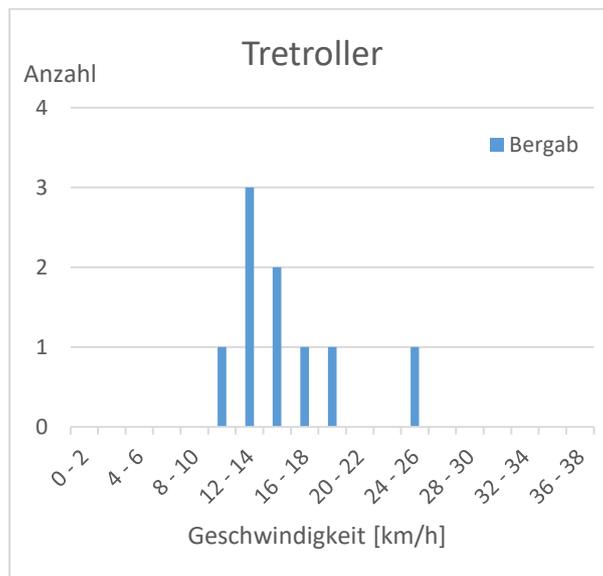


Abbildung 21: Histogramm Tretroller

Die Abbildungen 13 bis 21 zeigen Histogramme der ausgewerteten Verkehrsmittel. Dabei sind auf der horizontalen Achse die Geschwindigkeiten in 2 km/h-Bereichsstücke unterteilt. Die zwei verschiedenen farbigen Säulen zeigen jeweils die bergab- und bergauffahrenden Fahrzeuge. Durch das Gegenüberstellen der bergauf- und bergabfahrenden Verkehrsteilnehmer in einem Diagramm zeigt sich, wie sehr sich diese zwei Gruppen hinsichtlich Anzahl und Geschwindigkeit unterscheiden. Nicht jeder ausgewertete Fahrzeugtyp ist in jedem Geschwindigkeitsbereich vorhanden, wobei auch drei Kategorien bei der Auswertung der bergabfahrenden Personen nicht erfasst wurden. Dazu zählen das Donkey Republic Bike, das Fahrrad mit Anhänger und der Tretroller.

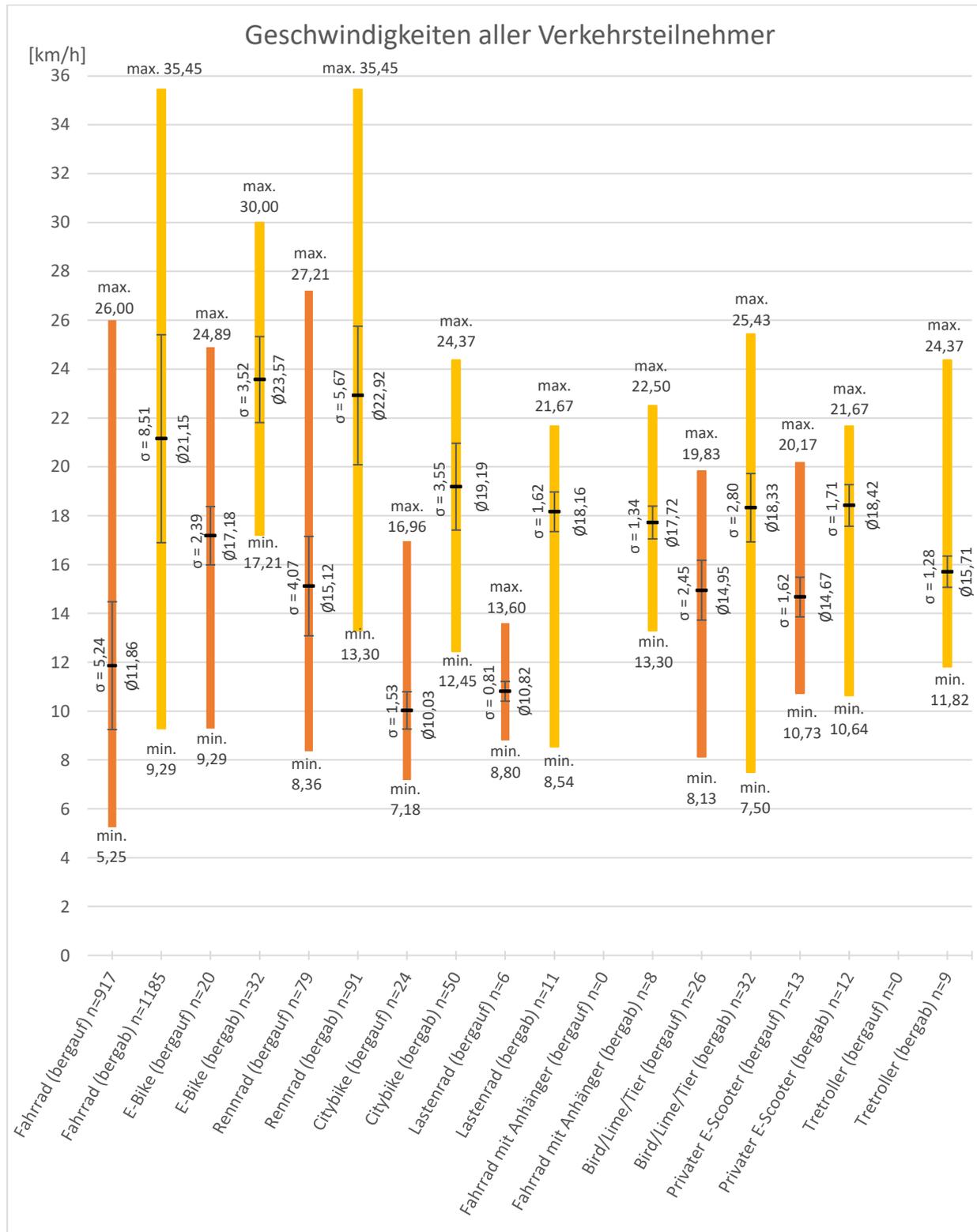


Abbildung 22: Minimal- und Maximalgeschwindigkeiten aller Verkehrsmittel

Beschreibung der Geschwindigkeitsunterschiede bergauffahrender Verkehrsteilnehmer:

In Abbildung 22 sind die Geschwindigkeiten der verschiedenen Fortbewegungsmittel zu sehen. Bergauffahrenden Verkehrsteilnehmer (in orange), welche das herkömmliche Fahrrad benutzen, machen den größten Anteil am untersuchten Verkehr mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 11,86 km/h aus. Die Geschwindigkeitswerte der Fahrräder erstrecken sich über einen großen Bereich, von 5,25 km/h bis 26,00 km/h. Im Vergleich dazu, ist beim Rennrad der Bereich nicht mehr so breit über das Geschwindigkeitsfeld gefächert, aber erreicht eine höhere Maximalgeschwindigkeit. Die maximale und minimale Geschwindigkeit des E-Bikes befinden sich im Geschwindigkeitsbereich des Rennrads und des herkömmlichen Fahrrads. Die höchste Durchschnittsgeschwindigkeit von 17,18 km/h wurde vom E-Bike erreicht und die geringste vom Citybike bergauf mit 10,03 km/h. Die Lastenräder machten in der Auswertung nur einen kleinen Teil aus, dabei erstreckt sich die minimale und maximale Geschwindigkeit nur über einen geringen Bereich. Die Geschwindigkeiten der bergauffahrenden Citybikes befinden sich auch in einem kleinen Bereich, und zwar von 7,18 km/h bis zu 16,96 km/h. Die geringe Geschwindigkeit des Citybikes lässt sich daraus schließen, dass dieses Rad einen massiven Stahlrahmen und Vollgummireifen besitzt, wobei beides einem größeren Gewicht entspricht, verglichen mit einem herkömmlichen Fahrrad.

Die ausleihbaren und privaten E-Scooter sind durchschnittlich gesehen schneller als Fahrräder, Citybikes und Lastenräder, aber langsamer als E-Bikes und Rennräder. Das herkömmliche Fahrrad hat zwar eine geringe durchschnittliche Geschwindigkeit, doch die zweitgrößte Maximalgeschwindigkeit. Das hängt damit zusammen, dass mehr Personen mit einer geringeren Geschwindigkeit bergauf unterwegs sind und nur wenige mit einer hohen Geschwindigkeit. Das Rennrad hat in Bezug auf die maximale Geschwindigkeit die höchste, gefolgt vom herkömmlichen Fahrrad, E-Bike, dem privaten E-Scooter und ausleihbaren E-Scooter, dem Citybike und Lastenrad. Nicht in der Abbildung aufgezählt, aber auch ausgewertete Kategorien wie Fahrrad mit Anhänger und Tretroller wurden in der Auswertung der bergauffahrenden Personen nicht erfasst.

Der Vergleich der beiden E-Scootertypen mit den verschiedenen Fahrradtypen zeigt, dass die durchschnittliche Geschwindigkeit der E-Scooter die dritt und viert schnellste ist. Die maximale Geschwindigkeit übersteigt jedoch keine der anderen Kategorien. Es ist dabei anzunehmen, dass ein ausleihbarer oder privater E-Scooter mit mittlerer Geschwindigkeit durch ein herkömmliches Fahrrad mit der dargestellten mittleren Geschwindigkeit eingebremst wird. Verglichen mit der maximalen Geschwindigkeit ist das allerdings der umgekehrte Fall.

Auffällig ist, dass die ausleihbaren E-Scooter mit 14,95 km/h langsamer bergauf fahren, als das Rennrad und das E-Bike. Die Bauartgeschwindigkeit von 25 km/h kann beim Bergauffahren nicht erreicht werden. Zwischen den privaten E-Scootern und Bird/Lime/Tier besteht nur ein minimaler Unterschied.

In der Mitte der Geschwindigkeitsbalken jedes Fahrzeugtyps ist die Standardabweichung σ (Sigma) dargestellt. Diese beschreibt die Streubreite der Werte rund um den Mittelwert. Diese Abweichung ist bei jedem Fahrzeugtyp unterschiedlich, weil die Mittelwerte, die Anzahl und die Streuung der Fahrzeuge in jeder Kategorie verschieden sind. Die Streuung kann ganz unterschiedlich ausfallen. Bei einer breiten Streuung wie zum Beispiel bei den herkömmlichen Fahrrädern bergab liegen die Geschwindigkeitswerte nicht in unmittelbarer Nähe der Durchschnittsgeschwindigkeit, als bei dem Rennrad bergauf. Das bedeutet, dass zwar mehrheitlich die Durchschnittsgeschwindigkeit gefahren wird, aber auch sehr viele schneller bzw. langsamer unterwegs sind und dadurch wird die Streuung breiter.

Bei dem Rennrad bergauf ist die Streuung geringer im Vergleich zum herkömmlichen Fahrrad bergab. Das bedeutet, dass der Großteil der aufgezeichneten Geschwindigkeiten im Bereich der Durchschnittsgeschwindigkeit liegt und nur vereinzelt die Geschwindigkeiten über oder unter der Durchschnittsgeschwindigkeit liegt.

Beschreibung der Geschwindigkeitsunterschiede der bergabfahrenden Verkehrsteilnehmer in Bezug auf Abbildung 12:

Bei den bergabfahrenden Fahrzeugen (in Gelb) sind zwei weitere Kategorien in der Bewertung hinzugekommen: Fahrräder mit Anhänger und Tretroller.

Die Verteilung der Geschwindigkeiten sieht bei der Betrachtung der Bergabfahrenden allerdings anders aus. Dennoch ist das E-Bike das schnellste Verkehrsmittel mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 24,14km/h gefolgt vom Rennrad mit 22,92km/h und dem herkömmliche Fahrrad mit 21,15km/h

Fahrräder und Rennräder weisen zufällig die gleichen maximalen Geschwindigkeiten auf. Jedoch unterschiedliche Minimalwerte und Mittelwerte. Citybikes liegen im mittleren Geschwindigkeitsfeld, von 12,45 km/h bis 24,37 km/h. Lastenräder fahren 8,54 km/h bis 21,67 km/h, wobei die mittlere Geschwindigkeit 18,16 km/h beträgt.

Fahrräder mit Anhänger fahren mit höherer Minimalgeschwindigkeit als Citybikes, Lastenräder, Fahrräder und die gesamten Scooter.

Der Geschwindigkeitsbereich 7,50 km/h zu 25,43 km/h der ausleihbaren E-Scooter wie Bird, Lime und Tier ist wesentlich größer als bei den privaten E-Scootern und Tretrollern. Eine geringe Überschreitung der maximal zulässigen Bauartgeschwindigkeit von 25 km/h bei den ausleihbaren bergabfahrenden E-Scootern ist zu sehen. Diese resultiert aus der Fahrbahnneigung von 4%.

Der Vergleich der ausleihbaren und privaten E-Scooter zeigt, dass die durchschnittliche Geschwindigkeit dieser kleiner ist, als jene von herkömmliche Fahrrad, E-Bike, Rennrad und Citybike. Daher sind im Gegensatz zu den bergauffahrenden Verkehrsteilnehmern die Fahrradtypen bergab schneller unterwegs als die E-Scootertypen.

In der Diagrammbeschriftung in Abbildung 22 sind auch noch zusätzlich die Anzahl der ausgewerteten Verkehrsmittel mit „n=“ beschrieben.

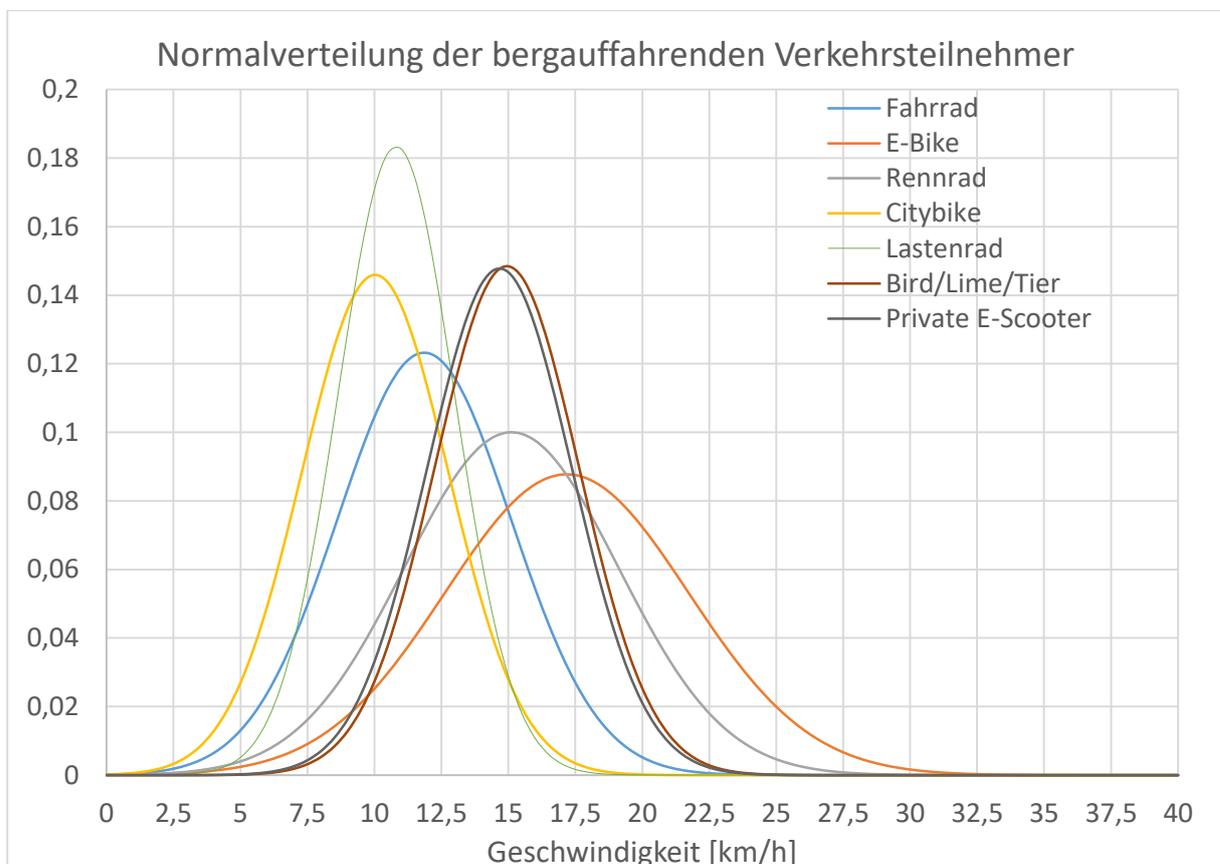


Abbildung 23: Normalverteilung der bergauffahrenden Verkehrsteilnehmer

Die Kurve der Normalverteilung eines Fahrzeugtyps zeigt die Verteilung der Geschwindigkeiten um den Mittelwert. Die horizontale Achse beschreibt die Geschwindigkeit und die vertikale Achse die Wahrscheinlichkeitsdichte. Beim Vergleich der Kurven der einzelnen Verkehrsfahrzeuge in Abbildung 23 ist die Streubreite gut zu erkennen. Bei den beiden Kategorien Bird/Lime/Tier und Private E-Scooter ist eine gewisse Gleichheit zu sehen. Die zwei Kurven sind nahezu deckungsgleich, das bedeutet, sie besitzen die gleichen Mittelwerte und die gleiche Streubreite. Beim Vergleich der Kurve des Citybikes bzw. Lastenrades mit der Kurve von E-Bike und Rennrad, ist zu erkennen, dass diese ganz unterschiedlich ausgebreitet sind. Die E-Bike- und Rennradkurven sind um einiges flacher und erstrecken sich über mehrere Geschwindigkeiten.

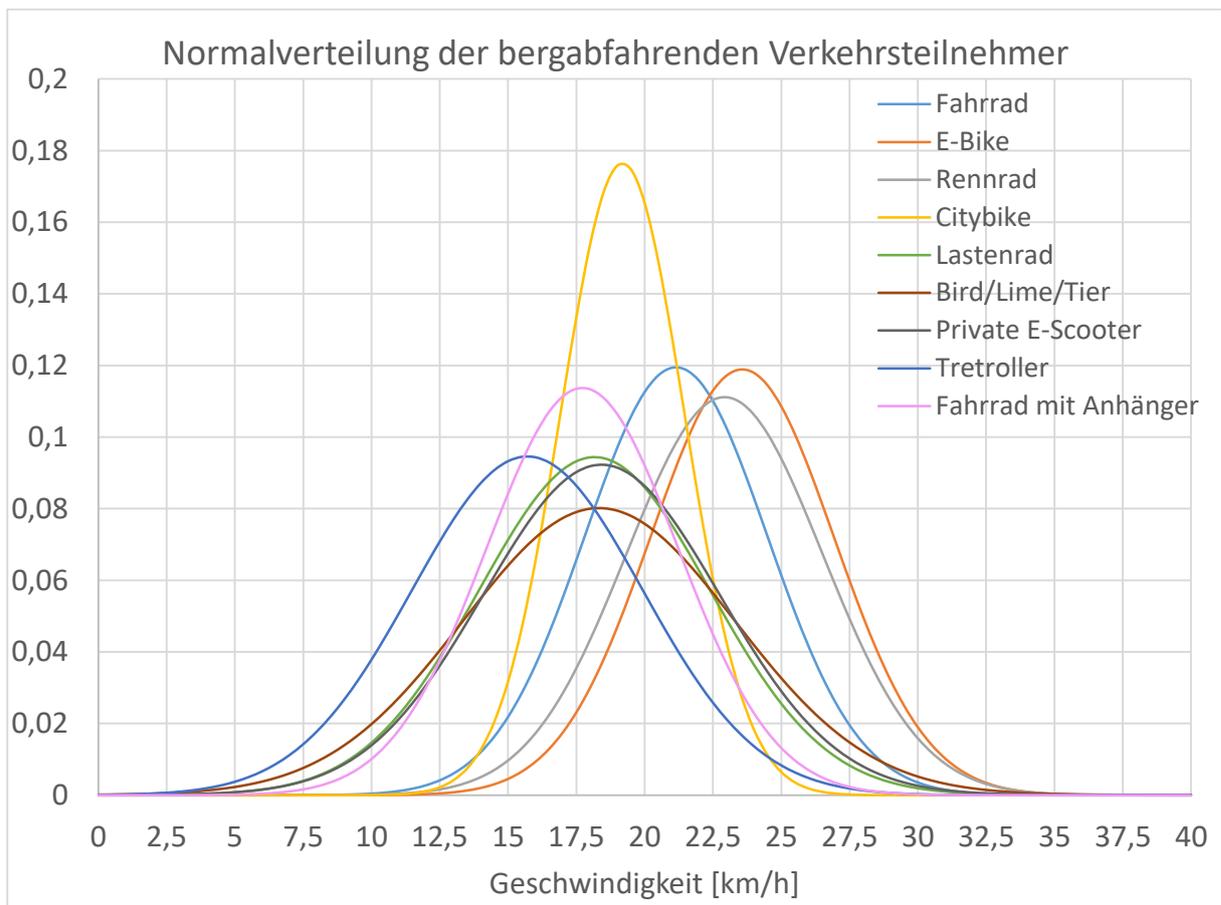


Abbildung 24: Normalverteilung der bergabfahrenden Verkehrsteilnehmer

In Abbildung 24 befinden sich die Mittelwerte der verschiedenen Fahrzeugkurven in höheren Bereichen als der in Abbildung 23. Der Mittelwert der E-Bikes ist dabei der höchste, gefolgt von den Rennrädern und Fahrrädern. Die Kurven der Privaten E-Scooter und Lastenräder ähneln einander sehr und besitzen nahezu denselben Mittelwert. Das Citybike sticht dabei sehr heraus, da die Streubreite eine sehr geringe ist und viele Citybike-Fahrer mit einer Geschwindigkeit von 19 km/h unterwegs waren.

Anzumerken ist, dass die Normalverteilung nicht ganz real verteilt ist, aber zur Anschauung ist die Streubreite trotzdem dargestellt.

5.2 Berechnung der kinetischen Energie mit den ausgewerteten Geschwindigkeiten

Im Folgenden werden die kinetischen Energien mit den Geschwindigkeitswerten der Auswertung berechnet. Es werden drei Modelle untersucht und mit den Modellen aus Kapitel 3 verglichen. Die Nummerierung der Modelle ist aus Kapitel 3 fortlaufend.

Das erste Modell ist ein Frontalzusammenstoß zweier herkömmlicher Fahrräder. Das zweite Modell ist auch ein Frontalzusammenstoß eines E-Bikes bergab mit einem ausleihbaren E-Scooter bergauf. Das dritte Modell beschreibt den Zusammenstoß zweier E-Bikes. Jeweils werden die durchschnittlichen Geschwindigkeiten aus Abbildung 22 herangezogen.

Zwecks vereinfachter Berechnung der kinetischen Energie wird angenommen, dass es sich um einen zentralen unelastischen Stoß handelt.

Modell 3: herkömmliches Fahrrad bergauf - herkömmliches Fahrrad bergab

- Masse von Objekt 1: herkömmliches Fahrrad bergauf
Gewicht 15 kg⁺ + Gewicht Lenker 80kg = 95 kg
- Masse von Objekt 2: herkömmliches Fahrrad bergab
Gewicht 15 kg⁺ + Gewicht Lenker 80kg = 95 kg
- Geschwindigkeit von Objekt 1: $v_1 = 11,86 \text{ km/h}$
- Geschwindigkeit von Objekt 2: $v_2 = 21,15 \text{ km/h}$

+(vgl. [10])

Die kinetische Gesamtenergie vor dem Stoß ergibt sich aus den jeweiligen kinetischen Energien der beiden Fortbewegungsmittel.

$$\Sigma E_{kin,vor} = \frac{1}{2} * m_1 * v_1^2 + \frac{1}{2} * m_2 * v_2^2$$

$$\Sigma E_{kin,vor} = \frac{1}{2} * 95 * (11,86/3,6)^2 + \frac{1}{2} * 95 * \left(\frac{21,15}{3,6}\right)^2 = 2155,03 \text{ J}$$

$$\Sigma E_{kin,vor} = \Sigma E_{kin,nach} + \Delta E$$

$$v' = \left| \frac{m_1 * \vec{v}_1 + m_2 * \vec{v}_2}{m_1 + m_2} \right| = \left| \frac{95 * 11,86 + 95 * (-21,15)}{95 + 95} \right| = 4,65 \text{ km/h}$$

$$E_{kin,nach} = \frac{1}{2} * (m_1 + m_2) * v'^2 = \frac{1}{2} * (95 + 95) * \left(\frac{4,65}{3,6}\right)^2 = 158,5 \text{ J}$$

$$\Delta E = E_{kin,vor} - E_{kin,nach} = 2155,03 - 158,5 = 1996,53 \text{ J}$$

Modell 4: E-Bike bergab - ausleihbarer E-Scooter bergauf

- Masse von Objekt 1: E-Bike bergab
Gewicht 25 kg⁺ + Gewicht Lenker 80kg = 105 kg
- Masse von Objekt 2: ausleihbarer E-Scooter bergauf
Gewicht 12,5 kg* + Gewicht Lenker 80kg = 92,5 kg
- Geschwindigkeit von Objekt 1: $v_1 = 23,57 \text{ km/h}$
- Geschwindigkeit von Objekt 2: $v_2 = 14,95 \text{ km/h}$

+(vgl. [12]) *(vgl. [9])

Die kinetische Gesamtenergie vor dem Stoß ergibt sich aus den jeweiligen kinetischen Energien der beiden Fortbewegungsmittel.

$$\Sigma E_{kin,vor} = \frac{1}{2} * m_1 * v_1^2 + \frac{1}{2} * m_2 * v_2^2$$

$$\Sigma E_{kin,vor} = \frac{1}{2} * 105 * (23,57/3,6)^2 + \frac{1}{2} * 92,5 * (14,95/3,6)^2 = 3048,08 J$$

$$\Sigma E_{kin,vor} = \Sigma E_{kin,nach} + \Delta E$$

$$v' = \left| \frac{m_1 * \vec{v}_1 + m_2 * \vec{v}_2}{m_1 + m_2} \right| = \left| \frac{105 * 23,57 + 92,5 * (-14,95)}{105 + 92,5} \right| = 9,1 \text{ km/h}$$

$$E_{kin,nach} = \frac{1}{2} * (m_1 + m_2) * v'^2 = \frac{1}{2} * (105 + 92,5) * \left(\frac{9,1}{3,6}\right)^2 = 630,98 J$$

$$\Delta E = E_{kin,vor} - E_{kin,nach} = 3048,08 - 630,98 = 2417,1 J$$

Modell 5: E-Bike bergab - E-Bike bergauf

- Masse von Objekt 1: E-Bike bergab
Gewicht 25 kg + Gewicht Lenker 80kg = 105 kg
 - Masse von Objekt 2: E-Bike bergauf
Gewicht 25 kg + Gewicht Lenker 80kg = 105 kg
 - Geschwindigkeit von Objekt 1: $v_1 = 23,57 \text{ km/h}$
 - Geschwindigkeit von Objekt 2: $v_2 = 17,18 \text{ km/h}$
- +(vgl. [12])

Die kinetische Gesamtenergie vor dem Stoß ergibt sich aus den jeweiligen kinetischen Energien der beiden Fortbewegungsmittel.

$$\Sigma E_{kin,vor} = \frac{1}{2} * m_1 * v_1^2 + \frac{1}{2} * m_2 * v_2^2$$

$$\Sigma E_{kin,vor} = \frac{1}{2} * 105 * (23,57/3,6)^2 + \frac{1}{2} * 105 * \left(\frac{17,18}{3,6}\right)^2 = 3446,11 J$$

$$\Sigma E_{kin,vor} = \Sigma E_{kin,nach} + \Delta E$$

$$v' = \left| \frac{m_1 * \vec{v}_1 + m_2 * \vec{v}_2}{m_1 + m_2} \right| = \left| \frac{105 * 23,57 + 105 * (-17,18)}{105 + 105} \right| = 3,2 \text{ km/h}$$

$$E_{kin,nach} = \frac{1}{2} * (m_1 + m_2) * v'^2 = \frac{1}{2} * (105 + 105) * \left(\frac{3,2}{3,6}\right)^2 = 82,96 J$$

$$\Delta E = E_{kin,vor} - E_{kin,nach} = 3446,11 - 82,96 = 3363,15 J$$

Vergleich aller fünf Modelle

	<i>Art des Zusammenstoßes</i>	<i>kin. Energie [J]</i>
<i>Modell 1</i>	E-Scooter bergauf – herkömmliche Fahrrad bergab	3661,46
<i>Modell 2</i>	E-Scooter bergauf – Rennrad bergab	4399,39
<i>Modell 3</i>	herkömmliches Fahrrad bergauf – herkömmliches Fahrrad bergab	1996,53
<i>Modell 4</i>	E-Bike bergab - ausleihbarer E-Scooter bergauf	2417,1
<i>Modell 5</i>	E-Bike bergab – E-Bike bergauf	3363,15

Tabelle 2: Vergleich der Modelle

Durch Auflistung der verschiedenen Modelle ist zu sehen, dass die geschätzten Geschwindigkeiten vor Beginn der Auswertung höher sind als die tatsächlichen Durchschnittsgeschwindigkeiten. Dies ist eindeutig durch die kinetische Energie zu sehen, da die Geschwindigkeit zum Quadrat in die Berechnung eingeht.

Der Vergleich von Modell 3 mit Modell 4 und 5 zeigt, dass die höheren Geschwindigkeiten, die durch die elektrisch betriebenen Fahrzeuge erzielbar sind, bei einem Zusammenstoß mehr kinetische Energie entsteht. Sehr deutlich ist dies bei Modell 5 bei Gegenüberstellung mit Modell 3 zu erkennen. Die Geschwindigkeiten in Modell 3 der herkömmlichen Fahrräder betragen bergauf 11,86 km/h und bergab 21,15 km/h und im Modell 5 betragen die Geschwindigkeiten der E-Bikes bergauf 17,18 km/h und bergab 23,57 km/h. Aufgrund des höheren Gewichtes der E-Bikes, welche um 10kg schwerer sind als die herkömmlichen Fahrräder, ergibt sich in Verbindung mit der höheren Geschwindigkeit eine viel höhere kinetische Energie. Die kinetische Energie der zusammenstoßenden E-Bikes ist um das 1,7-fache höher als die der herkömmlichen Fahrräder.

5.3 Vergleich der Geschwindigkeiten der helmtragenden Verkehrsteilnehmer

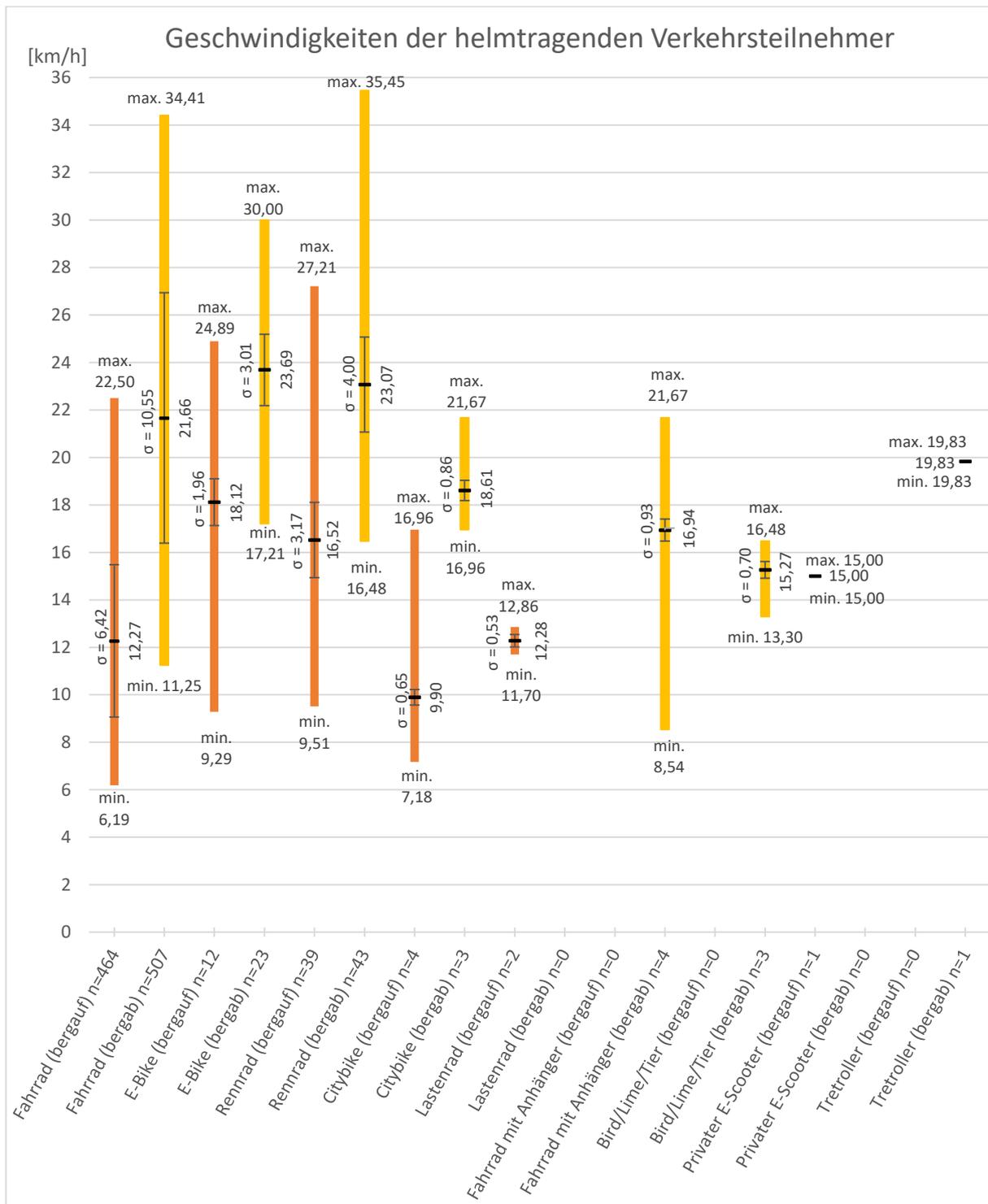


Abbildung 25: Geschwindigkeiten der helmtragenden Verkehrsteilnehmer

In Abbildung 25 sind die Minimal- und Maximalgeschwindigkeiten sowie die mittleren Geschwindigkeiten der verschiedenen helmtragenden Verkehrsteilnehmer dargestellt. In Summe sind von den 1430 bergabfahrenden Verkehrsteilnehmern 584 Personen mit einem Helm unterwegs. Bei den bergauffahrenden Verkehrsteilnehmern tragen von den insgesamt ausgewerteten Verkehrsteilnehmern 1088 genau 522 Personen einen Helm.

Beim Vergleich der Geschwindigkeiten aller ausgewerteten Verkehrsteilnehmer mit den Geschwindigkeiten der helmtragenden Verkehrsteilnehmer sind Unterschiede zu erkennen. Zu sehen ist in Abbildung 25, dass die mittleren Geschwindigkeiten vom herkömmlichen Fahrrad

(bergauf & bergab), E-Bike (bergab & bergauf), Rennrad (bergab & bergauf), Lastenrad (bergauf), Private E-Scooter (bergauf) und Tretroller (bergab) höher sind als jene aus Abbildung 23. Zusammenfassend ist zu sagen, dass Personen, die einen Helm tragen im Durchschnitt schneller auf Radwegen unterwegs sind. Diese sind im Schnitt ca. 6,15% schneller unterwegs als jene ohne Helm.

In der zuvor dargestellten Abbildung sind auch bei zwei Verkehrstypen nur kurze Striche und keine Balken zu sehen. Dadurch, dass nur jeweils eine helmtragende Person mit dem Privaten E-Scooter (bergauf) und Tretroller (bergab) unterwegs war, sind Minimal-, Maximal- und Mittelwert derselbe.

6 Resümee

Die ursprüngliche Annahme, dass E-Scooter bergauf durchschnittlich schneller fahren als herkömmliche Fahrräder ist bestätigt, aber dass sie schneller sind als E-Bikes ist widerlegt. Diese Auswertung zeigt, dass nur E-Bikes und Rennräder bergauf eine höhere durchschnittliche Geschwindigkeit aufweisen. Wenn die maximale Geschwindigkeit der bergauffahrenden Verkehrsmittel verglichen wird, sieht man in der Reihung der schnellsten Fahrzeugtypen eine Änderung. Es sind in diesem Fall die Rennräder und herkömmlichen Fahrräder schneller als die privaten und ausleihbaren E-Scooter.

Bei Gegenüberstellung der durchschnittlichen Geschwindigkeit der bergabfahrenden Fahrzeugtypen zeigt sich, dass E-Bikes, Rennräder, herkömmliche Fahrräder und Citybikes schneller sind als die privaten und ausleihbaren E-Scooter.

Die Gründe für Unfälle können ganz unterschiedlich sein, wie zum Beispiel eine zu geringe Breite des Radweges, welche das Überholen erschwert. Bei zu geringen Radwegbreiten kann es durch das Überholen zu einem Frontalzusammenstoß mit einem im Gegenverkehr fahrenden Verkehrsmittel kommen. Auffahrunfälle sind zum Beispiel wegen einer geringen Geschwindigkeit des Vorradaufahrenden und durch schnellere nachfolgende Verkehrsmittel, zu erklären. Bei höheren Geschwindigkeiten von hintereinander fahrenden herkömmlichen Fahrrädern bzw. herkömmlichen Fahrrad und E-Scooter kann es sein, dass bei Gefahr nicht mehr rechtzeitig gebremst werden kann, da sich der Bremsweg mit steigender Geschwindigkeit erhöht.

Wie in dem Modell 1 und Modell 2 in Kapitel 3 berechnet, ist bei höherer Geschwindigkeit der aufeinanderprallenden Verkehrsmittel eine höhere kinetische Energie zu erkennen. In Kapitel 5.2 zeigen weitere 3 Modelle den Zusammenstoß verschiedener Fahrzeugtypen und die dadurch entstehende kinetische Energie. Besonders der Vergleich des Modell 3 mit Modell 4 und 5 zeigt, dass durch die Unterstützung des Fahrzeugs durch einen Elektromotor eine viel höher Geschwindigkeiten gefahren werden kann und daher entsteht auch eine höhere kinetische Energie beim Zusammenstoß.

Umso wichtiger ist, dass die empfohlene Radwegbreite von 3m geplant und ausgeführt wird, denn je breiter eine Radverkehrsanlage, desto schneller und sicherer können diese befahren werden. Dadurch wird ein flüssiger Verkehr gewährleistet, das Überholen wird risikoärmer, die Stau-bildung und die Unfallgefahr werden minimiert. Der Hintergrund ist, dass bei breiteren Radwegen der notwendige Sicherheitsabstand vermutlich mit der Fahrgeschwindigkeit steigt. Nur durch genügend Radwegbreite kann der Sicherheitsabstand zu anderen Verkehrsteilnehmern oder Fahrzeugen eingehalten werden und der Fahrkomfort auf den Radwegen wird angenehmer.

Eine Möglichkeit um zu schmale Zweirichtungsradwege zu vermeiden, ist die Verwendung von Einrichtungsradwegen. Der Vorteil besteht darin, dass mit keinem Gegenverkehr zu rechnen und das Überholen dennoch möglich ist. Die Wahrscheinlichkeit eines Frontalzusammenstoßunfalls mit einem entgegenkommenden Fahrzeug, kann somit jedoch stark minimiert werden. Es wird nicht zu verhindern sein, dass sich einige Verkehrsteilnehmer nicht an die Regelungen des Einrichtungsradweges halten.

Literaturverzeichnis

- [1] Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie: *Der Radverkehr in Zahlen*; Ueberreuter Print GmbH; S.33; Wien 2010
- [2] Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie: *Der Faktor Zeit im Radverkehr. Daten, Fakten und Maßnahmen zur Beschleunigung des Radverkehrs*. Ueberreuter Print GmbH; S.6; Wien 2016
- [3] STVO; § 2 Abs. 22
- [4] Kraftfahrzeuggesetz 1967; § 1 Abs. 2a
- [5] Fahrradverordnung § 4 Abs. 1
- [6] RVS 03.02.13; *Radverkehr*; FSV; S.19ff; Februar 2014
- [7] Wikipedia; *Kinetische Energie*; https://de.wikipedia.org/wiki/Kinetische_Energie; Stand 07.11.2018
- [8] BOKU; *Planungsgrundlagen des Radverkehrs*; Michael Meschik; S.29; Wien 2013
- [9] Segway-Ninebot; *Ninebot by Segway KickScooter ES2*; <https://shop.segway.com/at-de/20/-ninebot-by-segway-kickscooter-es2>; Stand 28.02.2019
- [10] Bikester; *Ortler Gotland Damen Schwarz Matt (2019)*; <https://www.bikester.at/ortler-gotland-damen-schwarz-matt-885933.html>; Stand 28.02.2019
- [11] Bikester; *ORBEA Avant H60 Black/Red/White (2019)*; <https://www.bikester.at/orbea-avant-h60-blackredwhite-856183.html>; Stand 28.02.2019
- [12] Bikester; *Ortler Bozen Performance Damen Wave black matt (2019)*; <https://www.bikester.at/ortler-bozen-performance-damen-wave-black-matt-901053.html>; Stand 15.06.2019

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Rennfahrrad (Quelle: https://de.depositphotos.com/119464566/stock-photo-road-bicycle-bike-flat-icon.html)</i>	3
<i>Abbildung 2: Bird E-Scooter (Quelle: https://www.bird.co/)</i>	4
<i>Abbildung 3: Citybike (Quelle: https://www.citybikewien.at/)</i>	4
<i>Abbildung 4: Donkey Republic Bike (Quelle: https://owners.donkey.bike/the-bike-fleet/)</i>	4
<i>Abbildung 5: Zweirichtungsradweg; (Vgl. RVS 03.02.13 ; S.19)</i>	5
<i>Abbildung 6: Darstellung der kinetischen Energie (Quelle: Forschungsgesellschaft Mobilität – FGM; 2013)</i>	6
<i>Abbildung 7: Kinetische Energie im Verhältnis von Geschwindigkeit und Körpergewicht</i>	6
<i>Abbildung 8 : Darstellung des Überholvorgangs (Modell 1)</i>	7
<i>Abbildung 9: Darstellung des Überholvorgangs (Modell 2)</i>	8
<i>Abbildung 10: Messstelle (Quelle: https://www.wien.gv.at/stadtplan/ ; Stand 21.12.2018)</i>	9
<i>Abbildung 11: Fotoaufnahme der Messstelle vom 22.10.2018</i>	10
<i>Abbildung 12: Gesamtübersicht aller ausgewerteten Verkehrsmittel</i>	11
<i>Abbildung 13: Histogramm herkömmliche Fahrrad</i>	12
<i>Abbildung 14: Histogramm E-Bike</i>	12
<i>Abbildung 15: Histogramm Rennrad</i>	12
<i>Abbildung 16: Histogramm Citybike</i>	12
<i>Abbildung 17: Histogramm Lastenrad</i>	13
<i>Abbildung 18: Histogramm Fahrrad mit Anhänger</i>	13
<i>Abbildung 19: Histogramm Bird/Lime/Tier</i>	13
<i>Abbildung 20: Histogramm Private E-Scooter</i>	13
<i>Abbildung 21: Histogramm Tretrroller</i>	13
<i>Abbildung 22: Minimal- und Maximalgeschwindigkeiten aller Verkehrsmittel</i>	15
<i>Abbildung 23: Normalverteilung der bergauffahrenden Verkehrsteilnehmer</i>	17
<i>Abbildung 24: Normalverteilung der bergabfahrenden Verkehrsteilnehmer</i>	18
<i>Abbildung 25: Geschwindigkeiten der helmtragenden Verkehrsteilnehmer</i>	21

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Tage der Aufzeichnung und Anzahl der ausgewerteten Fahrzeuge/Verkehrsteilnehmer</i>	10
<i>Tabelle 2: Vergleich der Modelle</i>	20