

SEED – Safe E-Scooter Driving

Band 90



Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie, Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Inhaltliche Erarbeitung:

Projektverantwortlicher Autorinnen und Autoren: Paul Rosenkranz AIT Austrian Institute
of Technology GmbH

Erstveröffentlichung: Oktober, 2023. Band 90

Projektnummer: GZ:2021-0.053.053

Autorinnen und Autoren: Andrea Schaub, Andreas Hula, Michael Aleksa, Peter Saleh,
Matthias Hahn, Christian Fürstler (vormals Klösch), Stephan Wittmann (alle AIT), Florian
Klinger (TU Wien)

Schriftenleitung: Dipl.-Ing. Alexander Nowotny

Fotonachweis Umschlag: Florian Klinger, TU Wien
Wien, 2023.

Erklärung der Schriftenleitung:

Die in diesem Band enthaltenen Aussagen müssen nicht notwendigerweise mit denen des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie übereinstimmen. Dieses Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung außerhalb der Grenzen des Urheberrechts ist ohne Zustimmung des Herausgebers unzulässig. Finanziert aus Mitteln des Österreichischen Verkehrssicherheitsfonds im Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie.

Rückmeldungen: Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an road.safety@bmk.gv.at.

Kurzzusammenfassung

Die Zunahme an E-Scootern verschiedener Herstellertypen und gleichzeitig ansteigende Unfallzahlen zeigen Bedarf an sorgfältiger Betrachtung aller Eventualitäten in der Überwachung und Informationslage zu Geräteeigenschaften durch Datenerhebung, -auswertung und Wissenstransfer. Durch umgesetzte Konzepte in Städten sind Auswirkungen von neuartigen Verleihsystemen im rechtlichen Bereich ersichtlich und sorgen für Schlagzeilen, wie am Beispiel Wien¹. Das Ziel des Projekts SEED – Safe E-Scooter Driving war es, neben evidenzbasierten Handlungsempfehlungen einen geeigneten Raum zu schaffen, der es ermöglicht Daten zum E-Scooter-Fahrverhalten und dem Zusammenwirken im Gesamt-Mobilitätssystem zu erheben und mittels Simulationen skalierbar zu machen. Dies wurde mittels eigenen standardisierten Parcours-Versuchen und Einsatz der Mobility Observation Box (MOB²) zur DSGVO-konformen Datenerhebung im öffentlichen Raum durchgeführt. Das Ergebnis des Projekts sind Handlungsempfehlungen in den Kategorien Infrastruktur, Fahrzeuge, Gesetzgebung, Wissenstransfer/Bewusstseinsbildung und weitere Forschungsthemen.

¹ (Kicking, 2023)

² (AIT Austrian Institute of Technology, Wien, 2023)

Abstract

Rising numbers of e-scooters from different types of manufacturers and at the same time increasing numbers in road crashes show the need for careful consideration of all eventualities in monitoring and information on device properties through data collection, evaluation, and knowledge transfer. Implemented concepts in cities make the effects of new rental systems visible in the legal area and make headlines, as in the example of Vienna³. The aim of the SEED - Safe E-Scooter Driving project was, in addition to evidence-based recommendations for action, to create a suitable space that makes it possible to collect data on e-scooter riding behaviour and interaction in the overall mobility system and to make it scalable using simulations. This was carried out using a developed, standardized test course and the use of the Mobility Observation Box (MOB⁴) for GDPR-compliant data collection in public spaces. The result of the project are recommendations for action in the categories of infrastructure, vehicles, legislation, knowledge transfer/awareness-raising and other research topics.

³ (Kickingner, 2023)

⁴ (AIT Austrian Institute of Technology, Wien, 2023)

Zusammenfassung

Zunehmende Verkaufs- und Unfallzahlen in Zusammenhang mit der Nutzung von E-Scootern rufen europaweit Fachexpert:innen aus Unfallverhütung, Verkehrsplanung und Medizin auf den Plan. Die Modellwelt unterschiedlichster Hersteller in Zusammenhang mit steigenden Zahlen in Nutzung und Angebot an Leihfahrzeugen im Sharing-Betrieb in vielen Städten und den damit verbundenen teilweise sehr unterschiedlichen Geräteeigenschaften liefern Nährboden für Unfälle und Konflikte, ausgelöst durch unerfahrene Benutzer:innen und unberechenbare Fahrmanöver.

Das Projekt SEED entwickelte neben grundlegenden Aussagen zu Handlungsempfehlungen ein standardisiertes Verfahren zur Erhebung, Simulation und Auswertung von Konflikten, Fahrdynamikdaten und Verbesserungen von E-Scooter-Mobilität. Dazu wurden neben Fahrversuchen in kontrollierten Umgebungen in einem Parcours und nachgelagerten Manöverfahrten auch Erhebungen von Fahrverhalten im öffentlichen Raum unter strenger Berücksichtigung der geltenden Datenschutzbestimmungen durchgeführt. Diese Datenquellen wurden genutzt, um eine Simulationsumgebung zu verwirklichen, die neben unterschiedlichen Fahrmanövern auch Nutzer:innen berücksichtigt und so realistische Daten zu Fahrdynamik und Grenzwerten in diesem Bereich als Ergebnis liefert.

Ein sehr wichtiger Bereich dieses Projekts waren die Erhebungen und Befragungen im Expert:innenbereich, die sowohl aus Unfallforschung als auch -behandlung kamen. Diese Expert:innen waren sich mit grundlegenden Meinungen sehr einig: E-Scooter seien ein sehr urbanes Problem und das Tragen von persönlicher Schutzausrüstung werde oftmals vernachlässigt, ebenso wie die eigentlichen Benützungsvorschriften der E-Scooter-Sharinganbieter und -hersteller.

Das Projekt kommt zu dem Schluss, dass ein fundamentales Informationsdefizit bei Nutzer:innen dieser neuen Mobilitätsform vorherrscht, welchem neben Gesetzgebung auch durch Informationskampagnen entgegengewirkt werden muss. Ausbildung und Training an den einzelnen Fahrzeugen sind ebenso wichtig und müssen gemeinsam mit Informationen zu persönlicher Schutzausrüstung von Herstellern, Gesetzgebung und Verleihanbietern getrieben werden. Das Projekt liefert zu diesen Vorhaben notwendige Datenquellen, Trainingsumgebungen und Analysen.

Inhalt

Kurzzusammenfassung.....	3
Abstract.....	4
Zusammenfassung	5
Aufgabenstellung.....	8
Status Quo – Recherche und Erhebungen	9
Literaturrecherche und Auswertung Unfalldaten.....	9
Expert:innenbefragungen	12
Online-Survey	16
Datenerhebungen	19
Sicherheitsevaluierung Knotenpunkte	19
Standort Schwarzenbergplatz	21
Standort Albertinaplatz	22
Standort Liebenberggasse/Ring	23
Parcours-Versuch	24
Fahrzeuge	28
Parcours-Design	30
Proband:innen-Befragung.....	36
Simulationen.....	37
Longitudinaldynamik – Bremsverhalten	38
Privat günstig.....	40
Leihanbieter	42
Privat hochwertig	44
Vertikaldynamik – Stufenüberfahrt	44
Lateraldynamik – Handling und Beherrschbarkeit.....	46
Stabilitätsverhalten der Geradeausfahrt	48
Stationäre Kurvenfahrt.....	50
Ergebnisse	52
Ergebnisse Unfalldatenerhebung und Befragungen	52
Zusammenfassung.....	57
Ergebnisse Konflikterhebung	58
Zusammenfassung.....	65
Grenzen der Untersuchung.....	65
Ergebnisse Parcours-Versuch	66
Vorverarbeitung der Daten	69

Zusammenfassung.....	72
Auswertungsergebnisse Simulationen.....	73
Zusammenfassung.....	74
Ableitung von Handlungsempfehlungen.....	75
Handlungsempfehlungen – Infrastruktur.....	76
Handlungsempfehlungen kompakt - Infrastruktur	76
Handlungsempfehlungen – Fahrzeuge.....	77
Handlungsempfehlungen kompakt - Fahrzeuge	78
Handlungsempfehlungen – Gesetzgebung	78
Handlungsempfehlungen kompakt - Gesetzgebung.....	79
Handlungsempfehlung – Bewusstseinsbildung.....	79
Handlungsempfehlungen kompakt – Bewusstseinsbildung	80
Handlungsempfehlungen – weitere Forschung	80
Handlungsempfehlungen kompakt – Forschung	81
Tabellenverzeichnis.....	82
Abbildungsverzeichnis.....	83
Literaturverzeichnis	85
Abkürzungen und Fachvokabular	86

Aufgabenstellung

Die Nutzung von E-Scootern ermöglicht das Schließen einer ewigen Lücke, der Last-Mile. Doch wie sicher sind diese Endgeräte und ist deren Sicherheit und Verhalten messbar? Ist ein standardisierter Weg zur Prüfung von Infrastruktur und Fahrzeugen möglich? Das Projekt SEED hat diese Fragestellung untersucht und stellt Mittel und Lösungswege zur Verfügung, um eine Form der Last-Mile-Mobilität sicherer zu machen.

Das Projekt SEED hat es sich zur Aufgabe gemacht, Verhalten von E-Scooterfahrer:innen in Relation zu Fahrzeugeigenschaften abzubilden, um so einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung von Handling und Sicherheit der Fahrzeuge zu leisten. Unter der Prämisse einer objektiven Datensammlung und einer ebenso fachdienlichen Auswertung der erhobenen Daten wurden Handlungsempfehlungen entwickelt, die für Entscheidungsträger:innen, E-Scooter-Anbieter, E-Scooter-Hersteller und die Forschungsgemeinschaft gleichermaßen wirksam gemacht werden können.

Mit einer einleitenden Literaturrecherche und Expert:innenbefragung wurde der fundamentale Grundstein für die nachfolgenden Erhebungstätigkeiten in den Domänen Feldversuch, nicht-invasive Beobachtung von Realverkehrsgeschehen und Simulationstechnik gelegt. Die Ergebnisse aus diesen beiden Teilen werden abschließend in einer Zusammenfassung interpretiert. Die davon abgeleiteten Handlungsvorschläge kanalisieren die Ergebnisse aus Parcours- und Simulationsergebnissen und beinhalten Ableitungen der weitreichenden Expert:innenkonsultationen.

Status Quo – Recherche und Erhebungen

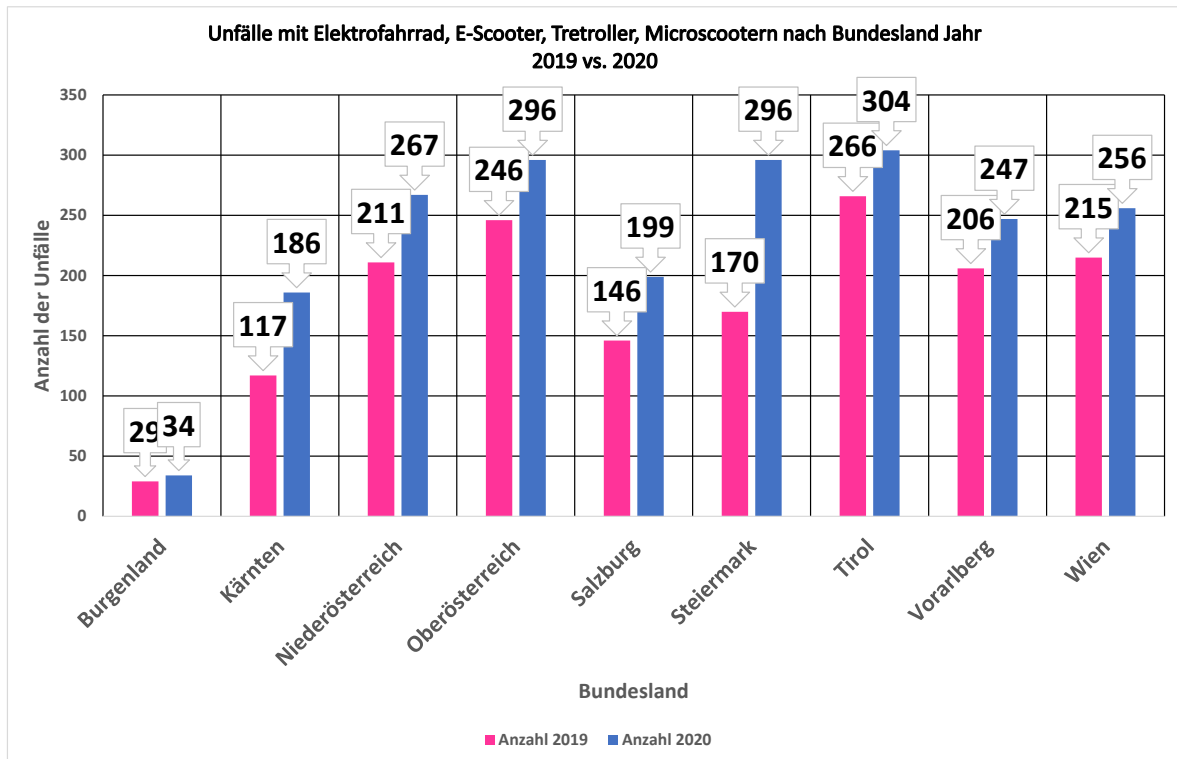
Die Thematik rund um E-Scooter-Gebrauch ist im deutschen Raum im aufstrebenden Bereich, während in anderen Ländern bereits seit Jahren von und mit Mikromobilitätsangeboten gelebt wird. Mit diesen aufstrebenden Zahlen kommen auch Probleme wie Unfälle durch und mit den Endgeräten sowie rechtliche Fragestellungen zu Verwendung von Verkehrsinfrastruktur und Leihgerätschaften.

Literaturrecherche und Auswertung Unfalldaten

Zu Beginn des Forschungsprojekts war es wichtig, den vorgefertigten Meinungen, Nachrichtenberichten und der Grundeinstellung des Mobilitätssystembestandteils E-Scooter mit Fakten, wissenschaftlichen Analysen und weltweiten Erfahrungen zu begegnen. Neben Informationen zu Verkaufszahlen, Unfallzahlen und deren Auswirkungen (Moftakhar Timon, 2020) bei Nutzung der unterschiedlichsten E-Scooter-Typen wurden vor allem Grundlagen für die Expert:innenbefragung, sowie die durchgeführten Fahrversuche gesammelt und analysiert.

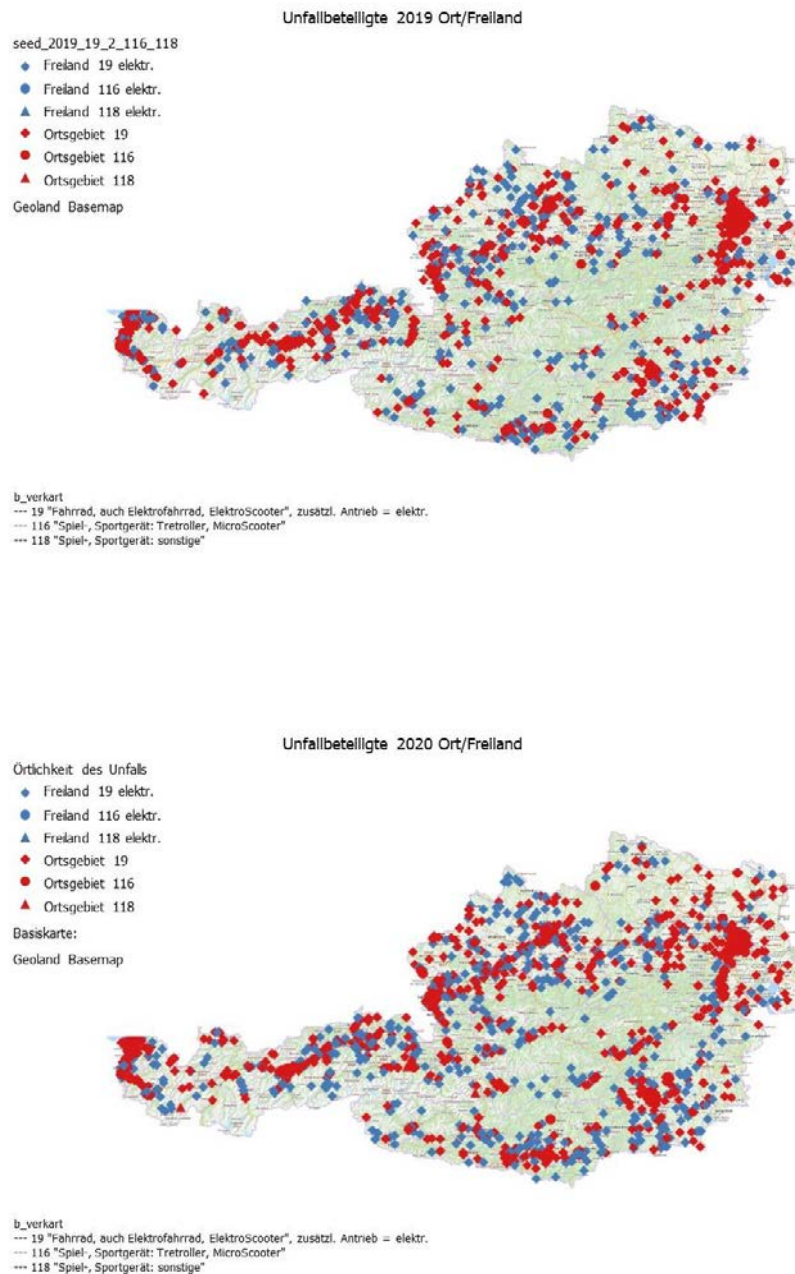
Durch die Auswertung der Unfallzahlen wurde in diesem Projekt Wissen zu räumlichen Verteilungen von Unfällen mit Beteiligung von Elektrofahrrädern, E-Scootern, Tretrollern und Microscootern in Österreich angesammelt. Die Daten wurden im Zuge des Projekts durch die Statistik Austria zur Verfügung gestellt und deckten die Jahre 2019 und 2020 ab. Um einen Vergleich der absoluten Unfallzahlen für jedes Bundesland als Ausgangspunkt heranzuziehen, ist in Abbildung 1 der Vergleich zwischen den Jahren 2019 und 2020 angeführt. Dieser zeigt einen Anstieg der Unfallzahlen um bis zu 30% je nach Bundesland.

Abbildung 1: Vergleich Unfälle mit Elektrofahrrad, E-Scooter, Tretroller, Microscootern nach Bundesland in den Jahren 2019 und 2020 (Quelle: (STATISTIK AUSTRIA Bundesanstalt Statistik Österreich, 2019))



Die in den Bundesländern dargestellten Unfallzahlen geben einen groben Überblick über die Verteilung der Unfälle in Österreich. Mit den Daten wurden aber auch geographische Verortungen der Unfälle mit Beteiligung von E-Fahrrad und E-Scootern, Tretrollern, Microscootern und sonstigen Sportgeräten mitgeliefert. Zusätzlich wurden diese Daten auch in Freiland und Ortsgebiete unterschieden, wie in Abbildung 2 dargestellt.

Abbildung 2: Geographische Verortung der Unfälle mit Elektrofahrrad, E-Scooter, Tretroller, Microscootern unterteilt nach Freiland/Ortsgebiet in den Jahren 2019 und 2020 (Quelle: (STATISTIK AUSTRIA Bundesanstalt Statistik Österreich, 2019))



Die geokodierten Verortungen der Unfälle zeigten eine klare Häufung der Unfälle mit entsprechender Beteiligung im Ortsgebiet bzw. in Ballungsräumen, der Sprung in der

generellen Anzahl der Unfälle zeigte sich auch im Jahresvergleich 2019 und 2020, wie in der Bundeslandstatistik bereits angeführt.

Während der Datenerhebung und -auswertung wurde klar, dass weitere Daten auf Grund diverser Änderungen in der Datenerhebungsmethodik und auch der generellen -erfassung nicht bereitgestellt werden können und diese nicht mehr vergleichbar wären. Aus diesem Grund wurden die Auswertungsjahre 2019 und 2020 als Übersichtsdaten in die Wissenssammlung des Projekts SEED aufgenommen.

Expert:innenbefragungen

Ein besonderer Punkt im Zuge der Ausführung des Forschungsprojekts SEED war die Befragung von Expert:innen aus mehreren Bereichen der Verkehrssicherheit. Die qualitativen Befragungen wurden von Projektbeteiligten nach einem vordefinierten Fragenkatalog durchgeführt und sind in diesem Kapitel niedergeschrieben. Die Befragungen wurden mit einem Leitfaden durchgeführt, der Kernfragen beinhaltet, jedoch nicht als starres Konstrukt verstanden wird. Dies hat den Vorteil, dass neben den projektspezifischen Fragen auch weitere interessante Details erfragt werden konnten. Die Einwilligung zur Angabe der Äußerungen der jeweiligen Expert:innen wurde im Gespräch mündlich erlangt.

Befragung von AUVA, Fachbereich Verkehrssicherheit am Mi, 5.10.2022:

- Unfälle kommen meist im Freizeitbereich vor und nicht/kaum am Arbeitsweg.
- Problem v.a. bei jungen Personen, Student:innen, Tourist:innen; oft auch Eltern mit Kindern gemeinsam am E-Scooter – es gibt angeblich extra Plattformen (Aufstellfläche verbreitern), damit Kinder mitfahren können.
- Bei Fragen zu rechtlichen Rahmenbedingungen haben die Leute kaum Ahnung: wo darf ich fahren?
- Es gibt auch eine innerbetriebliche Nutzung (Freiflächen oder Hallen) von E-Scootern – hohe Differenzgeschwindigkeit, hohe Beschleunigung; Interaktionen gefährlich mit Fußgänger:innen, Radfahrer:innen, E-Scooter.
- Probleme aufgrund kleiner Räder z.B. mit Anschlussgleisen.
- Bodenbeschaffenheit in Hallen spielt eine wesentliche Rolle z.B. glatter Boden wegen Säuberung von Chemikalien – Probleme mit Griffbarkeit, rutschen.
- Abstellmöglichkeiten gibt es wenig, Geräte stehen oft im Weg.

- Probleme am Arbeitsweg, da zu diesen Zeiten hohes Verkehrsaufkommen (Stoßzeiten), oftmals Fahrt auf der Straße, dann gefährlich.
- Freizeit: besseres Schuhwerk, kein Rucksack – Arbeitsweg: glatte Ledersohle (Standfestigkeit am E-Scooter), Anzug (Beweglichkeit eingeschränkt), Rucksack (Laptop oder Mjam-Fahrer:innen mit riesiger Box) – Schwerpunkt woanders.
- Probleme/Konflikte meist bei ÖV-Haltestellen; E-Scooter-Fahrer:innen blockieren Ein- und Ausgänge, fahren am langen Bahnsteig neben Fußgänger:innen.
- Thema Blinker: Hand raus gefährlich (Gas oder Bremse sind dann kurz nicht bedienbar); extra Blinker: eher nein (bautechnisches Problem, am Helm: nein, da Falschinterpretation möglich).
- Rechtsabbiegen mit LKW, Annäherungsgeschwindigkeit bei E-Scooter hoch, Lkw sieht den E-Scooter zu spät.
- Generell: E-Scooter-Fahrer:innen merken die hohen Geschwindigkeiten nicht – Probleme beim Bremsen.

Befragung von BMI, Fachbereich Überprüfung aller PSU, die von den Polizei-Dienststellen übermittelt werden am Di, 4.10.2022:

- Ist eher ein urbanes Problem.
- V.a. jüngere Personen mit Leih-Scooter.
- Haben keine Schutzausrüstung (kein Helm bei Leih-scooter – in Kanada gibt es angeblich bei Leih-scooter einen Helm dabei).
- Viel am Gehsteig unterwegs, keine Kenntnisse wo man fahren darf.
- Konflikte v.a. mit Fußgänger:innen (plötzliche Bewegung möglich).
- Geschwindigkeit wird unterschätzt.
- Bei Nässe sind die kleinen Räder gefährlich.
- Kreuzungsunfälle (Rechtsabbiegen): E-Scooter-Fahrer:innen haben eine schmale Silhouette durch die aufrechte Haltung (wirken also wie Fußgänger:innen) - Verwechslung, sind aber viel schneller da als Fußgänger:innen.
- Oftmals fahren Personen zu zweit auf einem E-Scooter – Fahrdynamik ändert sich stark!
- Gehsteigkanten sind ein Problem, da nicht alle abgesenkt sind.
- E-Scooter-Fahrer:innen sind oft am Gehsteig unterwegs, wenn gut sichtbare Radwege, dann schon dort.
- Bei Kontrolle des UDM weiß man mit dem Unfallbericht, ob es sich um einen E-Scooter gehandelt hat.
- Privat wird oft mit Helm gefahren.

- Wenig Alkohol im Spiel bei diesen Unfällen.
- Unfallgegenseite: Fußgänger:innen, Pkws, messen sich oft mit Radfahrer:innen.

Befragung von Rotes Kreuz, Fachbereich Medizin (Flugrettung, kaum im innerstädtischen Bereich im Einsatz – also keine E-Scooter) Uniklinik am AKH am Mo, 3.10.2022:

- Verletzungsmuster sind wie bei Unfällen mit hoher Geschwindigkeit, v.a. Schädel/Hirn (ohne Helm), wenn seitlich, dann Schulter/Schlüsselbein.
- Unfälle oft in der Nacht, junge Menschen, aus Mangel an ÖV (Heimreise zu zweit), kognitiv beeinträchtigt.
- Wenn kein Helm, dann auch bei 20 km/h bedrohliche Verletzungen.
- E-Scooter sind nicht stabil, nicht für abrupte Bewegungen geeignet.
- Helme eher bei privatem Scooter, bei Leih scooter nicht.
- E-Scooter sind Spielzeug für junge Menschen.
- Unfälle beschränken sich auf den großstädtischen Bereich.

Befragung von Rettungsdienst und Psychosoziale Betreuung, ÖRK (Österreichisches Rotes Kreuz) am Mo, 10.10.2022:

- Ganz wenige Zahlen/Fakten zu den Unfällen, auch aus Datenschutzgründen.
- Sie kam bisher 3-mal zu solchen Unfällen, viele Alleinunfälle generell; 1x gegen Laternenmast mit Kopf (nur Gehirnerschütterung), 1x an Gehsteigkante hängengeblieben (Schürfwunden) und 1x beim Linksabbiegen von Auto übersehen und erfasst (Kfz über beide Unterbeine, zum Glück nur Quetschungen).
- Alle keine Schutzausrüstung; generell sehr selten, sie schätzt bei ca. einem Viertel ja, sonst nicht.
- E-Scooter haben eine kleine Silhouette, werden schwer bzw. zu spät gesehen.
- Handzeichen zu geben ist sehr schwer, Scooter wird instabil: in Hamburg gibt es Leih-Scooter mit Blinker.
- Ein großes Ärgernis ist, dass die Scooter irgendwo abgestellt werden, sogar auf Blindenleitsystemen – Probleme für Sehbehinderte.
- Mit kleinen Rädern bleibt man leicht in den Gleisen hängen.
- Wenn ein:e E-Scooter-Fahrer:in auch Radfahrer:in ist, haben sie ein besseres Gespür/Sensibilität für den Untergrund, also für die Fahrbahn, passen dabei besser auf.
- Zu zweit am E-Scooter: alle wissen, dass man das nicht darf, Jugendliche wollen aber Geld sparen.

- Am Land eher mit privatem Scooter unterwegs, da es keine Leihfirmen gibt.
- Alkohol: wissen, dass sie es nicht dürfen, mehr Kontrollen würden helfen.
- Mit E-Scooter von der Party heim (wenn kein ÖV mehr fährt)? Frage ist, wann die Leihfirmen ihre Scooter einsammeln, um sie aufzuladen und wieder zu verteilen.
- Daten zu Unfällen: in den steirischen Krankenhäusern, da gibt es auch Daten zu ländlichen Regionen
- Bei Rettungseinsatz des ÖRK gibt es immer einen Bericht, aber da ist nur „Verkehrsunfall“ vermerkt und nicht „E-Scooter“, müsste man dann manuell herausuchen, viel Arbeit.

Befragung von Wr. Berufsrettung (Rettungsakademie) am Do, 13.10.2022:

- Er meinte, er kann derzeit sehr wenig sagen, da es dazu (noch) keine Zahlen gibt.
- Er könnte aber einen „Marker“ auf „E-Scooter“ setzen, damit die Leitstelle dann ab diesem Zeitpunkt alle Unfälle mit E-Scooter Beteiligung weiterleitet. Derzeit gibt es so etwas aber noch nicht.
- Es würde ihn aber selbst sehr interessieren. Da es aber bereits Mitte Oktober ist, kommt es kaum mehr zu E-Scooter Unfällen. Er könnte aber den Marker ab März setzen und z.B. 4 Monate sammeln.
- Dann müssten wir uns noch unterhalten, welche Daten wir von ihnen haben wollen (unter Berücksichtigung des Datenschutzes und das, was sie haben)
- Und wegen der Finanzierung, da sie dann schon auch Aufwände haben; sie sind aber immer gerne bei Forschungsprojekten dabei! Das war fast eine Aufforderung.

Befragung von Fr. Dr. Silke Aldrian (Assoc.Prof. Priv.Do. Dr. Silke Aldrian Universitätsklinik für Orthopädie und Unfallchirurgie Klinische Abteilung für Unfallchirurgie) am Do, 10.11.2022:

- Sie haben zum Thema E-Scooter Unfälle und Verletzungen eine Publikation geschrieben, siehe (Mohtakhar Timon, 2020)
- Daten von Mai 2018- Sept. 2019,
- 3 Spitäler beteiligt,
- 175 Patient:innen von Unfallabteilungen, Durchschnittsalter 34 Jahre, mehr Männer als Frauen,
- 34% mit Rettung eingeliefert, in den frühen Abendstunden die meisten,
- 87% nicht operativ, 13% operiert,
- 5% Beifahrer:innen (also zu zweit/zu dritt am E-Scooter), 95% Lenker:innen

- Verletzungsmuster und -schwere: 21 Schädel-Hirnfrakturen, 7 mit Blutungen, 44 sonstige Frakturen
- Durchschnittlich kommt ins AKH 1 Patient:in pro Woche, der:die nach einem E-Scooter-Unfall stationär aufgenommen werden muss, und zusätzlich 3-4 nicht stationäre Patient:innen.
- Meist kein Helm, alkoholisiert, in der Nacht.
- Rettung liefert am meisten in folgende Spitäler: AKH, Donauspital, Wilhelminenspital und KH Nord (keine Daten von AUVA-Spitälern wie Lorenz Böhler und UKH Meidling)
- Bei solchen Unfällen gehen automatisiert Verletzungsanzeigen vom Spital an die Polizei.
- Die Diagnose und die Behandlung werden im Spital elektronisch erfasst: mit Suchwort „E-Scooter“ kann man dann die relevanten Unfälle filtern.
- Ort des Unfalls: meist hängenbleiben bei Gehsteigkannten (alleine stürzen); ohne Unfallgegenseite.
- Geschwindigkeiten hoch.
- Ob Privat- oder Leih scooter wissen sie nicht.

Aus diesen Befragungen wurden im Zuge des Projekts eine Reihe an Anforderungen und Handlungsempfehlungen in diversen Kategorien ausgearbeitet. Auch wichtige Hinweise zu mehr Sicherheit während der Nutzung von E-Scootern sind in diesen Aussagen enthalten. Diese sind im Kapitel „Ableitung von Handlungsempfehlungen“ zu finden.

Online-Survey

Als zusätzliche Datenquelle zur Erfahrungssammlung zu Unfalltypen und -vorgängen in Verbindung mit relevanten Infrastrukturelementen wurde ein Online-Survey entwickelt und durchgeführt. Dieses Survey wurde auf einer Virtuellen Maschine im AIT-Netzwerk mittels OpenSource-Softwarelösung LimeSurvey umgesetzt und war über einen Link und QR-Code erreichbar. Das Ziel dieser Umfrage war zum einen ein erweiterter Datensatz zu Unfällen und Unfallbeteiligungen, aber auch das Überprüfen der Bereitschaft von Personen, die in Unfällen verwickelt waren, Einzelheiten preiszugeben. Zu diesem Zweck musste die Umfrage nicht repräsentativ sein und keinen speziellen Verteilungen folgen. Innerhalb der Befragung wurden neben konkreten Fragen zu Unfallgeschehen, -örtlichkeit und -auswirkungen auch die generelle Beteiligung und demographische Daten abgefragt. Im Vorfeld der Umfrage wurde ebenfalls ein Altersfilter gesetzt, der nach Vorgaben des AIT und des Datenschutzgesetzes eine Befragung erst ab 18 Jahren ermöglicht.

- Altersabfrage: Sind sie über 18 Jahre alt?
- Generelle Unfallbeteiligung: Waren Sie in einen Unfall mit E-Scooterbeteiligung involviert? **Wurde diese Frage mit "Ja" beantwortet, konnten insgesamt drei Unfälle angegeben werden, die detailliert abgefragt wurden. Da die Fragen in den einzelnen Unfällen gleich sind, wird hier eine Detailbeschreibung eines anzugebenden Unfalls angeführt:**
- Unfallgeschehen: Waren Sie bei diesem Unfall Zeuge, also nicht direkt involviert, konnten den Unfallhergang aber beobachten? Waren neben Ihnen noch weitere Personen an dem Unfall beteiligt? Wer war sonst beim Unfall involviert? Wie waren Sie bei diesem Unfall unterwegs? Haben Sie das Fahrzeug gelenkt? Handelte es sich bei dem Fahrzeug um ihr Eigenes? Bei dem verwendeten E-Scooter handelt es sich um ein Leihgerät, eigenes Fahrzeug? Wer ist aus Ihrer Sicht für den Unfall verantwortlich?
- Unfallort: In welchem Bundesland hat der Unfall stattgefunden? Hat sich der Unfall auf einer Kreuzung ereignet? Auf welcher Verkehrsfläche hat der Unfall stattgefunden? Wie war die Verkehrsfläche beschaffen? Zu welcher Tageszeit hat der Unfall stattgefunden?
- Auswirkungen: Bitte beschreiben Sie den Unfallhergang in ein paar kurzen Sätzen. Wo wurden Sie beim Unfall verletzt? Musste die Verletzung ärztlich behandelt werden? Wurde ein Helm getragen? Wie schwer war die Verletzung? Der Unfall wäre vermeidbar gewesen durch folgende Maßnahmen: [Gründe im Freitext angebbbar], Wenn Proband:in angegeben hat zu Fuß unterwegs gewesen zu sein: Da Sie beim angegebenen Unfall zu Fuß unterwegs waren: Wäre aus Ihrer Sicht der Unfall vermeidbar gewesen durch: [Gründe im Freitext angebbbar].

Die Fragen wurden mittels Logik im Hintergrund an die Angaben der Proband:innen angepasst, beispielsweise wurde ein Alleinunfall mit einer abgeänderten Fragenreihenfolge durchgeführt, als ein Unfall mit mehreren Beteiligten. Die Fragen zielten auf die Erfassung von Unfalldaten und Daten zur Infrastrukturverwendung ab, um einen Zusammenhang zwischen Unfallvorgang und verwendeter Infrastruktur abzuleiten. Das Survey wurde mittels QR-Codes und Direktlinks über Social-Media und breitenwirksame Events und Netzwerke verteilt. Die Fragen konnten in einem Zeitraum von Juni 2023 bis Mitte September 2023 in den Sprachen Deutsch und Englisch mittels Webbrowser beantwortet werden. Die Daten sind innerhalb des AIT-Netzwerks gesichert

und geschützt abgelegt, es wurden keine Tracking-Daten (Cookies, Browserinformationen, etc.) der jeweiligen Teilnehmer:innen gespeichert.

Datenerhebungen

Durch die Expert:innenbefragung und Literaturrecherche wurde ein Grundstein für die weiteren Forschungstätigkeiten gelegt. Diese Grundlagen wurden im Projekt SEED zur Unterstützung von Datenerhebungen genutzt, die in drei Domänen durchgeführt wurden: nicht-invasive Beobachtung von Realverkehrsgeschehen, Feldversuch und Simulationstechnik.

Sicherheitsevaluierung Knotenpunkte

Im Zuge der ersten Datenerhebungsdomäne wurde ein am AIT Austrian Institute of Technology entwickeltes Verfahren zur Beobachtung von Verkehrsverhalten und Konfliktsituationen benutzt, um objektive Daten zu potenziell gefährlichen Situationen mit E-Scooter-Beteiligung aufzuzeigen. Zu diesem Zweck wurde die Mobility Observation Box⁵ (MOB) – ein trajektorienbasiertes Erfassungssystem aller Verkehrsteilnehmer:innen in Kreuzungs- und Straßenabschnitten – eingesetzt. Die MOB erfasst, klassifiziert und anonymisiert Verkehrsteilnehmer:innen und erstellt aus den gesammelten Informationen in einem nachgelagerten Schritt Bewegungslinien zur weiteren Verwendung in der Konfliktanalyse. Ein Konflikt wird dabei über zwei wesentliche Kennzahlen, die Time-To-Collision (TTC) und die Post-Encroachment-Time (PET) definiert, die Aussagen zu zeitlichen Abständen zwischen zwei Verkehrsteilnehmer:innen und anschließende Verweildauern an einem Punkt des Aufeinandertreffens zulassen. Die TTC stellt dabei die Zeitspanne bis zur Kollision zweier Verkehrsteilnehmer:innen dar, wenn beide ihre Geschwindigkeit nicht ändern würden. Dabei wird der mögliche Konfliktpunkt zusätzlich als Aussage zu Häufungen herangezogen und gibt Auskunft über mögliche Infrastrukturschwachstellen. Die PET beschreibt die Zeit zwischen dem Verlassen eines potenziellen Konfliktpunktes des ersten Verkehrsteilnehmers bzw. der ersten Verkehrsteilnehmerin in Relation zum Eintreffen des zweiten Verkehrsteilnehmers bzw. der zweiten Verkehrsteilnehmerin an ebendiesem Konfliktpunkt. Dabei gilt für beide Werte: je kleiner, desto wahrscheinlicher ist eine (stattgefundene) Kollision.

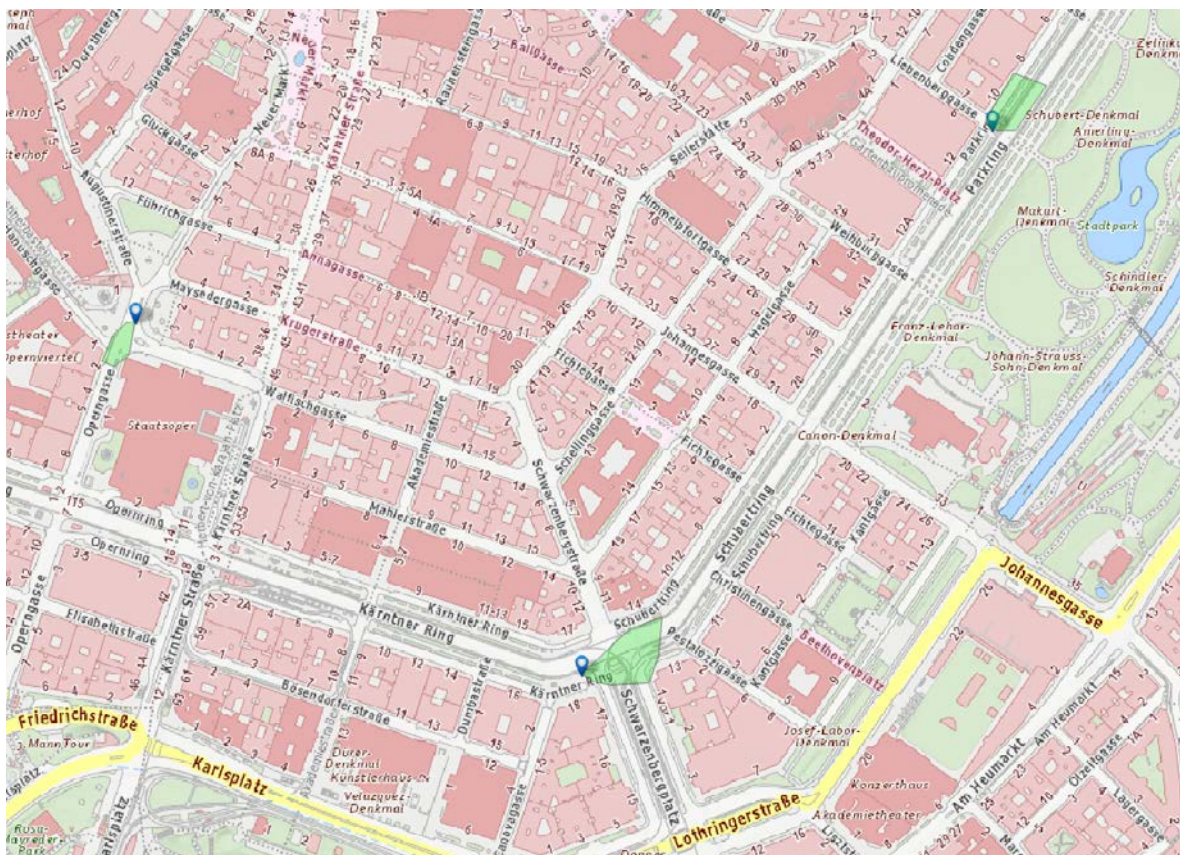
⁵ Mobility Observation Box – Quelle: (AIT Austrian Institute of Technology, Wien, 2023)

Die Standortauswahl der MOB-Erhebungen wurde innerhalb des Projektteams durchgeführt und nach den folgenden Gesichtspunkten getroffen:

- Gesamtverkehrsaufkommen aller Verkehrsteilnehmer:innen
- Abschätzung Aufkommen der Zielgröße E-Scooter/Tretroller
- Infrastrukturbeschaffenheit und damit Art des Aufeinandertreffens unterschiedlicher Verkehrsteilnehmer:innen am Erhebungsort
- Installationsmöglichkeiten des Messsystems

In Absprache mit dem:der Auftraggeber:in wurden drei Standorte in Wien ausgewählt, die zusätzlich zu den angeführten Auswahlkriterien auch in räumlicher Nähe verortbar sind. In der nachstehenden Abbildung sind die Standorte Schwarzenbergplatz, Albertinaplatz und Liebenberggasse/Kreuzung Ring angeführt.

Abbildung 3: Erhebungsstandorte Mobility Observation Box in der Stadt Wien (Quelle: SEED-Projektteam, basemap.at/Grundkarte)

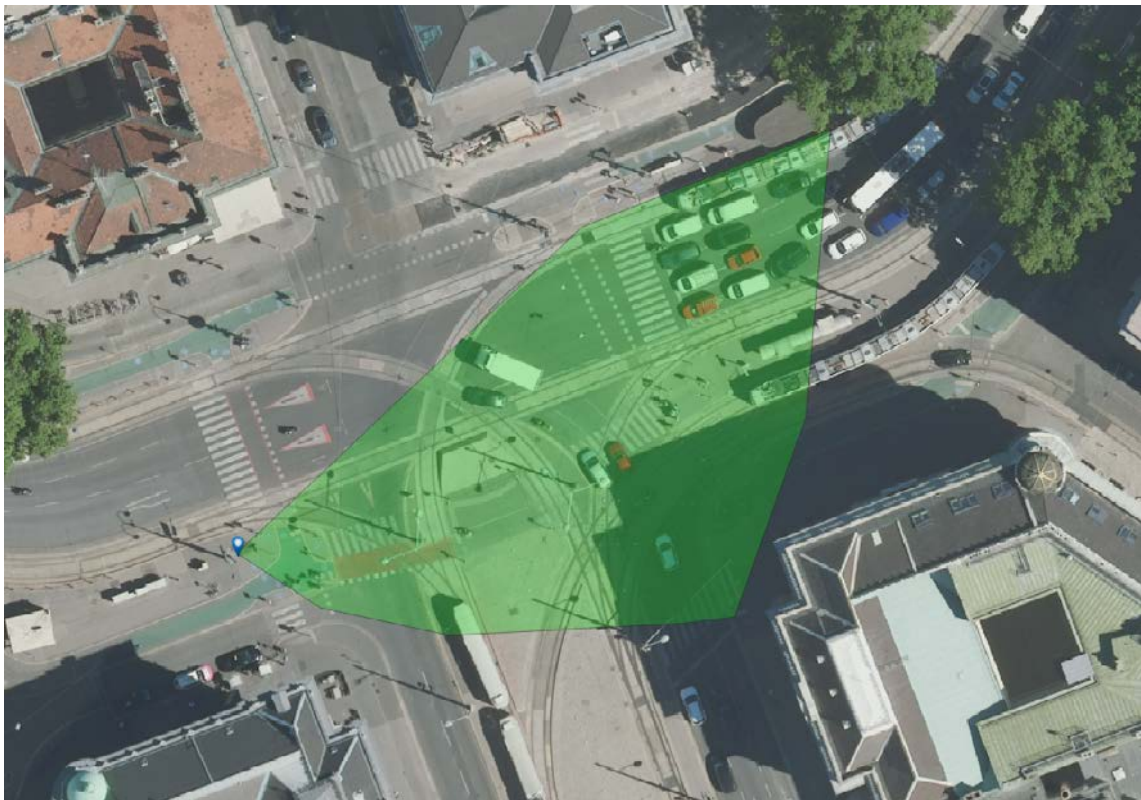


Die drei Standorte wurden unabhängig voneinander erhoben und im Anschluss einem Vergleich hinsichtlich verkehrsplanerischer Parameter (Ganglinien, Flüssigkeit des Verkehrs, Anzahl der unterschiedlichen Verkehrsteilnehmer:innen) und Parameter der Verkehrssicherheit (TTC und PET) untersucht.

Standort Schwarzenbergplatz

Der Standort Schwarzenbergplatz ist hinsichtlich Verkehrssicherheit besonders interessant, da eine große Anzahl an unterschiedlichen Verkehrsteilnehmer:innen in großen Verkehrsmengen aufeinandertreffen, somit eine gute Ausgangslage für einen ausreichenden Grundlagendatensatz bieten.

Abbildung 4: Detailansicht Erhebungsort Schwarzenbergplatz Mobility Observation Box (Quelle: SEED-Projektteam, basemap.at/Orthofoto)



Die Erhebung wurde an der Kreuzung Ringstraße mit der Prinz-Eugen-Straße durchgeführt und verfügt über einen nicht-geschützt geführten Linksabbieger vom Ring kommend und einem hohen Aufkommen an vulnerablen Straßenbenutzer:innen. Diese besondere Relation kennzeichnet eine vom Ring kommende Linksabbiegespuren, die den Gehweg und die

Radfahrüberfahrt kreuzen, dabei nicht alleinstehend signalisiert ist und somit gleichzeitig mit querenden Benutzer:innen aktiv ist.

Standort Albertinaplatz

Der Erhebungsstandort am Albertinaplatz wurde hinsichtlich unterschiedlicher Verkehrsführungsart im Vergleich zu den anderen Standorten ausgewählt.

Abbildung 5: Detailansicht Erhebungsort Albertinaplatz Mobility Observation Box (Quelle: SEED-Projektteam, basemap.at/Orthofoto)



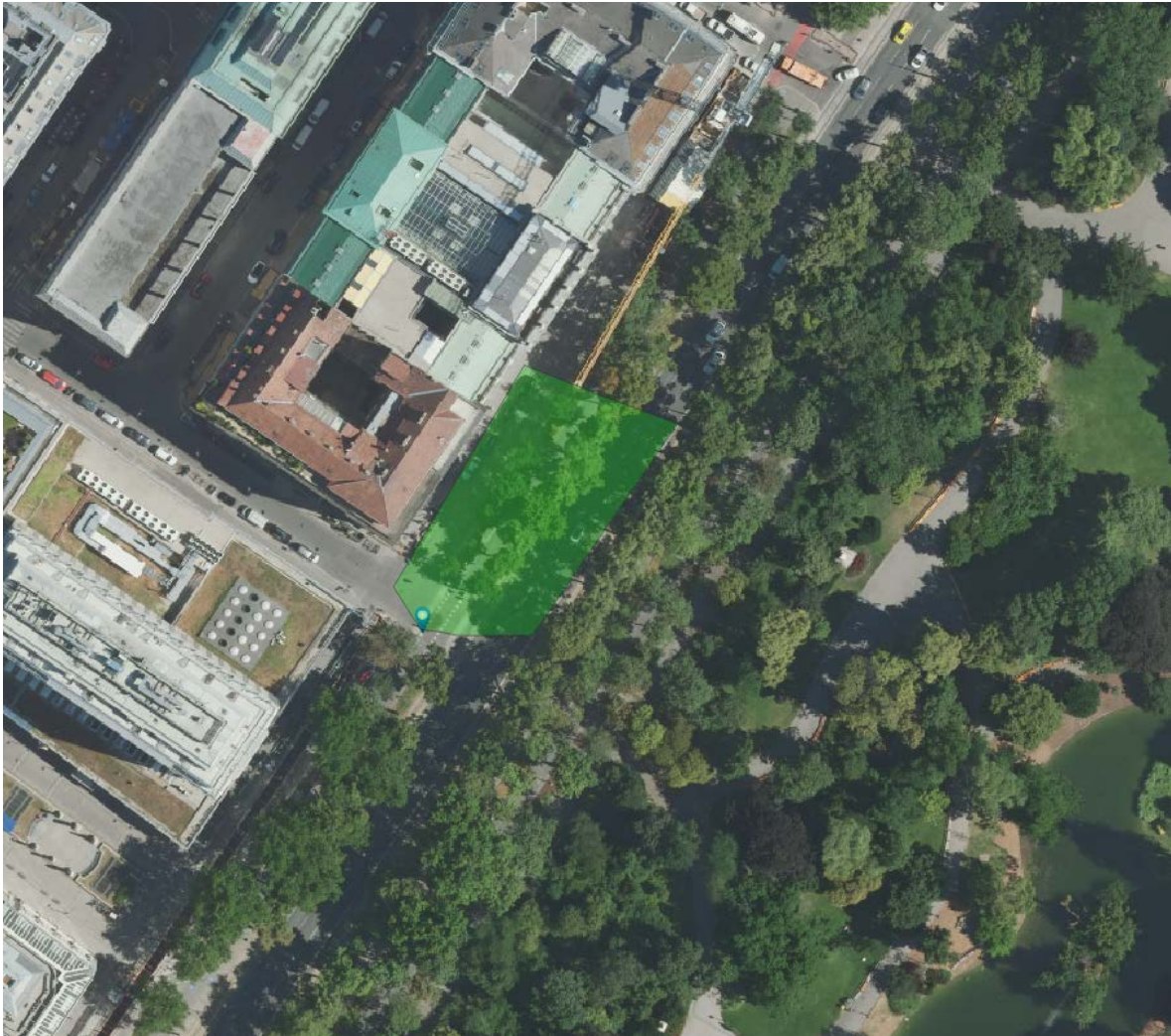
Die Mobility Observation Box wurde an einem Laternenmasten auf der baulichen Trennung der Fahrstreifen vis-a-vis der Albertina am Albertinaplatz eingerichtet. Die Detektionsrichtung wurde dabei auf den Schutzweg in der Operngasse im südlichen

Bereich des Albertinaplatzes gerichtet, wie in Abbildung 5 dargestellt. Dort beginnt auch der baulich getrennte Radweg entlang der Staatsoper bis zum Opernring und ist somit ein Anlaufpunkt für Rad- und E-Scooter-Verkehr.

Standort Liebenberggasse/Ring

Als Abschluss der Standortauswahl wurde eine Abbiegerelation des motorisierten Fahrzeugverkehrs in eine Seitenstraße und dem Kreuzen einer markierten Radfahrerüberfahrt ausgewählt. Diese nicht-lichtsignalgeregelte Kreuzung der Liebenberggasse und dem Parkring inklusive der zugehörigen Nebenfahrbahn wurde projektintern als interessante Straßenkreuzung identifiziert, da die Sichtbeziehungen durch eine Baumallee und des gegebenen Geschwindigkeitsunterschieds vom Ring kommend eingeschränkt sein können.

Abbildung 6: Detailansicht Erhebungsort Liebenberggasse/Parkring Mobility Observation Box (Quelle: SEED-Projektteam, basemap.at/Orthofoto)



Die Mobility Observation Box wurde entgegen der Fahrtrichtung des Parkrings und an der westlichen Seite des Geh- und Radwegs angebracht. Dadurch konnten die vulnerablen Verkehrsteilnehmer:innen, welche durch Schulterblick des motorisierten Fahrzeugverkehrs erkennbar sind, fokussiert betrachtet werden.

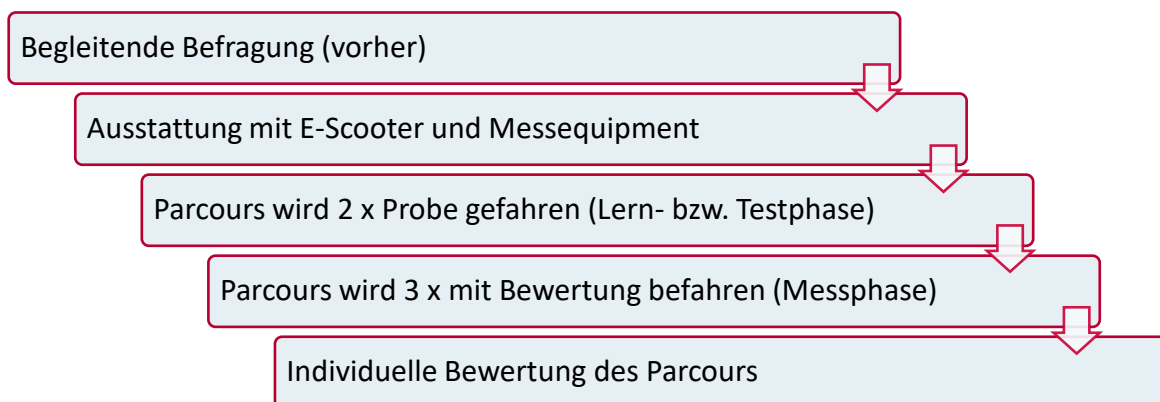
Parcours-Versuch

Der Parcours-Versuch dient als Datensammlung zu Verhalten von E-Scooter-Fahrer:innen bei verschiedenen Situationen, die Manövern aus dem täglichen Bewegungsmuster entsprechen. Dabei wurden Fahrsicherheit sowie Fahrdynamik von E-Scooterfahrer:innen auf einem vorgefertigten Parcours untersucht, der ganze Test fand in einem öffentlich

zugänglichen Bereich statt. Für die Durchführung wurde ein Mehrzweckplatz in Klosterneuburg ausgewählt, welcher nicht nur nah am Bahnhof, in unmittelbarer Nähe von zahlreichen Freizeiteinrichtungen, sondern auch direkt am Rad- und Fußweg gelegen ist. Die ausgezeichnete Lage im Zentrum von Klosterneuburg ermöglichte eine hohe Zahl an vorbeikommenden Menschen, welche als Testpersonen angeworben werden konnten. Um einen hohen Beteiligungsgrad erzielen zu können, wurden die Durchführungstage nahe dem und am Wochenende gesetzt, so hat das Experiment von 05. August (Freitag) bis 07. August (Sonntag) jeweils von 10:00 Uhr morgens bis 16:00 Uhr am Nachmittag stattgefunden.

Dazu wurde eine Teststrecke aufgebaut und eine Proband:innenerhebung durchgeführt. Die Proband:innen wurden unter Bezugnahme von Quellen aus dem Projektumfeld, sowie aus zufällig vorbeikommenden Passant:innen am Erhebungsort rekrutiert. Das Erhebungsdesign war durch eine Befragung vor und nach der eigentlichen Testfahrt auf dem Parcours gekennzeichnet und wurde mit der Bestimmung der fahrdynamischen Eigenschaften durch Vermessung der Gewichtsverteilung des verwendeten E-Scooters abgeschlossen.

Abbildung 7: Ablauf E-Scooter Parcours-Versuch je Proband:in (Quelle: SEED-Projektteam)

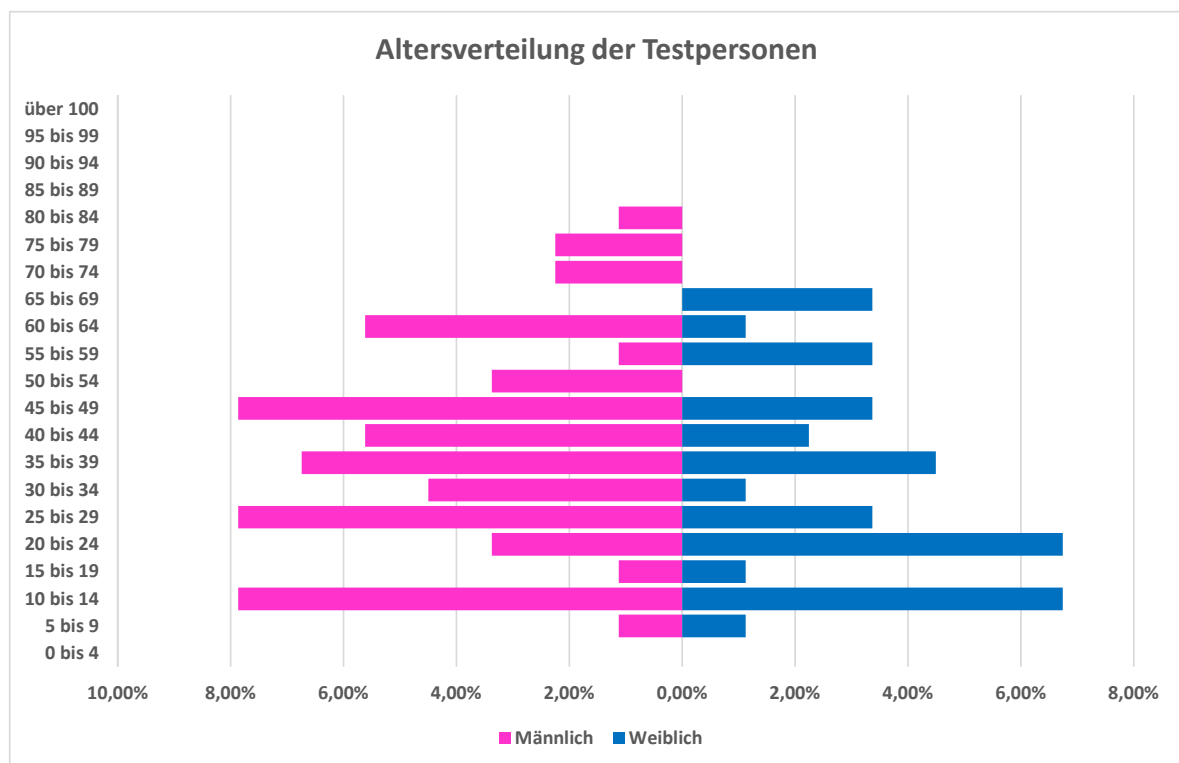


Insgesamt haben 89 Testpersonen den Parcours im Laufe der drei Tage absolviert, davon 55 männliche und 34 weibliche Personen. Von den Proband:innen gaben 79 "rechts" für ihre Händigkeit an, 10 Personen bevorzugten die linke Hand.

Tabelle 1: Proband:innen nach Geschlecht und Testtag (Quelle: SEED-Projektteam)

Testtag	männlich	weiblich	gesamt pro Tag
Freitag	19	9	28
Samstag	17	8	25
Sonntag	19	17	36

Abbildung 8: Altersverteilung der Testpersonen im Parcours-Test (Quelle: SEED-Projektteam)



Von den Teilnehmer:innen haben 44 keine Vorerfahrung mit der Verwendung von E-Scootern, 18 sind bereits ein- bis drei Mal mit einem E-Scooter gefahren und schließlich sind 27 Teilnehmer:innen bereits öfter als drei Mal mit einem E-Scooter gefahren. Zusätzlich erwähnten bei der E-Scooter-Nutzungshäufigkeit neun Testpersonen mehrmals pro Monat und vier mehr als dreimal die Woche zu fahren. 17 Befragte gaben an, privat einen E-Scooter zu besitzen. Außerdem besaßen zwölf Proband:innen einen Account für Leihbörsen von E-Scootern, jedoch hatten nur acht

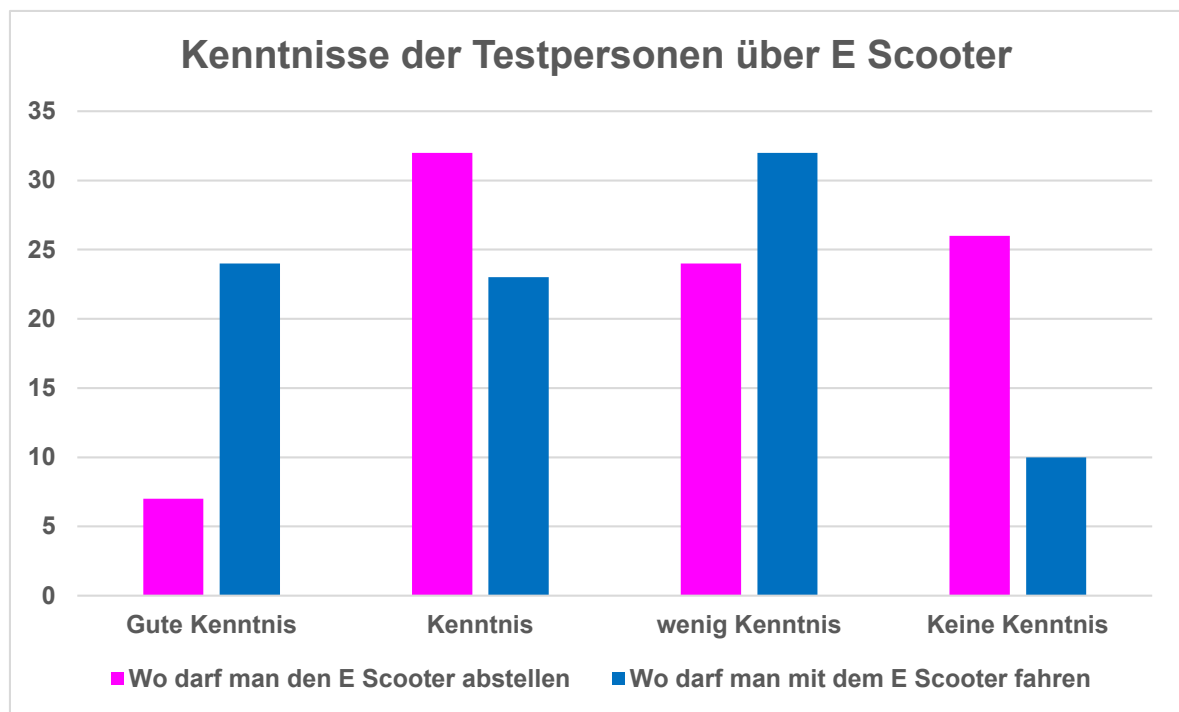
diesen bereits genutzt.

Als bereits genutzte Flächen wurden von den 45 Testpersonen mit Fahrerfahrung zum Großteil Radinfrastrukturen (ca. 20 Mal) und Fahrbahnen (ca. 15 Mal) genannt.

Fußgängerzonen⁶ und Begegnungszonen wurden nur selten (ungefähr 5 Mal) angegeben.

Darüber hinaus wurde von neun Testpersonen angegeben, dass sie bereits auf Gehwegen gefahren sind und 14 waren schon zu zweit mit einem E-Scooter unterwegs.

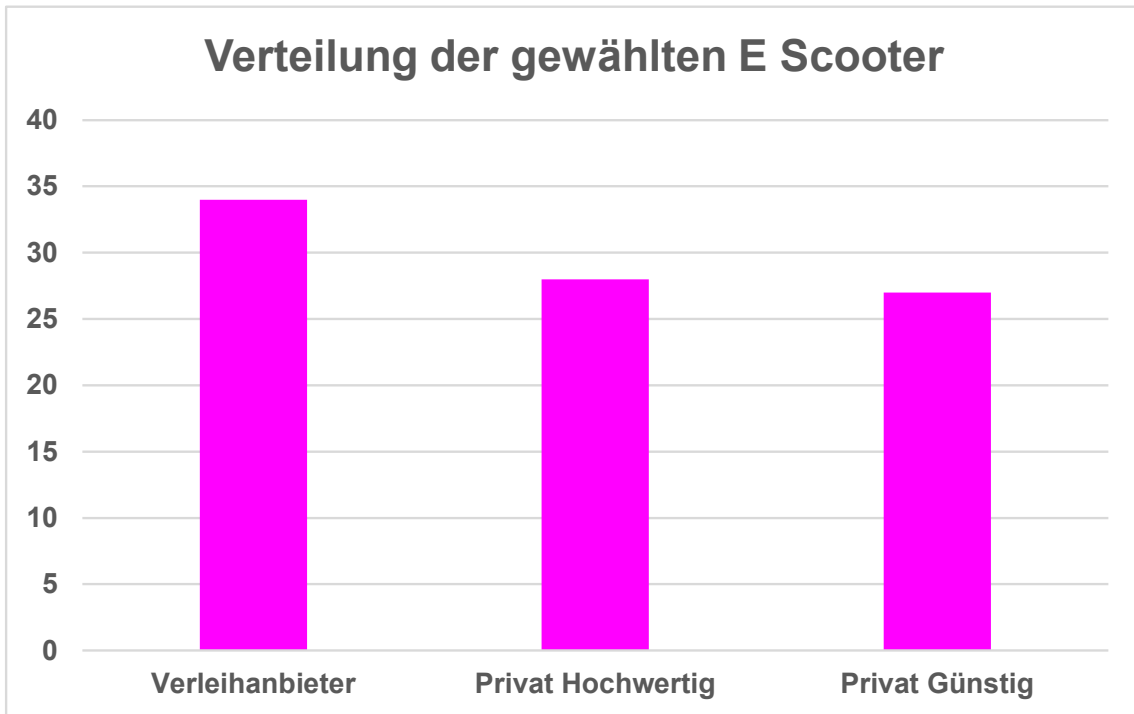
Abbildung 9: Kenntnisse der Testpersonen bezüglich der erlaubten Fahrwege (blau) und der erlaubten Abstellflächen (rosa) (Quelle: SEED-Projektteam)



Die Wahl des E-Scooters war den Proband:innen freigestellt und etwa gleichmäßig verteilt, wobei das Verleihanbietermodell mit 34 Fahrten leicht bevorzugt wurde. Das hochwertige Modell wurde 28-mal und das günstigere 27-mal ausgewählt, wie in der nachstehenden Abbildung 10 dargestellt.

⁶ Begriffsdefinition nach StVO

Abbildung 10: Verteilung der von den Proband:innen gewählten E-Scooter während des Parcours-Versuchs (Quelle: SEED-Projektteam)



Fahrzeuge

Als Testfahrzeuge für den Parcours wurden drei E-Scooter zur Verfügung gestellt. Von den drei unterschiedlichen Modellen war eines von einem Verleihanbieter, die anderen beiden Modelle sind für Privatpersonen erhältlich. Eines der privat erhältlichen Modelle war qualitativ hochwertiger als das andere, welche eine preisgünstigere Ausführung der E-Scooter repräsentierte.

Für die Datenerhebung wurden an allen drei Modellen Sensoren eingebaut, um die Fahrdynamikdaten im Nachhinein auslesen zu können, wie in Abbildung 11 ersichtlich.

Abbildung 11: Verwendete Sensorik in den E-Scootern für den Parcours-Test
(Quelle: SEED-Projektteam)

Übersicht gewähltes Messequipment



Damit die Sensoren und das gesamte Messequipment ausreichend Platz unter den Stehflächen finden und die Belüftung ermöglicht wird, mussten die Stehflächen bei den verwendeten E-Scootern leicht erhöht werden, wie in Abbildung 12 dargestellt. Die Erhöhungen wurden so minimal wie möglich ausgeführt, um Messergebnisse weder zu verfälschen noch zu beeinflussen.

Abbildung 12: Aufbau an privat hochwertigem E-Scooter für die Messtechnik während Parcours-Versuchen (Quelle: SEED-Projektteam)



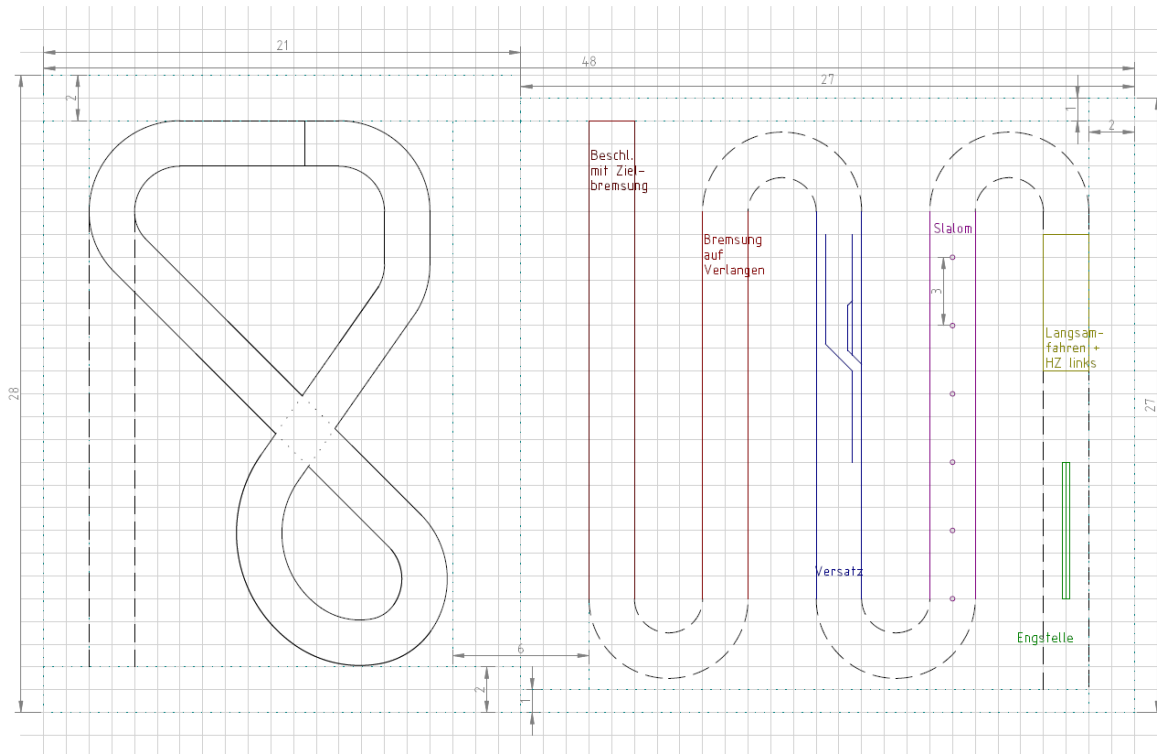
Bei den verwendeten E-Scootern wurde die „kickstart-Funktion“ aktiviert. Der E-Scooter muss damit von den Proband:innen vor dem Losfahren einmal angeschoben werden – ein sofortiges Losfahren des Fahrzeugs bei Betätigung des Gashebels wird verhindert. Diese Sicherheitseinstellung schließt ein unbeabsichtigtes Losfahren aus dem Stillstand aus.

Parcours-Design

Das Layout der Testumgebung ist wesentlicher Bestandteil der eigentlichen Versuchsdynamik. Ein schlecht aufgebauter Parcours lässt viele Fahrmanöver nicht zu bzw. simuliert Gefahrenstellen oder Einschränkungen nicht realistisch genug. Aus diesem Grund wurden in diesem Projekt Situationen nachgestellt, die einer besonders risikoreichen Strecke entsprechen, also viel Interaktion zwischen Infrastruktur, Proband:in und E-Scooter notwendig macht. Dies dient sowohl dem Sammeln von herausragenden Fahrdynamikdaten mittels verbauter Messtechnik als auch einer Etablierung eines Standardlayouts für Schulungstätigkeiten im Zusammenhang mit Sicherheitsverbesserung

im Rahmen eines möglichen E-Scooter-Trainings. In der nachstehenden Abbildung ist eine Gesamtübersicht des Parcours zu sehen.

Abbildung 13: Parcours-Design des Projekts SEED (Quelle: SEED-Projektteam)



Der Parcours wurde in zwei Abschnitte unterteilt, der erste zeigt eine Einrichtung zur Erfassung von Fahrdynamikparametern bei normaler Kurvenfahrt, mit einer Beeinflussung durch Anzeigen eines Abbiegevorgangs mittels Handzeichen an der quer zur Fahrtrichtung gelagerten Linie. Dieser Abschnitt basiert unter anderem auf vorangegangenen Erfahrungen aus dem Projekt SEEKING (Safe E-biKING), welches in den Jahren 2011 bis 2013 durchgeführt wurde und einen Parcours-Test für E-Fahrräder im Arbeitsprogramm integriert hatte.

Abbildung 14: Aufbau des ersten Bereichs des Parcours-Test und Handzeichen-Prüfung
(Quelle: SEED-Projektteam)



Der zweite Abschnitt, in der rechten Bildhälfte von Abbildung 13 dargestellt, beinhaltet insgesamt sechs eigenständige Gefahrensituationen, die einen Eingriff in das E-Scooterverhalten abseits des normalen Fahrverhaltens notwendig machen. Der Startpunkt liegt dabei am rechten unteren Bildrand, die Hindernisse und Einschränkungen sollten in Reihenfolge absolviert werden. Prinzipiell erlaubt dieser Teil eine flexible Anordnung der Abschnitte/Hindernisse, wodurch die Anwendung auf Plätzen unterschiedlicher Dimension ermöglicht wird. Die nachstehenden Hindernisbeschreibungen zeigen detailliert alle genutzte Hindernisse und die Intention dahinter.

Das erste Hindernis simuliert eine Engstelle mit 30 cm Breite, beispielsweise durch Poller, oder etwa unterschiedliche Randsteinniveaus, die ein besonders geradliniges Führen des E-Scooters notwendig machen und in einen Langsamfahrbereich im Zuge einer Fußgängerzone⁷, wie in Abbildung 15 dargestellt.

⁷ Begriffsdefinition nach STVO

Abbildung 15: Parcours-Test Einrichtung 2 "Fußgängerzone " (Quelle: SEED-Projektteam)



Im Anschluss befindet sich eine Linkskurve, die direkt zum dritten Hindernis führt. In einem Slalom sollen insgesamt sechs Slalomstangen umrundet werden, mit maximal möglicher Geschwindigkeit, wie in Abbildung 16 dargestellt.

Abbildung 16: Parcours-Test Einrichtung 3 "Slalom" (Quelle: SEED-Projektteam)



Wiederum führt eine Kurve zum nächsten Hindernis bei dem das Ausweichen bei plötzlich geöffneter KFZ-Türe („dooring“), einer plötzlich auf den Radweg bzw. Fahrbahn tretende Person oder das Kreuzen von Straßenbahnschienen im 45° Winkel simuliert wird.

Abbildung 17: Parcours-Test Einrichtung 3 "Versatz" (Quelle: SEED-Projektteam)



Im Anschluss folgen die letzten beiden Hindernisse, bei denen das Bremsverhalten getestet wird: Zuerst bei einer von außen durch Zuruf angeregten Vollbremsung, danach eine Zielbremsung aus möglichst hoher Geschwindigkeit, wie in Abbildung 18 dargestellt.

Abbildung 18: Parcours-Test Einrichtung 6 "Zielbremsung" (Quelle: SEED-Projektteam)



Die Fahrmanöver wurden sowohl von den Proband:innen verbal im Anschluss an die Testfahrten selbst (siehe Nachher-Befragung) als auch von der Begleitperson mittels Bewertungsbogen (kategorische Beurteilung der Manöver nach "sehr gut", "ok", "nicht bestanden") bewertet.

Proband:innen-Befragung

Die Proband:innen wurden vor und nach der Erhebungsfahrt mit einem Fragebogen befragt. Dieser Fragebogen wurde vor Ort mit Hilfe von Smartphone und Tablet in Beisein des:der Proband:in ausgefüllt, somit ist die zeitliche Nähe zum eigentlichen Parcours-Test, dem die Befragungen zugehörig sind, gegeben. Neben generellen Fragestellungen zu Demographie sowie Nutzung und Vorhandensein von E-Scootern wurden in der Vorher-Befragung auch Details und Wissen zu richtigem Verhalten abgefragt. Die Nacher-Befragung wurde zur eben erlebten Parcours-Fahrt durchgeführt.

Die **Vorher-Befragung** bestand aus Frageteilen zu Vorkenntnissen und vorbereitend zu den Parcours-Fahrten:

- Demographische Eigenschaften: Geschlecht, Alter, Rechts- oder Linkshänder:in
- E-Scooter-Nutzung: Zugang zu (Leih-)E-Scootern vorhanden? Wie oft werden E-Scooter genutzt? Jahresnutzung des E-Scooters? Infrastrukturnutzung während Nutzung des E-Scooters? Nutzung eines E-Scooters zu zweit ist erfolgt?
- E-Scooter-Wissen: Wo darf mit einem E-Scooter gefahren werden? Wo darf ein E-Scooter abgestellt werden?
- Parcours-Fragen: Gewählter E-Scooter

Im Anschluss an den Fragebogen wurde die Parcours-Fahrt insgesamt dreimal durchgeführt und die Werte festgehalten. Durch die eingesetzten E-Scooter wurden mittels verbauter Messsensorik Daten gesammelt und gespeichert. Diese Daten konnten mittels Pseudonymisierung und Zeitstempel dem Befragungsergebnis zugeordnet werden.

Den finalen Teil des Parcours-Tests stellte die **Nachher-Befragung** dar. Diese erfasste die Daten des Wiegevorgangs, bei welchem die Gewichtsverteilung zwischen Vorder- und Hinterachse des verwendeten E-Scooters inkl. Proband:in gemessen wurde, und weitere Fragen zum Parcourserlebnis:

- Wiegevorgang: Gesamtgewicht E-Scooter+Proband:in (vorne und hinten)
- Manöver: Welche Parcours-Manöver haben Schwierigkeiten bereitet? Welche Parcours-Manöver waren besonders hilfreich?
- Fahrgefühl: Auf einer Skala von 1-4, wie sicher haben sie sich VOR bzw. am Anfang des Parcours beim E-Scooterfahren gefühlt? Auf einer Skala von 1-4, wie sicher haben sie sich NACH bzw. am Ende des Parcours beim E-Scooterfahren gefühlt?
- Weitere Kommentare: Möglichkeit für zusätzliche Anmerkungen seitens Proband:in

Durch die Fragestellungen in der Nachher-Befragung konnten Daten zu Lerneffekten innerhalb der Parcours-Hindernisse gesammelt und ausgewertet werden.

Simulationen

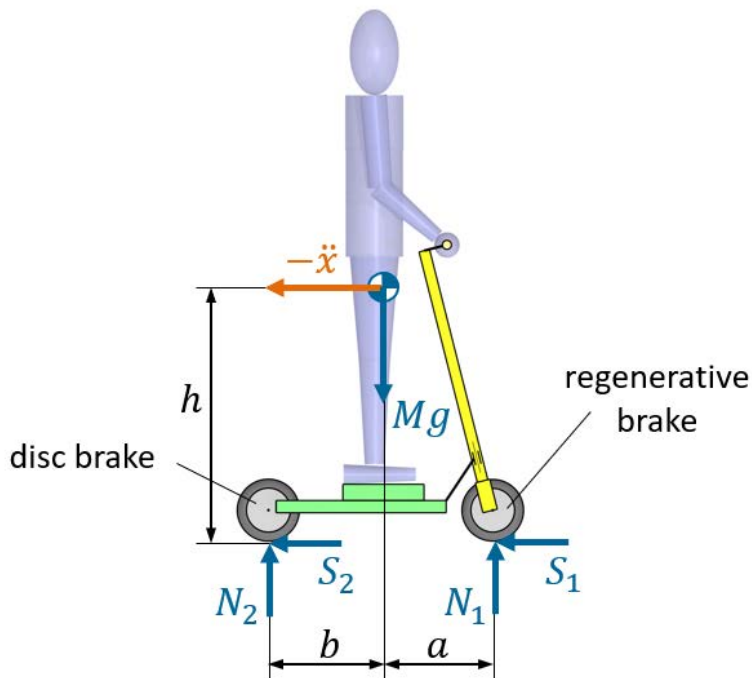
Als Ergänzung zu den erfassten Daten des Parcours-Versuchs wurde ein Simulationsmodell entwickelt, welches das Testen von unterschiedlichen Kombinationen von Einflüssen auf das Fahrverhalten aus Mensch und E-Scooter-Modell zulässt. In diesen Simulationen wird neben den Fahrdynamikeigenschaften der einzelnen E-Scooter (Leih scooter, hochwertig privat und günstig privat, auch ein Modell des menschlichen Körpers integriert. Zusätzlich

zum Vergleich der simulierten Werte mit den Trainingsdaten aus dem Parcours-Versuch, wurden weitere gezielte Einzelversuche zur finalen Verifikation der Simulationsstudien durchgeführt.

Longitudinaldynamik – Bremsverhalten

Ein gut durchgeführtes Notbremsmanöver ist oftmals die einzige Möglichkeit, einen Unfall zu verhindern. Eine effektive Notbremsung erfordert ein fein dosiertes Bedienen der vorderen und hinteren Bremse. Das ist bei zweirädrigen Fahrzeugen (Motorrad, Fahrrad) bekanntermaßen schwierig und maximiert sich bei E-Scooter-Bremsvorgängen teils durch die ungewohnte Bedienung der Bremsen. Zusätzlich wird bei E-Scootern neben Reibbremsen auch noch eine Rekuperationsbremse am angetriebenen Rad genutzt, welche bei den vorliegenden E-Scootern unterschiedlich große Bremskräfte zulässt, die der:die Nutzer:in aus dem täglichen Mobilitätsverhalten nicht unbedingt kennt. Diese Einflussgrößen sind in Abbildung 19 dargestellt und wurden mittels der Simulationsmodelle nachgestellt.

Abbildung 19: Simulationsmodell zur Analyse von Notbremsungen mit dem privat günstigen E-Scooter. (Quelle: SEED-Projektteam)



Im Simulationsmodell wird nur die Bewegung längs der Fahrbahn betrachtet. Konstante Bremskräfte

$$S_1 \text{ und } S_2$$

an Vorder- und Hinterrad führen zu konstanter Verzögerung

$$-\ddot{x}$$

Die Radaufstandskräfte werden mit

$$N_i$$

bezeichnet. Die Bremskräfte sind durch das maximale Kraftschlusspotential

$$\mu_i = \frac{S_i}{N_i} \leq \mu_{max}$$

beschränkt. Für die Schwerpunktlage des E-Scooter-Fahrer:in-Gesamtsystems gilt: Höhe h über der Fahrbahn, Abstände a bzw. b ausgehend vom vorderen bzw. hinteren Radaufstandspunkt. Die Summe aus a und b ergibt den Radstand des E-Scooters.

Der hohe Schwerpunkt im Vergleich zum Radstand führt zu einer ausgeprägten Radlastverschiebung während des Bremsens, das Hinterrad wird entlastet und das Vorderrad wird belastet; entsprechend kann das Vorderrad auch höhere Bremskräfte übertragen als das hintere Rad. Das führt in der Praxis für den:die Fahrer:in zur Schwierigkeit, dies so einzuschätzen, dass kein Reifen überbremst wird (und damit zu blockieren bzw. zu rutschen droht), gleichzeitig aber der Kraftschluss zwischen Reifen und Fahrbahn möglichst ausgenutzt wird für ein rasches Anhalten. Hinzu kommt, dass der:die Fahrer:in (im Gegensatz zu Fahrrad, Motorrad) die Standposition am E-Scooter frei wählen kann, welche ebenfalls einen großen Einfluss auf das Bremsverhalten durch unterschiedliche Lastverteilungen auf E-Scooter und daraus folgend auf die einzelnen Räder zeigt.

Die E-Scooter aus dem Parcours-Versuch lieferten die Eingangsdaten und Vorlage für die in der Simulation durchgeführte Modellierung der fahrdynamischen Eigenschaften. Jeder E-Scooter-Typ wurde dabei getrennt nachgebildet, untersucht und verglichen. Dazu werden standardisierte Grafiken genutzt, die wie folgt zu lesen sind. Auf der Abszisse (x-Achse) ist der horizontale Abstand a des Gesamtschwerpunktes vom vorderen Radaufstandspunkt, bezogen auf den Radstand

$$a + b = L$$

des E-Scooters, dargestellt. Auf der Ordinate (y-Achse) ist die auf die Fallbeschleunigung g bezogene Bremsverzögerung

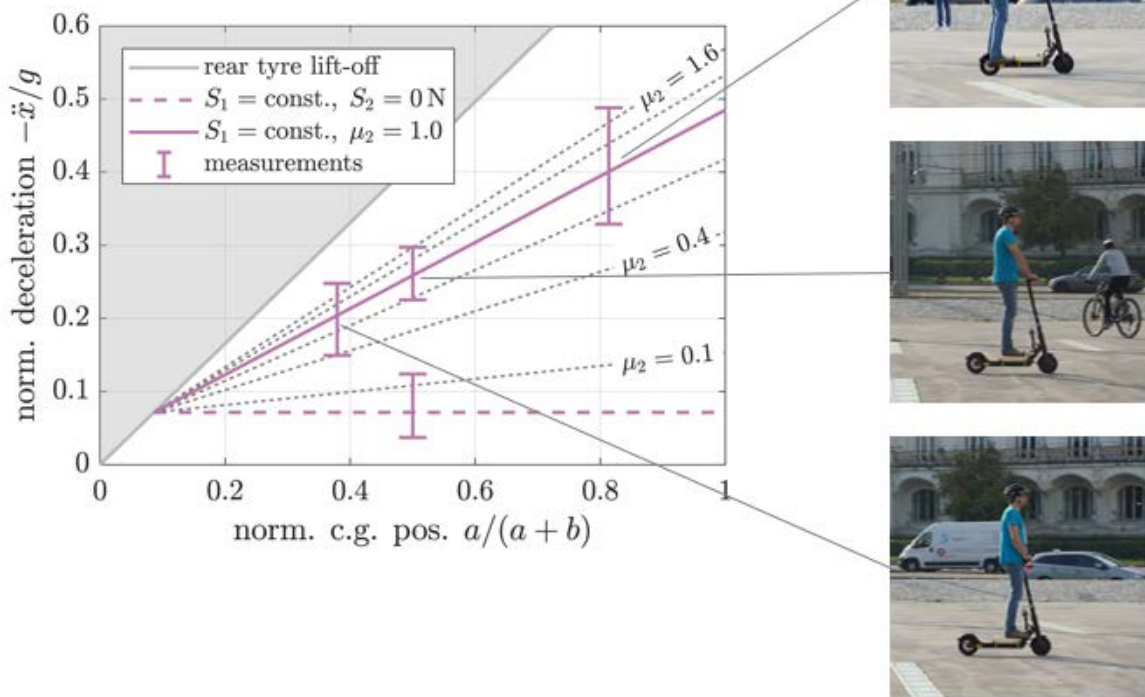
$$-\ddot{x}$$

dargestellt. Kombinationen aus Schwerpunktlage und Verzögerungen, die in den grauen Bereich fallen, würden zu einem Abheben des Hinterrades und einem drohenden Überschlag führen.

Privat günstig

Abbildung 20 führt Simulationsstudien und real durchgeführte und aufgezeichnete Vollbremsungen mit dem privat günstigen E-Scooter zusammen. Den realen Durchführungen liegt ein männlicher Fahrer mit einer Körpergröße von ca. 173 cm und einer Masse von ca. 73.5 kg zugrunde. Die zusätzlich zu den Parcours-Erhebungen durchgeführten Messfahrten wurden am Schwarzenbergplatz in Wien unter Einhaltung der Sicherheitsvorgaben des Eigen- und Fremdschutzes durchgeführt.

Abbildung 20: Gegenüberstellung der Bremsverzögerungen bei simulierten und real durchgeführten Notbremsvorgängen (Quelle: SEED-Projektteam)



Die aufgezeichneten Notbremsmanöver wurden bei unterschiedlichen Standpositionen des Fahrers am privat günstigen E-Scooter simuliert. Die kleinen Bilder zeigen den Testfahrer in unterschiedlichen Standpositionen, als Veranschaulichung der Versuchsvariationen.

Zuerst wird der Fall betrachtet, dass nur die vordere Rekuperationsbremse verwendet wird, diese ist mittels Fahrzeugvorgaben in der Bremskraft begrenzt und führt zu einer Verzögerung von nur ca. 0.8 m/s^2 (unterbrochene Linie), dies ist mit einem Bremsweg aus 25 km/h von ca. 30 m gleichbedeutend. Für rasches Anhalten ist die zusätzliche Verwendung der Hinterradbremse unbedingt erforderlich. Die Bremskraft der hinteren Bremse wird nur durch das maximale Kraftschlusspotential zwischen Fahrbahn und Reifen begrenzt, die gepunkteten Linien im Diagramm zeigen unterschiedliche maximale Kraftschlusspotentiale (von sehr gering bis sehr groß). Die zugehörigen Verzögerungswerte hängen linear von der Standposition ab: je weiter hinten der:die Fahrer:in am E-Scooter positioniert ist, desto größere Bremskräfte können am Hinterrad

übertragen werden. Für hohe Verzögerungswerte

$$\mu_{max} = 1$$

wird eine gute Übereinstimmung zwischen Simulation und Fahrversuch mit drei unterschiedlichen Standpositionen erzielt, im Vergleich zur vorderen Standposition kann mit der hinteren Standposition die Verzögerung in etwa verdoppelt und der Bremsweg halbiert werden. Bei einer Verzögerung von 4 m/s^2 (welche von der Fahrradverordnung gefordert wird) ergibt sich ein Bremsweg aus 25 km/h von ca. 6 m . Für eine weitere Erhöhung der Bremsverzögerung müsste die vordere Rekuperationsbremse stärker ausgelegt sein. Ein Überschlag nach vorne kann für diesen (privat günstigen) E-Scooter beim Bremsen auf horizontaler Fahrbahn ausgeschlossen werden, da hierzu die Wirkung der Vorderradbremse deutlich überschritten werden müsste: Die Simulationen zeigen eine Reserve gegen Überschlag: ca. 1 m/s^2 bei vorderer Standposition, hier ist n.

Leihanbieter

Der E-Scooter des Leihanbieters weist gewöhnliche Handbremshebel für die Vorder- und Hinterbremse auf, welche beide als wirkungsvolle Trommelbremsen ausgeführt und von der Nutzung eines Fahrrads bekannt sind. Zusätzlich wirkt eine Rekuperationsbremse (mit wiederum geringem Bremsmoment) auf das angetriebene Hinterrad. Wiederum zeigt die Ergebnisauswertung in Abbildung 21 die bereits beschriebene Achsaufteilung: auf der Abszisse (x-Achse) ist der horizontale Abstand a des Gesamtschwerpunktes vom vorderen Radaufstandspunkt, bezogen auf den Radstand

$$a + b = L$$

des E-Scooters, dargestellt. Auf der Ordinate (y-Achse) ist die auf die Fallbeschleunigung g bezogene Bremsverzögerung

$$-\ddot{x}$$

dargestellt. Kombinationen aus Schwerpunktlage und Verzögerungen, die in den grauen Bereich fallen, würden zu einem Abheben des Hinterrades und einem drohenden Überschlag führen. Die Messfahrten wurden im Zuge der Proband:innenstudie in Klosterneuburg durchgeführt.

Abbildung 21: Gegenüberstellung der Bremsverzögerungen bei simulierten und real durchgeführten und aufgezeichneten Notbremsmanövern bei unterschiedlichen Standpositionen des Fahrers bzw. der Fahrerin am Leihanbieter-E-Scooter. (Quelle: SEED-Projektteam)

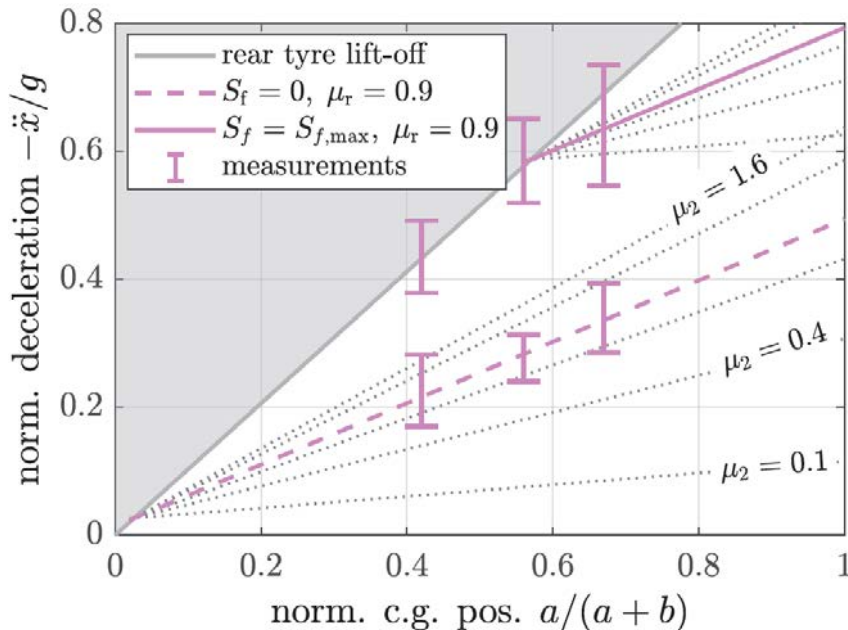


Abbildung 21 zeigt den Fall, dass nur die hintere Bremse verwendet wird. Die Abbildung zeigt wieder eine mit rückversetzter Schwerpunktlage ansteigende Bremsverzögerung, sowohl in Simulation als auch bei den Messungen. Aufgrund der geometrischen Anordnungen (Lenkerposition, Trittbrettlänge) kann die Standposition im Vergleich zum günstigen privaten E-Scooter in nur geringerem Ausmaß verändert werden.

Zusätzlich wird die Verwendung Vorderradbremse betrachtet: bei den Messfahrten zeigte sich, dass die Wirkung der Vorderradbremse ausreichend ist, um bei der vorderen und mittleren Standposition ein Abheben des Hinterrades zu provozieren, erkennbar an den beiden Einträgen im Diagramm, die an der grauen Grenzlinie liegen. Die dabei gemessenen Verzögerungen betragen ca. 4.2 m/s^2 bzw. 5.8 m/s^2 . Es besteht demnach keine „Reserve“ gegen Überschlag und deutet auf ein grenzwertiges Manöver hin.

Erst bei rückversetzter Standposition konnte ein Abheben des Hinterrades nicht mehr provoziert werden. Mit passend dosiert eingesetzter Hinterradbremse konnte eine Bremsverzögerung von ca. 6.4 m/s^2 erreicht werden, was einem Bremsweg von weniger als 4 m aus 25 km/h entspricht. Simulation und Messergebnisse passen wiederum gut zusammen, ein Abgleich mit der Simulation ergibt einen maximalen Kraftschluss von

$$\mu_{max} = 0.9$$

für die zum Zeitpunkt der Messungen herrschenden Bedingungen.

Privat hochwertig

Bezogen auf das Bremsverhalten liegt dieser E-Scooter-Typ zwischen privat günstig und dem genutzten Modell des E-Scooter-Verleihanbieters. Bei den Versuchen hat sich die vordere Rekuperationsbremse wirksamer als beim privat günstigen Modell herausgestellt, aber weniger wirksam als die Trommelbremse beim Modell des E-Scooter-Verleihanbieters. Zusätzlich zeigte sich außerdem ein geringerer Kraftschlusskoeffizient der (schmalen) Vollgummireifen.

Vertikaldynamik – Stufenüberfahrt

Neben dem bereits betrachteten Bremsvorgang der untersuchten E-Scooter-Modelle ist ein weiteres gängiges Ereignis untersucht worden: Das Überfahren einer Stufe, wie etwa beim Passieren einer Gehsteigkante, stellt sowohl vom als auch auf den Gehsteig eine Herausforderung dar. Mittels des Simulationsansatzes können diese sicherheitskritischen Situationen virtuell und damit gefahrlos untersucht werden.

Aufgrund der kleinen Räder von E-Scootern, im Vergleich zu Fahrrädern, E-Bikes, Pedelecs und E-Pedelecs, stellen Fahrbahnunebenheiten und -hindernisse eine stete Gefahr bei E-Scootern dar. Insbesondere stufenförmige Hindernisse können zu einem „Hängenbleiben“ des Vorderrades bzw. zu einem Überschlag nach vorne führen. Mechanisch abbildbar durch ein einfaches Starrkörpermodell auf Basis der „Stoßtheorie“, ermöglicht eine Einschätzung im verwendeten Simulationsmodell, welchen Einfluss Fahrzeugparameter wie Reifengröße und Radstand beim Auftreffen auf eine Fahrbahnstufe haben.

Der Modellierung liegt die Annahme einer sich starr verhaltenden Person am E-Scooter zugrunde. Dies ist gegeben, wenn ungeübte Fahrer:innen die Kante übersehen, oder falsch reagieren und absichtlich die Arme strecken. Eine geübte lenkende Person hingegen könnte z.B. durch Abfedern der Arme dem Stoß entgegenwirken. In den hier angeführten Versuchen wird also der „worst case“ betrachtet.

Beim Auftreffen des Vorderrades an die Kante wirkt ein Stoßantrieb auf das E-Scooter-Fahrer:in-Gesamtsystem ein. Dieser Stoßantrieb wirkt (näherungsweise) entlang der

Verbindungsline Stufe–Radnabe, zufolge dessen kommt es (im Sinne der Stoßtheorie) zu einer augenblicklichen Veränderung des Geschwindigkeitszustandes: der Geschwindigkeitsvektor v des Gesamtschwerpunktes enthält unmittelbar nach dem Stoß auch eine Komponente in vertikaler Richtung, außerdem tritt eine Winkelgeschwindigkeit

$$\Omega$$

auf. Ausschlaggebend für den Geschwindigkeitszustand nach dem Stoß ist unter obigen Annahmen der Normalabstand der Wirkungslinie des Stoßantriebes vom Gesamtschwerpunkt (siehe Abbildung): Liegt der Gesamtschwerpunkt vor der Wirkungslinie (Abstand

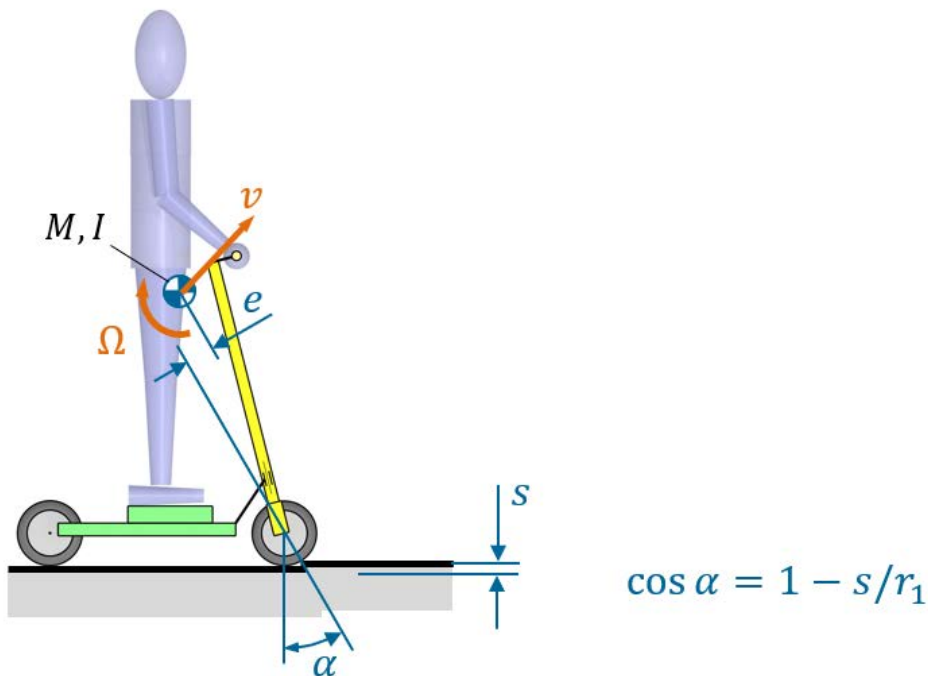
$$e > 0$$

), stellt sich unmittelbar nach dem Stoß eine Rotationsbewegung nach vorne ein. Diese wird als sicherheitskritisch angesehen. Liegt der Schwerpunkt dahinter (Abstand

$$e < 0$$

), ist dies nicht der Fall. Der Abstand e kann entweder durch den Winkel α der Stoßnormalen (siehe Abbildung) beeinflusst werden (hierfür ist das Verhältnis von Stufenhöhe s zum Radius des Vorderrades r_1 ausschlaggebend (in diesem betrachteten worst-case Szenario ist bereits eine Stufenhöhe von ca. 10% des Vorderradradius als potenziell sicherheitskritisch anzusehen)) oder durch die Lage des Gesamtschwerpunktes (hierfür ist die Standposition des:der Fahrer:in ausschlaggebend).

Abbildung 22: Simulationsmodell zur Analyse des Stoßes E-Scooter – Fahrbahnstufe auf Basis der Stoßtheorie. (Quelle: SEED-Projektteam)



Zusammengefasst kann festgehalten werden, dass durch ein größeres Vorderrad, sowie alle Maßnahmen, die eine Rückversetzung der Standposition des:der Fahrer:in mit sich bringen, von Vorteil sind, dadurch wird auch der Betrag des einwirkenden Stoßantriebes verringert. Nachgiebigkeiten des E-Scooters (Federung, Reifen) oder des:der Fahrer:in (Beugen der Arme, Beine) lindern ebenso die Effekte des Stoßes und sorgen für sichere Handhabung der E-Scooter.

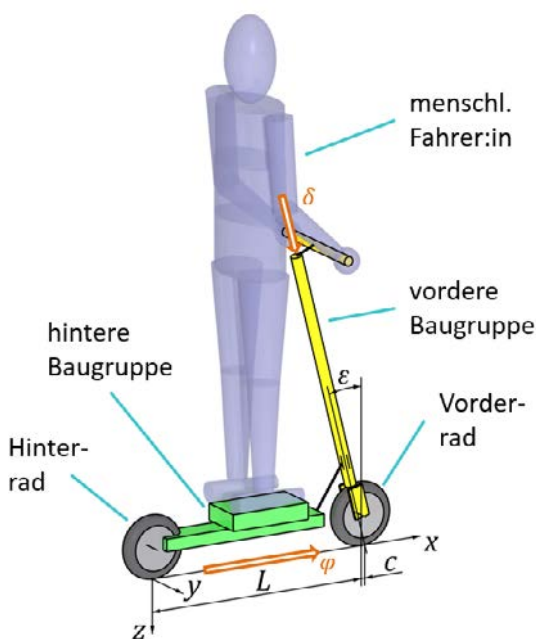
Lateraldynamik – Handling und Beherrschbarkeit

Generelle Aussagen zur allgemeinen Beherrschbarkeit unterschiedlicher E-Scootertypen können ebenfalls mit den genutzten Simulationsmodellen getätigt werden. Dabei ist es wesentlich, mehrere Szenarien zu untersuchen und mit einem generalisierten Bewertungsschema vergleichbar zu machen. Ein einfaches Handling und eine leichte Beherrschbarkeit sind wesentliche Eigenschaften für die Fahr- und Verkehrssicherheit. Der:die Fahrer:in soll sich auf das Verkehrsgeschehen konzentrieren können, und darf nicht mit der Bedienung des Fahrzeuges abgelenkt sein. Zweirädrige Fahrzeuge müssen im Allgemeinen von dem:der Fahrer:in in der aufrechten Lage stabilisiert werden; das Thema Fahrstabilität betrifft auch den Geradeauslauf: Sobald der:die Fahrer:in eine Hand vom

Lenker nimmt, um ein Abbiegezeichen zu geben, oder vor dem Abbiegen nach hinten blickt, sollte der E-Scooter von selbst auf gerader Spur weiterfahren, ohne dass hierzu ein korrigierender Eingriff des Fahrers bzw. der Fahrer:in erforderlich ist. Dies wird unter dem Begriff „Stabilitätsverhalten“ zusammengefasst.

Das Stabilitätsverhalten von zweirädrigen Fahrzeugen (Motorräder und insbesondere auch Fahrräder) in der Geradeausfahrt wurde in der wissenschaftlichen Literatur ausführlich behandelt, und entsprechende Simulationsmodelle vorgestellt. Im Zuge von studentischen Arbeiten an der TU Wien wurde das bei Fahrrädern bewährte Benchmark-Modell auf E-Scooter übertragen und in der nachstehenden Abbildung visualisiert.

Abbildung 23: Simulationsmodell zur Analyse des lateraldynamischen Verhaltens eines E-Scooters. (Quelle: SEED-Projektteam)



Das Modell in Abbildung 23 zur Simulation der Geradeausfahrt besteht aus vier Körpern: dem Vorder- und Hinterrad, der lenkbaren vorderen Baugruppe, sowie der hinteren Baugruppe. Der menschliche Körper ist starr mit der hinteren Baugruppe verbunden. Nicht-holonome Bindungen zwischen Reifen und Fahrbahn; konstante Fahrgeschwindigkeit in Längsrichtung; die Bewegung wird durch den Rollwinkel φ (phi) und den Lenkwinkel δ (delta) beschrieben.

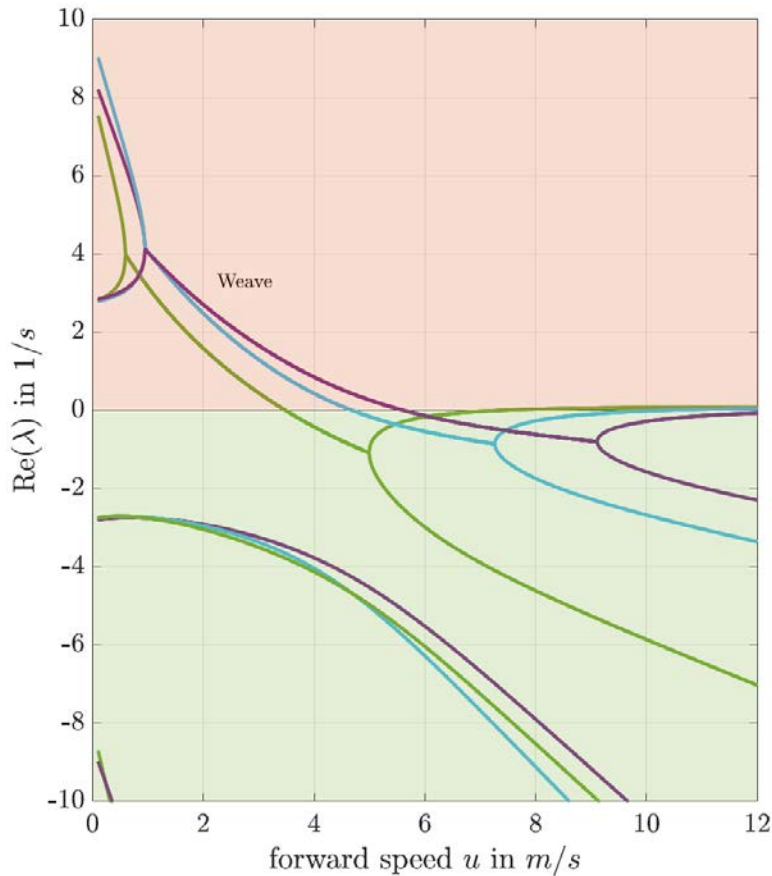
Stabilitätsverhalten der Geradeausfahrt

In der Simulation wird eine lineare Stabilitätsanalyse der Geradeausfahrt mit konstanter Geschwindigkeit durchgeführt, aus mathematischer Sicht erfolgt die Stabilitätsanalyse anhand der Eigenwerte der Bewegungsgleichungen, wobei die Realteile der Eigenwerte ausschlaggebend für das Stabilitätsverhalten sind: Sind die Realteile bei einer Geschwindigkeit positiv, liegt instabiles Verhalten vor (eine kleine Störung klingt weiter auf). Sind die Realteile negativ, liegt stabiles Verhalten vor (eine kleine Störung klingt ohne Fahrer:inneneingriff ab).

Die Ergebnisse der Stabilitätsanalyse wird in Form von „Stabilitätskarten“ dargestellt. Ein Beispiel dafür ist in Abbildung 24 angeführt. Dabei sind die Realteile der Eigenwerte (y-Achse) über unterschiedliche Fahrgeschwindigkeiten in m/s (x-Achse) aufgetragen. Die Abbildung zeigt die Kurven des Stabilitätsverhaltens für die drei untersuchten E-Scooter-Modelle Leihanbieter, privat günstig und privat hochwertig. Der rot hinterlegte Bereich kennzeichnet instabiles, der grün hinterlegte ein stabiles Fahrverhalten.

Bei allen drei E-Scootern zeigt sich asymptotisch stabiles Verhalten bei mittleren Geschwindigkeiten, es ist kein Fahrer:inneneingriff erforderlich. Bei geringen Geschwindigkeiten zeigen sich instabilere Fahrverhalten, der sogenannte „weave“-Eigenmode, ein Lenkerflattern, das von dem:der Fahrer:in stabilisiert werden muss. Dabei zeigt sich auch ein ähnliches Verhalten zu Fahrrädern, denn gleichsam wird der:die Lenker:in eines Fahrrads instabil, wenn die Fahrtgeschwindigkeit in einen niedrigen Bereich fällt. Daraus ist aber ableitbar, dass geübte Fahrradfahrer:innen in diesen Situationen einen Vorteil haben und E-Scooter ohne Probleme stabilisieren können, wie auch die Parcours-Versuche gezeigt haben.

Abbildung 24: Stabilitätskarte - Realteile der Eigenwerte λ der drei E-Scooter Modelle samt Fahrer:innenkörper in mittlerer Standposition (grüne Linie = privat hochwertig, blaue Linie = privat günstig, lila Linie = Leihanbieter). (Quelle: SEED-Projektteam)



Wesentlichen Einfluss auf das Stabilitätsverhalten haben Geometrie und Masseneigenschaften der vorderen Baugruppe (Nachlauf, Lenkachsenwinkel, Massenverteilung), es zeigt sich jedoch ein sehr komplexes Zusammenspiel, sodass keine allgemein gültigen Aussagen möglich sind. Auffallend ist jedoch, dass bei allen drei E-Scootern kein bzw. nur sehr geringer Versatz zwischen Drehachse des Vorderrades und Lenkachse besteht. Ein solcher Versatz ist bei Fahrrädern, Motorrädern eigentlich üblich, und wird dort zur Abstimmung des Fahrverhaltens verwendet. Es gilt: Je größer das Vorderrad, desto mehr Gestaltungsspielraum hinsichtlich verbessertem Fahrverhalten. Standposition und Statur der Fahrer:innen (u.a. Größe, Gewicht, Gewichtsverteilung) zeigen, im Gegensatz zu den vorigen Analysen, hier nur geringen Einfluss.

Einige charakteristische Parameter zu den drei E-Scootern sind in Tabelle 2 aufgelistet.

Tabelle 2: Charakteristische Parameter der drei E-Scooter Modelle

Parameter	Privat günstig	Privat hochwertig	Leihanbieter
Radstand L	83 cm	91 cm	101 cm
Lenkachsenwinkel ϵ	14°	9°	15°
Nachlauf c	2.7 cm	1.5 cm	2.6 cm
Gesamtmasse E-Scooter samt Messsystem	16.3 kg	15.2 kg	29.0 kg

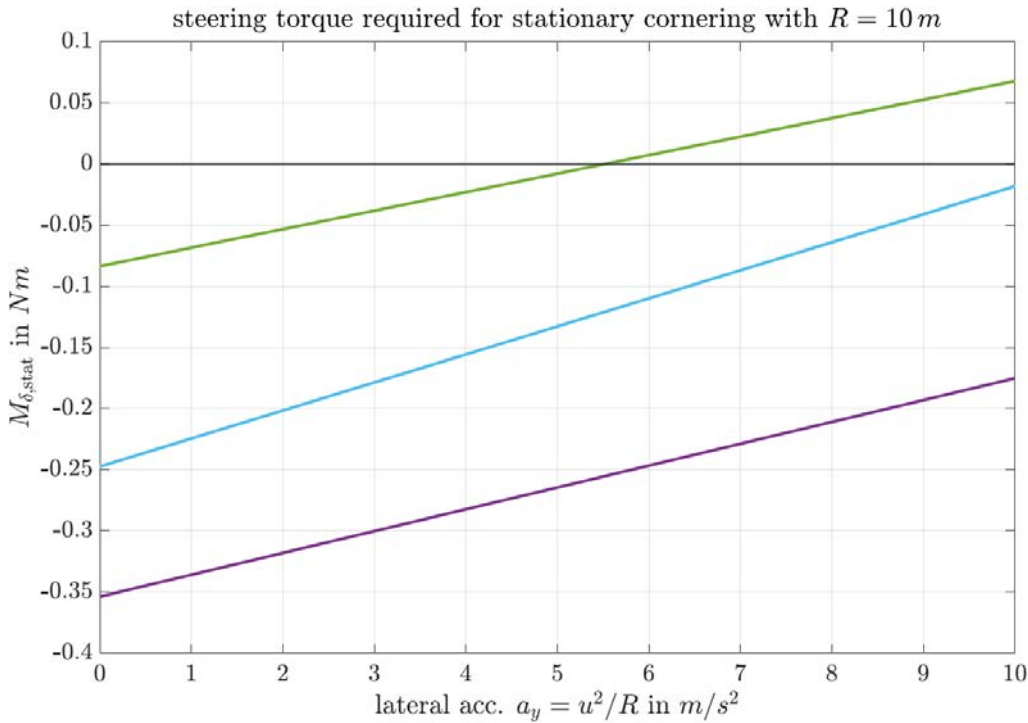
Stationäre Kurvenfahrt

Ein auffälliger Bereich des Parcours-Tests war die Kurvenfahrt, da dabei eine aktive Gewichtsverlagerung und Geschwindigkeitswahl notwendig wurde. Das bedeutet im Idealfall ein einwandfreies Zusammenwirken von menschlichem Kraftaufwand und den Eigenschaften des verwendeten E-Scootermodells. Zweiräder werden von dem:der Fahrer:in im Wesentlichen durch die Vorgabe eines Lenkmoments geführt. Das grundlegende Verhalten der drei E-Scootermodelle kann mit dem Benchmark-Modell abgebildet werden. Abbildung 25 zeigt die Änderung des Lenkmoments bei stationärer Kurvenfahrt auf einer Kreisbahn mit 10 m Radius für verschiedene Geschwindigkeiten u , bzw. der daraus resultierenden Querbeschleunigung

$$a_y = u^2 / R$$

.

Abbildung 25: Querbesehleunigungen stationärer Kurvenfahrten nach E-Scootermodell (grüne Linie = privat hochwertig, blaue Linie = privat günstig, lila Linie = Leihanbieter). (Quelle: SEED-Projektteam)



Bei allen drei E-Scootern ist bei geringen Geschwindigkeiten ein negatives Lenkmoment für einen positiven Lenkwinkel erforderlich. Dieses Verhalten ist für Zweiräder aus der Literatur als „countersteering“ bekannt und zeigt sich auch für E-Scooter in den Feldversuchen. Bei allen drei E-Scootern nimmt das erforderliche Lenkmoment mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit betragsmäßig ab, dabei ist generell erkennbar, dass das Moment beim privat hochwertigen E-Scootermodell für alle Geschwindigkeiten am geringsten ist.

Ergebnisse

Die im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Methoden zur Datenerhebung wurden im Projekt SEED zur Datensammlung verwendet. Die daraus abgeleiteten Ergebnisse liefern wichtige Detailkenntnisse, welche zur Verfügung gestellt werden und im Nachgang in die Handlungsempfehlungen eingeflossen sind.

Die im vorangegangenen Kapitel angeführten Datenerhebungsmethodiken zeigten innerhalb des Projekts SEED eine sehr einfache Zugangsweise zum Aufbau eines Datenbestands, der für Forschung und Entwicklung in Folgeprojekten eingesetzt werden kann. In diesem Kapitel werden die Ergebnisse aus den einzelnen Arbeitspaketen zusammengefasst dargestellt und beleuchtet. Von den Befragungen und allgemeinen Datenerhebungen über die Konflikterhebung mittels Mobility Observation Box, den Parcours-Versuchen und den daran angeschlossenen Simulationsdurchführungen wurden viele Ergebnisse erzeugt. Alle hier angeführten Aussagen sind als Grundaussage und Zusammenfassung dieses Projekts zu verstehen und werden im darauffolgenden Kapitel in Handlungsempfehlungen zusammengefasst.

Ergebnisse Unfalldatenerhebung und Befragungen

Das Projekt SEED hat einen großen Wert auf Informationssammlung und Einbindung von Fachexpertise gelegt. Dazu wurden in zwei Expert:innenworkshops, fünf Expert:inneninterviews, Befragungen im Zuge des Parcours-Versuchs und einem Online-Survey Daten, Meinungen und Informationen gesammelt.

Zu Beginn des Projekts wurden Expert:inneninterviews durchgeführt, die in Kapitel „Expert:innenbefragungen“ festgehalten sind. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass es derzeit relativ wenige Zahlen, Daten und Fakten sowie genaue Informationen zu E-Scooter-Unfällen gibt.

Laut den interviewten Expert:innen handelt es sich bei E-Scooter Unfällen hauptsächlich um ein urbanes Problem, am Land sind es sonst nur Unfälle mit privatem E-Scooter. Dabei sind überwiegend jüngere Personen mit solchen Gefährten unterwegs. Beim Unfall selbst

gibt es Verletzungsmuster, die besonders den Kopf betreffen, wenn kein Helm getragen wird, bzw. bei seitlichen Stürzen sind die Verletzungsbereiche hauptsächlich die Schulter oder das Schlüsselbein.

Besonders häufig wird das Fehlen einer Schutzausrüstung genannt, wie z.B. ein Helm, der besonders vor gravierenden Kopfverletzungen schützt. Weiters stellt die kleine und einem Fußgänger bzw. einer Fußgängerin ähnliche Silhouette der E-Scooter-Fahrer:innen ein Verkehrssicherheitsrisiko dar, da E-Scooter-Lenker:innen mit Fußgänger:innen verwechselt werden, gleichzeitig allerdings wesentlich schneller unterwegs sind. Konflikt- bzw. Unfallbeteiligte sind alle Verkehrsteilnehmer:innen, wobei das Thema der Silhouette und des fehlenden Handzeichens besonders Konflikte mit dem MIV betrifft, während das regelwidrige Fahren auf Gehsteigen besonders die Probleme mit Fußgänger:innen zur Folge hat. Das Fahren auf Gehsteigen wurde neben dem Fehlen von Schutzausrüstung ebenfalls am häufigsten beanstandet. Weiters stellt das Abstellen der E-Scooter auf Gehsteigen (besonders auf Blindenleitsystemen) ein großes Konfliktpotential dar. Abstellmöglichkeiten für E-Scooter sollten weiter ausgebaut werden, um dies zu verhindern. Die Benutzung eines E-Scooters durch zwei Personen ist verboten und verändert ebenfalls die Fahrdynamik der Fahrzeuge. Generell wird die Regelkunde als eher gering eingestuft, während Geschwindigkeitsunterschätzung, Gehsteigkanten, Nässe und kleine Räder das Verkehrssicherheitsrisiko erhöhen.

E-Scooter dienen auch als Ersatz für die Nachtstunden, wo es keinen ÖPNV gibt. Bei Unfällen in diesen Nachtstunden handelt es sich hauptsächlich um junge Personen die gerne auch zu zweit (Kosteneinsparungen) auf einem Gerät unterwegs sind sowie die kognitiven Fähigkeiten beeinträchtigt sind.

Ebenfalls gibt es Unterschiede zwischen einem Arbeitsweg und einem Freizeitweg mit einem E-Scooter, vor allem mit unterschiedlichen Gegebenheiten bei Schuhwerk (z.B. glatte Ledersohle), Bekleidung (Beweglichkeit eingeschränkt) und möglichen Gepäckstücken (Laptop), was sich auf den Schwerpunkt und folglich auf das Fahrverhalten auswirkt.

Eine innerbetriebliche Nutzung von E-Scootern auf Freiflächen oder in Hallen stellt ein nicht zu unterschätzendes Größenfeld dar. Auf z.B. Flughäfen und anderen großen Betrieben macht es Sinn E-Scooter als Fortbewegungsform anzubieten, doch gibt es neben den Problemen wie im Straßenverkehr (z.B. große Geschwindigkeitsdifferenz) andere

kritische Bereiche. Besonders ist in Hallen die Bodenbeschaffenheit mit ihrer Griffigkeit zu betonen. Ein glatter Boden kann zu Stürzen führen.

Die Ergebnisse im Zuge der Expert:innenworkshops waren auf Grund der Ausrichtung der beiden durchgeführten Workshops unterschiedlich. Der erste Workshop diente zur Vorstellung und Abstimmung des Parcours-Versuch, Expert:innenmeinungen wurden direkt in das Parcoursdesign eingefügt, es wurde auch Rücksicht auf von Expert:inneninteresse geprägten Hindernissen genommen. Im Gegensatz zu diesem Workshop wurde im Abschlussworkshop gegen Projektende eine generelle Übersicht über Projektergebnisse durchgeführt. Als Abschluss in diesem Workshop waren die Handlungsempfehlungen vorgesehen, die mit den Expert:innen durchbesprochen wurden. Es zeigte sich sehr schnell, dass großes Gewicht auf die Meinungsbildung und allgemeine Unfallverhütung durch Informationskampagnen gesetzt werden muss

Die in den Expert:inneninterviews angeführte Studienarbeit „Incidence and severity of electric scooter related injuries after introduction of an urban rental programme in Vienna: a retrospective multicentre study“ (Mohtakhar Timon, 2020) zeigte besonders die unfallbezogenen Werte auf, die vor allem in den Jahren 2018 und 2019 sprunghaft in Wien angestiegen sind. Im Jahr 2019 wurden die ersten E-Scooter-Verleihanbieter zugelassen und in Abbildung 26 sieht man die Auswirkungen in Bezug auf die registrierten Unfälle abgeleitet von einem Anstieg der Unfälle.

Abbildung 26: Anstieg in den E-Scooter-bezogenen Verletzungen in Wien, Vergleich 2018 mit 2019 (Einführung des Sharing-Betriebs) (Quelle: (Moftakhar Timon, 2020)).

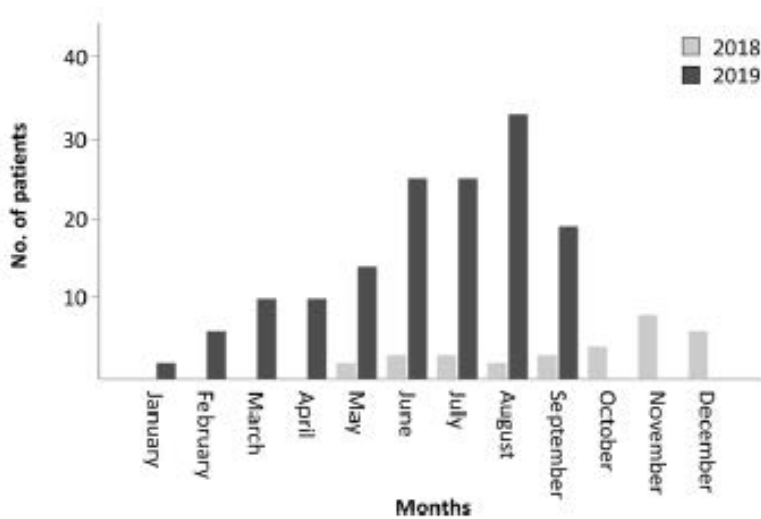


Fig.1 Bargraph illustrating the increase of e-scooter-associated injuries in Vienna from 2018 to 2019 after the implementation of e-scooter sharing programmes

Diese Unfälle wurden im Rahmen der Studie einer genaueren Analyse hinsichtlich der betroffenen Körperregion unterzogen. Dabei zeigten sich, wie in Abbildung 27 dargestellt, Häufungen der leichten und schweren Verletzungen im Kopfbereich und den oberen Extremitäten. Dies ist ein direkter Hinweis auf fehlende Schutzausrüstung und in Zusammenhang mit den Expert:innenaussagen auch ein Hinweis auf die eigentliche Konstruktionsweise in Kombination mit Verletzungsmustern, da bei einem Aufprall auf ein Hindernis die einzige Möglichkeit dem Aufprall sowohl freiwillig als auch unfreiwillig entgegenzuwirken die Lenkstange ist. Werden beispielsweise zusätzlich Kinder und Jugendliche mittransportiert, wie in den Expert:inneninterviews angemerkt, befindet sich diese Fahrzeugeinrichtung in diesem kritischen Bereich.

Abbildung 27: Verteilung der betroffenen Körperteile bei registrierten Unfällen mit E-Scootern (Quelle: (Moftakhar Timon, 2020))

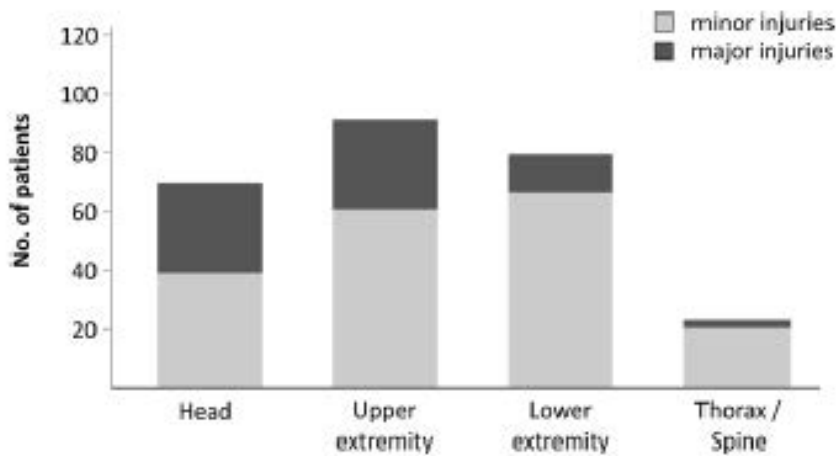


Fig. 2 Distribution of injuries in terms of anatomic location and severity

Für die Unfallforschung ebenfalls sehr interessant ist die zeitliche Verteilung der Unfälle, sowie die damit verbundene Altersverteilung. In Abbildung 28 ist die Verteilung aller gemeldeten Unfälle im Gebiet der Stadt Wien angeführt, im linken Bereich die zeitliche Häufung in 24 Stunden und im rechten Bereich die korrespondierende Altersverteilung ebendieser Unfälle.

Abbildung 28: Verteilung der registrierten Unfälle nach Tageszeit und Alter (Quelle: (Moftakhar Timon, 2020)).

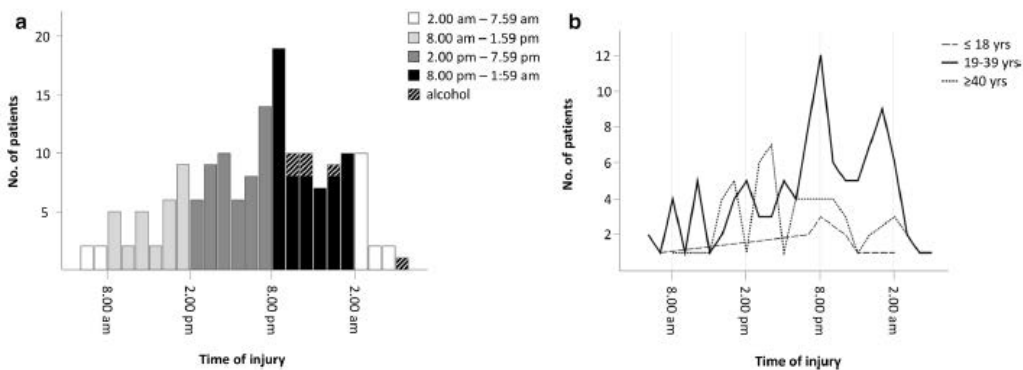


Fig. 4 **a** Distribution of the rate of injuries in respect of the time of injury. **b** Line chart illustrating the different rates of injuries of the three classified age groups (adolescents, young adults and older adults) over the course of the day

Ein Großteil der Unfälle tritt im Zeitbereich von 20:00 Uhr abends auf, oftmals auch in Kombination mit Alkohol. Dazu passend auch die Altersverteilung, E-Scooter werden dabei besonders stark von der Altersgruppe 19-39 Jahren eingesetzt. Aus den Expert:innenbefragungen wurde jedoch auch klar dargelegt, dass eine hohe Dunkelziffer im Bereich der Erfassung ebendieser Unfälle vorherrscht, Alleinunfälle werden beispielsweise nicht immer angegeben, oft aus Angst vor etwaigen Konsequenzen (Strafverfolgung, Versicherungen).

Die Befragung mittels Online-Survey brachte, angestrebte, nicht repräsentative Ergebnisse zu insgesamt 29 Teilnehmer:innen. Von diesen 29 Teilnehmer:innen füllten zwei Teilnehmer:innen den gesamten Fragebogen aus und konnten so Unfallerfahrungen mitteilen. Ein Teilnehmer berichtete über einen selbstverschuldeten Unfall auf nasser Fahrbahn mit weiteren beteiligten Personen. Dieser Unfall wurde auf einer geregelten Kreuzung zwischen einem/r E-Scooter-Fahrer:in und einem/r Fahrradfahrer:in verursacht. Die befragte Person gab an, sich dabei nur leicht verletzt zu haben und in der Altersklasse 18-25 zu sein.

Der zweite angegeben Unfall war ebenfalls ein Unfall zwischen E-Scooter und Fahrrad, diesmal auf einem gemischten Rad- und Fußweg bei klarem Wetter untertags. Die Unfallbeschreibung wurde mit

„E Scooter rechtskommend bei einer Kreuzung von gemischtem Rad und Fußweg. E Scooter biegt links ab, fährt aber auf der linken Fahrspur und damit gegen mich als Radfahrer. Ich hätte bremsen und ausweichen können, war aber zu überrascht“

dokumentiert. Besonders interessant ist der Hinweis auf das Überraschungsmoment in diesem Zitat, eine Verletzung wurde nicht angegeben. Die übrigen 27 Teilnehmer:innen der Onlinebefragung gaben an, dass sie nie in einen Unfall verwickelt wurden. Damit kann auch angenommen werden, dass eine Preisgabe der sehr persönlichen Eindrücke eher verhalten durchgeführt wird.

Zusammenfassung

- Hohe Dunkelziffer, da viele Alleinunfälle nicht erhoben werden und damit in keiner Unfallstatistik auftreten.

- Daten, Daten, Daten: für genauere Analysen und Einschätzungen fehlen Grundlagendaten.
- Vorrangig sind E-Scooter-Unfälle hauptsächlich im urbanen Raum/Ballungsraum zu erwarten, hier dient dieses Fortbewegungsmittel zur Kompensation im Last-Mile-Bereich.
- Viele Unfälle können auf die Unkenntnis der Gerätschaften und rechtlichen Situation zurückgeführt werden.
- Die Verletzungsmuster zeigen sehr starke Auswirkungen auf Kopf und obere Extremitäten. Ein starker Hinweis auf eine allgemeine Helm- und Schutzausrüstungspflicht.
- Altersverteilung im Bereich 3-35 Jahre, Häufung im niedrigen Altersbereich <18 oftmals durch Mitfahrten mit mehreren Personen auf einem E-Scooter.
- Infrastruktur für viele E-Scootertypen nicht ausgelegt (Aufstellflächen, Beschleunigung, Mischverkehrsverhältnisse, Kurvenradien).
- Durch Informationskampagnen direkter Einfluss auf das Verhalten der Nutzer:innen und damit auch auf die Fahrweise.

Ergebnisse Konflikterhebung

Für die Konflikterhebung wurde das Datenmaterial aller drei Knotenpunkte aus dem Kapitel „Sicherheitsevaluierung Knotenpunkte“ automatisiert ausgewertet. Aus dem Bildmaterial wurden die Objekte und Bewegungslinien mittels KI erkannt, welche im Anschluss für die Berechnung der Geschwindigkeiten sowie Interaktionen und Abstände zwischen den Verkehrsteilnehmer:innen verwendet wurden. Von den drei Standorten ergab diese automatisierte Erstausswertung, dass sich zwei für eine Detailanalyse eignen. Die Erhebung am Standort Liebenberggasse/Ring wies eine sehr geringe Zahl an E-Scooter-Fahrer:innen und Konflikten mit diesen auf, sodass von einer weiteren Analyse abgesehen wurde. Für die Erhebungen am Albertinaplatz und am Schwarzenbergplatz liegen die Ergebnisse vor.

Die videobasierte Konfliktdanalyse ist grundsätzlich ganztägig, also auch nachts bei guten Beleuchtungsverhältnissen möglich. Da diese in den Nachtstunden an beiden Standorten nicht gegeben waren, wurde die Detailanalyse täglich auf 6:30-19:00 beschränkt. Es ergaben sich folgende Zahlen:

Tabelle 3: Ergebnisse der Detailauswertung Konflikterhebung mittels Mobility Observation Box

Parameter	Albertinaplatz	Schwarzenbergplatz
Fahrtrichtungen	12	9
Übertretungen?	Fahren in die falsche Richtung, Schutzwegnutzung	Schutzwegnutzung
Fahrradinfrastruktur	2-Richtungs-Radweg, 1 Radstreifen	Radweg+Überfahrt
E-Scooter gesamt	1.277	768
Andere Verkehrsteilnehmer:innen gesamt	89.138	86.284
Anteil E-Scooter	1.4%	0.9%
max. E-Scooter/h	25	12
max. Fahrrad/h	345	382
max. Personen zu Fuß/h	470	278
max. Kfz/h	470	655
Anzahl Konflikte E-Scooter <1.5 s TTC/PET⁸	44	236
Anzahl Abstände 1 je Scooter <1.5 m⁹	23	95
Anzahl Abstände Scooter <1.5 m	25	115

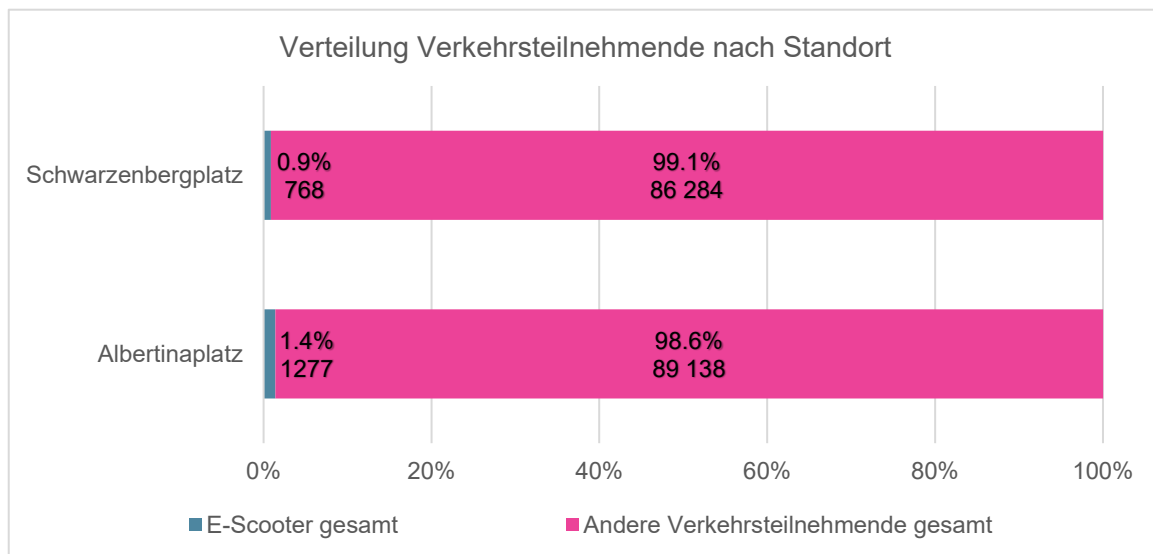
Der Standort am Albertinaplatz weist für die Dauer der Erhebung sehr hohe Zahlen an Personen zu Fuß auf, während am Schwarzenbergplatz am meisten Kfz unterwegs waren. Radfahrer:innen sind in etwa gleich viele an beiden Standorten vorhanden. Der Anteil an

⁸ Konflikte wurden <1.5 s für TTC bzw. PET als relevant definiert.

⁹ Abstände wurden <1.5 m als relevant definiert. Hierbei wurde sich am Abstand zwischen Kfz und Fahrrädern innerorts orientiert. Es wird nicht ausschließlich der Seitenabstand gemessen, die Abstände beinhalten generell Nahekommen auf 1.5 m zwischen zwei Verkehrsteilnehmer:innen. Sollte ein E-Scooter zu mehreren Verkehrsteilnehmer:innen einen geringen Abstand gehalten haben, so wird der geringste gewertet (es zeigte sich, dass ansonsten das geringe Abstandhalten zu einer Gruppe überproportional aufscheint).

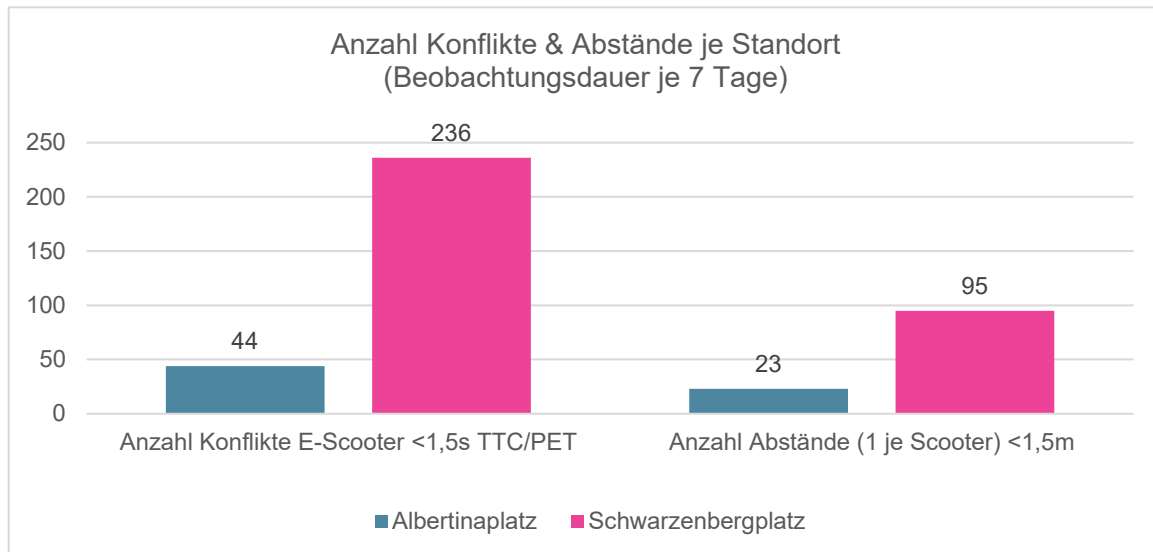
E-Scooter-Fahrer:innen liegt bei beiden Standorten um 1%, wie in Abbildung 29 dargestellt.

Abbildung 29: Konflikterhebung - Zahl und Verteilung der Verkehrsteilnehmer:innen (E-Scooter und andere) nach Standort. (Quelle: SEED-Projektteam)



Obwohl am Standort Albertinaplatz mehr E-Scooter unterwegs waren als am Schwarzenbergplatz, so wurden weniger Konflikte <1.5 s TTC/PET und Abstände <1.5 m gezählt (Abbildung 30).

Abbildung 30: Konflikterhebung - Anzahl Konflikte/Interaktionen und Abstände je Standort. (Quelle: SEED-Projektteam)



Detailuntersuchung Albertinaplatz

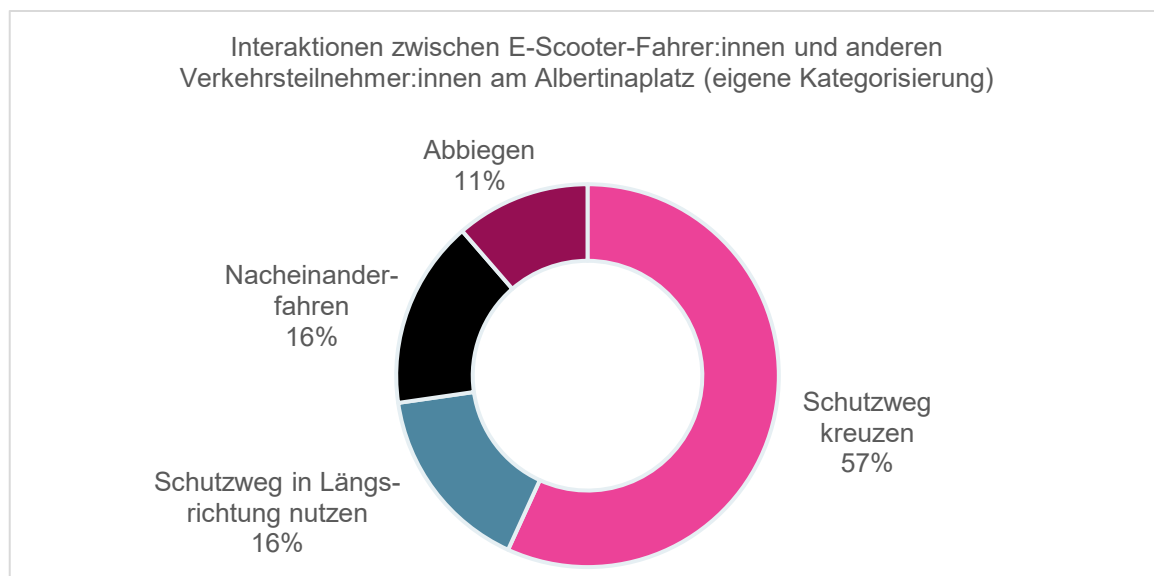
Abbildung 31: Bildausschnitt des untersuchten Bereichs am Albertinaplatz (Quelle: SEED-Projektteam)



Am Albertinaplatz lassen sich die 44 Interaktionen mit TTC/PET <1.5 s in Interaktionen am Schutzweg (32), beim Nacheinanderfahren (7) und beim Abbiegen (5) einteilen (Abbildung 32). Am Schutzweg ereigneten sich sowohl relevante Kreuzungssituationen, wo der Vorrang der Fußgänger:innen nicht immer optimal gewährt wurde (drängeln,

durchschlängeln), als auch eine Nutzung des Schutzwegs in Längsrichtung (verboten für E-Scooter). Das Nicht- oder Späthanhalten am Schutzweg kann auch bei anderen Verkehrsteilnehmer:innen nicht ausgeschlossen werden. Ein Vergleich der Anhaltebereitschaft an Schutzwegen von allen Verkehrsteilnehmer:innen könnte diese Lücke schließen, überstieg aber den Rahmen dieses Projekts. Die Nutzung des Schutzwegs in Längsrichtung kann damit zusammenhängen, dass der Schutzweg als sichere und einfache Kreuzungsmöglichkeit auf dem großen Platz mit mehreren Spuren zu kreuzen wahrgenommen wird. Nacheinanderfahren oder Abbiegesituationen wiesen geringes Konfliktpotenzial auf.

Abbildung 32: Konflikterhebung Albertinaplatz - Interaktionen zwischen E-Scooter-Fahrer:innen und anderen Verkehrsteilnehmer:innen. (Quelle: SEED-Projektteam)



Bezogen auf die Abstände, kamen sich am Albertinaplatz überwiegend E-Scooter mit Personen zu Fuß (14 von 23 Ereignissen) nahe. Bei einigen ereignete sich ein knappes Vorbeifahren dahinter oder auch davor, bei anderen wurde hingegen die Geschwindigkeit reduziert. Gruppen auf E-Scootern oder nacheinander fahrende E-Scooter hatten auch oft geringe Abstände zueinander, was jedoch nicht unüblich ist, auch bei anderen Verkehrsmodi.

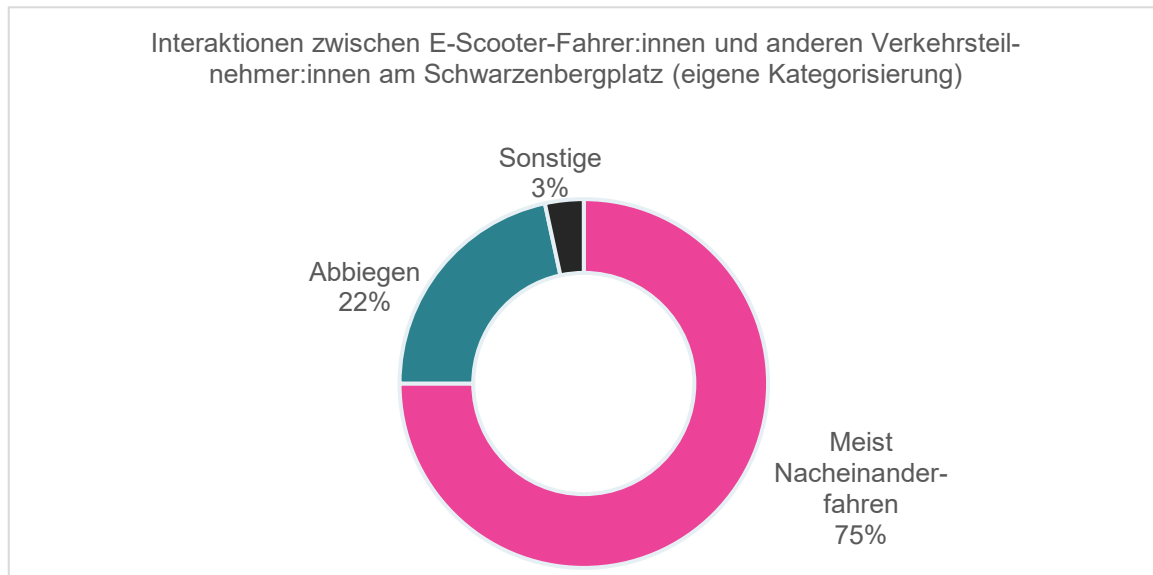
Detailuntersuchung Schwarzenbergplatz

Abbildung 33: Bildausschnitt des untersuchten Bereichs am Schwarzenbergplatz. (Quelle: SEED-Projektteam)



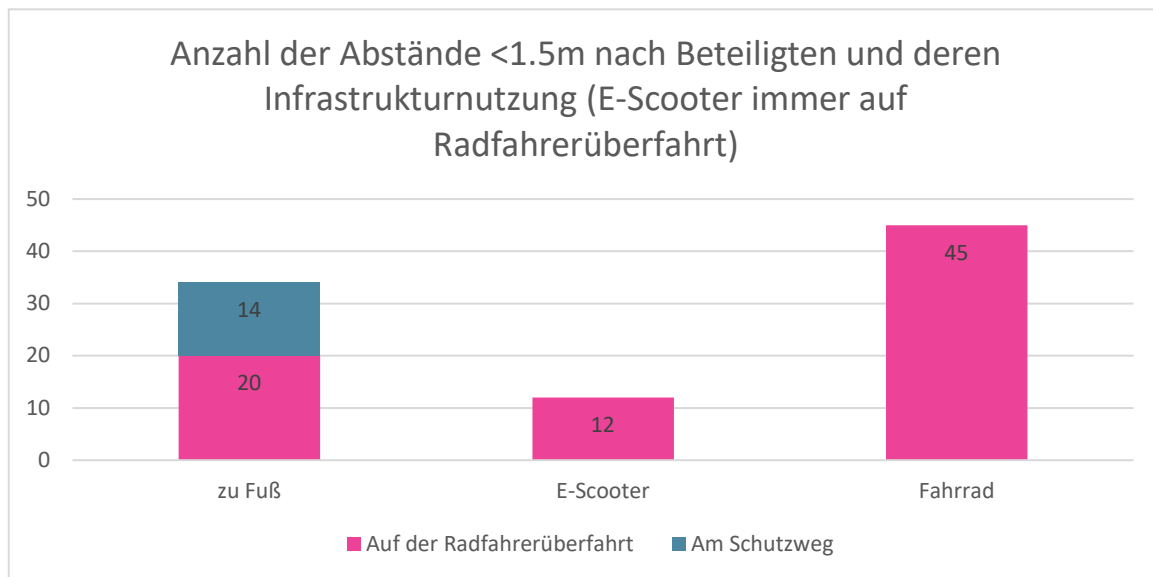
Am Schwarzenbergplatz waren die meisten (177) der 236 Interaktionen Fahrten in dieselbe Richtung auf derselben Verkehrsinfrastruktur (Abbildung 34) Dies bedeutet insbesondere nahes Nacheinanderfahren, was z.B. beim Anfahren oder Folgen auf der knappen Infrastruktur passiert, auch Überholmanöver wurden registriert. Die unterschiedlichen Anfahrgeschwindigkeiten unterschieden sich je nach Person und E-Scooter oder Fahrrad. Eine weitere Gruppe der Interaktionen betraf die Interaktionen beim Abbiegen von Kfz. Hier waren die Situationen, bei welchen die E-Scooter-Fahrer:innen aus dem hinteren Bereich kamen, eher konfliktreich, wobei auch von vorne passierende E-Scooter in Konflikte involviert waren. Hier können beispielsweise das eingeschränkte Sichtfeld oder mangelnde Aufmerksamkeit der Kfz-Lenker:innen oder die hohe Annäherungsgeschwindigkeit der E-Scooter eine Rolle spielen.

Abbildung 34: Konflikterhebung Schwarzenbergplatz - Interaktionen zwischen E-Scooter-Fahrer:innen und anderen Verkehrsteilnehmer:innen am Schwarzenbergplatz (Quelle: SEED-Projektteam)



Von den 95 erkannten Abständen unter 1.5 m ereigneten sich die meisten mit Radfahrer:innen, gefolgt von Fußgänger:innen (Abbildung 35). Hier betrafen einige Abstände auch die Personen zu Fuß, welche am Schutzweg waren und die E-Scooter-Fahrenden seitlich auf der Radfahrerüberfahrt vorbeifuhren. Abstände mit anderen E-Scootern ereigneten sich in geringerem Ausmaß als mit Radfahrenden oder Personen zu Fuß, von diesen waren auch in Summe mehr unterwegs. Weitere vier, nicht in der Abbildung inkludierte, geringe Abstände ergaben sich bei Schutzwegnutzung der E-Scooter.

Abbildung 35: Konflikterhebung Schwarzenbergplatz - Abstandsverhalten zwischen E-Scooter-Fahrer:innen und anderen Verkehrsteilnehmer:innen. (Quelle: SEED-Projektteam)



Zusammenfassung

- Problemstellen im Radverkehr seitens Infrastruktur spiegeln sich auch im E-Scooter-Verkehr wider z.B. abbiegende Kfz bei gleichzeitiger Geradeausfahrt von E-Scootern – hier kann auch die hohe Geschwindigkeit von E-Scootern eine Rolle spielen, wenig zur Verfügung stehende Fläche (trägt zu geringen Abständen bei, Überholen bei wenig Platz – auch durch variierende Anfahrgeschwindigkeiten)
- Verhalten im Zusammenhang mit Personen zu Fuß: Teilweise Nahekommen, Drängeln, Durchschlängeln (unklar, inwiefern dieses Verhalten auch seitens Radfahrer:innen, Kfz im Zusammenhang mit Fußgänger:innen vorkommt)
- Teilweise Nutzung von Radverkehrsflächen (und damit auch E-Scooter-Flächen) von Fußgänger:innen
- Teilweise Nutzung von Schutzwegen von E-Scooter-Fahrer:innen (sichere Querungsmöglichkeit?)

Grenzen der Untersuchung

- Fokus lag auf dem verkehrsrelevanten Verhalten von E-Scooter-Fahrer:innen – Einzelbetrachtung, kein Vergleich zu anderen Verkehrsteilnehmer:innen
- Keine Unterscheidung zwischen Nutzer:innen von Leihfahrzeugen oder privaten E-Scootern

- Keine Analyse der Rotlichtmissachtung, Helmtragequote, Anzahl an Personen auf einem E-Scooter, Alleinkonflikte z.B. abrupt Bremsen, unkontrolliert Absteigen (derzeit nicht automatisiert möglich)

Ergebnisse Parcours-Versuch

Die Daten des Parcours-Versuchs wurden einer mathematisch statistischen Behandlung unterzogen, um projektrelevante Erkenntnisse aus den Fahrdynamikdaten (genauer Geschwindigkeiten, Beschleunigungen (X-,Y-,Z-Beschleunigungen) und Winkelgeschwindigkeiten (Gier/Yaw-, Roll- und Nick/Pitch-Rate)) zu gewinnen.

Die Fahrabschnitte wurden jeweils separat unter mehreren, zwischen AIT und TU Wien abgestimmten, Gesichtspunkten auf signifikante Unterschiede nach Fahrer:innencharakteristika und E-Scootermodell untersucht. Die Fahrabschnitte wurden anhand von manuell bestimmten Referenzstellen (z.B. Anfang und Ende der Kurvenfahrten zwischen den Abschnitten) in den GPS-Koordinaten identifiziert.

Abbildung 36: Exemplarischer Fahrverlauf (schwarze Linie) aus GPS-Verortungen (grüne Punkte) der E-Scooter-Positionen im Parcours-Versuch (Quelle: SEED-Projektteam)

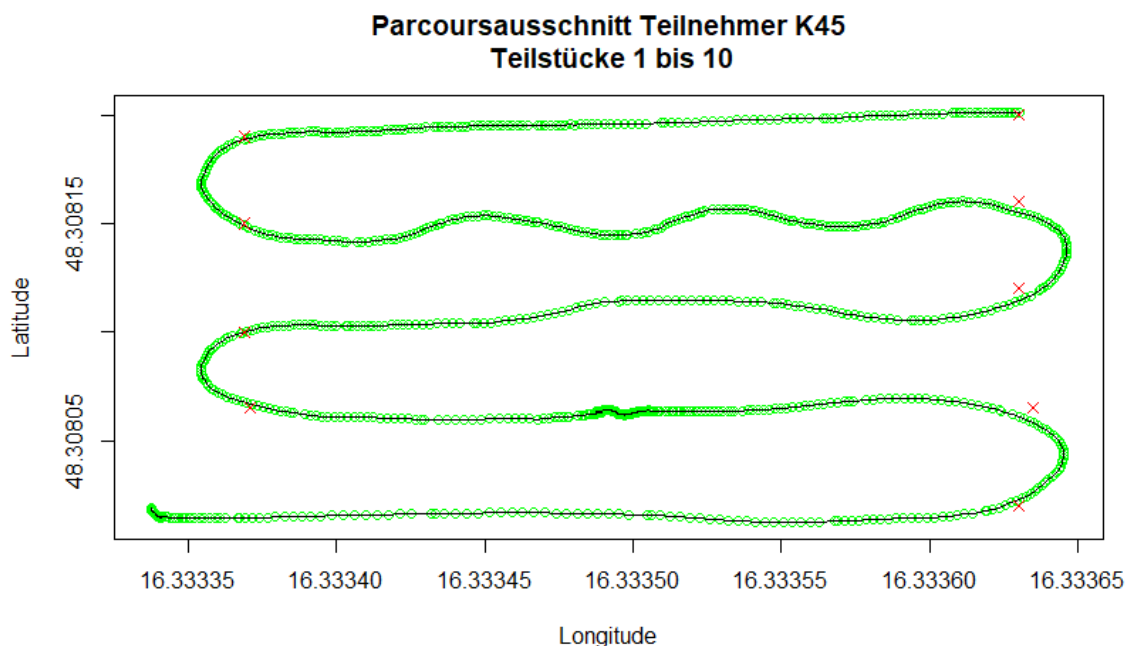


Abbildung 36 zeigt einen Fahrtverlauf (als schwarze Linie durch grün dargestellte GPS-Verortungen) aus dem Parcours-Versuch auf der Parcourstrecke. An jenen Stellen, die herangezogen wurden, um Parcoursabschnitte zu definieren befinden sich rote Kreuze. Der am nächsten gelegene Punkt des Fahrverlaufes wird berechnet und als Anfangspunkt des nächsten Abschnittes definiert.

In den Parcours-Versuchen wurden ebenfalls Lerneffekte mitberücksichtigt. Diese wurden durch das mehrmalige Befahren des gesamten Parcours simuliert und nachstehend in Tabelle 4 für den Parcoursteil mit den Hindernissen und in Tabelle 5 für den Parcoursteil mit der großangelegten Achterfahrt dargestellt. Die relevanten Abschnitte, mit dem Anteil an „ok“ oder „sehr gut“ Bewertungen sind im Folgenden aufgelistet. In allen Kategorien konnten Zuwächse als positiver Lerneffekt verbucht werden:

Tabelle 4: Durchschnittlicher Lerneffekt bei Hindernissen im Parcoursversuch

	Manöver	1. Versuch	2. Versuch	3. Versuch
Engstelle		74.4%	79.3%	82.9%
Langsam fahren		95%	96.3%	96.3%
Handzeichen		81.7%	84.2%	87.8%
Slalom		80.5%	84.2%	82.9%
Versatz		70.73%	79.3%	81.7%
Bremmung		91.5%	91.5%	93.9%
Zielbremsung		74.4%	76.8%	85.4%

Tabelle 5: Durchschnittlicher Lerneffekt bei Achterfahrt im Parcours-Versuch

	Manöver	1. Versuch	2. Versuch	3. Versuch
Erste Kurve		98.8 %	98.8 %	100 %
Stehenbleiben		93.9 %	93.9 %	87.8 %
Handzeichen		97.6 %	96.3 %	91.5 %
Kurve		97.6 %	96.3 %	98.8 %
Erste Gerade		97.6 %	100 %	100 %
Enger werden		100 %	95.1 %	97.6 %
Zweite Gerade		100 %	100 %	100 %

Vorverarbeitung der Daten

Auf die erhaltenen Sensordaten wurde ein Butterworth-Tiefenpassfilter (4. Ordnung, Eckfrequenz 5 Hz) (konkret für Beschleunigungen und Winkelgeschwindigkeiten) angewandt, um unrealistisch hohe Spitzen zu entfernen. Darauffolgend wurde ein gleitendes Mittel (über 50 Pulse, 0.5 sec) als weitere Glättung angewandt, um verlässlich unplausible Spitzen zu vermeiden.

Eine Korrektur der Daten des privat günstigen E-Scooters wurde notwendig, da nach einem Problem mit dem Messsystem am ersten Tag die GPS-Erfassung an den folgenden Tagen deutlich gröber ausfiel als bei den Messsystemen, die auf dem Leihanbieter-E-Scooter und dem privat hochwertigen E-Scooter angebracht waren. Infolgedessen sind z.B. Bremswege des privat günstigen E-Scooters nicht gut vergleichbar mit den Werten der beiden anderen E-Scooter und wurden aus der Auswertung entfernt.

Um die erfassten Messdaten der Einzelfahrten anzureichern, wurden die Daten der Vorher- und Nachher-Befragungen, die neben demographischen Daten auch Erfahrungswerte beinhalten und eine Berechnung eines generellen Erfolgsfaktor während des Parcours-Versuchs zulassen, verwendet. Von den drei verfügbaren Beurteilungen pro Fahrabschnitt („ok“, „sehr gut“, „nicht bestanden“) aus den Bewertungsbögen wurden nur die Fälle „ok“ und „sehr gut“ in die Auswertung miteinbezogen.

Zum Einsatz kamen mehrere Variablen, um die Fahrversuche zu charakterisieren:

Tabelle 6: Variablenbeschreibung Auswertungen Parcours-Versuch aus Vorher- und Nachherbefragung

Variablenbezeichnung	Art der Variable	Dimension	Bereich
Scootertyp	kategorisch		3 Werte
Alter	metrisch	Jahre	8 - 82 Jahre
Geschlecht	kategorisch		2 Werte ¹⁰
Vorerfahrung	kategorisch		3 Werte
Gewichtssumme	metrisch	kg	
Gewichtsverteilung	metrisch		0 – 1 (hinten – vorne)
Größe	metrisch	cm	133 - 192

Diese Größen wurden zum Aufsetzen von Regressionsmodellen verwendet:

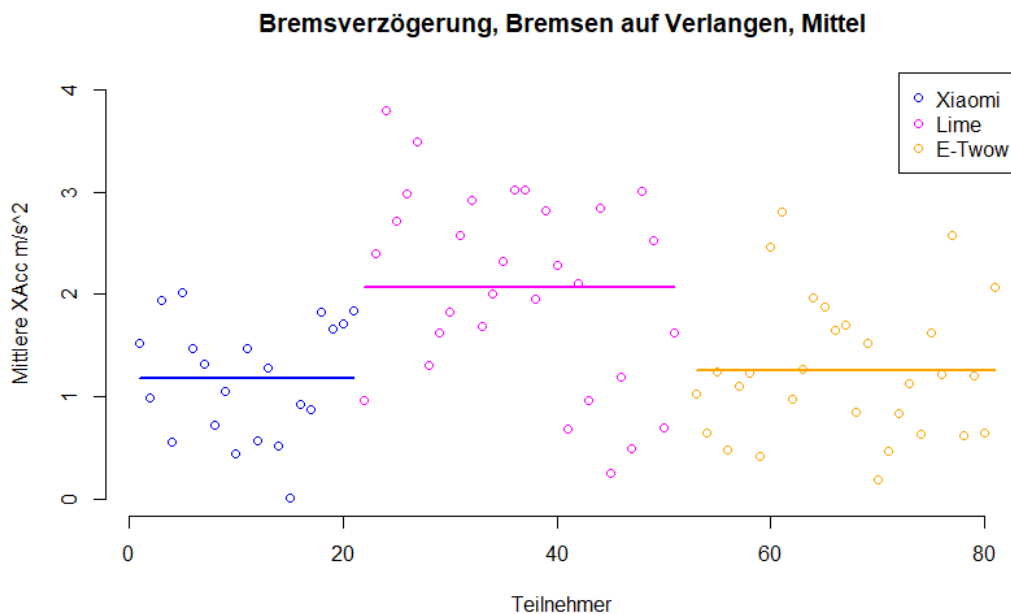
$$Y = a_{\text{scooter}} \text{Scootertyp} + a_{\text{Alter}} \text{Alter} + a_{\text{Geschlecht}} \text{Geschlecht} \\ + a_{\text{Vorerfahrung}} \text{Vorerfahrung} + a_{\text{Gewichtssumme}} \text{Gewichtssumme} \\ + a_{\text{Gewichtsverteilung}} \text{Gewichtsverteilung} + a_{\text{Größe}} \text{Größe} + \epsilon$$

Die Berechnung der Testgröße Y, also der Verbesserung durch den analysierten Trainingseffekt, erfolgt nach den erhobenen Parametern aus den Fahrten und den Befragungen im Zuge der Ausführung des Parcourttests. Zur Anwendung kommen dabei Mittelwerte über den Fahrtabschnitt, Standardabweichungen und Spitze-Spitze-Differenzen (Maximum – Minimum üblicherweise).

¹⁰ Die Antwortauswahl enthielt drei Werte. Keine der teilnehmenden Personen gab "divers" an.

Wegen der besonderen Wichtigkeit der Bremsverzögerung aus Verkehrssicherheitsicht ist in Abbildung 37 die Verteilung der mittleren Bremsverzögerungen für die Bremsung auf Verlangen nach E-Scootertyp dargestellt.

Abbildung 37: Verteilung der gemessenen Bremsverzögerung aller Proband:innen und E-Scooter-Modelle (Blau = privat günstig, Magenta = Leihanbieter, Gelb = privat hochwertig) (Quelle: SEED-Projektteam)



Dargestellt sind die Werte der Bremsverzögerung (Mittelwerte über 3 Fahrten) mit jeweils einem Punkt pro Versuchsteilnehmer:in. Die Punkte sind nach E-Scootertyp geordnet und für jeden Typ haben die Punkte eine andere Farbe (zuerst privat günstig (Blau), dann Verleihanbieter (Magenta), dann privat hochwertig (Gelb)). Jeweils eine Line in der Farbe der Punkte in der Mitte zwischen den Punkten liegend zeigt den Mittelwert der mittleren Bremsverzögerungen über den jeweiligen E-Scootertyp an.

Die erzielten mittleren Bremsverzögerungen (für erfolgreiche Manöver der Bremsung auf Verlangen) belaufen sich dabei für die E-Scootertypen auf: Leihanbieter 2.07 m/s^2 (Standardabweichung 0.94), privat hochwertig 1.26 m/s^2 (Standardabweichung 0.68) und privat günstig 1.18 m/s^2 (Standardabweichung 0.57).

Zusammenfassung

- Bei der Engstelle wurde mit dem Verleih-E-Scooter eine geringere Standardabweichung der Lenkwinkelgeschwindigkeit im Trend erzielt (Stabilisierung über die Zeit) und mit privat günstigem E-Scooter eine durchwegs niedrigere Standardabweichung der Rollwinkelgeschwindigkeit.
- Beim einhändigen Fahren wurde mit dem E-Scooter des Leihانبeters weniger Standardabweichung der Lenkwinkelgeschwindigkeit gefunden und weniger Standardabweichung der Rollwinkelgeschwindigkeit beim privat günstigen E-Scooter.
- Beim Slalom wurden für den privat günstigen und den Verleihanbieter-E-Scooter signifikant höhere Lenkwinkelspitzendifferenzen gefunden, was bedeutet, dass der E-Scooter privat hochwertig hier signifikant niedrigere Spitzendifferenzen ermöglicht und damit womöglich eine stabilere Fahrt durch einen Slalom bietet.
- Bei der Bremsung auf Verlangen erzielte der E-Scooter des Leihanbieters stärkere Bremsverzögerungen im Mittel als die privat günstig und hochwertigen E-Scooter.
- Mit dem E-Scooter des Leihanbieters wurden etwas höhere Endgeschwindigkeiten erzielt (marginal über die ganze Achterfahrt mit alltäglichen Manövern, signifikant vor der Bremsung auf Verlangen).
- Mit dem privat günstigen E-Scooter wurden höhere Gierraten (Parcoursteil Versatz) und höhere Querbeschleunigungen erzielt (Achterfahrt enge Kurve), allerdings auch langsamere Wiederanfahrten bei der Achterfahrt mit alltäglichen Manövern.
- Höheres Alter war mit höherer Standardabweichung der Lenkwinkelgeschwindigkeit bei der Engstelle (legt höheren Korrekturbedarf nahe) und niedrigerer mittlerer Geschwindigkeit assoziiert.
- Geschlecht weiblich war stark mit niedrigeren mittleren Geschwindigkeiten (an mehreren Abschnitten) assoziiert, sowie mit geringerer Standardabweichung der Rollwinkelgeschwindigkeit (Engstelle und Einhändig, legt weniger unruhige Fahrt nahe) und weniger scharfen Bremsungen (geringere Bremsverzögerungs-Standardabweichung). Auch Gierrate und Querbeschleunigung (bzw. deren Spitze-Spitze Differenzen) waren bei Teilnehmer:innen im Mittel niedriger.
- Lerneffekte nachweisbar durch schnellere Fahrt und zielgerichteteren Lenkbewegungen
- Gewicht vorne korrelierte mit stärkeren Querbeschleunigungen.
- Körpergröße korrelierte mit schnellerer Fahrt (z.B. vor der Bremsung).

Auswertungsergebnisse Simulationen

Die Basis für die nachstehenden Ergebnisse wurde durch Daten der im Projekt SEED durchgeführten Erhebungen (Parcours-Versuch und zusätzliche Validierungstests seitens des Projektteams) ermöglicht.

Als objektive Kriterien zur Beurteilung des Bremsverhaltens wurden die maximal mögliche Verzögerung sowie die Reserve gegen Überschlag eingeführt. Die beiden Kriterien sind gegenläufig: eine hohe Verzögerung ist nur mit ausreichender Bremswirkung der Vorderradbremse erzielbar, damit einher geht aber die Gefahr eines Überschlages, bzw. des Wegrutschens auf rutschiger/nasser Fahrbahn. Daraus resultiert, dass das Bremsvermögen an Fahrer:innenmasse und Fahrbahnbedingungen angepasst sein muss bzw. von dem:der Fahrer:in hinreichend dosiert werden kann. Dies betrifft besonders auch das Zusammenwirken mit der Rekuperationsbremse.

Hinsichtlich der Gestaltung der E-Scooter ist zu bevorzugen, dass eine stark nach vorne verschobene Standposition verhindert werden sollte. Dies kann z.B. durch einen flachen Lenkachsenwinkel (dadurch ist der:die Fahrer:in „automatisch“ weiter hinter dem Vorderrad positioniert). Eine Verlagerung der Standposition nach hinten sollte möglich sein, um bei schwacher Vorderradbremse die hintere effektiv nutzen zu können, bzw. bei starker Vorderradbremse eine Reserve gegen Überschlag herstellen zu können, beides erfordert allerdings eine:n geübte:n Fahrer:in. Zusätzlich ist das Verhindern einer Standposition weit vorne auch förderlich für die Fahrsicherheit beim Auftreffen auf Fahrbahnhindernisse bzw. -stufen. Zusätzlich sind hier auch Vorteile eines großen Vorderrades klar erkennbar.

Handling und Fahrverhalten von E-Scootern ist in den Grundzügen ähnlich wie von Fahrrädern: Bei geringen Geschwindigkeiten (z.B. Kreuzungsbereich) muss stabilisiert werden, bei höheren Fahrgeschwindigkeiten nicht mehr. Aus diesem Blickwinkel wäre keine Begrenzung auf geringere Geschwindigkeiten als 25 km/h erforderlich. Die Adaption bei höheren Geschwindigkeiten durch geeignete Vorgabe eines Lenkmoments durch den:die geübte Fahrer:in, basierend auf dem frühzeitige Erkennen des Hindernisses und bereits angepasstem Lenkeinschlag. Die kombinierte Lenkgeometrie aus Lenkachsenwinkel, Nachlaufversatz und Vorderradgröße ist hierzu besonders ausschlaggebend: Das E-Scootermodell des Leihanbieters und das privat günstige Modell bieten mehr Rückmeldung bei Lenk- und Beschleunigungsmanövern für den:die Fahrer:in, als der privat hochwertige E-Scooter. Die Lenkgeometrien dieser Modelle bieten damit die

besten Parameter für eine Reduktion der Unfallraten. Gleichzeitig haben Standposition und Fahrer:innenmasse hier wenig Einfluss, auch der Radstand nicht. Ein langer Radstand bedeutet aber mehr Platzbedarf und Lenkaufwand in engen Kurven, wie der Slalomversuch im Parcours gezeigt hat.

Zusammenfassung

- Aus verkehrstechnischer Sicht sollen E-Scooter nach objektiven Kriterien zu Bremsverhalten und daraus resultierende Reserve gegen Überschlag beurteilt werden.
- Adaptives Bremsverhalten basierend auf Fahrer:innen- und Gesamtmasse wirkt sich positiv auf die Verkehrssicherheit aus.
- Kompensation von schwachen und nicht abgestimmten E-Scooter-Bauteilen (Bremse, Lastverteilungen, Beschleunigungsverhalten durch Motorsteuerung) muss an Benutzer:innen weitergegeben werden.
- Standposition am E-Scooter und damit Gewichtsverteilung zeigt große Auswirkungen.
- Aus Parcours-Versuch-Ergebnissen auch hier anwendbar: Gewicht vorne korrelierte mit stärkeren Querschleunigungen.
- Aus Parcours-Versuch-Ergebnissen auch hier anwendbar: Körpergröße korrelierte mit schnellerer Fahrt (z.B. vor der Bremsung).
- Simulationen durch weitere Szenarien erweiterbar.

Ableitung von Handlungsempfehlungen

Das Projekt SEED stellt neben Recherche, Datensammlung und Versuchsanordnungen auch Ergebnisse und darauf basierende Rückschlüsse und Handlungsempfehlungen bereit. Diese Empfehlungen sollen Anleitungen für bessere Integration des neuen Mobilitätsangebots in Gesamtverkehrskonzepte, Erschließungslösungen und Verkehrsplanung sein.

Die Handlungsempfehlungen in diesem Kapitel beruhen auf den Ergebnissen der Literaturrecherchen, Befragungen, Beobachtungen und empirischen Simulationsanalysen aus dem Projekt SEED. Dieses Kapitel dient als Abschlusskapitel und fasst die eruierten Problemstellungen inklusive Lösungsansätzen zusammen. Die im Projekt angewandten Versuche machten Umbauten an den jeweiligen eingesetzten E-Scootertypen unumgänglich. Diese Umbauten wurden ausschließlich zur Erfassung der Dynamiken während des Testversuchs durchgeführt und wurden reversibel implementiert. Die drei E-Scooter-Typen in den Fahrversuchen am Parcours, sowie in den Trainingsversuchen rund um die Simulationsdurchführung konnten nach Abschluss des Projekts an den jeweiligen Besitzer bzw. die jeweilige Besitzerin zurückgegeben werden.

Die nachstehenden Handlungsempfehlungen wurden in die Bereiche Infrastruktur, Fahrzeuge, Gesetzgebung, Wissenstransfer/Bewusstseinsbildung, sowie weiterer Forschungsbedarf unterteilt. Dadurch erfolgt die gezielte Lösungsermittlung nach Fachbereich, wobei auch Überschneidungen und Abhängigkeiten zugelassen sind.

Handlungsempfehlungen – Infrastruktur

In den Recherche- und Datenerhebungs- bzw. Datenauswertungstätigkeiten zeigt sich sehr schnell ein direkter Zusammenhang zwischen Verkehrssicherheit und bestehenden Infrastrukturlösungen. E-Scooter sind mit einem elektrischen Motor ausgestattet und damit im Bereich der Beschleunigungswerte, (verfügbare) Geschwindigkeiten und Fahrdynamik, nicht-motorisierten Verkehrsteilnehmer:innen überlegen. Es ist zu empfehlen:

- Generelle kapazitive Verbesserungen bereits im Bestand, Infrastruktur-Neubau mit Berücksichtigung veränderter Fahrzeugphysik und -fähigkeiten.
- Besonderes Augenmerk auf E-Motorisierung (Beschleunigungsstreifen, eigene Aufstellflächen nach Trennprinzip).
- Kundmachung herannahender Fahrzeuge bei verbesserungswürdige Sichtbeziehungen durch z.B.: LaneLights (in der Fahrbahn eingelassene Leuchtmittel zur Verbesserung der Sichtbarkeit) oder C-ITS (aus dem Englischen: Kooperative Intelligente Transport-Systeme, durch den Einsatz von Kommunikationstechnologie werden viele Fahreraufgaben durch Automatisierung erleichtert bzw. auch ersetzt).
- Verbesserungen der Sichtbeziehungen durch Veränderungen in der Infrastruktur in Anpassung an veränderte Fahrzeugphysik und -eigenschaften. Kurvenausprägungen und Knotenpunktgestaltung dabei vorrangig.
- Konformität gemäß aktueller RVS: E-Scooter in zukünftig höherer Zahl benötigen ausreichend Infrastruktur, Mindestanforderungen reichen nicht für diese Fahrzeugart.
- Rücksichtnahme auf Querungsgeschwindigkeiten, Inklusion von unterschiedlichen Geschwindigkeiten von z.B. E-Scooter und/oder Radverkehr in gemeinsam genutzten Abschnitten.

Ein wichtiger Faktor zur Reduktion von Unfallzahlen ist die Infrastruktur. Durch die Handlungsempfehlungen sind wichtige Projekterkenntnisse des Projekts SEED dargestellt.

Handlungsempfehlungen kompakt - Infrastruktur

Ausbau der Infrastruktur mit geeigneten Flächen für E-Scooter und -Bikes mit gleichzeitiger Erweiterung der Richtlinien zur Planung von Verkehrsflächen und Verkehrsanlagen. Technische Unterstützung in Planungs- und Umsetzungsphasen wichtig und ratsam.

Handlungsempfehlungen – Fahrzeuge

Infrastrukturelle Handlungsempfehlungen sind auf der einen Seite wirksam, jedoch in Kombination mit Empfehlungen zum Betrieb und der Regulierung von Fahrzeugeigenschaften nochmals effektiver. Die im Projekt SEED durchgeführten Beobachtungen und Fahrversuche zeigten eine aussagekräftige Grundlage für Handlungsempfehlungen auf der Fahrzeugseite, die in den nachstehenden Punkten angeführt ist:

- Veränderungen in der Motorsteuerung/Fahrzeugtechnik für Beschleunigungsverhalten und Geschwindigkeitsdrosselung zur Auswirkungseindämmung bei Konflikten und Unfallgeschehen. Herstellerseitige Aufhebung von Limitierungen (z.B.: max. 25 km/h) sollen nicht zugelassen werden.
- Verzögerungen von 4 m/s^2 müssen lt. StVO fahrzeugseitig gegeben sein, die Gestaltung der E-Scooter muss dem aber auch entsprechen: Aus Simulation ergeben sich massive Instabilitäten bei Bremsversuchen, welche durch adequate Bremssysteme und den generellen Scooter-Aufbau, vor allem betreffend Standposition der Nutzer:innen, verbessert werden können
- Standardisierung Fahrzeugaufbau (Radstand, Räderdimensionierung z.B.: Vorderraddurchmesser beim Lime-Scooter ideal).
- Signalisierung der Abbiegevorgänge mittels fahrzeugseitiger Einrichtungen empfohlen. Im Vergleich zu Handzeichen ist ein Sicherheitsvorteil geben. Ableitbar aus Fahrdynamik. Stabilität des Fahrzeugs bei Handzeichengeben verbesserbar durch angepasste Fahrzeuggeometrie.
- Einführung von verpflichtenden Assistenzsystemen (z.B.: ABS, Stabilitätskontrolle)
- Empfehlung für Fahrzeug-Training von Nutzer:innen seitens Vertriebs und Verleihanbieter. Zur Vertiefung der Fragestellung, welche E-Scooter-Eigenschaften weiteres, spezielles Training erfordern, basierend auf zu entwickelnden Klassifizierungen z.B. Verwendung aus diesem Projekt.
- Verhaltensweisen bei Fahrzeugnutzung aktiv einschränken (Gewichtssensorik für Mehrnutzung auf einem Fahrzeug, bildgebende Sensorik, Definition und Nutzung geographisch abgegrenzter Zonen ("Geofencing") zur Geschwindigkeitsbeeinflussung)

Die Integration der Fahrzeuge in das bestehende Mobilitätssystem und -abläufe ist mitunter durch Medienberichte sehr stark in den Vordergrund gerückt. Durch Beschleunigungswerte und unbekannte Fahrmanöver wirken E-Scooter in einem Gesamtsystem aus mehreren Mobilitätsangeboten ungewohnt und unberechenbar.

Fahrzeugseitige Vorgaben können den Entwicklungen im Bereich der Unfallzahlen entgegenwirken.

Handlungsempfehlungen kompakt - Fahrzeuge

Derzeit ist durch einen unkontrollierten Markt ein Wildwuchs an unterschiedlichen E-Scootern und einer sehr einfachen Umgehung der Gerätebeschränkungen (Leistung, Geschwindigkeiten, Sicherheitsmechanismen) ein erhöhtes Risiko für gefährliche und verletzungsreiche Situationen. Ein externer Eingriff und Regularien für Fahrzeuge UND Vertrieb können dem entgegenwirken.

Handlungsempfehlungen – Gesetzgebung

Die Gesetzgebung ermöglicht eine Reihe unterstützender Maßnahmen, um sowohl lenkend als auch regulierend in verkehrssicherheitsrelevante Bereiche einwirken zu können. Im Zuge dieser Untersuchung und den darin durchgeführten Simulationen zu Fahrzeugdynamik und -geometrie haben sich nachstehende Punkte zur Handlungsempfehlung auf Seite der Gesetzgebung ergeben:

- Zeitlich nahe Überarbeitung der RVS 03.02.13 Radverkehr in Abstimmung mit Anforderungen anderer Mobilitätssysteme inkl. Anpassung/Erweiterung hinsichtlich Fahrzeugphysik und -aufbau (Radstand, Geometrien, Bremssysteme, Standposition).
- 25 km/h-Limit ist aus fahrdynamischer Sicht nicht notwendig, da es durch die grundlegende Fahrzeugphysik kompensierbar ist. Jedoch ist die Anpassung an die benutzte Infrastruktur aus Fahrer:innen-Sicht notwendig, da ungewohntes Handling.
- Helmpflicht/-empfehlung in Verbindung mit Unfallzahlen setzen (z.B.: steigende Unfallzahlen erfordern Helmpflicht). Außerdem immer in Kombination mit der Notwendigkeit des richtigen Einstellens des Helms an den:die Nutzer:in selbst betrachten.
- Datensammlung für Unfallforschung zur Kompensation von Dunkelziffern und verbesserter Kausalitätsforschung.
- Vor der Nutzung des E-Scooters: Information über rechtliche Gegebenheiten und Nutzung in Zusammenarbeit mit allgemeinem Straßenverkehr

Handlungsempfehlungen kompakt - Gesetzgebung

Die Wirkung von gesetzlichen Richtlinien und Regelungen auf Unfallzahlen ist unbestritten. Ein direktes Einwirken durch Expert:innen, Datenerhebungen und Befragungen auf korrekte Nutzung von Infrastruktur und Schutzausrüstung ist erstrebenswert. Informationskampagnen zur Bewusstseinsbildung wirken dabei unterstützend.

Handlungsempfehlung – Bewusstseinsbildung

Während der Projektumsetzungsphase und in den Expert:innengesprächen wurde evident, dass ein neues Mobilitätssystem und eine neue Form der motorisierten Fortbewegung Zeit benötigt, bis sich die Nutzer:innen an die neuen Gegebenheiten gewöhnen. Dabei sind gleichermaßen Infrastruktur, Endgeräte und die Rahmenbedingungen im Fokus, die mit Wissensvermittlung unterstützt werden sollen. Bei Befragungen und durch weitergegebene Information von Expert:innen im Spitals- und Unfallforschungsbereich zeigte sich sehr schnell, dass teilweise große Lücken bei den Nutzer:innen der E-Scooter vorhanden sind, was Selbsteinschätzung und rechtliche Rahmenbedingungen betrifft. Aus diesen Gründen werden nachstehende Punkte zur Bewusstseinsbildung empfohlen:

- "Training on the System" durch „E-Scooter-Führerschein“, angelehnt an Fahrradführerschein.
- Vorabtests der E-Scooter vereinheitlichen und Tests bereits vor dem Kauf ermöglichen, Probefahrten und Rückgaberechte verankern.
- Abstandsverhalten zu gefährdeten Gruppen an Kreuzungssituationen erhöhen, gestützt durch Informationskampagnen.
- Aufklärung zu Gefahren und Möglichkeiten zur Nutzung bereits vorhandener Infrastruktur.
- Rechtliche Situation zu Umbauten / Modifikationen / Übertretungen / Verantwortlichkeiten bei E-Scootern.
- Einwirkung auf Vertrieb mit E-Scootern (Onlinehandel) mit Monitoring und Überprüfung in Richtung Tuning.

Handlungsempfehlungen kompakt – Bewusstseinsbildung

Bewusstseinsbildung ist der erste Schritt, um Unfallzahlen zu senken und sichere Nutzung von E-Scootern zu ermöglichen. Ein Zusammenwirken aus Gesetzgebung und allgemeinen Informationskampagnen dient der Aufklärung zu rechtlichen und ausrüstungsrelevanten Themengebieten und vermeidet Konflikte und gefährliche Situationen mit anderen Verkehrsteilnehmer:innen. Ein weiterer Schritt ist die Vorsorge bei privat angeschafften Endgeräten, die oftmals mittels Methoden im Grauzonenbereich sicherheitsrelevante Features an den Geräten umgehen können.

Handlungsempfehlungen – weitere Forschung

Das Forschungsprojekt SEED sieht sich als Basis für fundierte Forschung im Bereich der Verkehrssicherheit. In diesem Projekt wurden Grundlagen des Unfallgeschehens und der Datenerhebung rund um E-Scooter beleuchtet und durch Feldversuche wertvolle Datenbestände aufgebaut. Gleichzeitig wurden viele Bereiche erkannt, die durch die Ausrichtung des Projekts nicht beleuchtet werden können, wie in den nachstehenden Punkten angeführt.

- Wahrnehmung der Verkehrsteilnehmer:innen neuer Mobilitätsysteme im Fließverkehr.
- „Der ideale E-Scooter“
- Abbiegevorgänge E-Scooter vs. Fahrräder.
- Lerneffekte durch gezielte Maßnahmen (E-Scooter-Führerschein, Ausbildung Kinder).
- E-Scooter und C-ITS.
- Interdisziplinäre Kooperationen/Forschung hinsichtlich Unfallursachen/Unfallvorgängen/Unfallrekonstruktion.
- Crash-Tests zur Konstruktion von Verletzungsmustern.
- Detektion der Verteilung des Personengewichts oder der Anzahl an Personen auf dem Fahrzeug.

Angestrebt wird eine generelle Verbesserung der Integration neuer Mobilitäts(teil)systeme in existierende Abläufe und Technologien. Unterstützung durch Forschung und Entwicklung ist dabei vorteilhaft.

Handlungsempfehlungen kompakt – Forschung

Dem Expert:innenruf folgend, ist das erklärte Ziel Daten zu unterschiedlichen Einsatzmöglichkeiten von E-Scootern zu generieren. Forschungsthemen zu Fahrdynamik und bewusstseinsbildenden Maßnahmen sind anzustreben, um Verkehrssicherheit nachhaltig positiv beeinflussen zu können.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Proband:innen nach Geschlecht und Testtag (Quelle: SEED-Projektteam)	26
Tabelle 2: Charakteristische Parameter der drei E-Scooter Modelle	50
Tabelle 3: Ergebnisse der Detailauswertung Konflikterhebung mittels Mobility Observation Box	59
Tabelle 4: Durchschnittlicher Lerneffekt bei Hindernissen im Parcoursversuch	68
Tabelle 5: Durchschnittlicher Lerneffekt bei Achterfahrt im Parcours-Versuch	68
Tabelle 6: Variablenbeschreibung Auswertungen Parcours-Versuch aus Vorher- und Nachherbefragung	70

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vergleich Unfälle mit Elektrofahrrad, E-Scooter, Tretroller, Microscootern nach Bundesland in den Jahren 2019 und 2020 (Quelle: (STATISTIK AUSTRIA Bundesanstalt Statistik Österreich, 2019)).....	10
Abbildung 2: Geographische Verortung der Unfälle mit Elektrofahrrad, E-Scooter, Tretroller, Microscootern unterteilt nach Freiland/Ortsgebiet in den Jahren 2019 und 2020 (Quelle: (STATISTIK AUSTRIA Bundesanstalt Statistik Österreich, 2019)).....	11
Abbildung 3: Erhebungsstandorte Mobility Observation Box in der Stadt Wien	20
Abbildung 4: Detailansicht Erhebungsort Schwarzenbergplatz Mobility Observation Box (Quelle: SEED-Projektteam, basemap.at/Orthofoto).....	21
Abbildung 5: Detailansicht Erhebungsort Albertinaplatz Mobility Observation Box (Quelle: SEED-Projektteam, basemap.at/Orthofoto)	22
Abbildung 6: Detailansicht Erhebungsort Liebenberggasse/Parkring Mobility Observation Box (Quelle: SEED-Projektteam, basemap.at/Orthofoto).....	24
Abbildung 7: Ablauf E-Scooter Parcours-Versuch je Proband:in (Quelle: SEED-Projektteam)	25
Abbildung 8: Altersverteilung der Testpersonen im Parcours-Test (Quelle: SEED-Projektteam).....	26
Abbildung 9: Kenntnisse der Testpersonen bezüglich der erlaubten Fahrwege (blau) und der erlaubten Abstellflächen (rosa) (Quelle: SEED-Projektteam)	27
Abbildung 10: Verteilung der von den Proband:innen gewählten E-Scooter während des Parcours-Versuchs (Quelle: SEED-Projektteam)	28
Abbildung 11: Verwendete Sensorik in den E-Scootern für den Parcours-Test (Quelle: SEED-Projektteam)	29
Abbildung 12: Aufbau an privat hochwertigem E-Scooter für die Messtechnik während Parcours-Versuchen (Quelle: SEED-Projektteam).....	30
Abbildung 13: Parcours-Design des Projekts SEED (Quelle: SEED-Projektteam).....	31
Abbildung 14: Aufbau des ersten Bereichs des Parcours-Test und Handzeichen-Prüfung (Quelle: SEED-Projektteam)	32
Abbildung 15: Parcours-Test Einrichtung 2 "Fußgängerzone " (Quelle: SEED-Projektteam)	33
Abbildung 16: Parcours-Test Einrichtung 3 "Slalom" (Quelle: SEED-Projektteam)	34
Abbildung 17: Parcours-Test Einrichtung 3 "Versatz" (Quelle: SEED-Projektteam)	35
Abbildung 18: Parcours-Test Einrichtung 6 "Zielbremsung" (Quelle: SEED-Projektteam) ..	36
Abbildung 19: Simulationsmodell zur Analyse von Notbremsungen mit dem privat günstigen E-Scooter.....	38

Abbildung 20: Gegenüberstellung der Bremsverzögerungen bei simulierten und real durchgeführten Notbremsvorgängen	41
Abbildung 21: Gegenüberstellung der Bremsverzögerungen bei simulierten und real durchgeführten und aufgezeichneten Notbremsmanövern bei unterschiedlichen Standpositionen des Fahrers bzw. der Fahrerin am Leihanbieter-E-Scooter.	43
Abbildung 22: Simulationsmodell zur Analyse des Stoßes E-Scooter – Fahrbahnstufe auf Basis der Stoßtheorie.	46
Abbildung 23: Simulationsmodell zur Analyse des lateraldynamischen Verhaltens eines E-Scooters.....	47
Abbildung 24: Stabilitätskarte - Realteile der Eigenwerte λ der drei E-Scooter Modelle samt Fahrer:innenkörper in mittlerer Standposition (grüne Linie = privat hochwertig, blaue Linie = privat günstig, lila Linie = Leihanbieter).	49
Abbildung 25: Querschleunigungen stationärer Kurvenfahrten nach E-Scootermodell (grüne Linie = privat hochwertig, blaue Linie = privat günstig, lila Linie = Leihanbieter). ...	51
Abbildung 26: Anstieg in den E-Scooter-bezogenen Verletzungen in Wien, Vergleich 2018 mit 2019 (Einführung des Sharing-Betriebs) (Quelle: (Moftakhar Timon, 2020)).	55
Abbildung 27: Verteilung der betroffenen Körperteile bei registrierten Unfällen mit E-Scootern (Quelle: (Moftakhar Timon, 2020)).....	56
Abbildung 28: Verteilung der registrierten Unfälle nach Tageszeit und Alter (Quelle: (Moftakhar Timon, 2020)).	56
Abbildung 29: Konflikterhebung - Zahl und Verteilung der Verkehrsteilnehmer:innen (E-Scooter und andere) nach Standort.....	60
Abbildung 30: Konflikterhebung - Anzahl Konflikte/Interaktionen und Abstände je Standort.....	61
Abbildung 31: Bildausschnitt des untersuchten Bereichs am Albertinaplatz	61
Abbildung 32: Konflikterhebung Albertinaplatz - Interaktionen zwischen E-Scooter-Fahrer:innen und anderen Verkehrsteilnehmer:innen.....	62
Abbildung 33: Bildausschnitt des untersuchten Bereichs am Schwarzenbergplatz.	63
Abbildung 34: Konflikterhebung Schwarzenbergplatz - Interaktionen zwischen E-Scooter-Fahrer:innen und anderen Verkehrsteilnehmer:innen.....	64
Abbildung 35: Konflikterhebung Schwarzenbergplatz - Abstandsverhalten zwischen E-Scooter-Fahrer:innen und anderen Verkehrsteilnehmer:innen.	65
Abbildung 36: Exemplarischer Fahrverlauf (schwarze Linie) aus GPS-Verortungen (grüne Punkte) der E-Scooter-Positionen im Parcours-Versuch	66
Abbildung 37: Verteilung der gemessenen Bremsverzögerung aller Proband:innen und E-Scooter-Modelle (Blau = privat günstig, Magenta = Leihanbieter, Gelb = privat hochwertig)	71

Literaturverzeichnis

AIT Austrian Institute of Technology, Wien. (Oktober 2023). Mobility Observation Box. ait.ac.at/loesungen/traffic-safety/safe/mobility-observation-box. Abgerufen am 2023 von Mobility Observation Box.

Kickinger, H. (31. Oktober 2023). Leih-E-Scooter: Mehr als 17.000 Strafen. wien.orf.at/stories/320529. Abgerufen am 31. Oktober 2023

Moftakhar Timon, W. M. (2020). Incidence and severity of electric scooter related injuries after introduction of an urban rental programme in Vienna: a retrospective multicentre study. Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery (2021). doi:10.1007/s00402-020-03589-y

STATISTIK AUSTRIA Bundesanstalt Statistik Österreich. (2019). Unfallzahlen Straßenverkehrsunfälle. Österreich.

Abkürzungen und Fachvokabular

Abk.	Abkürzung
ABS	Anti Blockier System
Art.	Artikel
BGBI.	Bundesgesetzblatt
C-ITS	Cooperative Intelligent Transport System
Last Mile	Wortwörtlich Letzte Meile, bezieht sich meist auf die ersten und letzten Wege einer zurückgelegten Wegekette, um von A nach B zu gelangen.
MOB	Mobility Observation Box
usw.	und so weiter
PET	PET für Post-Encroachment-Time
Standard- abweichung	Standard deviation, Auskunft über das Streuungsverhalten von Variablen, eine Angabe über die durchschnittliche Entfernung aller Variablen/Messwerte vom Mittelwert
TTC	Time-to-Collision. Weit verbreiteter Indikator, um die Schwere eines Konflikts oder einer Interaktion zu bemessen, indem die verbleibende Zeit bis zu einer potenziellen Kollision (TTC) oder der Zeitunterschied beim Passieren eines Konfliktpunkts zweier Verkehrsteilnehmer:innen angegeben wird. Der Grenzwert von 1.5 Sekunden ist ebenso weit verbreitet und auch die Erfahrung am AIT zeigt, dass Interaktionen mit höheren Werten meist nicht sicherheitsrelevant sind.
u.a.	Unter anderem
z.B.	Zum Beispiel

**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

+43 (1) 711 62-655864

road.safety@bmk.gv.at

bmk.gv.at