

Aus der Klinik für Notfall- und Akutmedizin
des Campus Mitte und Campus Virchow-Klinikums
der Medizinischen Fakultät Charité–Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Unfallmechanismen und Verletzungsmuster nach E-Scooter Verletzungen seit ihrer
Einführung in Berlin – eine prospektive multizentrische Beobachtungsstudie

Trauma mechanisms and injury patterns after E-scooter related incidents since their
introduction in Berlin – a prospective multicenter observational study

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité–Universitätsmedizin Berlin

von

Deniz Uluk
aus Berlin

Datum der Promotion: 25.06.2023

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	V
Abbildungsverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	IX
Zusammenfassung	XI
1. Einleitung.....	1
1.1. Mobilitätsstrukturen	2
1.2. Technische Gegebenheiten	3
1.3. Verkehrssicherheit und -unfälle	4
1.4. Ziel der Studie	5
2. Material und Methodik	6
2.1. Patientenkollektiv	6
2.2. Ethik und Datenschutz	7
2.3. Fragebogen	7
2.4. Statistische Auswertung	8
3. Ergebnisse.....	10
3.1. Patientenkollektiv	10
3.2. Unfallzeitpunkt	11
3.3. Unfallursachen	13
3.4. Verletzungsmuster	14
3.5. Ambulante und Stationäre Behandlung	18
3.6. Freiwillige Befragung	18
3.7. Risikofaktoren.....	18
3.7.1. Geschlechterunterschiede.....	19
3.7.2. Altersunterschiede.....	20
3.7.3. Schädel-Hirn-Trauma	21
4. Diskussion	23
5. Schlussfolgerung.....	31
5.1. Limitationen	31
5.2. Ausblick.....	32
Literaturverzeichnis	33
Eidesstattliche Versicherung	41
Anteilerklärung an der erfolgten Publikation.....	43
Auszug aus der Journal Summary List	44
Druckexemplar der Publikation.....	46
Lebenslauf.....	53
Publikationsliste	55
Danksagung	57

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Übersicht der Verletzungs- und Unfallursachen entsprechend der Patientenangaben und der ärztlichen Dokumentation.....	14
Tabelle 2 Verteilung der betroffenen Körperareale durch E-Scooter Unfälle. Der Torso wurde zudem unterteilt in Thorax, Abdomen und Rücken. Mehrfachnennungen sind bei multifokalen Verletzungen möglich.....	14
Tabelle 3 Übersicht über die genaue Frakturlokalisationen der betroffenen Extremitäten. Einteilung in obere und untere Extremitäten. Mehrfachnennungen sind aufgrund multifokaler Verletzungen möglich.	16

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Darstellung der technischen Angaben und Voraussetzungen der E-Scooter für eine Straßenzulassung	3
Abbildung 2	Darstellung der Studienzentren CVK, CCM, BWK, ELI und die Anzahl der eingeschlossenen Studienteilnehmer. Der gestrichelte Bereich kennzeichnet den Bezirk Berlin-Mitte und verdeutlicht die Lage der vier Rettungsstellen zueinander.....	10
Abbildung 3	Darstellung der Altersverteilung der eingeschlossenen Patienten. Über den Balken stehen die absoluten Zahlen der jeweiligen Altersgruppe. Der Farbunterschied kennzeichnet die Einteilung der Altersgruppen.	11
Abbildung 4	Darstellung der Zeitpunkte der Rettungsstellenvorstellungen. Die Zeitpunkte sind entsprechend der Gruppierungen Morgens (06:00-11.59 Uhr), Nachmittags (12:00-17:59 Uhr), Abends (18:00-23:59 Uhr) und Nachts (00:00-05:59 Uhr) farbkodiert.....	12
Abbildung 5	Verteilung der Rettungsstellenvorstellungen entsprechend der Wochentage. Zudem erfolgte die Einteilung der Werkstage (Montag bis Donnerstag) im Vergleich zu den Wochenendtagen (Freitag bis Sonntag).	12
Abbildung 6	Darstellung der jeweiligen Verletzungsentitäten in Bezug auf die betroffene Körperregion. Die Verletzungsarten sind für die Vergleichbarkeit zwischen den Körperarealen gleichermaßen farbkodiert. Dunkelblau: Prellungen; hellblau: Riss-/Platzwunden; grau: Frakturen; hellgrün: Schädel-Hirn-Traumata; dunkelgrün: Zahnschäden; beige: Organschäden; orange: ligamentäre Verletzungen	15
Abbildung 7	Ausschnitte aus der Computertomographie des Kopfes eines Patienten mit diagnostiziertem SHT und ICB im Sinne eines Coup-Contrecoup Mechanismus. a) fokale ICB parafalzin rechts hochparietal (Contrecoup) b) sulcale Subarachnoidalblutung rechts supratentoriell c) Prellmarke links frontal (Coup).....	17
Abbildung 8	Neue E-Scooter Generation mit beiden Bremsen am Lenkergriff, einer Blinkeranlage am Lenker zur Anzeige der Richtungsänderung, eine Smartphone-Halterung, einem ausklappbaren Helm sowie abgerundeten und abgedeckten Plattformkanten und Hinterradschrauben.....	30

Abkürzungsverzeichnis

BWK	<i>Bundeswehrkrankenhaus Berlin</i>
bzw.	<i>beziehungsweise</i>
CCM	<i>Charité – Universitätsmedizin Berlin Campus Mitte</i>
CO ₂	<i>Kohlenstoffdioxid</i>
CVK	<i>Charité – Universitätsmedizin Berlin Campus Virchow-Klinikum</i>
E-Scooter	<i>elektrisch betriebene Treroller</i>
eKFV	<i>Elektrokleinstfahrzeug-Verordnung</i>
ELI	<i>Evangelische Elisabeth Klinik</i>
EUR	<i>Euro</i>
h	<i>Stunde</i>
ICB	<i>Intracerebrale Blutung</i>
ICH-GCP	<i>International Conference on Harmonisation Good Clinical Practice</i>
IQR	<i>interquartile range</i>
kg	<i>Kilogramm</i>
km	<i>Kilometer</i>
km/h	<i>Kilometer pro Stunde</i>
m	<i>Meter</i>
ÖPNV	<i>öffentlicher Personennahverkehr</i>
OR	<i>Odds ratio</i>
Pkw	<i>Personenkraftfahrzeuge</i>
Q1	<i>Erste Quartile</i>
Q3	<i>Dritte Quartile</i>
SHT	<i>Schädel-Hirn Trauma</i>
sog.	<i>sogenannt</i>
W	<i>Watt</i>

Zusammenfassung

Einleitung

Mit der Einführung elektrisch angetriebener Tretroller (E-Scooter) in den deutschen Großstädten bestand aufgrund ihrer hohen Verfügbarkeit und der leichten Zugänglichkeit eine innovative Fortbewegungsmöglichkeit im urbanen Straßenverkehr. Neben ihrer schnellen Implementierung in das Stadtbild, dem Nutzen als alternatives Fortbewegungsmittel und der Fahrfreude unter den Nutzern, konnte in den Notaufnahmen eine Vielzahl neuer und zusätzlicher Verletzungen zu den bisher bekannten Rettungsstellenvorstellungen erfasst werden. Bisherige wissenschaftliche Untersuchungen zu Unfallmechanismen und spezifischen Traumafolgen waren unzureichend und beruhten meist auf retrospektiven Daten aus dem nicht-europäischen Ausland. Ziel dieser Arbeit ist die Analyse der Umstände, Ursachen sowie den Folgen der E-Scooter Unfälle und den damit einhergehenden Verletzungsmustern.

Methodik

Mit ihrer Straßenverkehrszulassung wurden alle Patienten nach E-Scooter assoziierten Unfällen von Juli bis Dezember 2019 an den innenstädtischen Notaufnahmen der Charité – Universitätsmedizin Berlin Campus Mitte und Campus Virchow-Klinikum, am Bundeswehrkrankenhaus Berlin und an der Evangelischen Elisabeth Klinik eingeschlossen. Die prospektive Datenerhebung beinhaltete patienten- und unfallspezifische Angaben, Informationen zu Verletzungsmustern, deren Therapie und den freiwilligen Angaben zum Gebrauch oder zu Vorerfahrungen mit E-Scootern.

Ergebnisse

Innerhalb von sechs Monaten konnten 248 Patienten (129 Männer; medianes Alter 29 Jahre (Q1-Q3: 23 – 39 Jahre)) erfasst werden. Touristen waren in 41% und Kinder in 4% betroffen. Die meisten Unfälle ereigneten sich zur späten Abendzeit (22%) und am Wochenende (56%). In der Befragung besaßen 68% einen Führerschein und 48% hatten bereits Vorerfahrungen mit E-Scootern. Das multifokale Verletzungsmuster betraf insbesondere die unteren (42%) und oberen (37%) Extremitäten sowie den Kopf (40%). Alkoholisierte Fahrten stellten einen besonderen Risikofaktor für Schädel-Hirn-Traumata dar ($p < 0,001$). Die stationäre Aufnahme rate betrug 25%, eine operative Versorgung war in 23% erforderlich. Am häufigsten traten Weichteilverletzungen (85%) sowie Frakturen der oberen Extremitäten (17%) auf.

Schlussfolgerung

Das Balancieren des Gleichgewichts auf der schmalen Stehplattform bei hohen Geschwindigkeiten und die kleinen Räder stellen ein Risiko für frontale Stürze, ohne externe Einflüsse dar. Eine Reduktion von E-Scooter Unfällen und den damit verbundenen typischen Verletzungsmustern könnte durch technische Modifikationen der Fahrzeuge seitens der Hersteller, einem absoluten Alkoholverbot, dem Tragen von Helmen und der Durchsetzung der Nutzungsregeln mit einhergehenden Kontrollen erreicht werden.

Abstract

Introduction

With the introduction of E-scooters in large German cities, an innovative vehicle entered the urban road traffic due to their high availability and easy accessibility. Besides their rapid implementation into the cityscape, usefulness as alternative means of transportation, and due to their driving pleasure among users, a variety of new and additional injuries could be detected in the emergency departments. However, scientific studies on accident mechanisms and trauma-specific consequences were sparse and mostly based on retrospective data from non-European countries. The aim of this investigation is the detailed analysis of the circumstances, causes as well as the consequences of the E-scooter accidents and their related injury patterns.

Methods

All E-scooter-associated accidents since their road permission from July to December 2019 were included at the inner-city emergency departments of Charité - Universitätsmedizin Berlin Campus Mitte and Campus Virchow-Klinikum, Bundeswehrkrankenhaus Berlin, and Evangelische Elisabeth Klinik. Prospective data collection included patient- and accident-specific information, injury patterns, therapy, and voluntary information on E-scooter use or previous experience.

Results

A total of 248 patients (129 men; median age 29 years (Q1-Q3: 23 – 39 years)) were recorded within six months. Tourists were involved in 41% and children in 4%. Most accidents occurred at the evening (22%) and at weekends (56%). 68% reported having a driver's license, and 48% had previous experience with E-scooters. The multifocal injury pattern particularly involved the lower (42%) and upper (37%) extremities and the head (40%). Alcohol-impaired driving was a risk factor for traumatic brain injury. The inpatient admission rate was 25%, and surgery was required in 23%. Soft tissue injuries (85%) and upper extremity fractures (17%) were most common.

Conclusion

Balancing on the narrow standing platform at high speeds and the small wheels lead to many frontal falls without external influences. A decrease of E-scooter related accidents and the associated typical injury patterns could be achieved through technical modifications to the vehicles by the manufacturers, an alcohol ban, the wearing of helmets and stricter enforcement of rules with accompanying controls.

1. Einleitung

Das wachsende Bewusstsein für Nachhaltigkeit, Umweltschutz und eine unabhängige innerstädtische Mobilität prägen die Vision eines zukünftigen Stadtbildes. Insbesondere Nachhaltigkeit hat im Hinblick auf den Mobilitätswandel weltweit an Bedeutung gewonnen. Bei stetig steigendem Energieverbrauch, der damit einhergehenden Luftverschmutzung und dem globalen Klimawandel, rücken innovative Fortbewegungsmittel in den Fokus [1, 2]. Im urbanen Raum lässt sich die schlechte Luftqualität auf das erhöhte Verkehrsaufkommen von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren und der Kohlenstoffdioxid-Emission zurückführen [2, 3]. Innovative Ansätze sehen daher eine Entlastung des Straßenverkehrs und die Ablösung Treibstoff-betriebener Personenkraftwagen (Pkw) durch elektrisch-betriebene Fahrzeuge vor. Hierdurch soll das Verkehrsaufkommen und die Bildung von Treibhausgasen verringert werden [2, 3]. Innovative Fortbewegungsmittel sollen den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) ergänzen und dadurch die urbane Mobilität prägen. Dahingehend wurde das Konzept der Mikromobilität etabliert, welches die Bewältigung kurzer Distanzen mit verschiedenen Fahrzeugen beschreibt [4]. So wurden die elektrisch betriebenen Tretroller, sogenannte E-Scooter, im Juni 2019 in vielen deutschen Großstädten eingeführt [5]. Die Markteinführung der E-Scooter erfolgte erstmals 2017 in Santa Monica, Kalifornien (USA) und diente als Vorbild für die deutsche Implementierung [6]. Durch die Verwendung von E-Scootern können die lokale und direkte Emission von Treibhausgasen reduziert werden, wodurch eine Verbesserung der innerstädtischen Luftqualität erzielt werden könnte [7].

Mit nahezu 3,8 Millionen Einwohnern und jährlich fast 14 Millionen Touristen stellt Berlin eine ideale Nutzungsplattform für die Erprobung sowie Verbesserungen von Mobilität im innerstädtischen Straßenverkehr dar [8]. In Berlin betrug die Anzahl der erfassten E-Scooter im September 2019 über 11.000. Diese wurden vornehmlich in den zentralen sowie touristisch höher frequentierten Bezirken Berlin-Mitte und Friedrichshain/Kreuzberg eingesetzt [9, 10]. Ende des Jahres 2020 waren in circa 60 deutschen Städten sechs verschiedene E-Scooter Vertreiber aktiv [11]. E-Scooter wurden als neues Fortbewegungsmittel dem Fahrrad gleichgestellt, wobei Unterschiede in Dimension, Geschwindigkeiten und Anwendung bestehen [12]. In diesem Zusammenhang wurden das Gefahrenpotential und die Sicherheit der E-Scooter bereits zu Beginn ihrer Einführung in Deutschland häufig kritisiert. Objektivierbare

Einschätzungen der Gefahren für die Anwender sowie der Sicherheitsaspekte hinsichtlich E-Scooter assoziierter Unfälle im Straßenverkehr konnten bis dahin nicht vorgelegt werden und sind Bestandteil des Studienvorhabens der vorliegenden Promotionsschrift.

1.1. Mobilitätsstrukturen

Das Autofahren ist die führende Fortbewegungsmethode in Deutschland [13]. Hierbei werden auch Kurzstrecken mit dem Pkw zurückgelegt. Diese verursachen neben einem erhöhten Verkehrsaufkommen auch einen erheblichen Anteil der CO₂-Emissionen [3, 13]. Täglich werden je 30 Millionen Fahrten unter 2km und unter 5km zurückgelegt [7]. Während einige Fahrten unerlässlich sind, zielt insbesondere die Mikromobilität auf das Bewältigen von Kurzstrecken ab [4]. Hierbei sollen die Verkehrsabläufe beschleunigt und das Verkehrsaufkommen entlastet werden [12, 14, 15]. Die Mikromobilität kann durch Verleiher im sogenannten „Free-Floating-Konzept“ ermöglicht werden. Dieses Konzept erlaubt es dem Endverbraucher einen verfügbaren E-Scooter nach dem Vermietungsprinzip (sog. Sharing-Prinzip) zu nutzen. Die Unterschiede der einzelnen Unternehmen bestehen in der Anzahl ihrer verfügbaren E-Scooter, den Gebühren sowie in ihrer Ausstattung und Bauweise. Die renommierte Unternehmensberatungsfirma McKinsey schätzt das weltweite Marktpotential der Mikromobilität durch Verleihvertriebe für das Jahr 2030 auf 500 Milliarden US-Dollar [15].

Untersuchungen zeigten, dass Weglängen zwischen 1,2 – 4,7km bei einer mittleren Wegedauer von 7 – 14 Minuten bevorzugt mit dem E-Scooter zurückgelegt werden [6, 10, 12, 16-20]. Meist wurden Strecken ersetzt, welche vorher zu Fuß (27 – 57%) oder mit dem ÖPNV (10 – 30%) bewältigt wurden [11, 14, 16, 18, 21-23]. Insbesondere erfolgte der Einsatz jedoch zu Freizeit Zwecken (31 – 74%) [11, 19, 24, 25]. Die E-Scooter Nutzer scheinen eine Hybrid-Nutzung im Straßenverkehr wahrzunehmen und bewegen sich sowohl als Fußgänger, als auch mit den Fahrzeugen fort, um die jeweiligen Vorteile zu nutzen [12]. Hierdurch entstehen Flächennutzungskonflikte auf den Straßen, Rad- und Gehwegen [7]. In Befragungen gaben 90% der E-Scooter Fahrer an, den Bürgersteig bereits genutzt zu haben und 18 – 20% glaubten sogar, dass das Befahren des Gehweges zulässig ist [16, 21, 26]. Zudem gaben die Befragten an, dass bei fehlendem Radweg aufgrund der Unsicherheit auf stark befahrenen Straßen, eher der Gehweg zur Weiterfahrt genutzt wurde [21, 27].

1.2. Technische Gegebenheiten

Nach der Aktivierung des E-Scooters mittels Smartphone-App kann der Fahrer mit wenigen Trittschwüngen den E-Scooter zum Rollen bringen und schließlich durch das Betätigen eines Hebels am Lenkergriff für die übrige Fahrt elektrisch antreiben. Halt bietet der schmale und hüfthohe Lenkergriff, an dem sich auch eine Geschwindigkeitsanzeige befindet. Die elektrisch betriebene Beschleunigung setzt umgehend ein und führt zu einem schnellen Erreichen der Endgeschwindigkeit von bis zu 20km/h. Der Fahrer steht die gesamte Fahrt mit beiden Füßen hintereinander auf einer schmalen Plattform und kann mittels Handbremse am Griff oder einem Bremspedal am Hinterrad anhalten. Die Registrierung zur Nutzung erfolgt durch die Angaben einer gültigen Kreditkartennummer zu Abrechnungszwecken und der Einwilligung in die allgemeinen Geschäftsbedingungen. Ein Vertragsabschluss ist nur volljährigen Personen gestattet, die Nutzung bereits ab 14 Jahren. In der Straßenverkehrsordnung gilt eine Helmempfehlung, jedoch keine gesetzbindende Pflicht. Das Tragen eines Helms wird zudem von den Unternehmen empfohlen. Die E-Scooter müssen Auflagen erfüllen, um entsprechend der Vorlagen des Gesetzgebers am Straßenverkehr teilnehmen zu dürfen (siehe Abbildung 1) [11, 28].

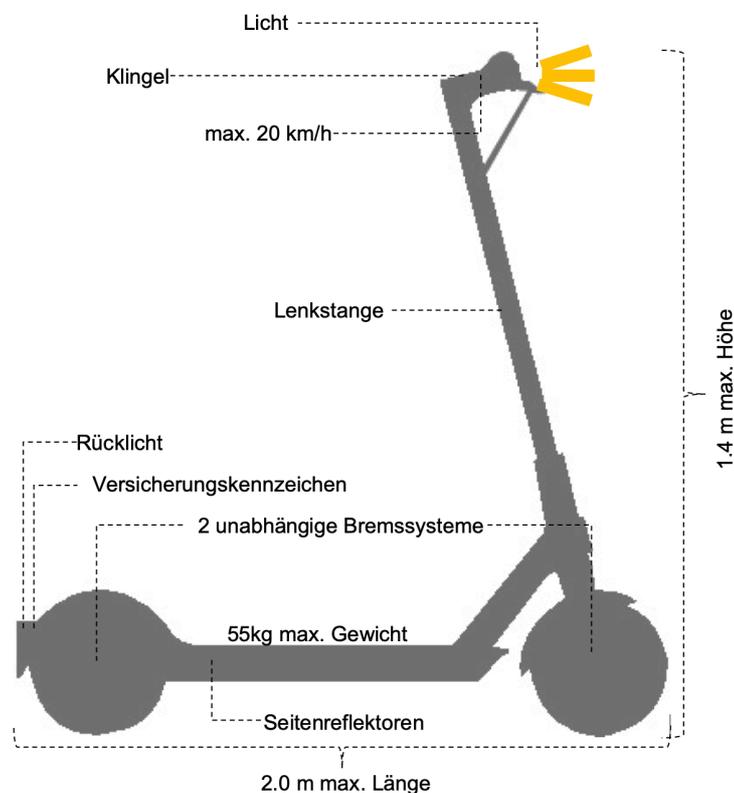


Abbildung 1 Darstellung der technischen Angaben und Voraussetzungen der E-Scooter für eine Straßenzulassung. (Eigene Darstellung)

1.3. Verkehrssicherheit und -unfälle

Die E-Scooter Nutzung wird seit ihrer Straßenverkehrszulassung am 15.06.2019 durch die Elektrokleinstfahrzeug-Verordnung (eKFV) reglementiert [5]. Diese beschreibt unter anderem die Nutzung der Radverkehrsflächen (Radwege- oder Radfahrstreifen) oder der Fahrbahn [29]. Die Nutzung von Gehwegen oder Fußgängerzonen ist nicht gestattet. Zudem sieht der Gesetzgeber vor, dass die Nutzung eines E-Scooters nur durch eine Einzelperson erfolgen darf. Damit ist die Fahrt zu zweit, im Weiteren Tandem-Fahren genannt, rechtswidrig. Der Gesetzgeber sieht keine Führerscheinplicht vor, jedoch ein Mindestalter von 14 Jahren. Die Blutalkoholgrenze liegt bei 0.05% und Verstöße können mit Bußgeldern geahndet werden [5]. Dieses neue Fortbewegungsmittel bedeutet auch eine Zunahme und eine neue Quelle für Verkehrsunfälle. Erste Erkenntnisse über die Unfallfolgen lieferten die US-amerikanischen Daten des *National Electronic Injury Surveillance System* (NEISS) mit einem Anstieg aller Verletzungen im Straßenverkehr aufgrund von E-Scooter Unfällen seit ihrer Einführung 2017 [30]. Die Gesundheitsbehörde der texanischen Stadt Austin analysierte retrospektiv die zentralen Daten der Notfallversorgung aller E-Scooter Unfälle von September bis November 2018 und ermittelten eine kumulierte Inzidenzrate von 20 Unfällen pro 100.000 Fahrten [17]. Trivedi et al. untersuchten erstmals die Folgen der E-Scooter Unfälle innerhalb eines Jahres nach ihrer Einführung in Kalifornien (USA) und verzeichneten mit 249 Patienten mehr E-Scooter Verletzte im Straßenverkehr als Radfahrer und Fußgänger [31]. Bekhit et al. zeigten in einer Kostenanalyse den Einfluss von E-Scooter Unfällen auf das Gesundheitssystem in Auckland (Neuseeland) [32]. In Deutschland wurden im Jahr 2020 2.155 E-Scooter Unfälle mit Personenschäden erfasst [33]. Das statistische Bundesamt veröffentlichte im Jahr 2021 die Daten aus dem Vorjahr mit 218 E-Scooter Unfällen mit Personenschäden in Berlin [33]. Bundesweit waren fünf Menschen (0,2%) nach einem E-Scooter Unfall tödlich verunglückt. Schwerwiegende Verletzungen traten bei 344 E-Scooter Fahrern (16%) auf [33].

Abweichungen der Fahrbahn und Hindernisse wie Spurrillen, Straßenbahngleise oder Bordsteinkanten, das Abbiegen und der Richtungswechsel sowie das Übersehenwerden im Straßenverkehr durch andere Verkehrsteilnehmer sind Gefahren und Unfallursachen für E-Scooter Fahrer [26, 34-36]. Auch auf Gehwegen parkende bzw. stehende E-Scooter stellen eine Verletzungsquelle für Fußgänger dar [34, 35]. In Umfragen und Beobachtungen haben 45% der E-Scooter Fahrer gegen die geltenden Regelungen

verstoßen [37]. In einer Versuchsreihe mit freiwilligen Teilnehmern konnte insbesondere die erschwerte Richtungsanzeige beim Abbiegemanöver festgestellt und die subjektive Unsicherheit der Fahrer evaluiert werden [36]. Risikofaktoren für Unfälle und Verletzungen bei E-Scooter Fahrten wurden identifiziert. So stellen vornehmlich der Alkoholkonsum, der Gebrauch des Smartphones während der Fahrt und ein riskantes Fahrverhalten, insbesondere durch junge Männer, eine signifikante Steigerung der Auftrittswahrscheinlichkeit von Unfällen dar [38]. Die Folgen der E-Scooter Unfälle und die damit einhergehenden Versorgungskosten der Verletzungen, könnten eine zusätzliche Belastung für das Gesundheitssystem darstellen. Innerhalb von sieben Monaten entstanden in Auckland (Neuseeland) im Rahmen von E-Scooter Unfällen zusätzliche medizinische Versorgungsausgaben in Höhe von 1,3 Millionen neuseeländischer Dollar (circa 815.050 EUR) und führten sogar zu einem zeitweiligen Verbot der E-Scooter in Auckland [32]. Aus Deutschland waren hingegen kaum Daten bekannt. In einer ersten Fallserie konnte unsere Arbeitsgruppe erstmals feststellen, dass das Fahren von E-Scootern hinsichtlich der Häufigkeit und Schwere der Verletzungen mindestens mit dem Fahrradfahren vergleichbar ist [35]. Verkehrsunfälle traten häufig durch Unerfahrenheit, Verstöße gegen die Verkehrsregeln und nach Alkoholkonsum auf, aber auch durch mangelnde Verkehrstauglichkeit der Fahrzeuge selbst [35].

1.4. Ziel der Studie

Ziel der vorliegenden multizentrisch prospektiven Beobachtungsstudie war die Identifikation von Unfallursachen und Risikofaktoren, dem Ausmaß der Verletzungen sowie den Verletzungsmustern und die Formulierung von Verbesserungsvorschlägen für die Verwendung von E-Scootern.

Folgende Aspekte wurden in der vorliegenden Studie berücksichtigt:

- Verständnis der Unfallursachen
- Unfallmechanismen und -abläufe
- Verletzungsmuster und -ausmaß
- Risikofaktoren bzw. -konstellationen
- Lösungsansätze zur Vermeidung bzw. Minimierung von Verletzungen bei Unfällen mit E-Scootern

Einschlusskriterien der vorliegenden Studie wurden wie folgt formuliert:

- Vorstellung in einer der teilnehmenden Rettungsstellen
- Eine generelle Einwilligungsfähigkeit musste vorliegen oder nachträglich eingeholt werden können
- Schriftliche Einverständniserklärung über die Studienteilnahme
- Bei minderjährigen Studienteilnehmern musste die schriftliche Einwilligungserklärung der Erziehungsberechtigten vorliegen
- Beteiligung eines E-Scooters in den Unfallmechanismus

Ausschlusskriterien wurden wie folgt festgehalten:

- Strikte Ablehnung einer Studienteilnahme

2. Material und Methodik

2.1. Patientenkollektiv

Alle Patienten, die zwischen dem 17. Juni und 31. Dezember 2019 an Unfällen mit E-Scootern beteiligt waren, wurden in die vorliegende Studie eingeschlossen. Die Vorstellung in der Notaufnahme erfolgte entweder selbstständig oder durch den Rettungsdienst. Die Standorte umfassten die Rettungsstellen der Charité Universitätsmedizin Berlin Campus Mitte (CCM) und Campus Virchow-Klinikum (CVK), die Notaufnahme des Bundeswehrkrankenhauses Berlin (BWK) und die Erste Hilfe der Evangelischen Elisabeth Klinik (ELI) in Berlin-Mitte. Die zweistufige Erfassung der Patienten erfolgte erstmals durch die pflegerische Triage und anschließend während der Erstversorgung durch den diensthabenden Arzt. Die Patienten erhielten mit der Vorstellung die Studieninformationen in deutscher oder englischer Sprache und wurden von dem diensthabenden Arzt über das Studienvorhaben aufgeklärt. Die Patientenversorgung erfolgte unabhängig von einer Studienteilnahme, sodass kein Nachteil für Patienten entstehen konnte. Die Patientenversorgung stand stets im Vordergrund. Daher konnten studienrelevante Informationen sowie die schriftliche Einwilligung auch nach Erstversorgung in der Rettungsstelle eingeholt werden. Zudem wurde den Patienten ein Fragebogen zur freiwilligen Befragung ausgehändigt (siehe Abschnitt 2.3). Die Datenakquise patienten-spezifischer Parameter wie Alter, Geschlecht

und Herkunft, Wohnort sowie die Ergebnisse der weiterführenden Untersuchungen erfolgte prospektiv und aus den Daten des jeweiligen Patienteninformationssystems. Informationen über Schwere, Diagnostik und Behandlung der Verletzungen wurden prospektiv in den klinikeigenen elektronischen Erste-Hilfe-Scheinen erfasst und schließlich in die verschlüsselte Datenbank übertragen.

2.2. Ethik und Datenschutz

Das Studienvorhaben wurde durch die Ethikkommission der Charité - Universitätsmedizin Berlin überprüft und das vorliegende Votum beinhaltete keine Bedenken für die Studiendurchführung (EA2/171/19). Eine Registrierung im Deutschen Studienregister Klinischer Studien ist noch vor Einschluss des ersten Patienten erfolgt (DRKS00018061). Im Rahmen der Patientenerfassung und der weiterführenden Analysen wurden ethische Aspekte und Datenschutzbestimmungen in Bezug auf persönliche Daten der Patienten eingehalten. Die Beantwortung der Fragebögen erfolgte freiwillig und nach unterschriebener Einverständniserklärung des Patienten bzw. ihrer Erziehungsberechtigten. Die Studie wurde entsprechend der aktuellen Version der Deklaration von Helsinki sowie der Deklaration von Istanbul und den Richtlinien der International Conference on Harmonisation Good Clinical Practice (ICH-GCP) durchgeführt.

2.3. Fragebogen

Teilnehmenden Patienten an den Standorten CCM und CVK wurde ein Fragebogen ausgehändigt, welcher folgende Punkte beinhaltete und freiwillig ausgefüllt werden konnte:

1. Geschlecht
2. Alter
3. Land der aktuellen Meldeadresse
4. Touristischer Besuch (ja / nein)
5. Berufsunfall (ja / nein)
6. Unfallfahrzeug (Fußgänger, Fahrrad-Fahrer, Roller, E-Scooter, andere)
7. Mietfahrzeug (ja / nein)

8. Erfahrung mit Unfallfahrzeug (ja / nein)
 - Häufigkeit der Vorerfahrung (1 – 3 Mal, 3 – 5 Mal, >5 Mal)
9. Führerschein (ja / nein)
 - Fahrerfahrung (<1 Jahr, 1 – 3 Jahre, 3 – 5 Jahre; >5 Jahre)
10. Unfallursache (Gleichgewichts-/Kontrollverlust, Kollision mit E-Scooter, Kollision mit Kfz, Objekt angefahren, Andere)
11. Helm getragen (ja / nein)
12. Alkoholkonsum (ja / nein)
13. Subjektive Unfallursache
14. Sonstige Anmerkungen

Unter den Punkten 13 und 14 konnten die Befragten ihre subjektiven Einschätzungen der Unfallursache und weitere Anmerkungen in ihren eigenen Worten wiedergeben. Alle Angaben der Befragung wurden für die Auswertung berücksichtigt.

2.4. Statistische Auswertung

Die Datenerfassung erfolgte in einer verschlüsselten Excel-Datenbank (Microsoft Excel 2016, Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA) und die erfassten Daten wurden nach der Übertragung in SPSS analysiert (SPSS® 26.0, Chicago, IL, USA). Deskriptive Angaben erfolgten als Mittelwerte und Standardabweichungen, in Median und den Quartilen (Q1, Q3) oder dem Interquartilenabstand (IQR), der Spannweite oder in absoluten Zahlen und Prozentwerten. Für Parameter mit einer Gauß'schen Normalverteilung wurde die statistische Signifikanz mit Hilfe des Student's t-Tests überprüft. Signifikante Zusammenhänge zwischen kategorialen Variablen wurden mit dem Chi-Quadrat-Test oder dem exakten Test nach Fisher überprüft. Zusätzlich wurden zwei korrelierende Relationen der Verletzungsverteilung mit Hilfe des McNemar-Tests miteinander verglichen, um die am stärksten betroffene Körperregion und die häufigste Art der Verletzung hervorzuheben. Das Chancenverhältnis (*odds ratio*; OR) für die festgelegten Risikofaktoren (frühere Erfahrung mit E-Scootern, Führerschein, Alkoholkonsum, Tragen eines Helms) und ihr Zusammenhang in Bezug auf stationäre Aufnahme und traumatische Hirnverletzung (*Schädel-Hirn Trauma*; SHT) wurden

ebenfalls berechnet. Zur Darstellung quantitativer Zusammenhänge bei nicht-normal verteilten Variablen, wurde der Mann-Whitney U-Test durchgeführt. Das statistische Signifikanzniveau wurde bei $p < 0.05$ festgelegt. Alle p-Werte sind explorativer Natur und wurden nicht für die Mehrfachtestung adjustiert.

3. Ergebnisse

3.1. Patientenkollektiv

In dem Beobachtungszeitraum von sechs Monaten konnten 248 Patienten in die Studie eingeschlossen werden. Die Verteilung auf die einzelnen Standorte ist der Abbildung 2 zu entnehmen.

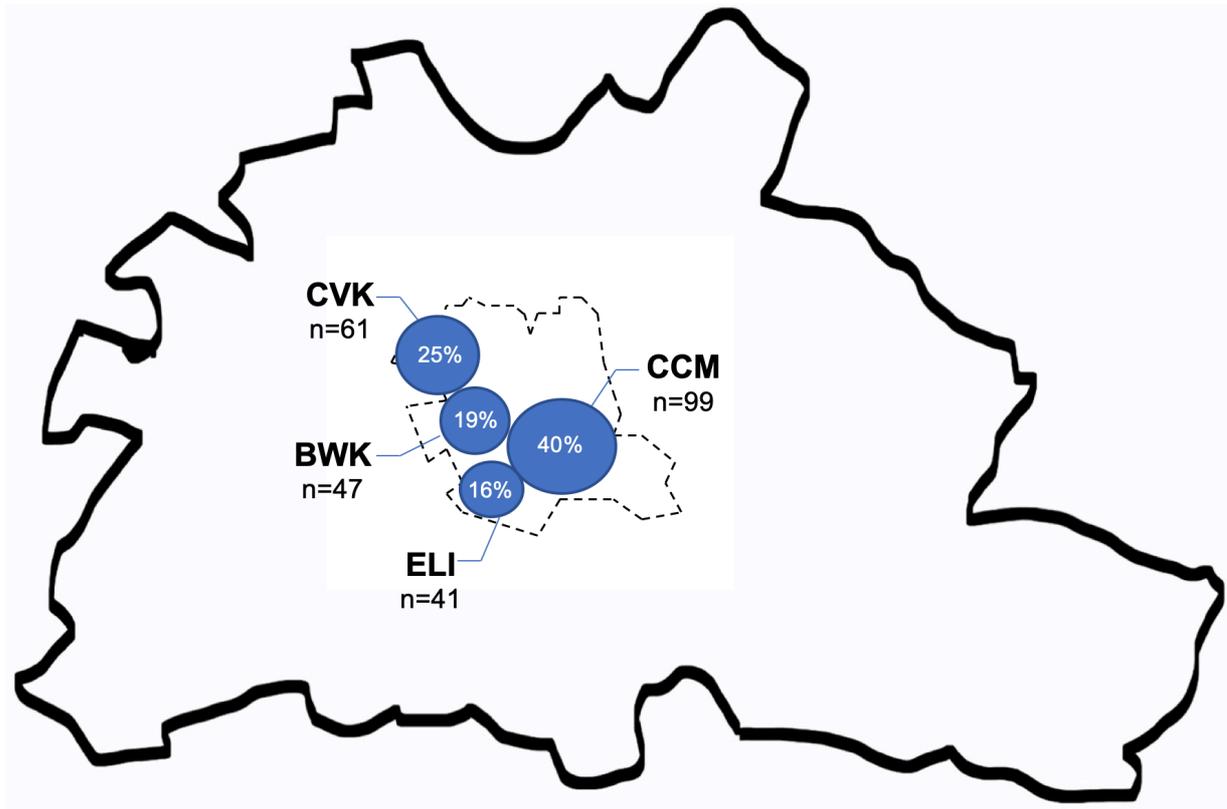


Abbildung 2 Darstellung der Studienzentren CVK, CCM, BWK, ELI und die Anzahl der eingeschlossenen Studienteilnehmer. Der gestrichelte Bereich kennzeichnet den Bezirk Berlin-Mitte und verdeutlicht die Lage der vier Rettungsstellen zueinander. (Eigene Darstellung)

Unter den Studienteilnehmern waren 129 Männer (52%) und 119 Frauen (48%) mit einem medianen Alter von 29 Jahren (Q1-Q3: 23 – 39 Jahre). Der Altersschwerpunkt lag mit 178 Patienten (71%) in der Gruppe der 18 - 40-Jährigen. Zehn Patienten waren minderjährig, drei von Ihnen unter 14 Jahren. Eine Altersübersicht kann der Abbildung 3 entnommen werden.

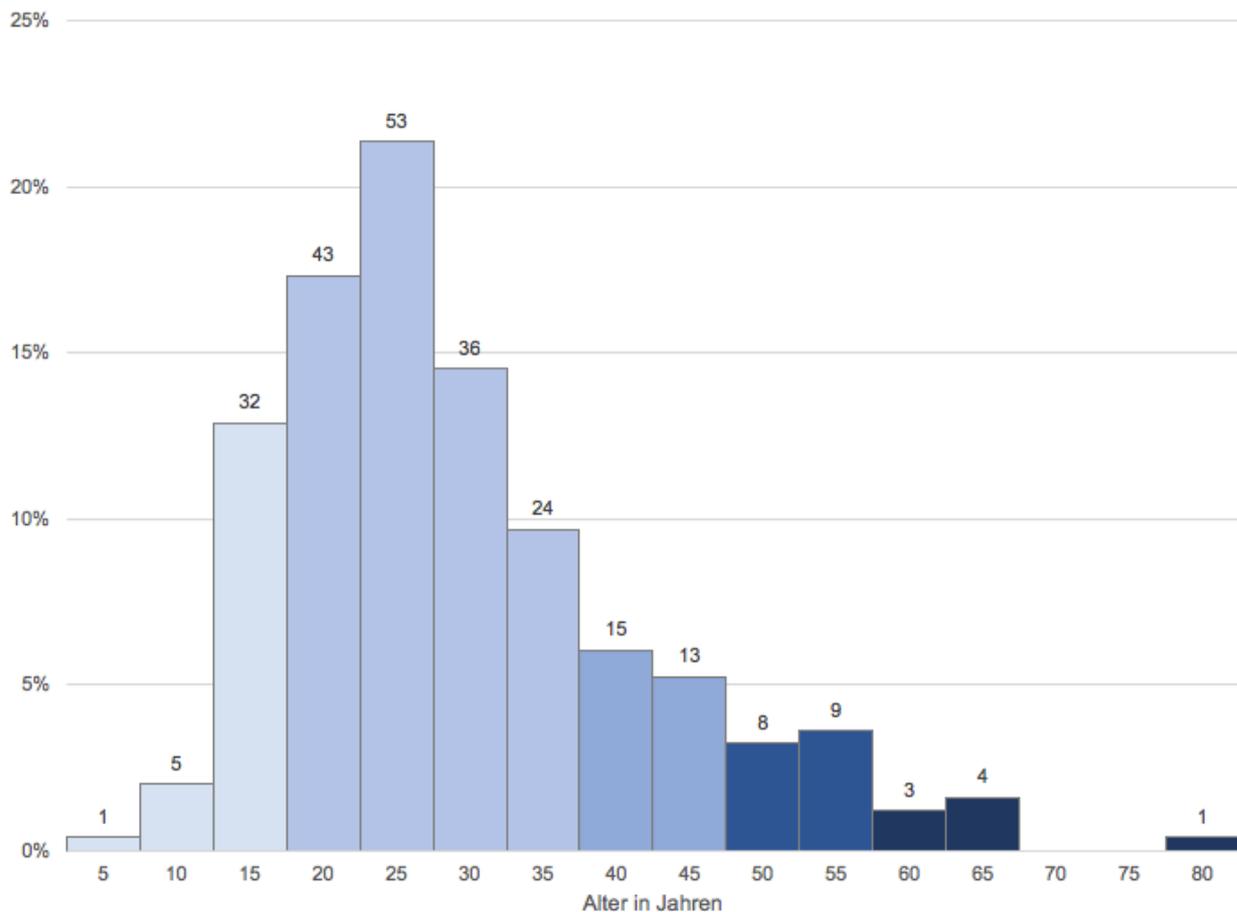


Abbildung 3 Darstellung der Altersverteilung der eingeschlossenen Patienten. Über den Balken stehen die absoluten Zahlen der jeweiligen Altersgruppe. Der Farbunterschied kennzeichnet die Einteilung der Altersgruppen. (Eigene Darstellung)

Insgesamt waren 144 Patienten (58%) wohnhaft in Berlin, 101 Patienten (41%) waren Touristen und bei drei Patienten (1%) fehlten die Angaben. Zwanzig Patienten (8%) hatten einen Wegeunfall auf dem Arbeitsweg bzw. während der Arbeit.

3.2. Unfallzeitpunkt

Eine Häufung von E-Scooter Unfällen zeigte sich in den Sommermonaten Juni bis September (75%) sowie nachmittags zwischen 12:00-17:59 Uhr (40%) und abends zwischen 18:00-23:59 Uhr (29%), wie in Abbildung 4 dargestellt ist. Die Einteilung der Tageszeiten erfolgte in Morgens (06:00-11.59 Uhr), Nachmittags (12:00-17:59 Uhr), Abends (18:00-23:59 Uhr) und Nachts (00:00-05:59 Uhr).

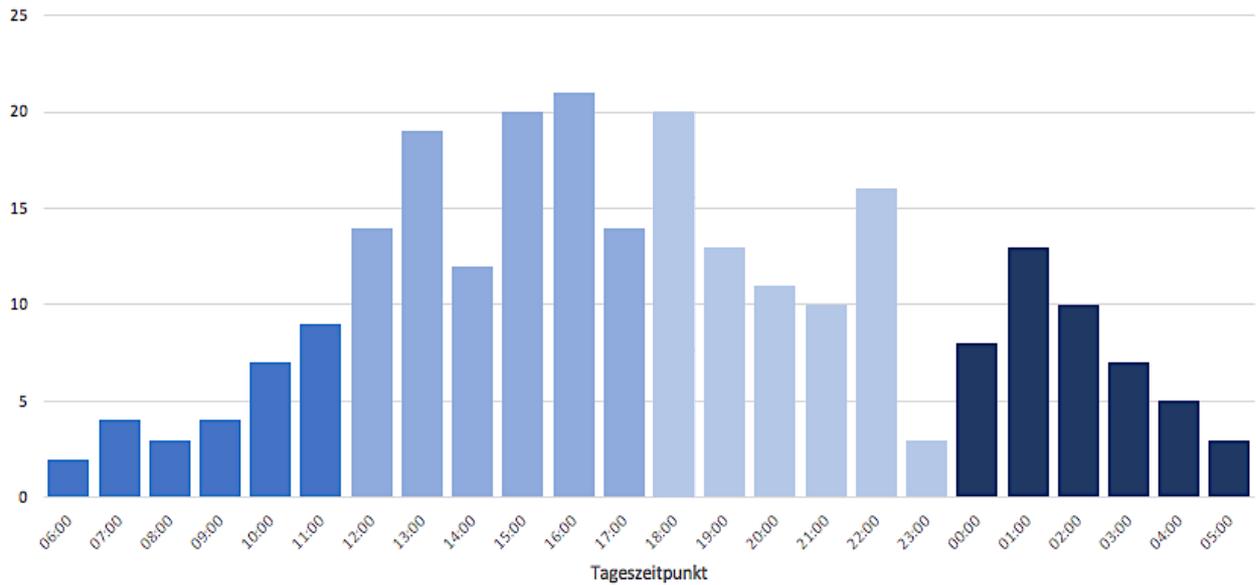


Abbildung 4 Darstellung der Zeitpunkte der Rettungsstellenvorstellungen. Die Zeitpunkte sind entsprechend der Gruppierungen Morgens (06:00-11.59 Uhr), Nachmittags (12:00-17:59 Uhr), Abends (18:00-23:59 Uhr) und Nachts (00:00-05:59 Uhr) farbkodiert. (Eigene Darstellung)

Eine Zunahme von E-Scooter Unfällen (wie in Abbildung 5 dargestellt) konnte ebenfalls an den Wochenendtagen Freitag bis Sonntag beobachtet werden. Hier lag die Unfallwahrscheinlichkeit für E-Scooter um 30% höher als von Montag bis Donnerstag.

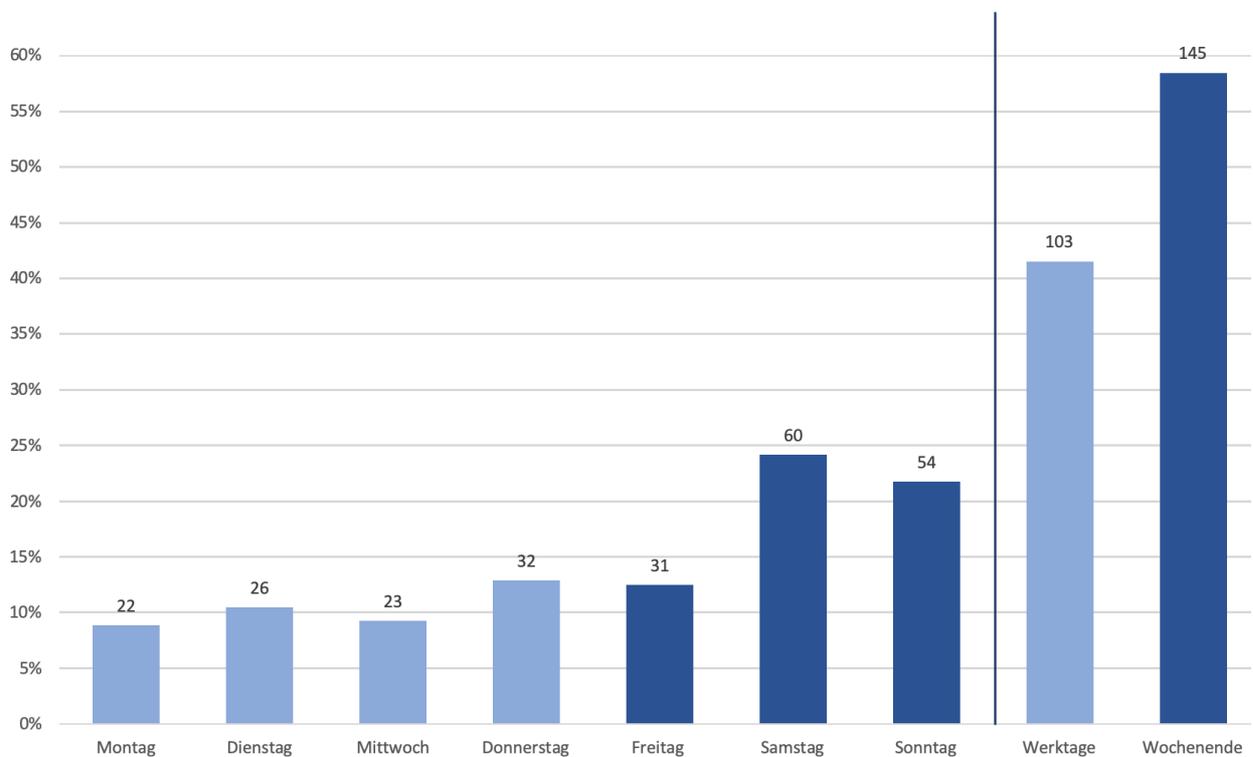


Abbildung 5 Verteilung der Rettungsstellenvorstellungen entsprechend der Wochentage. Zudem erfolgte die Einteilung der Werktag (Montag bis Donnerstag) im Vergleich zu den Wochenendtagen (Freitag bis Sonntag). (Eigene Darstellung)

3.3. Unfallursachen

Die Unfallursachen lassen sich in Selbstverschulden der Fahrer und in Einwirkungen externer Einflüsse unterscheiden. Eine Übersicht der Unfallursachen ist Tabelle 1 zu entnehmen. In den meisten Fällen geschahen Unfälle ohne einen externen Einfluss, also durch Selbstverschulden (57%). Hierbei gaben die Patienten an, aufgrund von Fahrbahnunebenheiten, Spurrillen und Bordsteinkanten oder durch einen Gleichgewichts- und Kontrollverlust bei einhändigem Fahren durch Anzeigen des Richtungswechsels oder Bedienen des Smartphones gestürzt zu sein. Ursächlich für den Kontrollverlust waren laut Angaben der Patienten die Unsicherheit bei hoher Geschwindigkeit, das erschwerte Balancieren des E-Scooters bei einhändigem Fahren und den hintereinander aufgestellten Füßen auf der schmalen Stehplattform. Ähnliche Unfallursachen berichteten 12 Patienten (5%), die während des Bremsmanövers gestürzt waren. 18 Patienten (7%) konnten einem unbelebten Objekt nicht mehr rechtzeitig ausweichen und verletzten sich bei der Kollision. Eine besondere Beobachtung konnte durch Unfälle aufgrund der Straßenbahngleise (8%) gemacht werden. Patienten rutschten entweder aus oder blieben mit den relativ kleinen Rädern des E-Scooters in den Gleisen stecken und stürzten. Eine bisher neuartige Verletzung konnte bei 27 Patienten (11%) in Form von Riss-/Platzwunden an den unteren Extremitäten, insbesondere im Bereich des Malleolus mediales festgestellt werden. Die Verletzungen entstanden durch das Anschlagen an die scharfkantige Stehplattform des E-Scooters oder an hervorstehenden Schrauben des Hinterrades. Bei dem sog. Tandem-Fahren verletzten sich fünf Patienten (2%).

Insgesamt wurden 12 Patienten (5%) als E-Scooter Fahrer von einem Kraftfahrzeug im Straßenverkehr angefahren und verletzt. Ein Patient erlitt ein schweres Überrolltrauma durch ein Lastkraftfahrzeug.

Tabelle 1 Übersicht der Verletzungs- und Unfallursachen entsprechend der Patientenangaben und der ärztlichen Dokumentation. (*Eigene Darstellung*)

Angaben zu Verletzungs- und Unfallursachen	
Unfallursachen	n=248
Gleichgewichts- / Kontrollverlust	141 (57%)
Am E-Scooter selbst verletzt	27 (11%)
Tram- / Bahngleise	20 (8%)
Objekt angefahren	18 (7%)
Getroffen von Kfz	12 (5%)
Bremsmanöver	12 (5%)
Getroffen von E-Scooter Fahrer	9 (4%)
Tandem-Fahrten	5 (2%)
Andere	4 (1%)

3.4. Verletzungsmuster

Eine Verteilung der Verletzungen entsprechend der betroffenen Körperregionen ist in Tabelle 2 dargestellt. Abbildung 6 veranschaulicht die jeweiligen Verletzungsentität in Abhängigkeit von der betroffenen Körperregion. Doppelnennungen sind bei multiplen Verletzungen möglich.

Tabelle 2 Verteilung der betroffenen Körperareale durch E-Scooter Unfälle. Der Torso wurde zudem unterteilt in Thorax, Abdomen und Rücken. Mehrfachnennungen sind bei multifokalen Verletzungen möglich. (*Eigene Darstellung*)

Verletzungsverteilung	
Körperteil	n=248
Kopf	101 (41%)
Torso	27 (11%)
<i>Thorax</i>	17 (7%)
<i>Abdomen</i>	5 (2%)
<i>Rücken</i>	5 (2%)
Obere Extremitäten	92 (37%)
Untere Extremitäten	103 (42%)

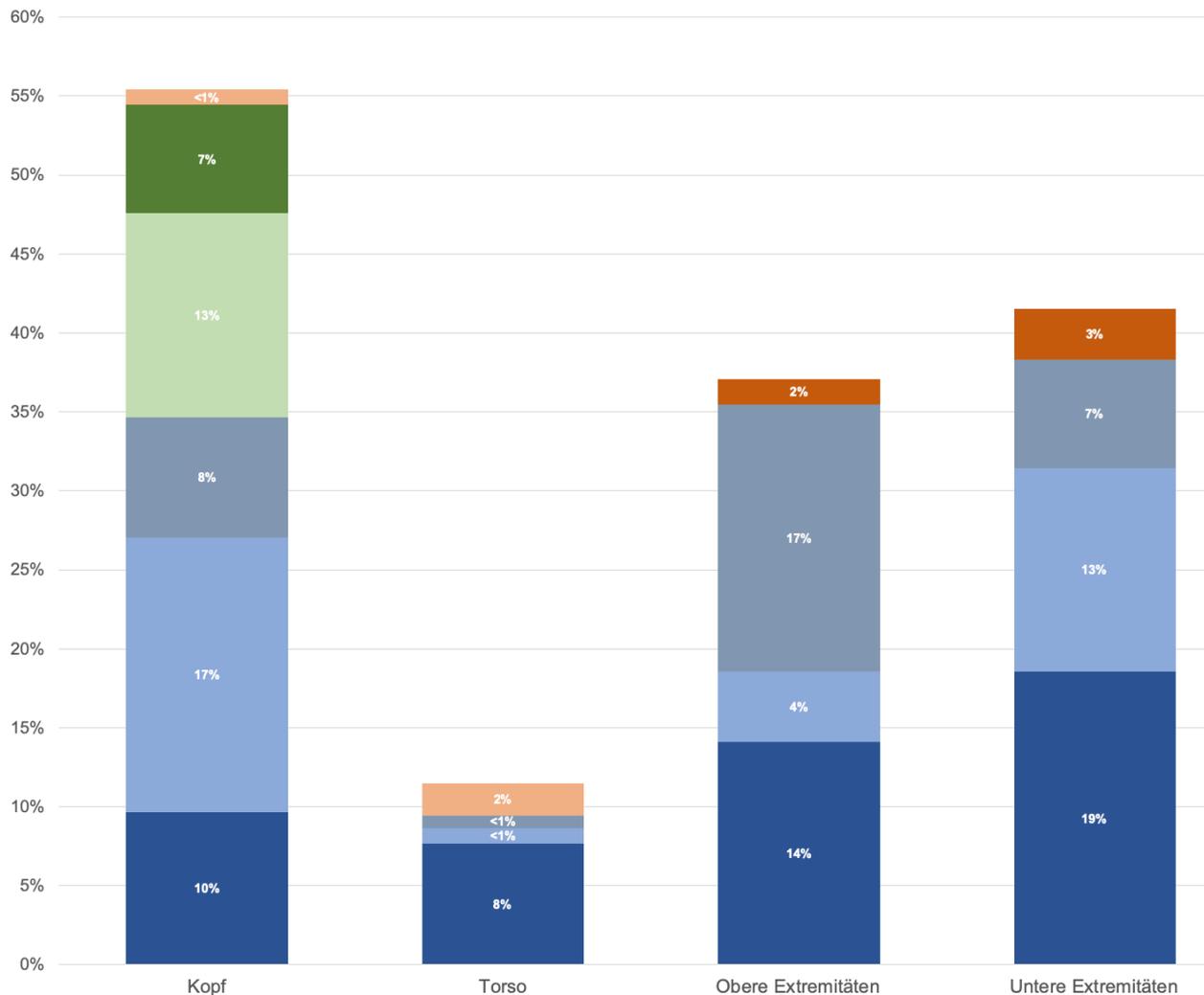


Abbildung 6 Darstellung der jeweiligen Verletzungsentitäten in Bezug auf die betroffene Körperregion. Die Verletzungsarten sind für die Vergleichbarkeit zwischen den Körperarealen gleichermaßen farbkodiert. *Dunkelblau*: Prellungen; *hellblau*: Riss-/Platzwunden; *grau*: Frakturen; *hellgrün*: Schädel-Hirn-Traumata; *dunkelgrün*: Zahnschäden; *beige*: Organschäden; *orange*: ligamentäre Verletzungen. (Eigene Darstellung)

Verletzungen der Extremitäten traten bei 178 Patienten (72%) auf und waren die häufigste Verletzungslokalisation. Kombinierte Verletzungen der oberen und unteren Extremitäten traten bei 17 Patienten (7%) auf. Die unteren Extremitäten waren häufiger betroffen als die Oberen (34% vs. 30%, $p=0,477$), jedoch ohne einen statistisch signifikanten Unterschied. Weichteilschäden wie Prellungen, oberflächliche Schürfwunden, Hämatome und Riss-/Platzwunden konnten häufiger an den unteren Extremitäten beobachtet werden (32% vs. 18%, $p=0,002$). Riss-/Platzwunden traten 3-Mal häufiger an den unteren Extremitäten auf und konnten insbesondere am medialen Sprunggelenk lokalisiert werden (13% vs. 4%, $p=0,001$). Frakturen wurden häufiger an

den oberen Extremitäten festgestellt (7% vs. 17%, $p=0,001$). Die genaue Frakturlokalisierung ist in Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3 Übersicht über die genaue Frakturlokalisationen der betroffenen Extremitäten. Einteilung in obere und untere Extremitäten. Mehrfachnennungen sind aufgrund multifokaler Verletzungen möglich. (*Eigene Darstellung*)

Angaben zu Frakturlokalisierung	
Obere Extremitäten	42 (17%)
Klavikula	3 (7%)
Humerus	7 (18%)
Olekranon und Radiusköpfchen/-hals	9 (21%)
Proximaler Radius	3 (7%)
Distaler Radius	9 (21%)
Ossa carpi	2 (5%)
Metakarpale	6 (14%)
Phalangen	3 (7%)
Untere Extremitäten	17 (7%)
Pelvis	1 (6%)
Femur	2 (12%)
Tibiaplateau	2 (12%)
Tibia	3 (18%)
Articulatio talocruralis	6 (34%)
Metatarsale	3 (18%)

Frakturen der oberen Extremitäten traten gehäuft distal des Ellenbogens auf. Die unteren Extremitäten waren seltener von Frakturen betroffen (7%), jedoch bestanden neben den gehäuft aufgetretenen Weichteilschäden und Prellungen eine Vielzahl von Verletzungen des Knieinnenapparates (4%). Ligamentäre Verletzungen der oberen Extremitäten (2%) beinhalteten zwei Acromioclavicular-Gelenksverletzungen und zwei anteriore Schulterluxationen.

Insgesamt traten 136 Kopfverletzungen in 101 Patienten (41%) auf. Sie stellten damit nach Verletzungen der unteren Extremitäten die häufigste Verletzungslokalisierung dar.

Eine Vielzahl von Patienten zeigten multiple Verletzungen des Kopfes, sodass unterschiedliche Verletzungsentitäten gemeinsam auftraten. Weichteilverletzungen traten in Form von Prellungen (10%) und Riss-/Platzwunden (17%) auf. Diese waren gehäuft im Mittelgesicht (Augenbrauen, Nasenrücken, Jochbein) sowie am Kinn lokalisiert. Frakturen (8%) traten gehäuft im Mittelgesicht auf und betrafen insbesondere das Nasenbein, den Oberkiefer oder das Jochbein. Neben ossären Verletzungen konnten bei 17 Patienten (7%) behandlungspflichtige Zahnschäden festgestellt werden.

Ein SHT entsprechend den diagnostischen Kriterien (posttraumatische Bewusstseinsstörungen, Übelkeit und/oder Erbrechen, Kopfschmerzen, neurologische Ausfallerscheinungen, Erinnerungslücken für mindestens 6 Stunden posttraumatisch) konnte bei 32 Patienten (13%) festgestellt werden. Ein Patient erlitt eine intracerebrale Blutung (ICB), die in der Computertomographie detektiert werden konnte (Abbildung 7).

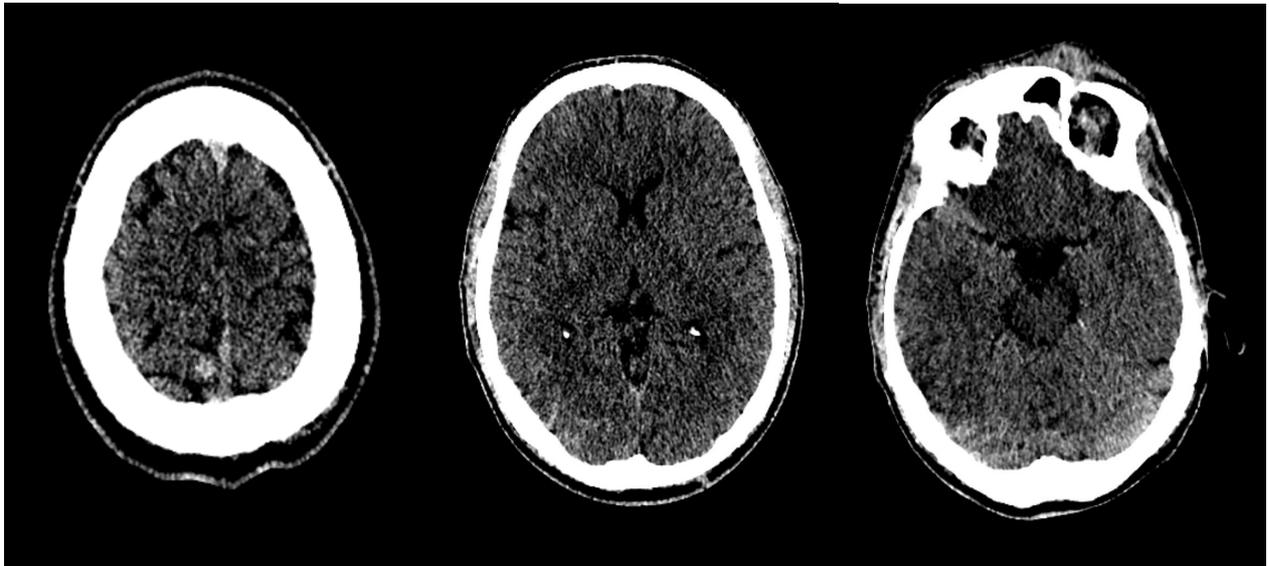


Abbildung 7 Ausschnitte aus der Computertomographie des Kopfes eines Patienten mit diagnostiziertem SHT und ICB im Sinne eines Coup-Contrecoup Mechanismus. a) fokale ICB parafalzin rechts hochparietal (Contrecoup) b) sulcale Subarachnoidalblutung rechts supratentoriell c) Prellmarke links frontal (Coup). (*Eigene Darstellung*)

Verletzungen des Torsos (Thorax, Abdomen und Rücken) konnten seltener beobachtet werden (siehe Abbildung 6). In den meisten Fällen traten Prellungen auf (8%). Frakturen traten bei zwei Patienten (<1%), in Form von einer isolierten Rippenfraktur und einer stabilen Wirbelkörperfraktur auf Höhe des ersten Lendenwirbelkörpers auf. Schwerwiegende Organverletzungen traten bei fünf Patienten (2%) auf. Diese Patienten erlitten in Folge des E-Scooter Unfalls eine Leber- und eine Milzlazeration, einen ein- und einen beidseitigen Pneumothorax sowie einen Hämatothorax. Kein Patient verstarb aufgrund der Verletzungen.

3.5. Ambulante und Stationäre Behandlung

Eine chirurgische Intervention war bei 122 Patienten (49%) erforderlich und wurde ambulant oder stationär durchgeführt. Mehr als die Hälfte dieser Patienten (26%) erhielten noch in der Rettungsstelle eine ambulante chirurgische Versorgung im Sinne einer Wundbehandlung, Hautnaht oder Frakturruhistellung. Bei 57 Patienten (23%) wurde die Indikation für eine operative Versorgung gestellt.

Insgesamt wurden 61 Patienten (25%) stationär aufgenommen. Die mediane Krankenhausverweildauer betrug 3 Tage (Q1-Q3: 1 – 5 Tage, Spannweite: 1 – 12 Tage). Patienten mit einem SHT wurden durchschnittlich für einen Tag zur stationären Beobachtung aufgenommen (Q1-Q3: 1 – 2 Tage, Spannweite: 1 – 6 Tage; $p < 0.001$).

Ein Patient musste aufgrund eines Überrolltraumas durch ein Lastkraftfahrzeug mit einem großflächigen Decollément der beiden unteren Extremitäten in eine Klinik mit Schwerpunkt für plastisch- und rekonstruktive Chirurgie verlegt werden.

3.6. Freiwillige Befragung

An der freiwilligen Befragung nahmen insgesamt 120 Patienten (48%) teil. Unter den Befragten gaben 82 Patienten (68%) an im Besitz eines Führerscheins zu sein. 62 Patienten (52%) hatten angegeben, keine Vorerfahrungen mit E-Scootern gehabt zu haben. Unter 58 Befragten (48%) mit Vorerfahrungen waren 15 Patienten (12%) zuvor 1-3 Mal mit einem E-Scooter gefahren, weitere sieben Patienten (6%) standen schon 3-5 Mal auf einem E-Scooter und die Mehrzahl von 36 Patienten (30%) gaben Erfahrungen von mehr als fünf Fahrten mit einem E-Scooter an.

3.7. Risikofaktoren

Für die weitere Untersuchung wurden folgende Risikofaktoren für das gehäufte Auftreten von E-Scooter assoziierten Unfällen definiert: Alkoholkonsum, das Nichttragen eines Helmes, der touristische Besuch, mangelnde Erfahrung mit dem Fahren von E-Scootern und ein fehlender Führerscheinbesitz.

Alkoholkonsum

Ein positiver Atemalkoholtest konnte bei 48 Patienten (20%) nachgewiesen werden. Eine stationäre Aufnahme war bei 18 von 48 Patienten (38%) erforderlich. Elf Patienten (23%)

hatten eine operationspflichtige Verletzung ($p=0,810$) und 15 Patienten (31%) haben ein Schädel-Hirn-Trauma (SHT) erlitten ($p<0,001$).

Nichttragen eines Helmes

Ein möglicher protektiver Effekt durch das Tragen eines Helmes konnte aufgrund der geringen Fallzahl von drei Patienten (1%) nicht ausreichend untersucht werden. Zwar trat unter den Helmträgern kein SHT auf, jedoch schützte der Helm nicht vor Verletzungen im Bereich des Gesichts. Es konnte eine Fraktur des Unterkiefers in Folge des Frontalsturzes auf das Kinn festgestellt werden.

Touristischer Besuch

Im untersuchten Kollektiv gaben 101 Patienten (41%) an, aus touristischen Zwecken in Berlin zu sein. Von diesen waren 23 Patienten (23%) unter Alkoholeinfluss in den Nachtstunden von 00.00–05.59 Uhr verunfallt. Die Auftrittswahrscheinlichkeit für einen E-Scooter Unfall war für einen alkoholisierten Touristen zwischen 00.00–05:59 Uhr 5-fach erhöht (OR 4.95, CI 95% 1.2 – 21.0, $p=0,023$).

Vorerfahrungen

Fehlende Erfahrungen mit einem E-Scooter wurden im Rahmen der Befragung von 62 Patienten angegeben (52%) und waren somit kein statistisch signifikanter Risikofaktor. Es bestand zudem kein statistisch signifikanter Zusammenhang in Bezug auf Vorerfahrungen und stationäre Aufnahmen ($n=15$ (26%); $p=0,302$) oder für das Entstehen einer operationspflichtigen Verletzung ($n=11$ (19%); $p=0,252$). In der vorliegenden Befragung besaßen 82 Patienten (68%) keinen Führerschein. Der Besitz eines Führerscheins zeigte keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die Entstehung von E-Scooter assoziierten Unfällen und SHTs, einer operationspflichtigen Verletzung oder einer stationären Aufnahme.

3.7.1. Geschlechterunterschiede

Die Geschlechterverteilung innerhalb der Studie war nahezu gleich (männlich: $n=129$ (52%) vs. weiblich: $n=119$ (48%)). Die weiblichen Studienteilnehmer waren im Median ohne einen statistisch signifikanten Unterschied älter (männlich: 28 Jahre \pm 14 Jahre (IQR) vs. weiblich: 30 Jahre \pm 22 Jahre (IQR); $p=0,384$). In den Angaben zur Herkunft, zum Unfallzeitpunkt und zu Unfällen während der Arbeitszeit gab es keine statistisch signifikanten Unterschiede. Aus der freiwilligen Befragung der 60 weiblichen und 60

männlichen Studienteilnehmer zeigten sich hingegen signifikante Unterschiede hinsichtlich der Vorerfahrungen mit dem E-Scooter. 37 männliche und 21 weibliche Studienteilnehmer gaben an, zuvor mit einem E-Scooter gefahren zu sein (31% vs. 18%; $p=0,002$). Der Führerscheinbesitz war in beiden Geschlechtergruppen gleich repräsentiert (männlich: $n=44$ (37%) vs. weiblich: $n=38$ (32%); $p=0,086$). Bezüglich der Unfallursache oder -entstehung bestanden keine geschlechterspezifischen Unterschiede. Bei dem Verletzungsmuster traten Kopfverletzungen für beide Geschlechter am häufigsten auf. Ein SHT trat gehäuft bei männlichen Patienten mit einem statistisch signifikanten Unterschied auf ($n=22$ (9%) vs. $n=10$ (4%); $p=0,042$). Frakturen des Kopfes und des Mittelgesichts traten ebenfalls vermehrt im männlichen Studienkollektiv auf, jedoch ohne einen statistisch signifikanten Unterschied ($n=13$ (5%) vs. $n=6$ (2%); $p=0,300$). Thorakale Verletzungen ($n=17$) traten nahezu ausschließlich bei männlichen Patienten auf ($n=15$ (6%); $p=0,002$). Schwere thorakale Verletzungen wie der Pneumo- und Hämatothorax konnten ausschließlich bei männlichen Patienten beobachtet werden ($p=0,043$). Das Auftreten abdomineller Verletzungen zeigte keinen Geschlechterunterschied, wobei die Milz- und Leberlazerationen ausschließlich bei männlichen Studienpatienten auftraten. Bei Verletzungen der oberen Extremitäten bestanden keine signifikanten Unterschiede. Männliche Patienten hatten häufiger Riss-/Platzwunden an den Innenknöcheln durch das Anschlagen während des Antretens des E-Scooters (männlich: $n=17$ (7%) vs. weiblich: $n=6$ (2%); $p=0,011$). Es bestanden keine Verletzungen, die häufiger bei weiblichen Patienten beobachtet werden konnten. Die stationäre Aufnahme (männlich: $n=36$ (15%) vs. weiblich: $n=25$ (10%); $p=0,208$) und die Verweildauer (männlich: 3 ± 5 Tage (IQR) vs. weiblich: 3 ± 3 Tage (IQR); $p=0,535$) waren zwischen den Geschlechtern vergleichbar. Ein positiver Atemalkoholtest wurde häufiger bei männlichen Patienten erfasst (männlich: $n=35$ (14%) vs. weiblich: $n=14$ (6%); $p=0,002$).

3.7.2. Altersunterschiede

Der Altersschwerpunkt dieses Studienkollektivs lag zwischen 18–40 Jahren ($n=178$; 71%). Zehn Patienten waren minderjährig, drei von ihnen waren unter 14 Jahre alt. In der Gruppe der 18–40-Jährigen verletzten sich 110 Patienten (44%) durch Stürze infolge eines Gleichgewichts- oder Kontrollverlustes. Altersspezifische Unterschiede in den Unfallmechanismen zeigten sich folgendermaßen: Verletzungen durch das Anschlagen

am E-Scooter während des Antretens konnten gehäuft bei 20 Patienten (8%) in der Gruppe der 18–30-Jährigen beobachtet werden ($p=0,018$), das Anfahren von unbelebten Objekten ($n=14$, 6%) und Stürze in Folge eines plötzlichen Bremsmanövers ($n=10$, 4%) konnten gehäuft in der Altersgruppe 18–40 Jahre beobachtet werden, Stolperstürze über parkende E-Scooter konnten hingegen ausschließlich in der Patientengruppe der über 61-Jährigen ($n=4$; 2%) beobachtet werden.

Während keine signifikanten Unterschiede der Verletzungsverteilung in Anbetracht des Alters festgestellt werden konnten, zeigte sich hingegen ein erhöhtes Frakturrisiko mit steigendem Patientenalter: von 30 Patienten zwischen 41–50 Jahren erlitten insgesamt 14 Patienten (47%), von 18 Patienten zwischen 51–60 Jahren insgesamt 9 (50%) Patienten und von 12 Patienten im Alter über 61 Jahren erlitten insgesamt sieben Patienten (58%) Frakturen ($p=0,011$). Knochenbrüche bestanden signifikant häufiger bei Patienten, die älter als 40 Jahre waren (≤ 40 Jahre: $n=51$ (29%) vs. >40 Jahre: $n=28$ (40%); $p=0,018$). Operationsindikationen wurden häufiger in dieser Altersgruppe gestellt, jedoch ohne einen statistisch signifikanten Unterschied (≤ 40 Jahre: $n=36$ (20%) vs. >40 Jahre: $n=21$ (30%); $p=0,30$). Das Risiko einer Operation stieg um das 2,5-fache jenseits des 50. Lebensjahres (OR 2,5, CI 95% 1,1-6,1; $p=0,018$) und um nahezu das 3-fache für das Auftreten einer Fraktur (OR 2,8, CI 95% 1,2-6,1; $p=0,007$). Minderjährige hatten keine Frakturen oder operationspflichtige Verletzungen und wiesen ausschließlich Weichteilverletzungen auf ($n=8$, $p=0,041$). Für das SHT ($n=27$, 15%) und die stationäre Aufnahme ($n=45$, 25%) bestanden keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Altersgruppen ($p=0,790$ und $p=0,931$). Alkoholisierte Fahrten konnten statistisch signifikant häufiger in der Altersgruppe von 18-40 Jahren festgestellt werden ($n=43$ (24%) vs. $n=6$ (9%); $p=0,018$).

3.7.3. Schädel-Hirn-Trauma

In der vorliegenden Untersuchung führten E-Scooter Unfälle zu einer erhöhten Auftrittswahrscheinlichkeit von Kopfverletzungen ($n=101$, 41%), sodass ein weiterer Schwerpunkt dieser Analyse in der Identifikation von Risikokonstellationen für das Auftreten eines SHTs besteht ($n=32$, 13%).

Der Großteil dieses Patientenkollektivs wurde im CVK ($n=16$, 50%) und CCM ($n=11$, 34%) vorstellig ($p=0,003$). Die Vorstellung dieser Patienten erfolgte zumeist in den späten Abend- bzw. Nachtstunden (18:00–05:59 Uhr) (kein SHT: $n=87$ (40%) vs. SHT: $n=22$

(69%); $p=0,006$). Unter 68 Patienten (27%) mit einer Weichteilverletzung des Kopfes erfüllten elf Patienten (16%) die Kriterien des SHT, jedoch ohne eine statistisch signifikante Korrelation ($p=0,282$). Bei 43 Patienten (17%) mit einer interventionsbedürftigen Riss-/Platzwunde im Bereich des Kopfes konnte ein statistisch signifikanter Zusammenhang zum Auftreten eines SHT festgestellt werden (Riss-/Platzwunde + SHT: $n=10$ (23%) vs. kein SHT: $n=33$ (77%); $p=0,019$). Unter den befragten Patienten mit einem SHT ($n=16$, 28%) gaben 12 Patienten (21%) Vorerfahrungen im Umgang mit E-Scootern an ($p=0,024$).

Bei 15 Patienten (47%) mit einem SHT bestand ein positiver Atemalkoholtest. Es bestand ein 5-fach erhöhtes Risiko für das Entstehen eines SHT nach E-Scooter Unfällen unter Alkoholeinfluss (OR 4,8; CI 95% 2,2-10,7, $p<0,001$).

4. Diskussion

E-Scooter sind aufgrund ihrer technischen Innovation sowie des Sharing-Konzepts sehr beliebt und führten zu einer prompten Veränderung des innerstädtischen Straßenverkehrs [3, 4]. Der einfache Zugang per Smartphone App, die hohe Verfügbarkeit und das schnelle Fahrerlebnis, ohne Führerscheinplicht könnten ungeübte Verkehrsteilnehmer zum Ausprobieren und geübte Fahrer zu einem riskanten Fahrstil verleiten. Die bisherigen Ergebnisse aus der Literatur geben Aufschluss über die Verletzungshäufigkeiten, nehmen jedoch wenig Bezug zu klinischen Angaben, den Unfallursachen und weiteren Umständen, wie Risikofaktoren oder bisherige Fahrerfahrungen. In dieser Promotionsschrift und der damit einhergehenden Publikation konnten Unfallursachen, Verletzungsmuster, Risiken und daraus abgeleitet mögliche Verbesserungsvorschläge zur Risikoreduktion von Verletzungen ermittelt und diskutiert werden. Innerhalb des Untersuchungszeitraums von sechs Monaten mit Beginn der Straßenzulassung konnten in den vier zentralen Rettungsstellen der Berliner Innenstadt bereits 248 Patienten nach E-Scooter Unfällen registriert werden. Zum jetzigen Zeitpunkt ist dies die größte und erste prospektive multizentrische Beobachtungsstudie zur Untersuchung der E-Scooter Unfallmechanismen und Verletzungsmuster.

Die bisherigen Erkenntnisse unserer ersten Fallserie ließen sich im Rahmen der hier vorliegenden Studie bestätigen und genauer ausführen [35]. Die Studienergebnisse und die Anzahl detektierter E-Scooter Unfälle decken sich mit den internationalen Untersuchungen. Bekhit et al. ermittelten 245 Patienten mittels Daten aus der staatlichen Unfallversicherung, die sich in Krankenhäusern in Auckland (Neuseeland) innerhalb von sechs Monaten vorstellten und weiteren 525 Patienten im selben Zeitraum, die sich in der ambulanten Versorgung vorstellten [32]. Hieraus errechneten die Autoren eine Inzidenzrate von 60 Unfällen pro 100.000 Fahrten [32].

Ishmael et al. erfassten in einem Beobachtungszeitraum von zwei Jahren lediglich 73 orthopädische Patientenvorstellungen im Rahmen von E-Scooter Unfällen [39]. Ein Beobachtungszeitraum von sechs Monaten und die Erfassung an vier verschiedenen Standorten zur selben Zeit macht eine fundierte Aussage über die Unfallfolgen und -mechanismen in der vorliegenden Arbeit möglich. Die meisten Patienten aus der bekannten Studienlage waren zwischen 18-40 Jahre alt und sind durch einen Verstoß gegen die Verkehrsregeln, einen besonders risikofreudigen Fahrstil oder nach

Alkoholkonsum verunfallt [31, 35, 40-42]. Zusätzliche Risikogruppen waren Touristen und Minderjährige. Ursächlich dafür könnten mangelnde Ortskenntnisse, die Unkenntnis der lokalen Gegebenheiten, wie Straßenbahnschienen oder eine allgemeine Unerfahrenheit im Straßenverkehr sein.

Die erlaubte Blutalkoholgrenze für die Nutzung von E-Scootern liegt bei 0.05‰. Eine Überschreitung wird mit Bußgeldzahlungen bis hin zu strafrechtlichen Verfolgungen geahndet [29, 43]. Dennoch wird auch in internationalen Studien bei bis zu einem Drittel der E-Scooter Verunfallten Alkohol nachgewiesen [17, 32, 40-42, 44, 45]. In dieser Untersuchung fiel auf, dass E-Scooter Unfälle, die nachts und am Wochenende auftraten, signifikant häufiger mit Alkoholkonsum assoziiert waren. Die Verletzungsmuster waren zudem häufig schwerer, im Sinne der Entstehung eines SHT, von Verletzungen mit Organbeteiligungen und operationspflichtigen Verletzungen.

Im Vergleich zu bisherigen Untersuchungen bestanden nur wenige geschlechterspezifische Unterschiede bezüglich der Unfallmechanismen und Verletzungsmuster [31, 35, 41, 44, 46, 47]. Neben schwerwiegenden Verletzungen mit Organbeteiligung wie dem SHT, Pneu- und Hämatothorax sowie viszeraler Organlazerationen zeigten sich Riss-/Platzwunden an den Innenknöcheln insbesondere bei jungen männlichen Patienten [17, 23].

Während der Geschäftsabschluss und die Einstimmung zu den Geschäftsbedingungen nur durch einen Nachweis der Volljährigkeit und Angaben der Kreditkarten-Daten zur Überprüfung der Geschäftsfähigkeit erfolgt, dürfen E-Scooter in Deutschland bereits ab dem 14. Lebensjahr gefahren werden. Dies bedeutet, dass jeder Minderjährige mit den Kreditkarten-Angaben eines geschäftsfähigen und der App auf einem Smartphone mit einem gemieteten E-Scooter fahren darf. In dieser Untersuchung stellten sich zehn Minderjährige, davon drei unter 14 Jahren, meist in Begleitung eines Erwachsenen vor. Die Rate der Minderjährigen liegt in bisherigen Veröffentlichungen ebenfalls zwischen 4-33% [31, 35, 39, 42, 45, 47, 48]. In Israel und Kalifornien ist auf die hohen Raten von E-Scooter Verletzungen bei Minderjährigen mit der Einführung einer Altersbeschränkung von 18 Jahren und in dem US-Bundesstaat zudem mit einer Führerscheinplicht entgegengewirkt worden [11]. Die Umsetzung einer Altersgrenze ab 18 Jahren könnte einen erschwerten Zugang für Minderjährige bedeuten, insofern Kontrollen in Form einer gesetzlichen Regelung hierfür erfolgen. In der studieneigenen Befragung konnte jedoch kein protektiver Effekt durch den Besitz eines Führerscheins (n=82) festgestellt werden.

E-Scooter Fahrten könnten zukünftig eine Entlastung des Straßenverkehrs als Ergänzung zum öffentlichen Personennahverkehr bedeuten. Der vergleichbar hohe Anteil betroffener Touristen mit 41% und dem hohen Anteil alkoholisierter Patienten mit 20% könnte jedoch auch den Erlebnis- und Spaßfaktor bei E-Scooter Fahrten verdeutlichen [41, 44].

Die Berliner Innenstadt wird jährlich von Millionen Touristen, mit einem Höhepunkt in den Sommer- sowie Ferienmonaten, besucht. Dies könnte den Anstieg der Rettungsstellenvorstellungen zwischen Juli und September sowie die Zunahme zum Wochenende erklären. Trivedi et al. ermittelten, dass die Mehrzahl der Aufnahmen am Wochenende (58%) erfolgten und Ishmael et al. zeigten einen Schwerpunkt in den Monaten Juli sowie August [31, 39]. Insgesamt erfolgen die meisten E-Scooter Unfälle am Abend und am Wochenende [10, 16, 19, 49-51]. Die häufigsten Unfälle ereigneten sich zum Nachmittag, wohingegen zum Wochenende der Anteil an späten und nächtlichen Vorstellungen in der Rettungsstelle deutlich zunahm. Nächtliche Rettungsstellenvorstellungen aufgrund von E-Scooter Unfällen waren insbesondere am Wochenende mit einer Alkoholanamnese korreliert. Zudem zeigte sich eine statistische Signifikanz hinsichtlich der Unfallschwere bei E-Scooter Fahrten unter Alkoholeinfluss. In der Literatur schwanken die Angaben zwischen 13-33% [17, 31, 39, 42, 44, 45, 52]. Der Einfluss und das Ausmaß der Verletzungen decken sich in der hier vorliegenden Untersuchung mit denen der Literatur [17, 31, 39, 42, 44, 45, 52]. Im Rahmen wissenschaftlicher Befragungen von E-Scooter Fahrern gaben bis zu 39% an, bereits unter Alkoholeinfluss mit dem E-Scooter gefahren zu sein [24, 53]. Möglicherweise ist die Hemmschwelle für die alkoholisierte E-Scooter Fahrt geringer, aufgrund der fehlenden Identifikation als vollwertiger Straßenverkehrsteilnehmer. Die Fahrt wird vielmehr als Vergnügen gewertet. Diese Sichtweise könnte neben dem Alkoholkonsum auch zu weiteren Verstößen gegen die geltenden Straßenverkehrsordnungen und einer hohen Risikobereitschaft im Fahrstil führen. Das statistische Bundesamt ermittelte E-Scooter Fahrten unter Alkoholeinfluss bei 20%, bei Radfahrern waren es unter 5% [33]. Die Gründe der Rettungsstellenvorstellung durch E-Scooter sind vielfältig, aber zum Teil mit denen anderer Zweiräder, wie dem Fahrrad vergleichbar. Beck et al. ermittelten innerhalb eines sechs-wöchigen Beobachtungszeitraums 62 Fahrrad- und 54 E-Scooter Unfälle [42]. In der umfassenden kalifornischen Studie von Trivedi et al. konnten mehr E-Scooter-Unfälle (n=249), als Fahrradunfälle (n=195) innerhalb eines Jahres festgestellt werden [31]. Campbell et al. benannten die muskuloskeletalen Folgen der E-Scooter-

Unfälle als zweithäufigste Ursache für orthopädische Operationen im Jahr 2019 [47]. Im Vergleich dazu wurden in einer großen Studie aus der Fahrradstadt Münster im Jahr 2010 insgesamt 2.250 Fahrradunfälle in 12 Monaten und darunter 1.527 Rettungsstellen-Vorstellungen (68%) ermittelt [54]. Unter den Fahrradunfällen sind hingegen deutlich höhere Kollisionsraten mit motorisierten Fahrzeugen, insbesondere bei jüngeren Patientengruppen (20-30 Jahre) festgestellt worden [18, 33, 54]. In der vorliegenden Studie waren lediglich 5% der Unfälle auf die Beteiligung eines motorisierten Straßenverkehrsteilnehmers zurückzuführen und somit vergleichbar mit der bisherigen Datenlage [31, 45, 47]. In Austin-Texas (USA) waren 15% und in Singapur 28% der E-Scooter Unfälle aufgrund einer Kollision mit einem Kraftfahrzeug ermittelt worden. Ein Umstand, der in Berlin kaum zutrifft und sowohl in der hier vorliegenden Arbeit als auch in der Erfassung des statistischen Bundesamtes festgestellt werden konnte [17, 33, 55]. Die häufigsten Unfallmechanismen in dieser Untersuchung stellten mit 57% Stürze ohne externen Einfluss dar und sind vergleichbar mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen (66-89%) [18, 31, 35, 40, 45, 47]. Die meisten Patienten gaben einen Kontrollverlust oder Gleichgewichtsschwierigkeiten auf der schmalen Plattform, bei relativ hohen Geschwindigkeiten, insbesondere bei unebenen Fahrstrecken an [17, 35, 52]. In der eigenen Untersuchung konnte ein Gleichgewichts-/Kontrollverlust vor allem während des Abbiegens, bei dem Versuch des Anzeigens von Richtungsänderungen oder durch die Bedienung des Mobiltelefons während der Fahrt festgestellt werden. Im Rahmen dessen wird der ohnehin schmale Griff nur noch einhändig bedient und die Fahrer stehen mit beiden Füßen hintereinander auf der engen Stehfläche, wodurch das Gleichgewicht schwieriger austariert werden könnte. In einer experimentellen Studie mit freiwilligen und unerfahrenen Studienteilnehmern war das einhändige Fahren unter anderem durch das Anzeigen der Richtungsänderung der höchste Unsicherheitsfaktor während der E-Scooter Fahrt [36].

Eine Besonderheit in Berlin stellten die Stürze an den Straßenbahngleisen dar. Sowohl Fahrradreifen als auch die kleineren Räder der E-Scooter neigen dazu in den Spurrillen der Tramgleise stecken zu bleiben. Weiterhin führen die vergleichsweise kleinen Räder der E-Scooter ebenfalls zu Stürzen an den Bordsteinen, so auch bei etwa 7% der Patienten dieser Untersuchung. Hierbei neigten die E-Scooter insbesondere zum Kippen, sodass das kleine Vorderrad eher wie ein Drehmoment fungierte und die Fahrer über das Lenkrad stürzten. Aus internationalen Studien ist bekannt, dass bis zu einem Drittel der E-Scooter Unfälle auf den Gehwegen stattfinden und häufig auch Fußgänger beteiligt

sind [17, 31, 42, 45]. In der Studie von Trivedi et al. ereigneten sich 26% und in Austin 10% der Unfälle auf den Bürgersteigen [17, 31]. Hinsichtlich der geltenden gesetzlichen Reglementierung eines Fahrverbots auf den Bürgersteigen sind diese Verletzungen rückblickend durch schärfere Kontrollen und Aufklärungen vermeidbar. Hierdurch ließen sich auch Verletzungen unbeteiligter Passanten deutlich einschränken [17, 42, 47], denn in einigen Fällen kam es nicht nur zu Kollisionen mit Passanten, sondern auch zu Stolperstürzen über herumliegende E-Scooter durch unachtsame Fußgänger. Diese Patienten waren in nahezu allen Untersuchungen, einschließlich der eigenen Studie, älter als 65 Jahre [23, 27, 45]. Fahrer sollten daher zukünftig zu einem umsichtigen Abstellen der E-Scooter aufgefordert werden. Eine eindeutige Festlegung von Abstellplätzen könnte ebenfalls in Betracht gezogen werden.

In Paris wurden aufgrund von E-Scooter Unfällen auf den Gehwegen und des häufig kritisierten Stadtbildes durch herumliegende E-Scooter gesonderte Parkflächen eingeführt, sodass der Anteil von Gehweg-Unfällen auf 3% reduziert werden konnte [4]. Tandem-Fahrten stellen bei allen Vertreibern einen Verstoß gegen die allgemeinen Geschäftsbedingungen dar. Dennoch gehen neben den fünf Fällen aus dieser Arbeit auch weitere internationale Fälle aus den Daten mit zum Teil deutlich höheren Raten von 2-16% hervor [31, 42, 45, 52].

Die Verletzungsverteilung war multifokal und zeigte Ähnlichkeiten zu den Verletzungen von Fahrradunfällen [28, 33, 35, 40]. Datenauswertungen der europäischen Kommission zur Beobachtung der Straßensicherheit aus dem Jahr 2018 sowie die umfassende Münsteraner Untersuchung von 2012 ermittelten in 25% der Fahrradunfälle eine Beteiligung des Kopfes [54, 55]. Im direkten Vergleich führten E-Scooter Stürze in der hier vorliegenden Arbeit zu einer höheren Inzidenz an kraniofazialen Verletzungen. Bisherige Studien zeigten vergleichbare Angaben bei Verletzungen mit Kopfbeteiligungen von 26-58% und verweisen auch auf die Beteiligung von schweren Verletzungen im Bereich des Mittelgesichts bei 18-25% [39, 45, 47, 52, 56, 57]. Die Vielzahl an interventionsbedürftigen Riss-/Platzwunden des Kopfes, die Frakturen im Bereich des Mittelgesichts sowie des Unterkiefers und die hohe Inzidenz von SHT lassen Rückschlüsse auf ein sogenanntes Hochrasanztrauma zu [49, 58]. Ähnlich dem Ergebnis dieser Arbeit, konnten in bisherigen Arbeiten in 1-2% der Fälle intrakranielle Blutungen nach E-Scooter Unfällen festgestellt werden [56]. Die Inzidenz der SHT und die daraus resultierenden stationären Aufnahmen sind ebenfalls hoch, welche eine erhebliche Bedeutung in der Patientenversorgung haben und zudem ökonomische Auswirkungen

auf das Gesundheitssysteme bedeuten können. Im Vergleich zu den in der Literatur erwähnten Inzidenzen der SHT von 5-7% liegt die Raten mit 13 % in dieser Arbeit deutlich höher [31, 40, 56]. Zahnschäden wurden in den übrigen Untersuchungen selten dokumentiert, konnten in der eigenen Untersuchung jedoch bei einer Vielzahl der Patienten (7%) festgestellt werden [56, 59, 60]. Im Rahmen der Erstvorstellung müssen daher die gründliche körperliche Untersuchung, die Erhebung des neurologischen Status und die Abwägung der bildgebenden Diagnostik sowie eine konsekutive Überwachungspflicht deutlich gemacht werden. Auch wenn E-Scooter Fahrer zum Tragen eines Helms gemäß den Geschäftsbedingungen angehalten werden, zeigten nahezu alle Untersuchungen, dass dies nicht umgesetzt wird und so konnte der Helmgebrauch in nur 1-6% festgestellt werden [17, 42, 44, 45, 55, 56, 59, 61]. Eine gesetzliche Helmpflicht könnte zu einer Verbesserung der Sicherheit und Minimierung von Verletzungen beitragen [49]. Eine Studie aus Brisbane zeigte mit Einführung einer Helmpflicht und den zur Verfügung gestellten Helmen durch die Vertreiber einen Nachweis von 46% Helmträgern sowie eine signifikante Reduktion der Kopfverletzungen [41]. Dennoch soll an dieser Stelle erwähnt werden, dass der Helmgebrauch nicht grundsätzlich vor Unfällen schützt, sondern nur schweren Kopfverletzungen vorbeugt. Ein Helm kann nicht vor der hohen Anzahl an Weichteilverletzungen und Frakturen im Bereich des Gesichts oder vor Zahnschäden schützen [17, 35, 42, 44, 45, 47, 52, 56, 59, 60].

Verletzungen der unteren Extremitäten traten am häufigsten nach E-Scooter Unfällen auf [32, 41, 44]. Während Frakturen der unteren Extremitäten in nur 7% der Fälle auftraten, gab es einen hohen Anteil an Prellungen und Weichteilverletzungen [31, 41, 42, 62]. Bislang unbeschrieben sind die Riss-/Platzwunden an den Innenknöcheln. Durch das schnelle Antreten und den Versuch der zusätzlichen Beschleunigung konnten diese vor allem bei männlichen Patienten festgestellt werden. Die scharfkantigen Plattformen oder hervorstehenden Stellungsschrauben stellten eine Verletzungsquelle an den E-Scootern dar.

Die hohen Geschwindigkeiten und damit einhergehende frontale Stürze führten neben den Verletzungen des Kopfes zu einem hohen Anteil an Verletzungen der oberen Extremitäten [31, 39, 45, 52]. Insbesondere Frakturen (17%) der oberen Extremitäten traten gehäuft auf und sind in Anbetracht des hohen Anteils an Verletzungen des Kopfes auf die hohen Geschwindigkeiten zurückzuführen [17, 52, 56]. Die Hospitalisierungsrate von 25% ist im Vergleich zu den Angaben der Literatur (6-14%) höher, kann jedoch durch

den hohen Anteil an detektierten SHT und damit verbundener Überwachungspflicht erklärt werden [31, 42, 45, 48, 52].

Eine Operationsindikation bestand nahezu ausschließlich für muskuloskeletale Verletzungsfolgen [42, 62, 63]. Hieraus ließe sich die Relevanz der E-Scooter Unfälle für das Gesundheitssystem und insbesondere für die Krankenversorgung ableiten. Aus den Unfallmechanismen und den Traumafolgen lassen sich diverse Sicherheitsaspekte identifizieren, deren Verbesserung zukünftig angestrebt werden sollte [32, 47].

Technische Modifikationen und weiterführende Reglementierungen könnten zu einer Steigerung der Sicherheit von E-Scootern im Straßenverkehr beitragen und schließlich zu einer Reduktion von Unfällen führen. Aufgrund der vorangegangenen Fallserie und den ermittelten Erkenntnissen während der Studie wurden die ersten Verbesserungsvorschläge bereits (siehe Abbildung 8) in einer neuen Generation eines Berliner E-Scooter Herstellers umgesetzt. Die scharfkantige Stehplattform könnte abgerundet oder durch Gummileisten abgedeckt werden. Zudem wurden hervorstehende Schrauben am Hinterrad für eine zusätzlichen Minimierung des Verletzungsrisikos im Rahmen von Anpassungen der E-Scooter vermieden. Eine Halterung für Smartphones kann die Bedienung während der Fahrt erleichtern und durch eine Blinkervorrichtung am Lenker wird das Risiko des einhändigen Fahrens weitgehend verhindert. Außerdem stellte der E-Scooter Vertreiber einen ausklappbaren Helm in einigen E-Scooter Modellen zur Verfügung.



Abbildung 8 Neue E-Scooter Generation mit beiden Bremsen am Lenkergriff, einer Blinkeranlage am Lenker zur Anzeige der Richtungsänderung, eine Smartphone-Halterung, einem ausklappbaren Helm sowie abgerundeten und abgedeckten Plattformkanten und Hinterradschrauben. (Foto: Deniz Uluk)

5. Schlussfolgerung

Die Fahrten mit den innovativen E-Scootern stellen neben dem großen Spaßfaktor auch eine fortschrittliche Erweiterung der städtischen Mobilität dar. In Zusammenschau der Erkenntnisse bisheriger Untersuchungen und der neuerlichen Resultate dieser Arbeit sollten diverse Punkte in Zukunft diskutiert werden. Neben der Einführung einer Helmpflicht, einem strikten Alkoholverbot und dem Umsetzen der Altersgrenze für die Fahrten mit den E-Scootern, sollte eine Reduktion der Maximalgeschwindigkeit zur Minimierung schwerwiegender Verletzungen in Erwägung gezogen werden.

Bisherige Ergebnisse machen deutlich, dass die häufigsten schwerwiegenden Verletzungen den Kopf, das Gesicht und die oberen Extremitäten hinsichtlich überwachungspflichtiger SHT oder operationspflichtiger Frakturen betreffen. Die hier geschilderten Ergebnisse sollen den Ärzten in den Rettungsstellen, insbesondere zur Einschätzung gewisser Risikokonstellation für schwerwiegende Verletzungen dienen. Sodass bildgebende Diagnostiken zum Ausschluss organischer Verletzungen des Kopfes, Thorax und Abdomens sowie zur Sicherstellung von ossären oder ligamentären Schäden schnellstmöglich eingeleitet werden können und selbst trivial erscheinende Unfallmechanismen durch E-Scooter Fahrten nicht bagatellisiert werden.

5.1. Limitationen

Die Limitationen dieser Arbeit beziehen sich insbesondere auf die fehlende Vergleichsgruppe. Für valide Aussagen bezüglich des neuerlichen Risikos der E-Scooter-Unfälle im Vergleich zu bisherigen Fortbewegungsmodalitäten wie Fahrrädern oder motorisierten Zweirädern, sollten im gleichen Untersuchungsintervall alle weiteren Unfälle und Verletzungen erfasst werden. Des Weiteren konnte nur die Hälfte der Studienteilnehmer in die freiwillige Befragung involviert werden, sodass diese Ergebnisse lediglich als Stichprobe zu werten sind. Eine Unterschätzung der Anzahl an E-Scooter-Unfällen ist ebenfalls anzunehmen, da in einigen Fällen keine Vorstellung oder eine Vorstellung in der Niederlassung erfolgt.

5.2. Ausblick

Die Ergebnisse dieser Studie konnten zu einer maßgeblichen Veränderung der E-Scooter Konfiguration beitragen. In Zusammenarbeit und Kooperation mit weiteren Herstellern könnten die neueren Generationen der E-Scooter entsprechend der Studienerkenntnisse modifiziert und sicherer gemacht werden. Die Ergebnisse der Publikation und dieses Promotionsvorhabens wurden mit dem Ziel der Sensibilisierung für achtsames und vorsichtiges Fahren der Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Im Rahmen dessen wurde unter anderem im Juni 2021 ein Artikel im Spiegel und im März 2022 ein Artikel in der Süddeutschen Zeitung mit den Ergebnissen dieses Studienvorhabens der breiten Öffentlichkeit sowohl als gedruckte Version, als auch online zugänglich gemacht [64, 65]. Zukünftige Studien können basierend auf den Erkenntnissen dieser Studie die Auswirkungen der E-Scooter Unfälle und die damit einhergehenden Kosten für das Gesundheitssystem untersuchen und anderen Bewegungsmodalitäten gegenüberstellen.

Literaturverzeichnis

1. Luo, J., Boriboonsomsin, K., and Barth, M., *Consideration of exposure to traffic-related air pollution in bicycle route planning*. Journal of Transport & Health, 2020. 16: p. 100792.
2. Luo, X. and Qiu, R., *Electric vehicle charging station location towards sustainable cities*. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020. 17(8): p. 2785.
3. Moreau, H., de Jamblinne de Meux, L., Zeller, V., D'Ans, P., Ruwet, C., and Achten, W.M., *Dockless e-scooter: A green solution for mobility? Comparative case study between dockless e-scooters, displaced transport, and personal e-scooters*. Sustainability, 2020. 12(5): p. 1803.
4. Tuncer, S., Laurier, E., Brown, B., and Licoppe, C., *Notes on the practices and appearances of e-scooter users in public space*. Journal of transport geography, 2020. 85: p. 102702.
5. Kraftfahrbundesamt, *Allgemeine Betriebserlaubnis (ABE) für Fahrzeuge gemäß der Verordnung über die Teilnahme von Elektrokleinstfahrzeugen am Straßenverkehr (Elektrokleinstfahrzeuge-Verordnung - eKfV)*. 2019. Available from: https://www.kba.de/DE/Typgenehmigung/Typgenehmigungen/Typgenehmigungserteilung/ABE_Elektrokleinstfahrzeuge/ABE_Elektrokleinstfahrzeuge_node.html [Accessed 15.11.2021].
6. Kim, W.C. and Campbell, A.R., *Common Injury Patterns from Standing Motorized Scooter Crashes*. Curr Surg Rep, 2021. 9(4): p. 8.
7. Gebhardt, L., Wolf, C., Ehrenberger, S., Seiffert, R., Krajzewicz, D., and Cyganski, R., *E-Scooter-Potentiale, Herausforderungen und Implikationen Für das Verkehrssystem: Abschlussbericht Kurzstudie E-Scooter*, in *Arbeitsberichte zur Verkehrsforschung*. 2021, Institut für Verkehrsforschung - Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt: Berlin, Germany.
8. Statistik Berlin-Brandenburg, *Statistischer Bericht - Einwohnerinnen und Einwohner im Land Berlin am 31. Dezember 2019*. 2019 01.02.2020]; Available from: https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/publikationen/stat_berichte/2020/SB_A01-05-00_2019h02_BE.pdf [Accessed 15.11.2021].

9. Rundfunk Berlin-Brandenburg, *Schon 9.000 E-Scooter in Berlin - zwei Drittel in der Stadtmitte*. 2019; Available from: <https://www.rbb24.de/politik/beitrag/2019/08/9000-e-scooter-in-berlin-mitte-friedrichshain-kreuzberg.html> [Accessed 15.11.2021].
10. Tack, A., Klein, A., and Bock, B. *E-Scooter in Deutschland. Ein datenbasierter Debattenbeitrag*. 2019 [Accessed 15.11.2021].
11. Ringhand, M., Anke, J., Petzold, T., and Gehlert, T., *Verkehrssicherheit von E-Scootern*, in *Forschungsbericht Nr. 75*. 2021, Unfallforschung der Versicherer: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.
12. Fonseca-Cabrera, A.S., Llopis-Castello, D., Perez-Zuriaga, A.M., Alonso-Troyano, C., and Garcia, A., *Micromobility Users' Behaviour and Perceived Risk during Meeting Manoeuvres*. *Int J Environ Res Public Health*, 2021. 18(23).
13. Urry, J., *Inhabiting the car*. *The Sociological Review*, 2006. 54(1): p. 17-31.
14. Chang, A.Y., Miranda-Moreno, L., Clewlow, R., and Sun, L., *Trend or fad. Deciphering the Enablers of Micromobility in the US*. 2019: SAE International.
15. Heineke, K., Kloss, B., Scuru, D., and Weig, F. *Micromobility's 15,000-mile checkup*. McKinsey&Company. 2019. Available from: https://www.mckinsey.de/~media/McKinsey/Locations/Europe%20and%20Middle%20East/Deutschland/News/Presse/2019/2019-01-30%20Micromobility/McKinsey_Micromobility_January%202019n.ashx [Accessed 15.11.2021].
16. Bureau de recherche, *Usages et usagers des trottinettes électriques en free-floating en France*. 2019. Available from: <https://www.6-t.co/article/trottinettes-freefloating> [Accessed 15.11.2021].
17. Bai, S. and Jiao, J., *Dockless E-scooter usage patterns and urban built Environments: A comparison study of Austin, TX, and Minneapolis, MN*. *Travel behaviour and society*, 2020. 20: p. 264-272.
18. Portland Bureau of Transportation, *2018 E-Scooter Findings Report* P.B.o. Transportation., Editor. 2019. Available from: <https://www.portlandoregon.gov/transportation/article/709719> [Accessed 15.11.2021].
19. Portland Bureau of Transportation, *2019 E-Scooter Findings Report* P.B.o. Transportation, Editor. 2020. Available from: https://www.portland.gov/sites/default/files/2020-09/pbot_escooter_report_final.pdf [Accessed 15.11.2021].
20. Gubman, J., Jung, A., Kiel, T., and Strehmann, J., *E-Tretroller im Stadtverkehr: Handlungsempfehlungen für deutsche Städte und Gemeinden zum Umgang mit stationslosen Verleihsystemen*, A. Verkehrswende, Editor. 2019. Available from:

- <https://www.agora-verkehrswende.de/veroeffentlichungen/e-tretroller-im-stadtverkehr/> [Accessed 15.11.2021].
21. Fitt, H. and Curl, A., *E-scooter use in New Zealand: Insights around some frequently asked questions*. 2019. Available from: <https://ir.canterbury.ac.nz/handle/10092/16336> [Accessed 15.11.2021].
 22. Hollingsworth, J., Copeland, B., and Johnson, J.X., *Are e-scooters polluters? The environmental impacts of shared dockless electric scooters*. Environmental Research Letters, 2019. 14(8): p. 084031.
 23. James, O., Swiderski, J.I., Hicks, J., Teoman, D., and Buehler, R., *Pedestrians and e-scooters: An initial look at e-scooter parking and perceptions by riders and non-riders*. Sustainability, 2019. 11(20): p. 5591.
 24. Deutsche Verkehrssicherheit e.V., *Im Blickpunkt. E-Scooter erobern unsere Straßen*. . 2019. Available from: <https://www.dvr.de/presse/dvr-report/2019-01/blickpunkt.html> [Accessed 15.11.2021].
 25. Krauss, K., Scherrer, A., Burghard, U., Schuler, J., Burger, A.M., and Doll, C., *Sharing Economy in der Mobilität: potenzielle Nutzung und Akzeptanz geteilter Mobilitätsdienste in urbanen Räumen in Deutschland* W.P.S.a. Innovation., Editor. 2020, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI.
 26. Mayer, E., Breuss, J., Robatsch, K., Zuser, V., and Kaltenecker, A., *Auswirkungen des Trends auf die Verkehrssicherheit. Unfallzahlen, Risikoeinschätzung, Kenntnis der Regelungen zu E-Scootern und Verhalten von E-Scooter-Fahrern im Straßenverkehr*. . Zeitschrift für Verkehrsrecht, 2019. 20: p. 417–424
 27. Gibson, H., Curl, A., and Thompson, L., *Blurred boundaries: E-scooter riders' and pedestrians' experiences of sharing space*. Mobilities, 2021: p. 1-16.
 28. Harbrecht, A., Hackl, M., Leschinger, T., Uschok, S., Wegmann, K., Eysel, P., and Muller, L.P., *What to expect? Injury patterns of Electric-Scooter accidents over a period of one year - A prospective monocentric study at a Level 1 Trauma Center*. Eur J Orthop Surg Traumatol, 2021.
 29. Bundesamt der Justiz und für Verbraucherschutz, *Verordnung über die Teilnahme von Elektrokleinstfahrzeugen am Straßenverkehr und zur Änderung weiterer straßenverkehrsrechtlicher Vorschriften*. 2019: Bundesgesetzblatt. p. 756.
 30. LaGreca, M., Didzbalis, C.J., Oleck, N.C., Weisberger, J.S., and Ayyala, H.S., *Increasing Incidence of Hand and Distal Upper Extremity Injuries Associated with Electric Scooter Use*. J Hand Surg Am, 2021.

31. Trivedi, T.K., Liu, C., Antonio, A.L.M., Wheaton, N., Kreger, V., Yap, A., Schriger, D., and Elmore, J.G., *Injuries Associated With Standing Electric Scooter Use*. JAMA Netw Open, 2019. 2(1): p. e187381.
32. Bekhit, M.N.Z., Le Fevre, J., and Bergin, C.J., *Regional healthcare costs and burden of injury associated with electric scooters*. Injury, 2020. 51(2): p. 271-277.
33. Destatis, Statistisches Bundesamt, *2155 E-Scooter-Unfälle mit Personenschaden im Jahr 2020*. 2021. Available from: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/03/PD21_N021_462.html [Accessed 15.11.2021].
34. Kuratorium für Verkehrssicherheit, *E-Scooter: Neue KFV-Analyse zeigt hohe Unfallzahlen und großen Aufklärungsbedarf*. 2019. Available from: <https://www.kfv.at/escooter2019/> [Accessed 15.11.2021].
35. Uluk, D., Lindner, T., Palmowski, Y., Garritzmann, C., Goencz, E., Dahne, M., Möckel, M., and Gerlach, U.A., *E-scooter: erste Erkenntnisse über Unfallursachen und Verletzungsmuster*. . Notfall+ Rettungsmedizin, 2020. 23(4): p. 293-298.
36. Löcken, A., Brunner, P., and Kates, R., *Impact of Hand Signals on Safety: Two Controlled Studies With Novice E-Scooter Riders*. In 12th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, 2020: p. 132-140.
37. Haworth, N.L. and Schramm, A., *Illegal and risky riding of electric scooters in Brisbane*. Med J Aust, 2019. 211(9): p. 412-413.
38. Gioldasis, C., Christoforou, Z., and Seidowsky, R., *Risk-taking behaviors of e-scooter users: A survey in Paris*. Accid Anal Prev, 2021. 163: p. 106427.
39. Ishmael, C.R., Hsiue, P.P., Zoller, S.D., Wang, P., Hori, K.R., Gatto, J.D., Li, R., Jeffcoat, D.M., Johnson, E.E., and Bernthal, N.M., *An Early Look at Operative Orthopaedic Injuries Associated with Electric Scooter Accidents: Bringing High-Energy Trauma to a Wider Audience*. J Bone Joint Surg Am, 2020. 102(5): p. e18.
40. Kleinertz, H., Ntalos, D., Hennes, F., Nuchtern, J.V., Frosch, K.H., and Thiesen, D.M., *Accident Mechanisms and Injury Patterns in E-Scooter Users-A Retrospective Analysis and Comparison With Cyclists*. Dtsch Arztebl Int, 2021. 118(8): p. 117-121.
41. Mitchell, G., Tsao, H., Randell, T., Marks, J., and Mackay, P., *Impact of electric scooters to a tertiary emergency department: 8-week review after implementation of a scooter share scheme*. Emerg Med Australas, 2019. 31(6): p. 930-934.

42. Beck, S., Barker, L., Chan, A., and Stanbridge, S., *Emergency department impact following the introduction of an electric scooter sharing service*. Emerg Med Australas, 2019.
43. Bussgeldkatalog.org. *Alkohol und Drogen am Steuer*. Available from: <https://www.bussgeldkatalog.org/alkohol-drogen/> [Accessed 15.11.2021].
44. Puzio, T.J., Murphy, P.B., Gazzetta, J., Dineen, H.A., Savage, S.A., Streib, E.W., and Zarzaur, B.L., *The electric scooter: A surging new mode of transportation that comes with risk to riders*. Traffic Inj Prev, 2020: p. 1-4.
45. Blomberg, S.N.F., Rosenkrantz, O.C.M., Lippert, F., and Collatz Christensen, H., *Injury from electric scooters in Copenhagen: a retrospective cohort study*. BMJ Open, 2019. 9(12): p. e033988.
46. Clewlow, R.R., *The micro-mobility revolution: The introduction and adoption of electric scooters in the united states* Transportation Research Board 98th Annual Meeting, 2019.
47. Campbell, A., Wong, N., Monk, P., Munro, J., and Bahho, Z., *The cost of electric-scooter related orthopaedic surgery*. N Z Med J, 2019. 132(1501): p. 57-63.
48. Liew, Y.K., Wee, C.P.J., and Pek, J.H., *New peril on our roads: a retrospective study of electric scooter-related injuries*. Singapore Med J, 2020. 61(2): p. 92-95.
49. Moftakhar, T., Wanzel, M., Vojcsik, A., Kralinger, F., Mousavi, M., Hajdu, S., Aldrian, S., and Starlinger, J., *Incidence and severity of electric scooter related injuries after introduction of an urban rental programme in Vienna: a retrospective multicentre study*. Arch Orthop Trauma Surg, 2020.
50. Liu, M., Seeder, S., and Li, H., *Analysis of e-scooter trips and their temporal usage patterns*. . Institute of Transportation Engineers Journal 2019. 89(6): p. 44-49.
51. Wassink M., *Hamburger haben im Sommer weniger Stadträder ausgeliehen*. Hamburger Abendblatt. 2019. Available from: <https://www.abendblatt.de/hamburg/article227558575/stadtrad-hamburg-e-scooter-Hamburger-haben-im-Sommer-weniger-Stadtraeder-ausgeliehen.html> [Accessed 15.11.2021].
52. Namiri, N.K., Lui, H., Tangney, T., Allen, I.E., Cohen, A.J., and Breyer, B.N., *Electric Scooter Injuries and Hospital Admissions in the United States, 2014-2018*. JAMA Surg, 2020.
53. Siebert, F.W., Ringhand, M., Englert, F., Hoffknecht, M., Edwards, T., and Rötting, M., *Einführung von E-Tretrollern in Deutschland-Herausforderungen für die Verkehrssicherheit*, in *21. Workshop Psychologie der Arbeitssicherheit und*

- Gesundheit: Gewalt in der Arbeit verhüten und die Zukunft gesundheitsfördernd gestalten*. 2020: Heidelberg: Asanger Verlag. p. 207-210.
54. Juhra, C., Wieskotter, B., Chu, K., Trost, L., Weiss, U., Messerschmidt, M., Malczyk, A., Heckwolf, M., and Raschke, M., *Bicycle accidents - do we only see the tip of the iceberg? A prospective multi-centre study in a large German city combining medical and police data*. *Injury*, 2012. 43(12): p. 2026-34.
 55. European Commission, *Traffic Safety Basic Facts on Cyclists*, E. Commission, Editor. June 2018, Directorate General for Transport.
 56. Trivedi, B., Kesterke, M.J., Bhattacharjee, R., Weber, W., Mynar, K., and Reddy, L.V., *Craniofacial Injuries Seen With the Introduction of Bicycle-Share Electric Scooters in an Urban Setting*. *J Oral Maxillofac Surg*, 2019. 77(11): p. 2292-2297.
 57. Wüster, J., Voß, J., Koerdt, S., Beck-Broichsitter, B., Kreutzer, K., Märdian, S., Lindner, T., Heiland, M., and Doll, C., *Impact of the Rising Number of Rentable E-Scooter Accidents on Emergency Care in Berlin 6 Months after Introduction: A Maxillofacial Perspective*. *Craniofacial Trauma & Reconstruction*, 2020.
 58. Stormann, P., Klug, A., Nau, C., Verboket, R.D., Leiblein, M., Müller, D., Schweigkofler, U., Hoffmann, R., Marzi, I., and Lustenberger, T., *Characteristics and Injury Patterns in Electric-Scooter Related Accidents-A Prospective Two-Center Report from Germany*. *J Clin Med*, 2020. 9(5).
 59. Hamzani, Y., Bar Hai, D., Cohen, N., Drescher, M.J., Chaushu, G., and Yahya, B.H., *The impact of helmet use on oral and maxillofacial injuries associated with electric-powered bikes or powered scooter: a retrospective cross-sectional study*. *Head Face Med*, 2021. 17(1): p. 36.
 60. Oksanen, E., Turunen, A., and Thoren, H., *Assessment of Craniomaxillofacial Injuries After Electric Scooter Accidents in Turku, Finland, in 2019*. *J Oral Maxillofac Surg*, 2020.
 61. Mayhew, L.J. and Bergin, C., *Impact of e-scooter injuries on Emergency Department imaging*. *J Med Imaging Radiat Oncol*, 2019. 63(4): p. 461-466.
 62. Graef, F., Doll, C., Niemann, M., Tsitsilonis, S., Stockle, U., Braun, K.F., Wüster, J., and Märdian, S., *Epidemiology, Injury Severity, and Pattern of Standing E-Scooter Accidents: 6-Month Experience from a German Level I Trauma Center*. *Clin Orthop Surg*, 2021. 13(4): p. 443-448.

63. Nellamattathil, M. and Amber, I., *An evaluation of scooter injury and injury patterns following widespread adoption of E-scooters in a major metropolitan area*. Clin Imaging, 2019. 60(2): p. 200-203.
64. Schrader, H., *Die Helmpflicht für E-Scooter ist richtig - wird aber nicht kommen*, in *Der Spiegel*. 2021.
65. Wünschel, D., *Ich will Spaß, ich geb Gas*, in *Süddeutsche Zeitung*. 2022.

Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Deniz Uluk, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: *Unfallmechanismen und Verletzungsmuster nach E-Scooter Verletzungen seit ihrer Einführung in Berlin – eine prospektive multizentrische Beobachtungsstudie* (Englisch: *Trauma mechanisms and injury patterns after E-scooter related incidents since their introduction in Berlin – a prospective multicenter observational study*) selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren/innen beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) werden von mir verantwortet.

Ich versichere ferner, dass ich die in Zusammenarbeit mit anderen Personen generierten Daten, Datenauswertungen und Schlussfolgerungen korrekt gekennzeichnet und meinen eigenen Beitrag sowie die Beiträge anderer Personen korrekt kenntlich gemacht habe (siehe Anteilserklärung). Texte oder Textteile, die gemeinsam mit anderen erstellt oder verwendet wurden, habe ich korrekt kenntlich gemacht.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Erstbetreuer/in, angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; www.icmje.org) zur Autorenschaft eingehalten. Ich erkläre ferner, dass ich mich zur Einhaltung der Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis verpflichte.

Weiterhin versichere ich, dass ich diese Dissertation weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits an einer anderen Fakultät eingereicht habe.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§§156, 161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Ort, Datum

Unterschrift

Anteilserklärung an der erfolgten Publikation

Herr Deniz Uluk hatte folgenden Anteil an der Publikation:

Uluk D, Lindner T, Dahne M, Bickelmayer JW, Beyer K, Slagman A, Jahn F, Willy C, Möckel M, Gerlach UA:

E-Scooter incidents in Berlin: an evaluation of risk factors and injury patterns.

Emergency Medicine Journal. 2022

Beitrag im Einzelnen:

Erarbeitung der Fragestellung und des Studiendesigns, Erstellen des Ethikantrages und der Kooperationsverträge mit den übrigen Zentren, Definition der zu untersuchenden Parameter, Erfassung/Erhebung der Daten, statistische Auswertung und Bewertung der Ergebnisse, Erstellung aller Tabellen und Abbildungen, Fertigung des Publikationsentwurfes (Abstract, Einleitung, Methodik, Ergebnisse, Diskussion), Einreichung des Entwurfes, Revision des Entwurfes nach peer review, Korrespondenz mit dem Editor.

Unterschrift, Datum und Stempel der erstbetreuenden Hochschullehrerin

Unterschrift des Doktoranden

Auszug aus der Journal Summary List

Journal Data Filtered By: **Selected JCR Year: 2019** Selected Editions: SCIE,SSCI
 Selected Categories: **“EMERGENCY MEDICINE”**
 Selected Category Scheme: WoS
Gesamtanzahl: 31 Journale

Rank	Full Journal Title	Total Cites	Journal Impact Factor	Eigenfactor Score
1	ANNALS OF EMERGENCY MEDICINE	12,692	5.799	0.016700
2	RESUSCITATION	14,599	4.215	0.030200
3	World Journal of Emergency Surgery	1,483	4.100	0.002940
4	Emergencias	711	3.173	0.001010
5	Burns & Trauma	538	3.088	0.001320
6	ACADEMIC EMERGENCY MEDICINE	9,597	3.064	0.012860
7	EMERGENCY MEDICINE JOURNAL	5,073	2.491	0.007040
8	Scandinavian Journal of Trauma Resuscitation & Emergency Medicine	2,498	2.370	0.005790
9	Prehospital Emergency Care	2,358	2.290	0.004560
10	European Journal of Emergency Medicine	1,668	2.170	0.002380
11	European Journal of Trauma and Emergency Surgery	1,482	2.139	0.003390
12	INJURY-INTERNATIONAL JOURNAL OF THE CARE OF THE INJURED	15,223	2.106	0.019990
13	AMERICAN JOURNAL OF EMERGENCY MEDICINE	9,294	1.911	0.016240
14	Western Journal of Emergency Medicine	2,206	1.807	0.006030
15	World Journal Of Emergency Medicine	554	1.743	0.001010
16	Canadian Journal of Emergency Medicine	1,361	1.656	0.002350
17	Emergency Medicine Australasia	1,626	1.609	0.003080

Rank	Full Journal Title	Total Cites	Journal Impact Factor	Eigenfactor Score
18	EMERGENCY MEDICINE CLINICS OF NORTH AMERICA	1,155	1.528	0.002000
19	BMC EMERGENCY MEDICINE	771	1.480	0.001540
20	Journal of Emergency Nursing	1,468	1.430	0.001370
21	Prehospital and Disaster Medicine	1,758	1.315	0.002380
22	JOURNAL OF EMERGENCY MEDICINE	5,838	1.224	0.008770
23	PEDIATRIC EMERGENCY CARE	3,966	1.170	0.004940
24	Emergency Medicine International	329	0.841	0.000530
25	UNFALLCHIRURG	1,311	0.677	0.001030
26	Ulusal Travma ve Acil Cerrahi Dergisi- Turkish Journal of Trauma & Emergency Surgery	862	0.641	0.001050
27	Australasian Emergency Care	20	0.542	0.000030
28	Notarzt	97	0.460	0.000060
29	Notfall & Rettungsmedizin	363	0.439	0.000390
30	Signa Vitae	96	0.338	0.000160
31	Hong Kong Journal of Emergency Medicine	178	0.214	0.000260

Copyright © 2020 Clarivate Analytics

E-scooter incidents in Berlin: an evaluation of risk factors and injury patterns

Deniz Uluk ^{1,2}, Tobias Lindner,¹ Michael Dahne,³ Jens Werner Bickelmayer,⁴ Cassandra Beyer,² Anna Slagman,¹ Friedrich Jahn,⁵ Christian Willy,⁶ Martin Möckel,¹ Undine A Gerlach¹

Handling editor Jason E Smith

¹Department of Emergency Medicine, Charité University Medicine Berlin, Berlin, Germany

²Department of Surgery, Charité University Medicine Berlin, Berlin, Germany

³Trauma and Reconstructive Surgery, Charité University Hospital Berlin, Berlin, Germany

⁴Department for Anesthesia, Intensive Care, Pain Therapy and Emergency Medicine, Bundeswehr Hospital Berlin, Berlin, Germany

⁵Orthopaedics and Trauma Surgery, Evangelical Elisabeth Clinic Berlin-Mitte, Berlin, Germany

⁶Orthopaedics and Trauma Surgery, Bundeswehr Hospital Berlin, Berlin, Germany

Correspondence to

Mr Deniz Uluk, Charité University Medicine Berlin, Campus Mitte, Department of Surgery, Charitéplatz, Berlin 110115, Germany; deniz.uluk@charite.de

Received 20 June 2020

Revised 12 April 2021

Accepted 1 May 2021



© Author(s) (or their employer(s)) 2021. No commercial re-use. See rights and permissions. Published by BMJ.

To cite: Uluk D, Lindner T, Dahne M, et al. *Emerg Med J* Epub ahead of print: [please include Day Month Year]. doi:10.1136/emered-2020-210268

ABSTRACT

Background E-scooters have emerged as a frequently used vehicle in German cities due to their high availability and easy access. However, investigations about the causes and mechanisms of E-scooter incidents and their trauma-specific consequences are rare.

Methods We analysed all patients involved in E-scooter incidents from June to December 2019 who presented to four inner-city EDs in Berlin. The prospective data included patient-related and incident-related data, information on injury patterns and therapy, responses in a voluntary questionnaire concerning E-scooter use and general traffic experience.

Results 248 patients (129 males; median age 29 years (5–81)) were included: 41% were tourists and 4% were children. Most incidents (71%) occurred between July and September 2019, the majority occurring at weekends (58%). The injury pattern was mostly multifocal, affecting the lower (42%) and upper limbs (37%) and the head (40%). Traumatic brain injury was associated with alcohol consumption. Inpatient admission was recorded in 25%, surgery in 23%.

Conclusion This study has defined the incidence of injury related to E-scooter use in a major European city. Stricter laws governing the use of E-scooters, the wearing of helmets and technical modifications to the E-scooter platforms might decrease E-scooter-associated incidents and resulting injuries in the future.

Trial registration number German Clinical Trials Registry (DRKS00018061).

INTRODUCTION

The desire for mobility as well as the recently increased awareness of the necessity for sustainability and environmental protection has sparked a growing interest in electric vehicles. In most larger cities, such vehicles are available from different providers through sharing concepts. The so-called free-floating concept allows customers to unlock vehicles with a simple smartphone app, to pay the rent electronically and to park them at any time within a certain area. E-scooters in particular have become popular in major European cities since their initial licensing in June 2019 and have immediately led to a change in the cities' streetscapes.

With its 3.8 million residents and almost 14 million tourists every year,¹ Berlin was chosen by many providers for testing and optimising new short-distance mobility concepts, known as micro-mobility. In September 2019, more than 11 000

Key messages

What is already known on this subject

► E-scooters are an innovative and rising modality of mobility, especially in urban areas worldwide. Previous investigations have mainly described the numbers of E-scooter incidents and the related musculoskeletal injuries.

What this study adds

► With this study, we not only identified injury patterns but also trauma mechanisms and risk factors of E-scooter-related incidents. As a result, we propose stricter regulations for the use of E-scooters. These should include the wearing of helmets, an age limit of 18 years, a ban on alcohol and a strict adherence to traffic regulations, such as avoiding driving on pavements. By performing technical modifications to the E-scooter platforms, providers can help to eliminate an additional source of injury.

E-scooters became available in Berlin.^{2,3} Movement profiles have shown increased usage of E-scooters in central districts where micromobility plays a decisive role. At the same time, motor vehicle traffic density is high in central areas, which yields an increased risk of incidents.

Many users indicate that E-scooters are a good alternative to cars in regard to covering short distances.⁴ Nevertheless, the lack of public awareness for the proper use of E-scooters and the consequences of incidents seem to be a problem. Data from the US National Electronic Injury Surveillance System showed a dramatic increase in injuries from E-scooter incidents after their introduction in 2017 and 2018.⁵ These data have been derived mainly from accounting data, especially from the state accident insurance.⁵ Although they provide information on the number of injured individuals, they give less information on clinical aspects such as injury patterns, causes of incidents, therapies and outcomes.

Large European studies describing E-scooter-specific injury patterns are still rare, mainly of retrospective nature and risk factors or trauma mechanisms have hardly been described. In a small retrospective case series, we were able to show that E-scooter-related incidents often occur due to

inexperienced users, traffic violations and alcohol consumption as well as due to the vehicles themselves not being roadworthy.⁶ The aim of this large prospective study was to further investigate our previous findings on trauma mechanisms and injury patterns in order to identify risk factors and suggest improvements for the use of E-scooters.

PATIENTS AND METHODS

Data collection

We undertook a prospective observational multicentre study across four central EDs in the district of Berlin-Mitte: Charité Campus Mitte (CCM), Charité Campus Virchow-Klinikum (CVK), Bundeswehrkrankenhaus (BWK) and Evangelische Elisabeth Klinik (ELI).

All patients who presented to these EDs between June and December 2019 after E-scooter incidents were included in this study. Patients either self-presented or were brought in by the ambulance service.

Patient-specific data as well as information on the severity, diagnosis and treatment of injuries were recorded prospectively in the hospitals' electronic documentation system. Traumatic brain injury (TBI) was defined as head injury with resulting loss of consciousness reported by first helpers, the ambulance service or in case of patient's amnesia. Patients received either ambulatory interventions like wound care and cast immobilisation or were admitted as inpatients for surgery, comprehensive monitoring or extensive wound management. In order to identify risk factors for E-scooter incidents, patients presenting to the EDs of CCM and CVK received a questionnaire asking for the cause of the incident, previous experience with E-scooters, possession of a driving licence, alcohol consumption and the wearing of a helmet. The completion of the questionnaire was carried out voluntarily after a declaration of consent had been given by the patient or their legal guardian. If alcohol consumption was indicated by the patient or otherwise presumed, an alcohol breath test was performed. Patients presenting to the EDs of BWK and ELI did not complete questionnaires so that only clinical data could be obtained.

Statistical analyses

The data analysis was carried out using Excel software (Microsoft Excel V.2016, Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA) and SPSS V.26.0. Descriptive analyses were reported as the means and SDs, medians and both quartiles and ranges, or absolute numbers and percentage referring to the study group.

For parameters with a Gaussian distribution, statistical significance was defined using Student's t-test. Significant associations among categorial variables were investigated by the X² test or Fisher's exact test. For the convenience of the reader, we additionally performed McNemar tests to compare two correlated proportions considering the injury distribution to emphasise the most affected body regions and the most frequent type of injury. The ORs for the defined risk factors (previous experience with E-scooters, driving licence, alcohol consumption, wearing of helmet) and their association regarding inpatient admission and traumatic brain injury (TBI) have also been calculated. To show quantitative associations concerning non-normally distributed variables, the Mann-Whitney U test was performed. The statistical significance level was set at values of $p < 0.05$. All p values provided in this paper are considered part of the exploratory analysis and have not been adjusted for multiple testing.

Table 1 Presentation of demographic parameters of patients after E-scooter incidents (n=248)

Sex	Male	129 (52%)
	Female	119 (48%)
Age	Median, years	29 (Q1: 23; Q3: 39)
	Range	5–81
Age groups	<18 years	10 (4%)
	18–25 years	71 (29%)
	26–40 years	113 (45%)
	41–64 years	47 (19%)
	≥65 years	7 (3%)
Touristic visit	Yes	101 (41%)
Place of residence	Berlin	144 (58%)
	Unknown	3 (1%)
Incident on the way to or from work	Yes	20 (8%)
EDs	CCM	99 (40%)
	CVK	61 (25%)
	BWK	47 (19%)
	ELI	41 (16%)

Values are given as numbers and percentage or in means±SD and median with range and quartiles. Q1: 25%-percentile, Q3: 75%-percentile. BWK, Bundeswehrkrankenhaus; CCM, Charité Campus Mitte; CVK, Charité Campus Virchow-Klinikum; ELI, Evangelical Elisabeth Clinic.

RESULTS

Patient population

A total of 248 patients were admitted to the four EDs and included during the 6-month study period.

The demographic details are given in [table 1](#).

More than half of the patients (58%) were Berlin residents and 41% were tourists. In 20 patients (8%), the incidents happened on the way to or from work.

The survey regarding possession of a driving licence and previous experience with E-scooters was carried out exclusively at CCM and CVK, where 120 patients (48% of all patients) volunteered to answer the questionnaire.

Times of incident

The majority of E-scooter incidents (75%) occurred between July and September. Regarding the time of day, we noticed a peak of E-scooter incidents in the afternoon between noon and 18:00 (40%) and in the evening from 18:00 until midnight (29%). In addition, there was a notable increase of E-scooter injuries on weekends between Friday afternoon and Sunday night (58%) ([figure 1](#)).

Causes of incidents

The causes of incidents are summarised in [table 2](#). Most E-scooter riders reported that they fell off the vehicle because they had lost control due to inattention, single-handed driving for indicating a direction change, lack of practice or inappropriate speed. Another reason for incidents was collision with other vehicles or inanimate objects, like kerbs, road obstacles or tram tracks. Injuries caused from contact with the sharp edges or protruding screws of the E-scooter occurred mainly during the process of acceleration by pushing off from the ground or while trying to brake ([figure 2](#)). Pedestrians were injured in 12 cases (5%), either by getting hit by an E-scooter (n=9) or by tripping over a parked vehicle (n=3).

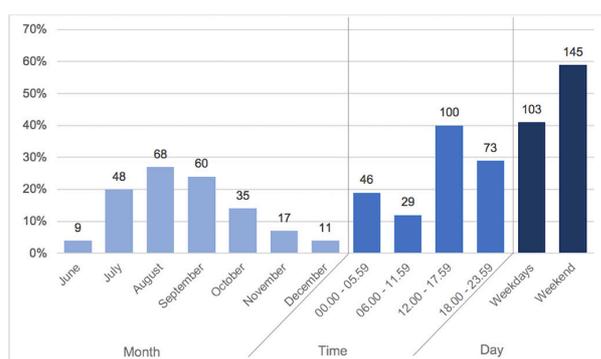


Figure 1 Percentage distribution of the emergency admissions according to the months, the time groups and the day (weekdays: Monday–Thursday, weekend: Friday–Sunday). The numbers on top of the bars show the absolute numbers.

Injury patterns

Injury patterns are summarised in [figure 3](#).

Limb injuries were recorded in 178 patients and made up the majority of all injuries (72%). They were divided into soft tissue injuries, joint dislocations and fractures. The lower limbs were affected more frequently than the upper limbs (34% vs 30%, $p=0.477$). Seventeen patients (7%) suffered from injuries of the upper and lower limbs simultaneously.

On the lower limbs, we observed significantly more soft tissue injuries than fractures (31% vs 7%, $p<0.001$). Soft tissue injuries were contusions, abrasions, bruises, grazes and lacerations, which were often observed at the medial malleolus resulting from pushing off the ground to gain speed ([figure 4](#)). A total of 17 patients had a fracture of the lower limb, with the need for surgical treatment in 13 patients. [Figure 5](#) presents an overview of the localisation and the frequency of extremity fractures.



Figure 2 Soft tissue laceration at the medial malleolus of a 30-year-old female patient after hitting the rear screw while accelerating the E-scooter.

Eight patients (3%) had ligamentous or meniscal damage, mainly to the knee, without a fracture.

On the upper limbs, the numbers of soft tissue injuries and fractures were nearly the same (18% vs 17%, $p=0.749$). The upper limbs were significantly more often affected by fractures than the lower limbs (17% vs 6%, $p=0.001$). Fractures of the upper limbs occurred mostly at the elbow joint or more distally, and 21 patients (8%) required surgery. Four patients had shoulder dislocations without any fracture.

Only one patient suffered from fractures of both lower and upper extremities.

In total, 135 head injuries were recorded in 101 patients. All head injuries were divided into soft tissue injuries (27%), fractures (19%) and tooth damage (17%). Fractures affected the midface or mandible with the exception of one skull fracture. One patient had an intracerebral haemorrhage.

Among all patients, 32 (13%) had concomitant TBI of mild severity and 22 of them (9% of all patients) required hospital

Table 2 Causes of incidents and analysis of risk factors with regard to inpatient admission and TBI

Causes of incident	Loss of control/balance		141 (57%)		
	Hurt themselves at E-scooter		27 (11%)		
	Tram tracks		20 (8%)		
	Hit an object		18 (7%)		
	Hit by motorised vehicle		12 (5%)		
	During braking		12 (5%)		
	Hit by E-scooter		9 (4%)		
	Tandem driving		5 (2%)		
	Trip over		3 (1%)		
	Twisted ankle while getting off		1 (<1%)		
Wearing a helmet	Yes	3 (1%)	Inpatient, n=2 TBI, n=1	Not applicable due to small patient numbers	
Alcohol consumption	Yes	48 (20%)	Inpatient, n=18 TBI, n=15	OR 2.1, 95% CI: 1.1 to 4.0	p=0.033
				OR 5.2, 95% CI: 2.3 to 11.6	p<0.001
Driving licence*	Yes	82 (68%)	Inpatient, n=17 TBI, n=9	OR 0.9, 95% CI: 0.4 to 2.5	p=0.968
				OR 0.7, 95% CI: 0.2 to 2.0	p=0.458
Previous experience*	Yes	58 (48%)	Inpatient, n=15	OR 1.6, 95% CI: 0.7 to 3.8	p=0.302
	1–3 times	15 (12%)			
	3–5 times	7 (6%)			
	>5 times	36 (30%)	TBI, n=11	OR 3.3, 95% CI: 0.9 to 11.2	p=0.042

Values as numbers and percentage.

Inpatient=inpatient admission.

*Referring to voluntary questionnaire (n=120).

TBI, traumatic brain injury.

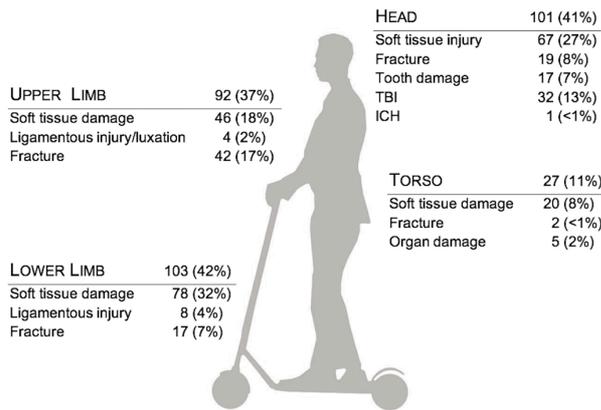


Figure 3 Distribution of injuries with regard to body region. The numbers represent the number of patients suffering from each injury. Multiple localisations might be affected. A total of 136 head injuries occurred in 101 patients. Thus, multiple injury entities are possible per patient. ICH, intracerebral haemorrhage; TBI, traumatic brain injury.

admission and monitoring for at least 6 hours due to their symptoms.

Trunk injuries were rare and mainly affected the soft tissue (figure 3). Severe injuries occurred in a total of six patients: a liver and a spleen laceration, a unilateral and a bilateral pneumothorax, a haemothorax and a stable vertebral body fracture. Figure 6 illustrates the distribution of the injury entities for the entire study population.

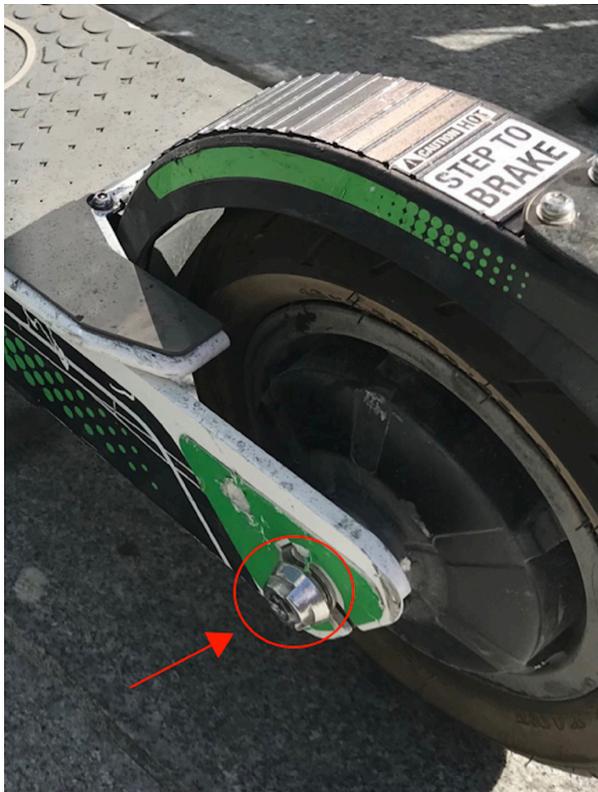


Figure 4 Screw at rear wheel of an E-scooter.

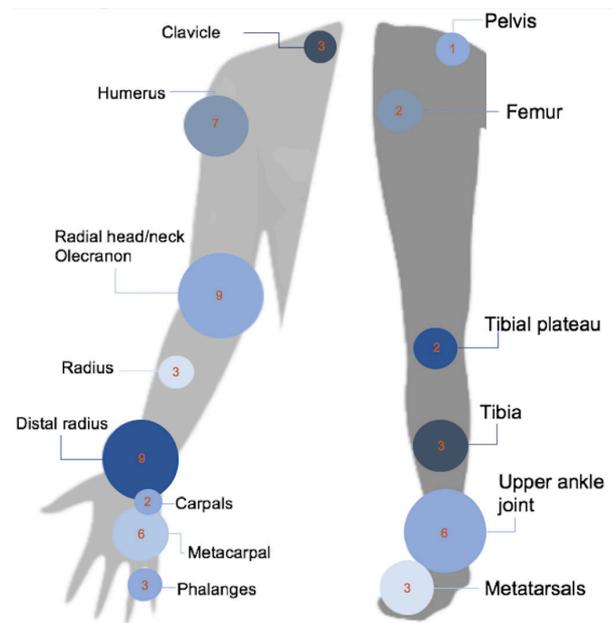


Figure 5 Distribution of the fractures and their location at the upper extremities (left) and at the lower extremities (right) (n=number of patients). One patient suffered from fractures at upper and lower limbs (fracture of the thumb and pertrochanteric femur fracture on same side).

Ambulatory and inpatient treatment

A total of 122 patients (49%) required a surgical intervention either ambulatory or as inpatients. Ambulatory treatment was performed in 65 patients (26%) and included wound care, suturing and cast immobilisation. Sixty-one patients (25%) were admitted as inpatients, 57 of them (23%) underwent surgery. The median hospital stay was 3 days (1–12 days). Patients with TBI were hospitalised for a median of 1 day (1–6 days) compared with the remaining hospitalised patients who stayed for a median of 4 days (1–12 days; $p < 0.001$). One patient had to be transferred to another hospital due to a large skin defect. No patient died.

Risk factors

Table 2 summarises the risk factors for the incidence of E-scooter injuries. Of the 120 patients who participated in the voluntary survey, 82 had a driving licence (68%), and 58 participants (48%) reported having had previous experience in riding E-scooters.

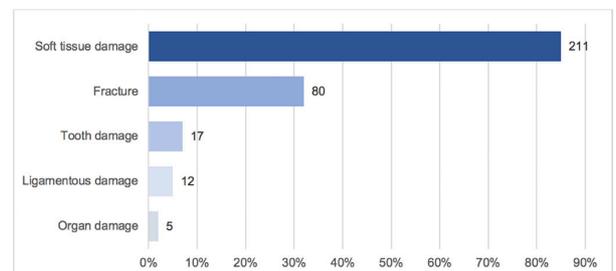


Figure 6 Total distribution of injury types. Soft tissue damage including bruises, grazes, laceration and other wounds. Ligamentous damage occurred especially in combination with luxation or in case of clinically suspected.

In 49 patients (20%), the alcohol breath test was positive. Among patients with alcohol consumption, 15 patients had TBI (31%). A positive alcohol test was associated with a fivefold increase in the odds of TBI ($p < 0.001$) and a twofold increase in the odds of inpatient admission ($p = 0.033$) (table 2). Fifty-eight patients had previous experience with E-scooters but showed a threefold increase in the odds of TBI ($p = 0.042$).

Of note, within the 15 patients who had a positive alcohol test and TBI, 12 patients stated that they had previous experience with E-scooters.

Only 1% of the E-scooter riders wore a helmet.

DISCUSSION

This study shows that E-scooter riders were mainly aged 18–40 years. The lower limbs were affected the most, mainly with soft tissue damage, followed by head injuries. Fractures requiring surgery occurred more frequently in the upper limbs. E-scooter incidents occurred mainly in the afternoon and evening, and rather on weekends than on weekdays. They were often caused by a violation of traffic regulations, the user's inattentiveness or a risk-taking driving style such as one-handed driving, jumping over kerbs and alcohol consumption.

Driving under the influence of alcohol yielded a significantly higher risk of TBI, even if the riders were experienced in handling E-scooters. This is important to note, because the permitted blood alcohol limit for E-scooter driving in Germany is at 0.05%, and exceeding this limit is subject to a fine and may be a criminal offence.⁷ Other international studies confirm our results by revealing that positive blood alcohol tests occur in up to one-third of E-scooter incidents.^{8–14}

Trivedi *et al* were the first to investigate the consequences of E-scooter injuries within 1 year after their registration in California. They noted that there were more E-scooter injuries at the ED than in cyclists or pedestrians during the same time period.¹⁵ Other studies published similar results with an incidence of up to 60 per 100 000 E-scooter rides within 6 months, resulting in a short-term ban of E-scooters in selected cities.^{8,9}

Frequently discussed risk factors for E-scooter injuries are the young age of the riders, a lack of experience in handling E-scooters and the absence of a driving licence. Under German law, E-scooters can be driven from the age of 14 years and hence a driving licence is not required. However, according to our study, neither the possession of a driving licence nor the previous experience with E-scooters prevented incidents. In contrast, TBI occurred more frequently in patients with previous experience and young age seems to be a more relevant risk factor, because at least one-third of E-scooter incidents involved children.^{5,12,13,15–18} Consequently, the Californian government introduced an age limit of 18 years and a driving licence requirement for renting E-scooters.

E-scooters are often compared with bicycles, and although the injury patterns resulting from incidents are in fact similar, their causes are different. A study on bicycle incidents in Muenster (Germany) reported collisions with motorised vehicles as the major cause of incidents, especially in younger patients.^{19,20} In contrast, most E-scooter incidents occur without external influence and are related to inattention of the E-scooter users or violation of traffic regulations. Although E-scooters are only allowed to be used on cycle paths and roads, up to one-quarter of E-scooter incidents take place on pavements, often injuring pedestrians.^{8,12,13,15} Typically, the riders lose stability when hitting the kerb to get onto the pavement, because the E-scooter front wheel is rather small in diameter and thus acts as a fulcrum.

Furthermore, the narrow E-scooter wheels are prone to get stuck in the tram tracks.

In contrast to cyclists, E-scooter riders hardly ever wear a helmet, which is confirmed by several international studies.^{8,10,12–14,18,21–23} In Germany, helmets are mandatory for riders of most motorised vehicles; for E-scooters however, they are only recommended.

While the Muenster bicycle study and the European Commission for Monitoring Road Safety identified head injuries in 25% of bicycle incidents,^{19,20} ours and other studies reported considerably higher rates in E-scooter incidents, reaching up to 58%.^{5,8,10,12–15,17,18,21,23} Thus, an obligation for E-scooter riders to wear a helmet seems inevitable to improve safety. In this context, a study from Brisbane showed a significant reduction in head injuries with the introduction of mandatory helmets and the simultaneous handing out of helmets by E-scooter distributors.¹⁵ Nevertheless, it should be noted that in this investigation and in almost all international studies, approximately one-quarter of severe head injuries were severe midface fractures, which would most likely not have been prevented by classic bicycle helmets.^{5,8,10,12–15,17,18,21,23,24}

Two international studies have described the musculoskeletal injuries after E-scooter incidents as the second most frequented cause in trauma surgery in 2019.^{16,17}

In this study, fractures of the lower extremities were surprisingly rare; instead, soft tissue lacerations of the medial malleolus were frequently observed, which have not yet been described in the literature. These lacerations were caused by hitting the sharp-edged platforms or the protruding screws of the E-scooter's rear wheel and could be reduced by technical modifications on the vehicle, such as rubber covers.

This study reports the largest cohort of patients involved in E-scooter incidents in Europe. Nevertheless, minor injuries may be under-represented because some patients were treated by general practitioners or did not demand medical care at all. The study was located in EDs in the Berlin city centre. Thus, different numbers and causes of incidents or injury patterns might be present in outlying districts. Also, the voluntary questionnaire was only handed out in two EDs and may show different results if given to a larger cohort.

Our results present the most frequent and serious injuries after E-scooter incidents. An obligation for E-scooter riders to wear a helmet, strict controls on rider's alcohol consumption, the introduction of an age limit for riders and technical modifications to E-scooters should be considered in order to reduce incidents and injuries in the interest of all traffic participants.

Correction notice This paper has been updated to amend author name 'Martin Möckel'. The author Undine Gerlach has also been updated to include the middle initial A.

Contributors DU and UG contributed to the study conception and design, analysis, interpretation of data and writing of the manuscript. TL, MD, JWB, KB, AS and FJ participated in the acquisition and analysis of data. CW and MM contributed to the analysis and interpretation of data, the study conception and the critical review of the manuscript.

Funding The authors have not declared a specific grant for this research from any funding agency in the public, commercial or not-for-profit sectors.

Competing interests None declared.

Patient and public involvement Patients and/or the public were not involved in the design, or conduct, or reporting, or dissemination plans of this research.

Patient consent for publication Obtained.

Ethics approval The study was approved by the ethics committee of the Charité (EA2/17/1/19). Within the scope of patient registration and further analyses, compliance with ethical aspects and data protection regulations was ensured.

Provenance and peer review Not commissioned; externally peer reviewed.

Data availability statement Data are available upon reasonable request. All collected data have been entered into an Excel data sheet and patient's privacy information has been pseudonymised. The Excel document itself is password protected and saved upon a password-protected server of the Department of Emergency Medicine at Charité University Medicine Berlin with restricted access. Data protection is following the data protection declaration of the respective institution and will be available upon reasonable request.

ORCID iD

Deniz Uluk <http://orcid.org/0000-0001-6395-0845>

REFERENCES

- 1 Statistischer Bericht. Einwohnerinnen und Einwohner Im land Berlin am 31, 2019. Available: https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/publikationen/stat_berichte/2020/SB_A01-05-00_2019h02_BE.pdf
- 2 Schon 9.000 E-Scooter in Berlin - zwei Drittel in der Stadtmitte. Available: <https://www.rbb24.de/politik/beitrag/2019/08/9000-e-scooter-in-berlin-mitte-friedrichshain-kreuzberg.html>
- 3 E-Scooter in Deutschland. Available: <http://scooters.civity.de>
- 4 Clewlow R. *The Micro-Mobility revolution: the introduction, adoption, and use of electric Scooters in U.S. cities.* in: *Populus*. A Medium Corporation, 2018.
- 5 Namiri NK, Lui H, Tangney T, et al. Electric scooter injuries and hospital admissions in the United States, 2014-2018. *JAMA Surg* 2020;155:357.
- 6 Uluk D, Lindner T, Palmowski Y, et al. E-Scooter: erste Erkenntnisse über Unfallursachen und Verletzungsmuster. *Notfall Rettungsmed* 2020;23:293-8.
- 7 Alkohol und Drogen am Steuer. Available: <https://www.bussgeldkatalog.org/alkohol-drogen/>
- 8 Dockless electric Scooter-related injuries study. Available: http://austintexas.gov/sites/default/files/files/Health/Web_Dockless_Electric_Scooter-Related_Injury_Study_final_version_EDSU_5.14.19.pdf
- 9 Bekhit MNZ, Le Fevre J, Bergin CJ. Regional healthcare costs and burden of injury associated with electric scooters. *Injury* 2020;51:271-7.
- 10 Puzio TJ, Murphy PB, Gazzetta J, et al. The electric scooter: a surging new mode of transportation that comes with risk to riders. *Traffic Inj Prev* 2020;21:175-8.
- 11 Mitchell G, Tsao H, Randell T, et al. Impact of electric scooters to a tertiary emergency department: 8-week review after implementation of a scooter share scheme. *Emerg Med Australas* 2019;31:930-4.
- 12 Beck S, Barker L, Chan A, et al. Emergency department impact following the introduction of an electric scooter sharing service. *Emerg Med Australas* 2020;32:409-15.
- 13 Blomberg SNF, Rosenkrantz OCM, Lippert F, et al. Injury from electric scooters in Copenhagen: a retrospective cohort study. *BMJ Open* 2019;9:e033988.
- 14 Wüster J, Voß J, Koerd S, et al. Impact of the rising number of Rentable E-scooter accidents on emergency care in Berlin 6 months after the introduction: a maxillofacial perspective. *Craniomaxillofac Trauma Reconstr* 2021;14:43-8.
- 15 Trivedi TK, Liu C, Antonio ALM, et al. Injuries associated with standing electric scooter use. *JAMA Netw Open* 2019;2:e187381.
- 16 Ishmael CR, Hsiue PP, Zoller SD, et al. An early look at operative orthopaedic injuries associated with electric scooter accidents: bringing high-energy trauma to a wider Audience. *J Bone Joint Surg Am* 2020;102:e18.
- 17 Campbell A, Wong N, Monk P, et al. The cost of electric-scooter related orthopaedic surgery. *N Z Med J* 2019;132:57-63.
- 18 Trivedi B, Kesterke MJ, Bhattacharjee R, et al. Craniofacial injuries seen with the introduction of Bicycle-Share electric Scooters in an urban setting. *J Oral Maxillofac Surg* 2019;77:2292-7.
- 19 Juhra C, Wieskötter B, Chu K, et al. Bicycle accidents - do we only see the tip of the iceberg? A prospective multi-centre study in a large German city combining medical and police data. *Injury* 2012;43:2026-34.
- 20 Commission E. Traffic Safety Basic Facts on Cyclists. In: *Edited by Commission E: Directorate General for transport*, 2018.
- 21 Mayhew LJ, Bergin C. Impact of e-scooter injuries on emergency department imaging. *J Med Imaging Radiat Oncol* 2019;63:461-6.
- 22 Störmann P, Klug A, Nau C, et al. Characteristics and injury patterns in Electric-Scooter related Accidents-A prospective two-center report from Germany. *J Clin Med* 2020;9. doi:10.3390/jcm9051569. [Epub ahead of print: 22 05 2020].
- 23 Mofitakhar T, Wanzel M, Vojcsik A, et al. Incidence and severity of electric scooter related injuries after introduction of an urban rental programme in Vienna: a retrospective multicentre study. *Arch Orthop Trauma Surg* 2020. doi:10.1007/s00402-020-03589-y. [Epub ahead of print: 27 Aug 2020].
- 24 Oksanen E, Turunen A, Thorén H. Assessment of Craniomaxillofacial injuries after electric scooter accidents in Turku, Finland, in 2019. *J Oral Maxillofac Surg* 2020;78:2273-8.

Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

Publikationsliste

1. Li F, Ismail M, Elsner A, **Uluk D**, Bauer G, Meisel A, Rueckert JC. Surgical Techniques for Myasthenia Gravis: Robotic-Assisted Thoracoscopic Surgery. *Thorac Surg Clin*. 2019 May;29(2):177-186.
(IF 1.282)
2. Li F, Li Z, Chen Y, Bauer G, **Uluk D**, Elsner A, Swierzy M, Ismail M, Meisel A, Rückert JC. Thymectomy in ocular myasthenia gravis before generalization results in a higher remission rate. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2020 Mar 1;57(3):478-487.
(IF 2.590)
3. **Uluk D**, Lindner T, Palmowski Y, Garritzmann C, Göncz E, Dahne M, Möckel M, Gerlach U.A. E-Scooter: erste Erkenntnisse über Unfallursachen und Verletzungsmuster. *Notfall Rettungsmed*. 2020; 23, 293–298.
(IF 0.756)
4. Bures C, Skachko T, Dobrindt EM, Pratschke J, **Uluk D***, Mogl MT*. Is There a Gender Difference in Clinical Presentation of Renal Hyperparathyroidism and Outcome after Parathyroidectomy? *Visc Med*. 2020 Feb;36(1):34-40. *Contributed equally
(IF 1.960)
5. **Uluk D**, Lindner T, Dahne M, Bickelmayer JW, Beyer K, Slagman A, Jahn F, Willy C, Möckel M, Gerlach UA. E-scooter incidents in Berlin: an evaluation of risk factors and injury patterns. *Emerg Med J*. 2021 Jun 7:emermed-2020-210268. doi: 10.1136/emermed-2020-210268.
(IF 2.794)
6. **Uluk D**, Pratschke J, Lurje G. Influence of skeletal muscle mass on graft regeneration after living-donor liver transplantation. *Hepatobiliary Surg Nutr*. 2021 Aug;10(4):564-566.
(IF 7.293)

7. Czigany Z, Pratschke J, Froněk J, Guba M, Schöning W, Raptis DA, Andrassy J, Kramer M, Strnad P, Tolba RH, Liu W, Keller T, Miller H, Pavicevic S, **Uluk D**, Kocik M, Lurje I, Trautwein C, Mehrabi A, Popescu I, Vondran FWR, Ju C, Tacke F, Neumann UP, Lurje G. Hypothermic Oxygenated Machine Perfusion Reduces Early Allograft Injury and Improves Post-transplant Outcomes in Extended Criteria Donation Liver Transplantation From Donation After Brain Death: Results From a Multicenter Randomized Controlled Trial (HOPE ECD-DBD). *Ann Surg.* 2021 Nov 1;274(5):705-712.
(IF 12.969)

8. Pavicevic S, **Uluk D**, Reichelt S, Fikatas P, Globke B, Raschzok N, Schmelzle M, Öllinger R, Schöning W, Eurich D, Pratschke J, Lurje G. Hypothermic oxygenated machine perfusion for extended criteria donor allografts-Preliminary experience with extended organ preservation times in the setting of organ reallocation. *Artif Organs.* 2021 Nov 1.
(IF 3.094)

Danksagung

An erster Stelle danke ich Professor Dr. Martin Möckel als Leiter der Klinik für Akut- und Notfallmedizin der Campi Charité Mitte und Virchow-Klinikum für die Möglichkeit und das Vertrauen dieses Studienprojekt und zugleich die Promotion unter der steten Hilfsbereitschaft durchführen zu können.

Des Weiteren danke ich Professor Dr. Christian Willy und den Koautoren der Publikation für die Hilfestellungen und die Unterstützung im Rahmen der Bereitstellung von Daten oder im Rahmen von steten Verbesserungsvorschlägen beim Verfassen der Publikation.

Mein besonderer Dank gilt Priv.-Doz. Dr. Undine A. Gerlach-Runge für die einzigartige und aufopfernde Betreuung während der gesamten Dauer der Promotionsarbeit und darüber hinaus. Ohne die Geduld, die Fürsorge und Kompetenz sowie die Vorbildfunktion wäre diese Promotion nicht möglich gewesen. Neben der Betreuung und Anleitung habe ich nicht nur eine Doktormutter, sondern auch eine Mentorin und Freundin gewonnen.

Mein besonderer Dank gilt zudem Cassandra Beyer für die tatkräftige Unterstützung bei der Datenerhebung und für die stetige Motivation zu jedem Zeitpunkt.

Mein größter Dank gilt meinen Eltern und meinen Schwestern Kader und Yasmin, ohne deren Glauben an mich und die liebevolle Unterstützung dieser Schritt in meinem Leben bedeutungslos wäre. Ihnen allein widme ich diese Promotion von ganzem Herzen.