

Kraniofaziale Verletzungsmuster bei E-Scooter-Unfällen
im Vergleich zu Fahrradunfällen –
eine einjährige Single-Center-Studie

Clara Luise Roth

Vollständiger Abdruck der von der TUM School of Medicine and Health der Technischen
Universität München

zur Erlangung einer

Doktorin der Zahnheilkunde (Dr. med. dent.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitz: Prof. Dr. Herbert Deppe

Prüfer*innen der Dissertation:

1. Priv.-Doz. Dr. Dr. Markus Nieberler
2. Priv.-Doz. Dr. Benedikt Hofauer

Die Dissertation wurde am 31.01.2023 bei der Technischen Universität München eingereicht
und durch die TUM School of Medicine and Health am 08.11.2023 angenommen.

Meiner Familie

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis	3
2	Abkürzungsverzeichnis.....	6
3	Einleitung	7
3.1	<i>Elektrokleinstfahrzeuge.....</i>	7
3.1.1	Allgemeines	7
3.1.2	Überblick über die Geschichte der Elektrofahrzeuge	8
3.1.3	Nutzung und Vorteile der E-Scooter in Deutschland.....	9
3.1.4	Nachteile	11
3.1.5	Tragen eines Fahrradhelms	12
3.1.6	Unfallstatistik.....	14
3.1.7	Unfallmechanismen und Ursachen	14
3.1.8	Studienlage zu Verletzungen bedingt durch E-Scooter-Unfälle	16
3.2	<i>Fahrräder.....</i>	17
3.2.1	Fahrradnutzung in Deutschland	17
3.2.2	Vorteile der Fahrradnutzung	18
3.2.3	Unfallstatistik.....	19
3.2.4	Studienlage zu Verletzungen bedingt durch Fahrradunfälle	20
3.2.5	Tragen eines Fahrradhelms	20
4	Ziel und Fragestellung	22
5	Material und Methoden.....	23
5.1	<i>Patientenkollektiv.....</i>	23
5.2	<i>Datenakquise und statistische Auswertung</i>	23
6	Ergebnisse	26
6.1	<i>Demographische Ergebnisse</i>	26
6.1.1	E-Scooter	26
6.1.1.1	Alter und Geschlecht.....	26
6.1.1.2	Zeitliche Komponente.....	27
6.1.1.3	Einlieferungsmodalität.....	29
6.1.1.4	Helm- und Alkoholanamnese.....	30
6.1.1.5	Unfallhergang	30
6.1.2	Fahrrad	31
6.1.2.1	Alter und Geschlecht.....	31

Inhaltsverzeichnis

6.1.2.2	Zeitliche Komponente.....	32
6.1.2.3	Einlieferungsmodalität.....	34
6.1.2.4	Helm- und Alkoholanamnese.....	34
6.1.2.5	Unfallhergang	35
6.1.3	Vergleich beider Gruppen	36
6.2	<i>Kraniofaziale Verletzungsmuster</i>	40
6.2.1	E-Scooter	40
6.2.1.1	Weichteilverletzungen.....	40
6.2.1.2	Frakturen	41
6.2.1.3	Schädel-Hirn-Traumata.....	42
6.2.1.4	Dentale Traumata	43
6.2.1.5	Therapie	43
6.2.1.6	Verletzungsmuster alkoholierter und nicht alkoholierter Patienten im Vergleich	43
6.2.2	Fahrrad	45
6.2.2.1	Weichteilverletzungen.....	45
6.2.2.2	Frakturen	46
6.2.2.3	Schädel-Hirn-Traumata.....	46
6.2.2.4	Dentale Traumata	47
6.2.2.5	Verletzungsmuster behelmter und unbehelmter Patienten im Vergleich.....	47
6.2.2.6	Tödlich verunglückte Fahrradfahrer	49
6.2.2.7	Therapie	49
6.2.3	Vergleich des E-Scooter- mit dem Fahrradkollektiv	49
7	Diskussion	54
7.1	<i>Patientenkollektiv</i>	54
7.2	<i>Einfluss des ersten Covid-19-Lockdowns auf den Untersuchungszeitraum</i>	56
7.3	<i>Einlieferungszeitpunkt und -modalität</i>	57
7.4	<i>Unfallursachen und Fehlverhalten</i>	58
7.5	<i>Problematik des Fahrens unter Alkoholeinfluss</i>	60
7.6	<i>Helmnutzung</i>	62
7.6.1	Schutzwirkung von Helmen.....	63
7.6.2	Helmpflicht.....	63
7.7	<i>Kraniofaziale Verletzungsmuster</i>	64
7.7.1	Weichteilverletzungen	64
7.7.1.1	Offene Weichteilverletzungen als häufigstes Verletzungsmuster	64

Inhaltsverzeichnis

7.7.1.2	Topographie der offenen Weichteilverletzungen.....	65
7.7.2	Frakturen.....	65
7.7.2.1	Häufigkeiten der aufgetretenen Frakturen.....	65
7.7.2.2	Unterkiefer- und Mittelgesichtsfrakturen.....	66
7.7.3	Sonstige Verletzungsmuster.....	67
7.8	<i>Therapie</i>	68
7.9	<i>Volkswirtschaftliche Aspekte</i>	70
7.10	<i>Limitationen</i>	71
7.11	<i>Anregungen und Ausblick</i>	72
8	Zusammenfassung	73
9	Abbildungsverzeichnis	75
10	Tabellenverzeichnis	76
11	Literaturverzeichnis	77
12	Publikation	89
13	Danksagung	90

2 Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
BAK	Blutalkoholkonzentration
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
cm	Zentimeter
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CT	Computertomografie
EEG	Elektroenzephalogramm
eKFV	Elektrokleinstfahrzeuge-Verordnung
et al.	et altera
GBP	Great British Pound
IoT	Internet of Things
ISS	Injury Severity Score
km	Kilometer
km/h	Kilometer pro Stunde
Mio.	Millionen
Mrd.	Milliarden
ms	Millisekunden
m/s	Meter pro Sekunde
NZD	Neuseeland-Dollar
o. g.	oben genannt
Pkw	Personenkraftwagen
QR-Code	Quick Response Code
SHT	Schädel-Hirn-Trauma
sog.	sogenannt
SPSS	Statistical Package for Social Sciences
USD	US-Dollar
vgl.	vergleiche
vs.	versus
z.B.	zum Beispiel

3 Einleitung

3.1 Elektrokleinstfahrzeuge

3.1.1 Allgemeines

Die Landeshauptstadt München befindet sich in einem ständigen demografischen Wandel - pro Jahr steigt die prognostische Einwohnerzahl um durchschnittlich 0,71 % (Landeshauptstadt München - Referat für Stadtplanung und Bauordnung, 2021). Diese Entwicklung bringt Herausforderungen im Mobilitätssektor mit sich; er soll nachhaltiger, energie- und ressourceneffizienter gestaltet werden. Die Elektromobilität ist nach Ansicht des Bundesministerium für Wirtschaft in diesem Rahmen als eine aktuelle, klimafreundliche Technologie anzusehen, welche CO₂-Emissionen senken soll (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2018). Ein noch energie- und ressourcenschonenderes Verkehrsmittel stellt das herkömmliche, nicht elektroangetriebene Fahrrad dar.

Mittlerweile existieren Elektrofahrzeuge in verschiedenen Größenordnungen, vom Elektroauto über E-Bikes/Pedelecs bis zum E-Scooter. Die E-Scooter, auch elektrische Tretroller oder Stehroller genannt, werden zusammen mit den Segways den sog. „Elektrokleinstfahrzeugen“ zugeordnet. Bei Elektrokleinstfahrzeugen handelt es sich um klappbare, elektroangetriebene Tretroller mit Lenkstange, die folgendermaßen in der Elektrokleinstfahrzeuge-Verordnung (eKFV) definiert sind:

„§ 1 Anwendungsbereich

(1) Elektrokleinstfahrzeuge im Sinne dieser Verordnung sind Kraftfahrzeuge mit elektrischem Antrieb und einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von nicht weniger als 6 km/h und nicht mehr als 20 km/h, die folgende Merkmale aufweisen:

- 1. Fahrzeug ohne Sitz oder selbstbalancierendes Fahrzeug mit oder ohne Sitz,*
- 2. eine Lenk- oder Haltestange von mindestens 500 mm für Kraftfahrzeuge mit Sitz und von mindestens 700 mm für Kraftfahrzeuge ohne Sitz,*
- 3. eine Nenndauerleistung von nicht mehr als 500 Watt, oder von nicht mehr als 1400 Watt, wenn mindestens 60 Prozent der Leistung zur Selbstbalancierung verwendet werden. [...]*
- 4. eine Gesamtbreite von nicht mehr als 700 mm, eine Gesamthöhe von nicht mehr als 1400 mm und eine Gesamtlänge von nicht mehr als 2000 mm und*

*5. eine maximale Fahrzeugmasse ohne Fahrer von nicht mehr als 55 kg.“
("Verordnung über die Teilnahme von Elektrokleinstfahrzeugen am
Straßenverkehr ", 2019)*

Genau wie Fahrräder sind sie als Fortbewegungsmittel für kürzere Strecken gedacht. Seit Einführung der E-Scooter wird jedoch der Anstieg von Unfällen und Verletzungen in Zusammenhang mit diesem Verkehrsmittel diskutiert, wodurch sich die Zielsetzung der Studie ergab (Statistisches Bundesamt (Destatis), 2021a).

In der folgenden Arbeit wird aufgrund der leichteren Lesbarkeit die männliche Form verwendet; hierbei ist immer auch die weibliche Form gemeint.

3.1.2 Überblick über die Geschichte der Elektrofahrzeuge

Die Basis der Elektromobilität wurde mit der Entdeckung des Elektromagnetismus im Jahr 1821 durch Michael Faraday geschaffen. 1888 folgte das erste vierrädrige Elektroauto, ein Kutschenwagen, den der deutsche Maschinenbauer Andreas Flocken entwickelte (Schrader, 2002). Bis zum Jahr 1912 fand eine sog. „Elektroauto-Revolution“ statt: neben den Vereinigten Staaten als führende produzierende Nation, begann auch die Herstellung von E-Mobilen in einem Großteil der anderen Industrienationen. Aufgrund der geringeren Reichweite konnten sich die Elektroautos allerdings nicht durchsetzen und waren den benzinangetriebenen Autos in den folgenden Jahrzehnten unterlegen (Maxwill, 2012). Die Wurzeln des „Ur-Scooters“ liegen um 1915 in New York, mit dem sog. „Autoped“, einem Benzin-Tretroller mit Lenkstange. Die Produktion dauerte allerdings nur bis 1921 an. Auch der erste deutsche Motorroller, hergestellt von Krupp, konnte sich nicht durchsetzen, sodass bereits im Jahr 1922 nach drei Jahren die Produktion eingestellt wurde. (Iken, 2019; Tragatsch, 1971)

Bis zum Ende des 20. Jahrhunderts stellte die Elektromobilität eine Nische bei den Verkehrsmitteln dar. Ab 2007 verabschiedete das Bundesministerium mehrere Förderungsprogramme für die Elektromobilität in Deutschland, die neben der Weiterentwicklung von Elektroautos auch die Umsatzzahlen von Pedelecs und E-Scootern auf dem Markt ansteigen ließen (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, 2011).

3.1.3 Nutzung und Vorteile der E-Scooter in Deutschland

Seit dem 15. Juni 2019 sind die E-Scooter im Straßenverkehr der Bundesrepublik Deutschland auf Radwegen, Radfahrstreifen und Fahrradstraßen zugelassen (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2019). Ein Fahren auf Straßen oder Fußwegen ist somit nicht erlaubt. Die elektrischen Tretroller bestehen aus einem Aluminium-, Stahl- oder Carbonrahmen, zwei Rädern, einem Trittbrett, einer Lenkstange und zwei Bremsen (siehe Abbildung 1). Zur Sicherheit im Straßenverkehr sind Reflektoren und Lampen notwendig. Angetrieben werden sie mit einem aufladbaren Lithium-Ionen- oder Blei-Akku. Das Gewicht der E-Scooter variiert üblicherweise zwischen 7,5 bis 20 kg.



Abbildung 1: Aufbau und Bestandteile eines E-Scooters
(mit freundlicher Genehmigung durch TIER Mobility)

Die eKfV erlaubt den Gebrauch ab dem 14. vollendeten Lebensjahr. E-Scooter dürfen Höchstgeschwindigkeiten bis zu 20 km/h erreichen. Da Elektrokleinstfahrzeuge gemäß § 1 Absatz 1 eKfV als Kraftfahrzeuge eingestuft sind, gelten bezüglich der Alkoholwertgrenze die gleichen Vorschriften wie für Autofahrer: die BAK darf maximal 0,5 ‰ betragen. Ab 0,5 – 1,09 ‰ wird das Fahren als Ordnungswidrigkeit gewertet und es erfolgt ein Bußgeldbescheid in Höhe von 500 € mit der Folge einer Eintragung von zwei Punkten im Fahreignungsregister.

Ab 1,10 ‰ BAK wird eine Straftat begangen. Für junge Erwachsene bis 21 Jahre gilt ein absolutes Alkoholverbot. Helm und Führerschein sind nicht vorgeschrieben. (Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V., 2021; Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2019)

Im September 2019 wurde der gewerbliche Bestand in Deutschland auf 54.000 E-Scooter eingeschätzt (Kords, 2021). Auf dem Markt existieren verschiedene Anbieter von Mietfahrzeugen. Im Jahr 2019 veröffentlichte die Firma „civity Management Consultants“ ein Eigenforschungsprojekt über E-Scooter. Die Auswertung der E-Scooter-Anzahl nach Stadt und Anbieter ergab für München 2.274 E-Scooter des Anbieters Lime, 1.388 des Anbieters Tier und 1.739 des Anbieters Voi. Weitere Anbieter erschienen in der Studie nicht. Außerdem ergab die Untersuchung 3,2 Bewegungen in München pro Tag und E-Scooter. (Tack et al., 2019)

Im Rahmen des E-Scooter-Sharings wird eine App auf dem Smartphone benötigt. Nach Angabe der Zahlungsdaten können die E-Scooter über eine virtuelle Karte gesucht oder mittels QR-Codes gescannt werden. Üblich ist ein Grundpreis (ca. 1 €) plus minütliche Gebühren (ab ca. 0,15 €) (Soyer, 2019). Nach der Benutzung kann der E-Scooter unter Berücksichtigung der geltenden Parkvorschriften für Fahrräder abgestellt werden (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2019). Alternativ ist auch der private E-Scooter-Erwerb möglich.

Um das Nutzerprofil besser einzuschätzen führte die Unternehmensberatung „The Nunatak Group“ im Jahr 2019 eine Studie durch, bei der 1.250 Menschen aus deutschen Großstädten befragt wurden. Die Ergebnisse zeigten eine Inanspruchnahme der E-Scooter von vor allem jüngeren Leuten. Während 42,7 % der Nutzer 18-25 Jahre alt waren, belief sich die Zahl in der Gruppe der 56 bis 65-Jährigen auf nur 3,9 %. Außerdem fuhr fast jeder Zweite der Befragten mindestens einmal wöchentlich E-Scooter. (The Nunatak Group, 2019)

E-Scooter eignen sich sowohl für den Arbeitsweg, zur Fortbewegung in der Freizeit als auch für Touristen zur Stadterkundung (Gebhardt et al., 2021). Die übliche Fortbewegungsstrecke mit dem E-Scooter beläuft sich auf 0,5 bis 4 km, was normalerweise einer Gehzeit von 5 bis 45 Minuten entsprechen würde. Als Vorteil gegenüber Fußgängern ist somit die Zeiteffizienz zu nennen. Zum Auto dagegen überwiegt eine Kostenersparnis, eine Lärmreduktion, die Klimafreundlichkeit im Sinne einer geringeren CO₂-Emission bei der Benutzung und die Unabhängigkeit von einem hohen Verkehrsaufkommen (Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), 2021). Außerdem sind die E-Scooter in Großstädten jederzeit und fast überall verfügbar. Im Vergleich zu öffentlichen Verkehrsmitteln bestehen keine Wartezeiten und Ziele

können ohne Umwege oder Zwischenstopps erreicht werden. Darüber hinaus ist eine Kombination der E-Scooter mit anderen (zum Beispiel öffentlichen) Verkehrsmitteln möglich, weshalb sie sich gut für die sog. erste und letzte Meile eignen (Tack et al., 2019). Aufgrund der geringeren körperlichen Betätigung bei E-Scooter-Fahrten im Vergleich zu Fahrradfahrten fällt außerdem ein eventuelles unangenehmes Schwitzen weg.

Allgemein wird der globale E-Scooter-Markt bis zum Jahr 2025 auf 40-50 Mrd. USD geschätzt und liefert somit einen wirtschaftlichen Beitrag (Schellong et al., 2019).

3.1.4 Nachteile

Ein Fazit des Umweltbundesamts dokumentierte derzeit keinen positiven Beitrag der E-Scooter zur Verkehrswende (Umweltbundesamt, 2021). Einerseits ersetzen sie häufig nur die öffentlichen Verkehrsmittel sowie den Fuß- oder Fahrradverkehr (The Nunatak Group, 2019). Andererseits ist die Umweltbilanz der Produktion kritisch zu hinterfragen. „Größtenteils handelt es sich bei den Akkus in E-Scootern um Lithium-Ionen-Akkus. [...] Akkus dieser Art können Kobalt, Nickel, Kupfer, Aluminium und andere Rohstoffe enthalten, deren Abbau häufig mit Belastungen für die menschliche Gesundheit und die Umwelt einhergeht“, berichtet das Umweltbundesamt (Umweltbundesamt, 2021). Eine andere Studie zeigte bei der Aluminiumproduktion, beispielsweise für den Rahmen und die Lenkstange, ein Anfallen noch höherer Emissionen als bei den Lithium-Ionen-Batterien. Ein Verbesserungsansatz stellt das Verwenden von recyceltem Aluminium dar. (Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), 2021)

Neben der Produktion fließt der Transport, die Nutzung und die Entsorgung der E-Scooter in die Umweltbilanz ein. Hinzu kommen Vorfälle, in denen E-Scooter unsachgemäß abgestellt oder zum Opfer von Vandalismus werden. Es wird berichtet, dass sich zahlreiche E-Scooter in Flüssen befinden, dessen Akkus die Wasserqualität gefährden (Köhler, 2022). Hinsichtlich Herstellung, Transport, Nutzung und Service seien die CO₂-Emissionen über die Lebensdauer eines E-Scooters ähnlich wie die eines Linienbusses (Gebhardt et al., 2021). Die Boston Consulting Group schätzte im Jahr 2019 die Lebensdauer eines E-Scooters durch die starke Benutzung auf nur 3 Monate, wobei die Verleihfirmen 4 Monate bräuchten, um die Investition zu decken. Neben der Anschaffung entstehen die Kosten vor allem durch das Aufladen, Warten, Reparieren und Einsammeln sowie Verteilen der E-Scooter. (Schellong et al., 2019)

Im Jahr 2020 konnte die Lebensdauer der E-Scooter auf 12 Monate optimiert werden (Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), 2021).

In Anbetracht der SARS-Cov-2-Pandemie bestand durch die Berührung von Oberflächen, wie der Lenkgriff von leihbaren E-Scootern, eine höhere Infektionsgefahr als bei privaten E-Scootern. In diesem Rahmen testet TIER Mobility ein antivirales, -bakterielles und fungizides Kupfervlies an den Griffen (TIER Mobility, 2020). Neben der eingeschränkten Verfügbarkeit der leihbaren E-Scooter ist außerdem eine begrenzte Reichweite anzumerken. E-Scooter mit wechselbaren Batterien bewältigen eine Reichweite von bis zu 30 km, während es bei E-Scootern mit fest verbauten Batterien nur bis zu 22 km sind (Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), 2021). Danach muss die Fahrt für einen Ladevorgang oder Batterieaustausch unterbrochen werden. Im Alltag ist im Vergleich zu anderen Verkehrsmitteln eine erschwerte Transportierbarkeit von Einkäufen oder anderen Gegenständen nachteilig.

Allgemein resultiert aus der Verwendung der E-Scooter auf hügeligen, gepflasterten oder nassen Wegen ein erhöhtes Unfallrisiko, verursacht durch die zum Fahrrad vergleichsweise kleinen Reifen. Unter den E-Scooter-Verletzten scheinen am häufigsten Männer im jungen Erwachsenenalter betroffen zu sein (Namiri et al., 2020; T. K. Trivedi et al., 2019; Uluk et al., 2020).

3.1.5 Tragen eines Fahrradhelms

Ein E-Scooter-Crashtest der DEKRA (siehe Abbildung 2), bei der Dummies mit 20 km/h auf eine Bordsteinkante fahren und über den Lenker stürzten, zeigte eine signifikante Verringerung der Verletzungsrate durch das Tragen eines Fahrradhelms (DEKRA Automobil GmbH, 2020). Da während des Versuchs lediglich Beschleunigungswerte gemessen werden konnten, erfolgte die Beurteilung des Verletzungsrisikos anhand des HIC (Head Injury Criteria)-Wertes, der international unter anderem bei Crashtests verschiedener Fahrzeugarten eingesetzt wird (U.S. Government Publishing Office, 1971). Bei einer Anpralldauer von 15 ms gegen einen Gegenstand gibt dabei der HIC15-Wert mit 1000 eine Wahrscheinlichkeit von 50 % für irreversible Kopfverletzungen an. Bei einer längeren Dauer von 36 ms, dafür ohne harten Anprall, sinkt der HIC36-Wert auf 700. Ohne Fahrradhelm lag der HIC36-Wert bei 5.282, der für hochgradige bis tödliche Kopfverletzungen spricht. Mit Fahrradhelm wurde dagegen ein HIC36-Wert von 122 erreicht.

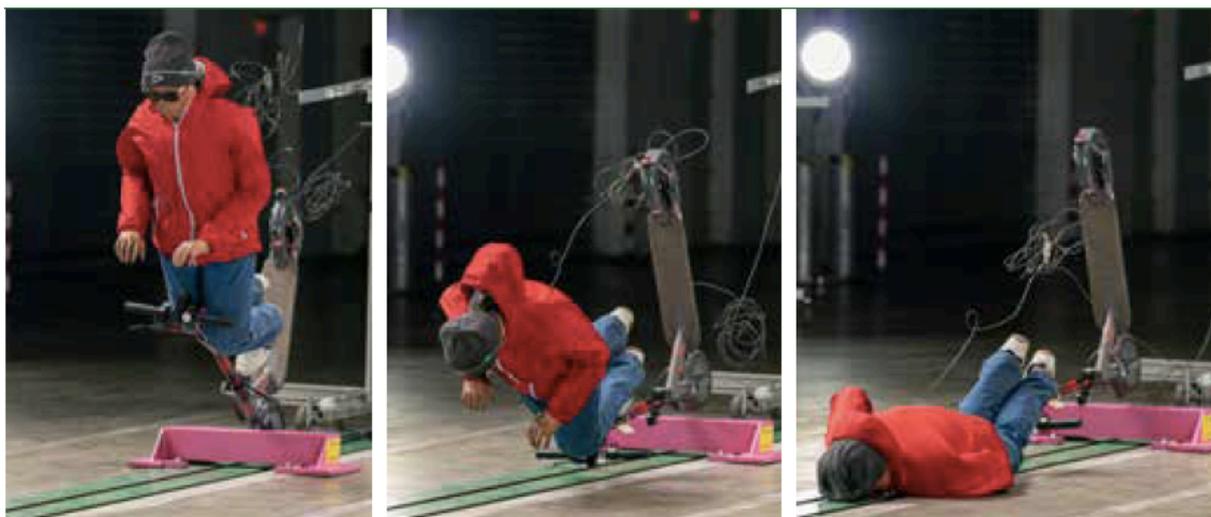


Abbildung 2: Versuchsaufbau des E-Scooter-Crashtests ohne Helm (DEKRA Automobil GmbH, 2020)

Auch ein Airbaghelm wurde geprüft, der durch seine Handlichkeit und bessere Ästhetik punktet. Dieser schnitt mit einem HIC36-Wert von 169 ab. (DEKRA Automobil GmbH, 2020)

Obwohl der Dummy keinerlei Abwehrreaktionen zeigt, wie diese bei nüchternen Personen zu erwarten wären, veranschaulicht der Test den eindeutigen Nutzen von Fahrradhelmen bei E-Scooter-Stürzen.

Ein Helm wird jedoch von den meisten Sharing-Anbietern nicht zur Verfügung gestellt. Dies erklärt die geringe Helmtragequote von 1,7 % in einer vorhergehenden Münchner Studie (Mair et al., 2020). Der Anbieter TIER Mobility reagierte auf das Problem und brachte in Form eines Klapphelms eine erste integrierte Helmlösung auf den Markt, welcher bei Benutzung kostenfrei ausgeliehen werden kann. Der Hardcover-Helm sei in einer Kunststoffbox an der Lenkstange verstaut (siehe Abbildung 3) und müsse nach der Entnahme lediglich seitlich aufgeklappt werden. TIER Mobility gibt eine Desinfektion der Helme alle 5 Fahrten an und stelle darüber hinaus Haarnetze zur Hygiene bereit (TIER Mobility, 2020). Auf eigener Nachfrage hin gab TIER Mobility die Auskunft, dass die integrierten Helme in allen deutschen Städten im Rahmen der E-Scooter-Flottenerneuerung 2021 nachgerüstet werden sollten. Dies konnten die Beobachtungen des Verfassers innerhalb der Stadt München allerdings nicht bestätigen.

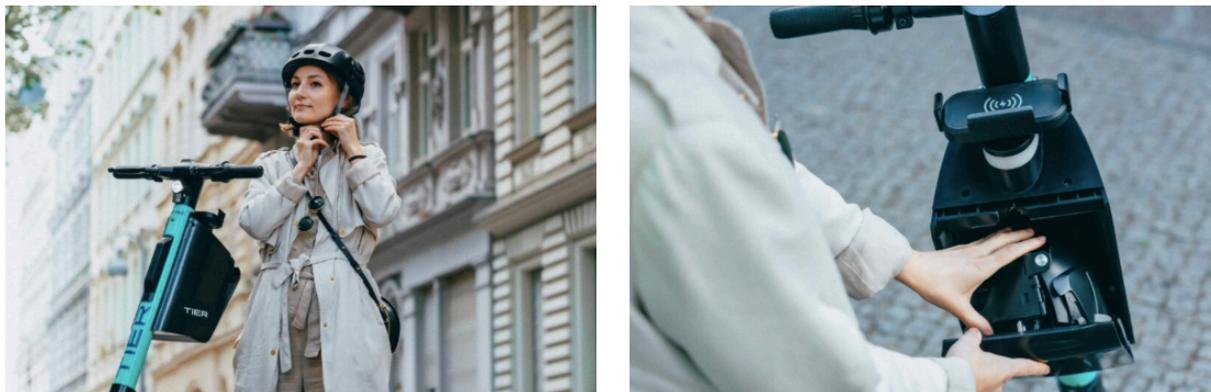


Abbildung 3: Integrierter Klapphelm eines E-Scooters (TIER Mobility, 2020)

3.1.6 Unfallstatistik

Seit dem 1. Januar 2020 werden Unfälle mit Elektrokleinstfahrzeugen durch das Statistische Bundesamt erfasst, dessen Zahlen im Folgenden erläutert werden. Im Jahr 2020 berichtete das Statistische Bundesamt von insgesamt 2.155 polizeilich erfassten E-Scooter-Unfällen mit Personenschaden. Bei 1.907 Menschen handelte es sich um leichte Verletzungen, bei 386 um schwere Verletzungen und 5 Menschen verunglückten tödlich. Die meisten Unfälle ereigneten sich in Nordrhein-Westfalen und Bayern. In 72,1 % der Fälle waren die E-Scooter-Fahrer für den Unfall hauptverantwortlich. Etwa ein Drittel der E-Scooter-Unfälle ergaben sich durch einen Zusammenstoß mit einem Pkw. 18,3 % der Fahrer standen unter Alkoholeinfluss. Es handelte sich zu 76 % um Menschen unter 45 Jahren (Statistisches Bundesamt (Destatis), 2021a). Im Jahr 2021 stieg die Zahl auf 4.887 Verunglückte durch E-Scooter-Unfälle an. (Statistisches Bundesamt (Destatis), 2022) Dies könnte auf die zunehmende Popularität des Verkehrsmittels zurückzuführen sein.

3.1.7 Unfallmechanismen und Ursachen

Größtenteils ziehen sich Personen, die den E-Scooter selbst fahren, Verletzungen zu. Nur selten (8,4 %) sind die Patienten „Nicht-Fahrer“, wie zum Beispiel von einem E-Scooter angefahrene Passanten. Der Unfallmechanismus der Fahrer ist in 80,2 % der Fälle ein Sturz, bei 11,0 % eine Kollision mit einem stehenden und bei 8,8 % ein Zusammenstoß mit einem sich bewegenden Objekt. (T. K. Trivedi et al., 2019) Die Arbeitsgruppe von Shichman et al. gibt eine ähnliche Verteilung an (Shichman et al., 2022).

Zu 75 % sind die Stürze eigenverschuldet. Als Sturzursache werden unter anderem ein Gleichgewichtsverlust, ein Fahren zu zweit oder eine Kollision mit der Bordsteinkante angegeben. Außerdem können sich E-Scooter-Fahrer an der Trittbrettkante anstoßen. (Uluk et al., 2020) Gründe für ein erhöhtes Unfallrisiko könnte der Aufbau des E-Scooters mit einem kurzen Lenker und Trittbrett sein, denn dieser sorgt für eine instabile Position und unzureichenden Halt des Fahrers. Beim Abbiegen können Richtungswechsel kaum ersichtlich gemacht werden, denn nur die E-Scooter der neuesten Generationen werden mit Blinkern angeboten. Folglich gerät man beim einhändigen Fahren leicht aus dem Gleichgewicht. Darüber hinaus können andere Verkehrsteilnehmer die schnelle Beschleunigung und Bremsvorgänge nur schwer einschätzen. Verletzungen scheinen sich E-Scooter-Fahrer gleichermaßen mit niedriger als auch mit hoher Geschwindigkeit zum Unfallzeitpunkt zuzuziehen (Hennocq et al., 2020). Die Helmtragequote fiel in bisherigen Studien sehr gering aus, obwohl die Helmnutzung von den E-Scooter-Herstellern empfohlen wird (Mair et al., 2020; T. K. Trivedi et al., 2019; Uluk et al., 2020).

Die Arbeitsgruppe von Posirisuk und Kollegen simulierten E-Scooter-Stürze durch Schlaglöcher und untersuchten dabei die Aufprallkraft und -geschwindigkeit des Kopfes. Diese stellten bei E-Scooter-Stürzen hohe Aufprallkräfte fest, die mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit anstiegen. Die Aufprallgeschwindigkeit überschritt den Schwellenwert für Schädelfrakturen von 5,3 m/s, der durch vorhergehende Untersuchungen an postmortalen Probanden von Zhang et al. festgelegt wurde. Analog dazu kann die Aufprallgeschwindigkeit durch eine verminderte Fahrgeschwindigkeit minimiert werden. Die simulierten Stürze führten zu einem schrägen Aufprall ($65 \pm 10^\circ$) auf den Boden. Außerdem hatte die Schlaglochtiefe und der Durchmesser der Räder einen Einfluss. Bei 10-Zoll-Rädern belief sich die kritische Tiefe auf 3 - 6 cm. (Posirisuk et al., 2022; Zhang et al., 2009)

Ein weiterer Faktor, der die E-Scooter-Unfälle beeinflusst, ist der Alkoholkonsum. In einer ersten Münchner Studie waren 36,7 % der Patienten alkoholisiert. Betrachtet man nur die Unfälle, die sich nachts ereigneten, standen sogar 78,5 % unter Alkoholeinfluss. Zudem begünstigten lokale Festivitäten wie das Münchner Oktoberfest E-Scooter-Unfälle und zeigten einen erhöhten Schweregrad der Verletzungen, auf die im nächsten Kapitel eingegangen werden soll. (Mair et al., 2020)

3.1.8 Studienlage zu Verletzungen bedingt durch E-Scooter-Unfälle

Die Studienlage zu Verletzungen im Rahmen von E-Scooter-Unfällen erfährt eine steigende Tendenz. Bezogen auf die Tageszeit ereignen sich die Unfälle vermehrt am Nachmittag und Abend (Mair et al., 2020; T. K. Trivedi et al., 2019). Rund zwei Drittel der Patienten liefern sich nach einem E-Scooter-Unfall selbst ein, während der Rest einen Rettungswagen oder notärztliche Betreuung in Anspruch nehmen (T. K. Trivedi et al., 2019). Zur Diagnostik ist in 70,3 – 80,3 % der Fälle eine Bildgebung in Form von Röntgen oder CT notwendig (Jones et al., 2022; Shichman et al., 2022; T. K. Trivedi et al., 2019).

Es bestehen kontroverse Ergebnisse zu den Verletzungen im Rahmen von E-Scooter-Unfällen. Einige Autoren beobachteten ein signifikant häufigeres Auftreten von kraniofazialen Verletzungen im Vergleich zu anderen Körperregionen (Mair et al., 2020; T. K. Trivedi et al., 2019; Uluk et al., 2020). Andere Autoren berichten ein vermehrtes Betreffen der Extremitäten (Kobayashi et al., 2019; Störmann et al., 2020).

Die meist beobachteten Verletzungsarten bei E-Scooter-Unfällen sind, unabhängig der Körperregion, Weichteilverletzungen sowie Frakturen. Letzteres betrifft häufig die obere Extremität (Shichman et al., 2022; Uluk et al., 2020). Betrachtet man die Kopfparte genauer, handelt es sich in der Mehrheit um leichte Ausprägungen wie offene Weichteilverletzungen, Prellungen und Schädel-Hirn-Traumata 1. Grades (Jones et al., 2022; Rashed et al., 2022; Uluk et al., 2020).

Eine vorhergehende Studie aus dem Jahr 2020 führten die Kollegen aus der Unfallchirurgie am Universitätsklinikum rechts der Isar der Technischen Universität München durch. Dabei wurden die Verletzungen bedingt durch E-Scooter-Unfälle anhand eines Kollektivs von 60 Patienten über einen 9-monatigen Zeitraum untersucht. Es traten insgesamt 102 Verletzungen auf, wobei alle Körperregionen berücksichtigt wurden. (Mair et al., 2020) Der Schweregrad aller Verletzungen wurde mit dem ISS (Injury Severity Score) klassifiziert (Baker et al., 1974). Zu 90 % handelte es sich demnach um leichte Verletzungen. Während des Münchner Oktoberfests war der ISS Wert jedoch signifikant höher. Die Lokalisierung war primär der Kopf- und Gesichtsbereich (51,9 %), gefolgt von der oberen (26,4 %) und unteren Extremität (16,7 %). Die Kopfverletzungen betrafen vorwiegend das Gesicht bzw. den Gesichtsschädel, wobei es sich meist um Riss-Quetsch-Wunden und Exkorationen handelte. Der Hirnschädel erlitt dagegen gehäuft ein Schädel-Hirn-Trauma 1. Grades. (Mair et al., 2020)

Im Folgenden soll auf bestehende Studien eingegangen werden, die sich auf Kopfverletzungen durch E-Scooter-Unfälle beschränken. In Paris evaluierte eine Forschungsgruppe E-Scooter-Unfälle zwischen den Jahren 2017 und 2019, da das E-Scooter-Sharing in Paris bereits seit Juni 2018 existiert. Die offenen Weichteilverletzungen waren vermehrt im Kinn- und Lippenbereich lokalisiert, seltener an Stirn und Nase. Bei den Frakturen handelte es sich meist um Unterkieferfrakturen (55 %), gefolgt von Mittelgesichtsfrakturen (45 %), die vorwiegend das Nasen- oder Jochbein betrafen. Seltener kamen Orbita- und Le-Fort-Frakturen vor. Die Unterkieferfrakturen wurden in der Mehrheit als Einfachfrakturen diagnostiziert und waren etwa doppelt so häufig am Processus condylaris als am zahntragenden Teil lokalisiert. Nur wenige Patienten (9 %) zogen sich kraniofaziale Frakturen zu, insbesondere betrafen diese den Sinus frontalis. Dentale Traumata, vorwiegend im anterioren Bereich, traten bei 44 % der Patienten auf. Hier konnten in absteigender Reihenfolge Kronenfrakturen, Dislokationen und selten alveoläre Frakturen beobachtet werden. (Hennocq et al., 2020)

Aus einer amerikanischen Studie von Puzio et al. ist eine medizinische Intervention bei mehr als 60 % der Patienten bekannt (Puzio et al., 2020). Die Rate für die stationäre Aufnahme lag bei 6-10 % der Verletzten (Puzio et al., 2020; T. K. Trivedi et al., 2019) Eine operative Behandlung war bei 25 – 44 % der Patienten erforderlich (Jones et al., 2022; Mair et al., 2020). In Untersuchungen aus Kopenhagen wurden neben E-Scooter-Unfällen auch klassische Tretroller miteinbezogen. Gesichtsverletzungen traten insgesamt häufiger bei E-Scooter- (38,4 %) als bei Tretroller-Unfällen (25,1 %) auf (Blomberg et al., 2019).

3.2 Fahrräder

3.2.1 Fahrradnutzung in Deutschland

Das Fahrrad gilt nicht nur als global beliebtes und seit Jahrhunderten bewährtes Fortbewegungsmittel für kurze bis mittlere Entfernungen, sondern findet auch im Sport- und Freizeitbereich Anklang. Es existieren je nach Verwendungszweck verschiedene Fahrradmodelle, die sich unter anderem durch ihr Gewicht, dem Aufbau, der Sitzhaltung und der Reifengröße unterscheiden. Beliebt sind Trekkingräder, Citybikes, Hollandräder, Mountainbikes und Rennräder. Ein Trend, der besonders in den letzten Jahren an Bedeutung zugenommen hat, sind die Elektroräder. Auch jüngere Menschen nutzen diese zunehmend. Es werden Pedelecs (Pedal Electric Cycle), schnelle Pedelecs und E-Bikes unterschieden. Pedelecs unterstützen die Tretleistung bis 250 Watt und bis maximal 25 km/h, schnelle

Pedelecs (die zu den Kleinkrafträdern gezählt werden) unterstützen dagegen bis 500 Watt und 45 km/h. Bei beiden Varianten muss der Fahrer die Pedale treten. Im Gegensatz dazu dienen E-Bikes auch mit dem Elektroantrieb, wenn nicht in die Pedale getreten wird. (Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club e.V., 2017)

In Deutschland wurde der Fahrradbestand privater Haushalte im Jahr 2017 auf etwa 77 Mio. eingeschätzt und ist damit sowohl höher als der Pkw (43 Mio.) wie auch der E-Scooter-Bestand (Nobis & Kuhnimhof, 2018). Während der SARS-CoV-2-Pandemie konnte die Fahrradindustrie sogar Rekordumsätze verbuchen (Zweirad-Industrie-Verband, 2020). Noch mehr Menschen schienen während dieser Phase das Fahrrad zu bevorzugen. Einerseits, um damit öffentliche Verkehrsmittel zu meiden und andererseits, um trotz des Schließens vieler Sporteinrichtungen Bewegung an der frischen Luft zu ermöglichen. (Zweirad-Industrie-Verband, 2020)

Die Fahrradnutzung ist abhängig von der Jahreszeit und der Witterung. Insbesondere im Sommer bevorzugen mehr Menschen das Fahrrad. Durchschnittlich beträgt der Radverkehrsanteil am Gesamtverkehrsaufkommen in Bayern 11 %, in Großstädten ist er höher und im ländlichen Raum niedriger (Nobis, 2019). Im Rahmen des „Radverkehrsprogramm Bayern 2025“ ist das Ziel einer Steigerung auf 20 % gesetzt (Bayerisches Staatsministerium des Innern für Bau und Verkehr, 2017).

3.2.2 Vorteile der Fahrradnutzung

Neben der Umwelteffizienz hat das herkömmliche Radfahren ohne Elektroantrieb – im Gegensatz zum E-Scooter – viele gesundheitliche Vorteile, die hier beispielhaft genannt werden sollen. Durch die erhöhte Fettverbrennung kann eine Gewichtsreduktion erzielt werden und auch für übergewichtige oder adipöse Menschen ist das Radfahren geeignet, da der Fahrradsattel knapp 70 % des Körpergewichts trägt. Auf die Psyche hat das Radfahren ebenfalls einen positiven Effekt. Einerseits die entspannende Wirkung durch die gleichförmigen Beinbewegungen und andererseits werden im Rahmen des Ausdauersports nach etwa 30-40 Minuten Endorphine ausgeschüttet. Das Herzinfarkttrisiko kann um über 50 % gesenkt werden, sofern die körperliche Aktivität regelmäßig betrieben wird. Über die Stärkung der Muskulatur kann eine Prävention von Rückenschmerzen stattfinden. (Froböse, 2006)

Ein weiterer Vorteil des Fahrrads gegenüber dem E-Scooter ist die Möglichkeit des regelkonformen Fahrens außerhalb der Radwege. Außerdem existiert, im Gegensatz zum E-Scooter, für das Radfahren kein Mindestalter. Abgesehen von Elektrorädern besteht keine

Limitation durch eine Reichweite. Ein Transport von kleineren Lasten ist durch das Anbringen von Fahrradkörben möglich.

3.2.3 Unfallstatistik

Wie viele Verkehrsmittel zieht das Radfahren Risiken mit sich, die schlimmstenfalls tödliche Folgen haben können. Die Anzahl an Fahrradunfällen ist im Vergleich zu den E-Scooter-Unfällen wesentlich höher, was größtenteils durch die häufigere Fahrradnutzung der Menschen bedingt ist (Statistisches Bundesamt (Destatis), 2021a, 2021b). Der prozentuale Anteil an Toten und Schwerverletzten fällt jedoch, verglichen mit E-Scooter-Unfällen, ähnlich aus. (Statistisches Bundesamt (Destatis), 2021b)

Laut dem Statistischen Bundesamt ereigneten sich im Jahr 2021 in Deutschland 83.723 polizeilich registrierte Fahrradunfälle mit Personenschaden (Statistisches Bundesamt (Destatis), 2022). Im Vorjahr 2020 wurde eine höhere Zahl von 91.533 Fahrradunfällen mit Personenschaden durch die Polizei registriert (Statistisches Bundesamt (Destatis), 2021b). Davon ereigneten sich 19.212 in Bayern, was einen Anstieg um 9,6 % im Vergleich zum Vorjahr bedeutet und durch die vermehrte Fahrradnutzung aufgrund der Covid-19-Pandemie begründet wird (Bayerisches Staatsministerium des Innern, 2021). 426 Menschen wurden deutschlandweit getötet. Dies entspricht einem Rückgang um 4,3 % im Vergleich zum Vorjahr. Die Altersstruktur der getöteten Fahrradfahrer bewegte sich im höheren Alter (häufig 75 Jahre oder älter). Bei den Verletzten war der Altersgipfel dagegen bei 10-18 Jahren für Fahrräder ohne Elektroantrieb und für Pedelecs bei 55 Jahren und mehr. Die Geschlechterverteilung zeigte ein insgesamt vermehrtes Verunfallen von Männer. Ebenfalls waren 73 % der getöteten Fahrradfahrer männlich. (Statistisches Bundesamt (Destatis), 2021b) Dies wurde bereits in vorhergehenden Studien beobachtet und durch die erhöhte Risikobereitschaft von Männern im Straßenverkehr erklärt (Ellwein, 2011). Der häufigste Unfallgegner war der Pkw (Statistisches Bundesamt (Destatis), 2021b). Fahrradunfälle mit einer Kraftwagenkollision korrelieren mit schwerwiegenderen Verletzungen, da bei Fahrradfahrern im Vergleich zum Pkw die Knautschzone nicht vorhanden ist (Ellwein, 2011). Andere Autoren geben dagegen eine vorwiegend alleinige Involvierung in den Unfall an (Appel et al., 1979; Lindqvist et al., 1986). Als Ursache bzw. Fehlverhalten der Fahrradfahrer wird folgendes genannt: eine falsche Straßenbenutzung, ein Abbiegen, Wenden, Rückwärts- oder Anfahren, eine Missachtung der

Vorfahrt und eine nicht angepasste Geschwindigkeit (Statistisches Bundesamt (Destatis), 2021b).

3.2.4 Studienlage zu Verletzungen bedingt durch Fahrradunfälle

Es existiert ein breites Spektrum an Studien, die Verletzungen aufgrund von Fahrradunfällen thematisieren. Diese betreffen meist die Extremitäten sowie den Kopf- und Gesichtsbereich (Frobenius & Betzel, 1987; Thompson & Rivara, 2001). Die häufigste Läsionsart sind offene Weichteilverletzungen, Hämatome, Prellungen und Distorsionen, bei denen es sich um leichte Verletzungen handelt (Delank et al., 1995; Ellwein, 2011; Kronisch & Pfeiffer, 2002; Ueblacker et al., 2008). Wird der Kopf- und Gesichtsbereich genauer betrachtet, liegen derartige Weichteiltraumen vor allem an Wange, Schläfe und Stirn, gefolgt von Kinn, Mund und Lippe vor (Ellwein, 2011). Als schwerwiegenderes Verletzungsmuster treten häufig Frakturen auf (Kronisch & Pfeiffer, 2002; Thompson & Rivara, 2001). Viszerokranielle Frakturen wurden vor allem in der Unterkiefer- und Mittelgesichtsregion diagnostiziert (Lindqvist et al., 1986). Im zygomatico-orbitalen Bereich handelt es sich oftmals um Dreipunkt- und deutlich seltener um blow-out-Frakturen (Delank et al., 1995). Unterkieferfrakturen betreffen vermehrt den Kondylus (Lindqvist et al., 1986).

Die übrigen Kopf- und Gesichtsverletzungen umfassen größtenteils Schädel-Hirn-Traumata, seltener zerebrale Blutungen. Die Mehrzahl der Patienten erleiden ein leichtes Schädel-Hirn-Trauma 1. Grades, bei welchem meistens eine Überwachung durch das Fachpersonal ausreicht. Insbesondere bei Nicht-Helmträgern ist mit einem hohen Risiko für derartige Verletzungen, bis hin zu Schädelfrakturen, zu rechnen. Auch dentale Traumata werden beobachtet, die vor allem die mittleren oberen Schneidezähne betreffen. (Ellwein, 2011)

Lindqvist et al. geben eine Hospitalisationsrate der Patienten mit Fahrradunfällen in Höhe von 38 % an, dabei halten sie sich durchschnittlich 4,1 Tage auf (Lindqvist et al., 1986).

3.2.5 Tragen eines Fahrradhelms

Die Wirksamkeit von Fahrradhelmen im Hinblick auf eine Reduktion von Kopfverletzungen variiert in der Literatur zwischen 40 - 85 %. Gründe sind die komplexen Einflussfaktoren, wie zum Beispiel der Helmtyp und -sitz, aber auch unterschiedliche Unfallrisiken, die sich anschließend schwer rekonstruieren lassen. (Attewell et al., 2001; Elvik, 2013; Thompson &

Rivara, 2001) Ergänzend zeigen biomechanische Experimente eine wirksame Verringerung von schweren Hirnverletzungen durch Fahrradhelme (Cripton et al., 2014). Kritisiert wird dabei jedoch ein ungenügender Schutz des Viszerokraniums durch die Helmschalen (Delank et al., 1995). In jedem Fall ist der korrekte Sitz des Fahrradhelms wichtig (Lee et al., 2009; Romanow et al., 2014).

Obwohl bei Kindern und Jugendlichen Kopfverletzungen die Haupttodesursache darstellen, tragen nur 11 % der 14 bis 17-Jährigen einen Helm. Bei den 3 bis 6-Jährigen sind es dagegen 89,5 %. (Gutsche et al., 2011) Sobald Kinder oder Jugendliche älter werden und selbstständig über das Tragen eines Fahrradhelms entscheiden können, nimmt die Tragequote ab. Gründe hierfür sind unter anderem eine geringe Risikowahrnehmung von Kopfverletzungen durch Fahrradunfälle der Kinder und Jugendlichen. Umgekehrt steigt die Helmtragequote der Kinder, wenn die Eltern hierzu eine positive Grundeinstellung aufweisen. (DiGuseppi et al., 1990; Gutsche et al., 2011; Lajunen & Räsänen, 2001; Sacks et al., 1996) Auch für ältere Erwachsene gilt der Fahrradhelm als sinnvoll, da ohne Helm mit zunehmendem Alter das Ausmaß der Verletzungen bei einem Kopfanprall steigt (Otte et al., 2013). Innerorts wurde die Helmtragequote, bezogen auf alle Altersgruppen, im Jahr 2020 auf 26,2 % berechnet, wobei sie im Jahr 2018 noch bei 18 % lag (Bundesanstalt für Straßenwesen, 2021; Evers, 2019). Auch wenn die Tendenz der behelmtten Fahrradfahrer steigend ist, sollte die Helmnutzung noch populärer werden. Neben der ständigen Weiterentwicklung der Fahrradhelme hinsichtlich des Sicherheitsstandards, des Designs und der Luftzirkulation könnten öffentliche Kampagnen zu noch mehr Akzeptanz in der Bevölkerung verhelfen.

4 Ziel und Fragestellung

Die langfristigen Auswirkungen des E-Scooters als neuartiges Verkehrsmittel, bezogen auf den kraniofazialen Bereich, sind im deutschsprachigen Raum bisher wenig erforscht. Wie bereits dargestellt zeigten die ersten deutschen Studien jedoch Verletzungen der Kopfregion in mehr als der Hälfte aller Fälle (Mair et al., 2020; Uluk et al., 2020).

Ziel dieser retrospektiven Singlecenter-Studie war die Darstellung und Interpretation von kraniofazialen Verletzungsmustern, bedingt durch E-Scooter-Unfälle, sowie deren Vergleich zu Fahrradunfällen. Zudem sollten demografische Patientendaten ermittelt werden, um in Zukunft mehr E-Scooter-Unfälle zu vermeiden, indem mögliche Präventionsstrategien abgeleitet werden.

Es ergaben sich folgende Fragestellungen:

1. Wie ist die Verteilung der kraniofazialen Verletzungsmuster aufgrund von E-Scooter-Unfällen im Vergleich zu Fahrradunfällen?
2. Welche Charakteristiken weisen die E-Scooter-Unfälle bezüglich des Mechanismus und des Zeitpunkts auf?
3. Lässt sich mit der Einführung des E-Scooters eine zunehmende Belastung der Kliniken und Krankenhäuser beobachten?
4. Resultiert aus dem fehlenden Helmtragen eine höhere Verletzungsschwere und sollte demnach eine Helmpflicht eingeführt werden?
5. Gibt es eine Korrelation zwischen einer positiven Alkoholanamnese und zunehmenden Verletzungen? Sollten aus diesem Grund polizeiliche Kontrollen verschärft werden, um das Unfallrisiko zu minimieren?
6. Wie hat sich die E-Scooter-Nutzung während der ersten Covid-19-Lockdown-Phase verändert?

5 Material und Methoden

5.1 Patientenkollektiv

Diese retrospektive Studie beinhaltet Daten der Patienten, die sich aufgrund eines E-Scooter- oder Fahrradunfalls mit der Folge mindestens einer Kopf- bzw. Gesichtsverletzung in der Unfallchirurgie und/oder der Klinik- und Poliklinik für Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie der Technischen Universität München vorstellten. Der Untersuchungszeitraum betrug ein Jahr und erstreckte sich vom 15. Juni 2019 bis zum 14. Juni 2020.

Es konnten nur die Patienten eingeschlossen werden, bei denen der entsprechende E-Scooter- oder Fahrradunfall auch in der elektronischen Akte vermerkt war. Ausgeschlossen wurden Patienten, die zum Unfallzeitpunkt nicht selbst mit dem jeweiligen Verkehrsmittel gefahren sind (z. B. wenn das Fahrrad / der E-Scooter zum Unfallzeitpunkt geschoben wurde oder durch ein Fahrrad / einem E-Scooter angefahrene Passanten). Es wurden außerdem keine Unfälle mit elektroangetriebenen Fahrrädern betrachtet.

Die E-Scooter-Firmen Bird, Jawls, Lime und Voi wurden unter Erläuterung des Studienvorhabens über den Support kontaktiert, um die E-Scooter-Nutzerzahlen in München zu erlangen und sie dann in Relation zu den verunfallten Patienten zu setzen. Leider blieb die Kontaktaufnahme dieser Firmen erfolglos.

Der Ethikantrag wurde mit dem Aktenzeichen 711/20S von der Ethikkommission der medizinischen Fakultät der Technischen Universität München genehmigt.

5.2 Datenakquise und statistische Auswertung

Die Datenakquise aus den elektronischen Patientenakten erfolgte mit Hilfe des Produktivsystems SAP PKIS (Version 6.17/16, SAP Deutschland SE & Co. KG, Walldorf, Germany). Es wurden retrospektiv Langtexte (Arztbriefe) nach den Begriffen „Fahrrad“, „Radl“, „E-Scooter“ und „E-Roller“ für die Abteilung der Unfall- und Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie durchsucht und auf diese Weise das Patientenkollektiv erstellt sowie die gewünschten Daten erhoben. In der Abteilung für Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie wurden außerdem die täglichen Notfälle miteinbezogen, um ebenfalls vorstellige Patienten ohne vorhandenen Arztbrief zu erfassen. Die Patienten, die hierbei keine Verletzung an Gesicht oder Kopf erlitten, blieben unberücksichtigt. Wie bereits oben erwähnt, wurden die Patienten

ausgeschlossen, die zum Unfallzeitpunkt nicht selbst mit dem jeweiligen Verkehrsmittel gefahren sind. Sofern die elektronische Patientenakte keine ausreichenden Informationen lieferte, erfolgte eine Durchschau der Papierakten im Archiv.

Die berücksichtigten Untersuchungsparameter lauteten:

- Alter, Geschlecht, Behelmung, Alkoholanamnese, Unfallhergang
- Aufnahmedatum und -zeitpunkt, Anfahrt des Patienten (Rettungswagen oder fußläufige Vorstellung), Notwendigkeit einer Schockraum-Behandlung, Art und Dauer des Aufenthalts (ambulant/stationär)
- diagnostizierte Kopf- bzw. Gesichtsverletzungen und dessen Therapieansatz (insbesondere Operationen)
- Beteiligung der Extremitäten

Die Kopf- und Gesichtsverletzungen wurden in offene Weichteilverletzungen, Prellungen, Frakturen, Schädel-Hirn-Traumata, intrakranielle Blutungen und Zahnverletzungen kategorisiert. Hinsichtlich der Regionen wurden die offenen Weichteilverletzungen des Gesichtes dem oberen, mittleren oder unteren Gesichtsdrittel nach Kollmann zugeordnet (Schopf, 2008). Außerdem wurde zwischen temporal, parietal, occipital und intraoral lokalisierten offenen Weichteilverletzungen differenziert. Keine Unterteilung der Lokalisationen erfolgte bei den Prellungen, hierbei wurde nur ein „ja“ oder „nein“ notiert. Frakturen wurden der Schädelbasis sowie der Schädelkalotte, dem zentralen, lateralen oder zentrolateralen Mittelgesicht, dem Nasenbein, Unterkiefer und/oder Gehörgang zugeordnet. Es wurde außerdem vermerkt, ob bei den Patienten dislozierte Frakturen vorlagen und ob es sich um Einfach- oder Mehrfachfrakturen handelte. Die Schädel-Hirn-Traumata wurden anhand des Glasgow-Coma-Scales in den 1., 2. und 3. Grad unterteilt. Zahnverletzungen wurden in Zahnfrakturen, Avulsionen und Luxationen bzw. Dislokationen aufgeschlüsselt. Eine Beteiligung des Halses und Rumpfes wurde zwar erfasst, aber wegen der geringen Fallzahl nicht ausgewertet.

Mit Hilfe des Programms Microsoft Office Excel 2020 (Version 16.36, Microsoft Corporation, Redmond, USA) wurde eine pseudonymisierte Datenbank erstellt. Sowohl das Patientenalter als auch die Aufnahmezeit wurde in drei Altersgruppen bzw. in vier Tageszeiten kategorisiert. Anschließend erfolgte die statistische Auswertung mit der Software IBM SPSS für MacOS (Version 27, SPSS Inc. Chicago, Illinois USA). Zur besseren Darstellung der deskriptiven Statistik wurden Tabellen und Diagramme angefertigt. Als statistischer Test

wurde für Stichproben $n > 5$ der Pearson's Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest, falls angemessen mit Kontinuitätskorrektur, und für $n < 5$ der Fisher's exact test angewendet. Das gemittelte Alter wurde mit Hilfe des T-Tests für unabhängige Stichproben sowie die Mediane der Krankenhausverweil- und Operationsdauer mittels Mann-Whitney-U-Test auf ihre statistische Signifikanz getestet. Die statistische Signifikanz wurde durch einen p-Wert kleiner 0,05 definiert. Außerdem erfolgte eine binäre Regressionsanalyse, die die Odds Ratios, p-Werte und Konfidenzintervalle beinhaltete.

6 Ergebnisse

6.1 Demographische Ergebnisse

6.1.1 E-Scooter

6.1.1.1 Alter und Geschlecht

Die Kohorte der verunglückten E-Scooter-Fahrer umfasste 40 Patienten, welche sich aus 27 (67,5 %) Männern und 13 (32,5 %) Frauen zusammensetzte. Der Altersdurchschnitt lag bei 33,15 Jahren ($\pm 11,57$ Jahre) mit einer Spanne von 19 bis 66 Jahren. Zur besseren Darstellung wurde das Alter in 3 Gruppen eingeteilt (Gruppe 1: 0-30 Jahre, Gruppe 2: 30-60 Jahre und Gruppe 3: > 60 Jahre). 20 Patienten (50 %) wurden Gruppe 2 zugeordnet, 19 (47,5 %) Gruppe 1 und nur ein Patient (2,5 %) Gruppe 3 (siehe Abbildung 4). Der Median der Männer war im Vergleich geringfügig höher als der der Frauen, jedoch bestand bei den Männern eine geringere Spannweite des Alters (siehe Abbildung 5).

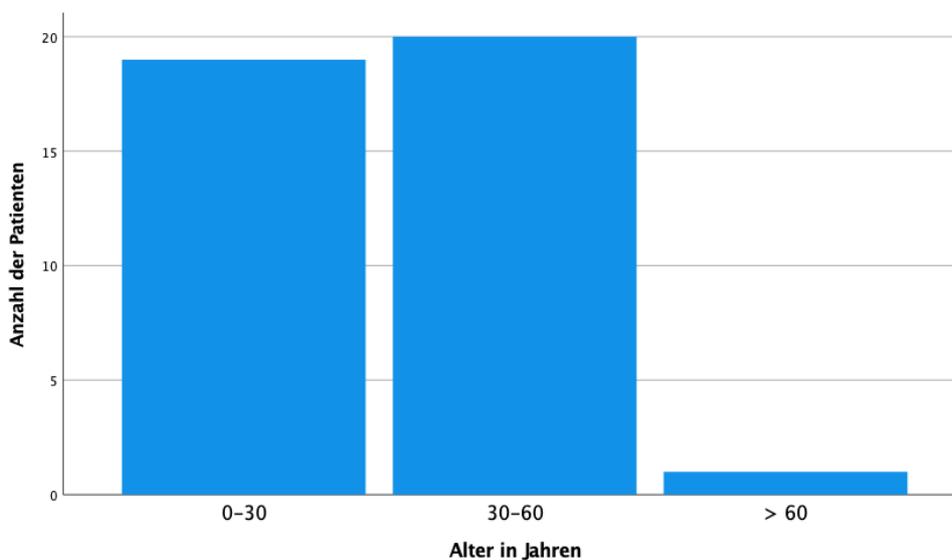


Abbildung 4: E-Scooter-Verunfallte nach Patientenalter

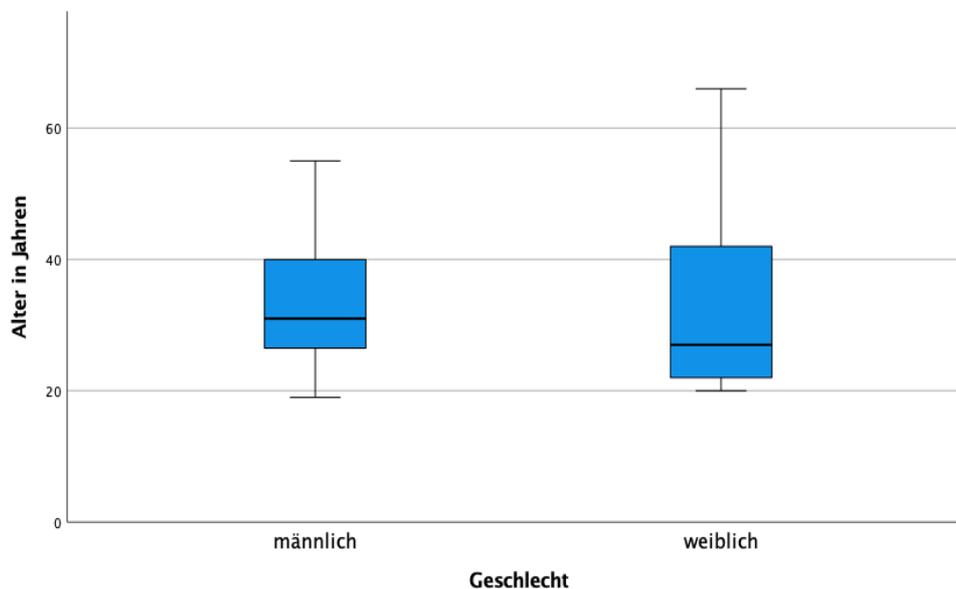


Abbildung 5: E-Scooter-Verunglückte nach Alter und Geschlecht

6.1.1.2 Zeitliche Komponente

Die Auswertung der zeitlichen Komponente erfolgte nach Tageszeit, Wochentag und Monat. Ein Großteil der Patienten suchte das Klinikum außerhalb der Sprechstunden auf: 18 (45 %) Patienten trafen nachts ein, 10 (25 %) Patienten abends, 8 (20 %) nachmittags und nur 4 (10 %) vormittags (siehe Abbildung 6). Die Wochentage mit den meisten Unfällen waren der Samstag (32,5 %) und der Sonntag (22,5 %) (siehe Tabelle 1). Unter der Woche verunfallten die meisten Patienten am Donnerstag (17,5 %). Montags verunglückte kein Patient.

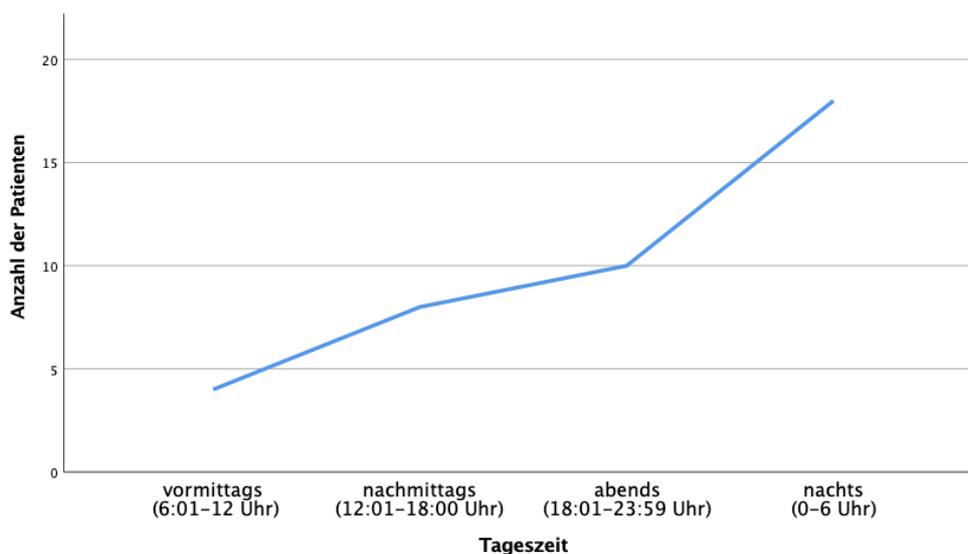


Abbildung 6: E-Scooter Unfälle nach Tageszeit

Tabelle 1: E-Scooter-Unfälle nach Wochentag

Wochentag	Anzahl der Patienten (n=40)	Prozent
Montag	0	0
Dienstag	1	2,5
Mittwoch	4	10
Donnerstag	7	17,5
Freitag	6	15
Samstag	13	32,5
Sonntag	9	22,5

Die meisten Patienten stellten sich mit je 17,5 % in den Monaten Februar und Oktober aufgrund eines E-Scooter-Unfalls vor. Kein Patient war dagegen im Monat April vorstellig (siehe Tabelle 2). Die SARS-CoV-2 Pandemie versetzte Deutschland im Frühjahr 2020 erstmals in eine Lockdown-Phase. Die Ausgangsbeschränkungen traten am 21. März 2020 in Kraft und wurden am 6. Mai 2020 aufgehoben, wobei weiterhin Kontaktbeschränkungen und Abstandsregelungen anhielten (Bayerische Staatskanzlei, 2020; Bayerisches Staatsministerium für Gesundheit und Pflege, 2021).

Hinsichtlich der Jahreszeiten wurden zur übersichtlicheren Gestaltung die Monate Dezember bis Februar dem Winter, März bis Mai dem Frühling, Juni bis August dem Sommer und September bis November dem Herbst zugeordnet. Es ereigneten sich 45 % der E-Scooter-Unfälle im Herbst, 30 % im Winter und je 12,5 % im Frühling und Sommer (siehe Abbildung 7).

Tabelle 2: E-Scooter-Unfälle nach Monat

Aufnahmemonat	Anzahl der Patienten (n=40)	Prozent
Januar	1	2,5
Februar	7	17,5
März	4	10
April	0	0
Mai	1	2,5
Juni	2	5
Juli	1	2,5
August	2	5
September	6	15
Oktober	7	17,5
November	5	12,5
Dezember	4	10

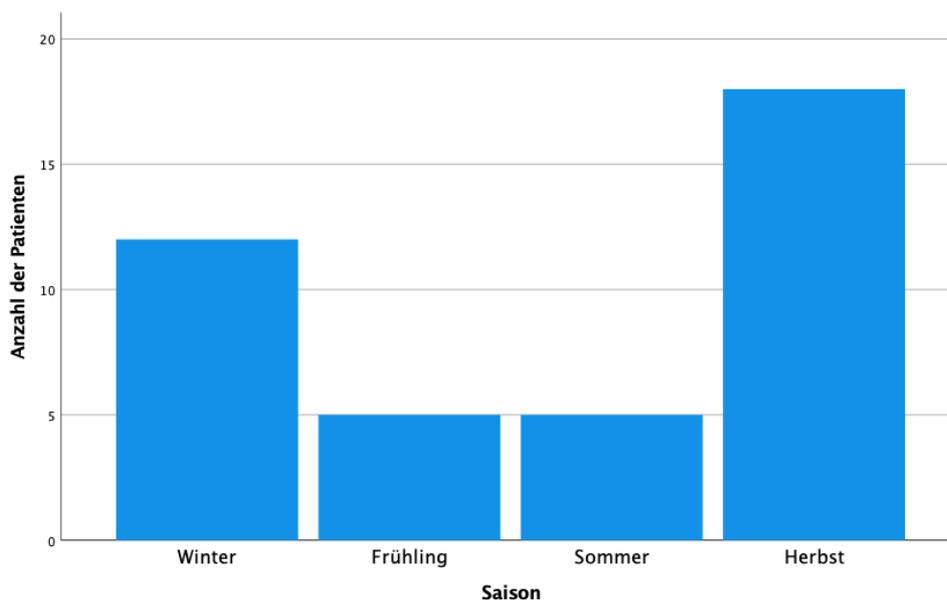


Abbildung 7: Saisonale Verteilung der E-Scooter-Unfälle

6.1.1.3 Einlieferungsmodalität

24 Patienten (60 %) wurden in medizinischer Begleitung (Rettungsdienst/Notarzt) eingeliefert, während der restliche Anteil von 16 Patienten (40 %) das Klinikum selbstständig aufsuchte.

6.1.1.4 Helm- und Alkoholanamnese

Die Erfassungsrate zur Behelmung betrug 32,5 % (13 Patienten). Bei 27 Patienten (67,5 %) wurde diesbezüglich keine Information vermerkt. Keiner der verunfallten Patienten gab an, während der E-Scooter-Fahrt einen Helm getragen zu haben.

Es standen 21 (52,5 %) Patienten zum Unfallzeitpunkt anamnestisch unter Alkoholeinfluss. Hierbei waren 18 Patienten männlich (85,7 %) und 3 Patienten weiblich (14,3 %). 16 der alkoholisierten Patienten (76,2 %) wurden in medizinischer Begleitung eingeliefert. Unter den alkoholisierten Patienten wurde eine saisonale Auswertung nach Jahreszeiten vorgenommen, wobei die Einteilung analog zu dem vorherigen Kapitel erfolgte. Ein deutlicher Anstieg zeigte sich im Herbst (siehe Abbildung 8), am wenigsten waren Patienten im Frühling und Sommer alkoholisiert.

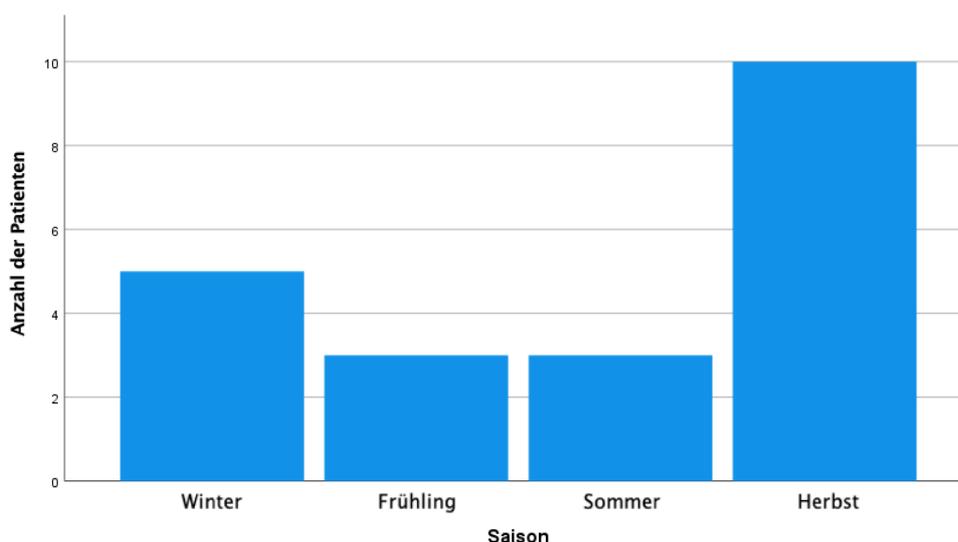


Abbildung 8: Saisonale Verteilung alkoholisierter E-Scooter-Patienten

6.1.1.5 Unfallhergang

In über der Hälfte der Fälle (27 Patienten, 67,5 %) konnte kein genauer Unfallhergang in der elektronischen Patientenakte evaluiert werden. Bei 13 Patienten wurde die Unfallursache bzw. der Hergang dokumentiert, was einer Erfassungsrate von 32,5 % entspricht. Am häufigsten (n=6) lagen Gründe für einen Sturz vor, die im Zusammenhang mit der Bodenbeschaffenheit der Fahrbahn standen, wie beispielsweise Unebenheiten oder ein versehentliches Einfädeln in Straßenbahnschienen. Außerdem gaben 4 Patienten

eigenverschuldete „technische“ Fehler wie Gleichgewichtsverlust, ein versehentliches Betätigen des Beschleunigungsgriffes oder zu starkes Abbremsen, an 3 Patienten berichteten von einer Kollision mit einem Pkw. Eine detaillierte Aufschlüsselung über die Angaben zum Unfallhergang ist folgender Tabelle zu entnehmen:

Tabelle 3: anamnestisch angegebene Ursache des E-Scooter-Sturzes

Ursache des E-Scooter-Sturzes	Anzahl der Patienten (n=40)	Prozent
Sturz ohne nähere Angabe	27	67,5
Eigenverschuldeter Sturz	4	10
Kollisionen mit Fremdbeteiligung		
- mit fahrendem Pkw	3	7,5
Bodenbeschaffenheit		
- Unebenheit am Boden	2	5
- Gelangen in Straßenbahnschienen	2	5
- Anprall an eine Bordsteinkante	1	2,5
- Aus- bzw. wegrutschen	1	2,5

6.1.2 Fahrrad

6.1.2.1 Alter und Geschlecht

Die Kontrollgruppe der verunfallten Fahrradfahrer umfasste 360 Patienten. Es verunglückten 203 (56,4 %) Männer und 157 (43,6 %) Frauen, somit lag die Geschlechterverteilung leicht zugunsten der Männer.

Das durchschnittliche Alter zum Zeitpunkt der Einlieferung wurde auf $47,26 \pm 19,16$ Jahre berechnet. Die Spannweite betrug 4 bis 93 Jahre. Zur Vereinfachung wurde auch hier das Patientenalter 3 Gruppen zugeordnet (Gruppe 1: 0-30 Jahre, Gruppe 2: 30-60 Jahre und Gruppe 3: über 60 Jahre). Die meisten Patienten konnten Gruppe 2 (49,4 %) zugeordnet werden (siehe Abbildung 9). Ähnlich häufig traten Gruppe 1 (26,1 %) und 3 (24,4 %) auf. Abbildung 10 zeigt, dass der Median des Patientenalters in beiden Geschlechtergruppen etwa gleich und die Spannweite bei den Männern größer war.

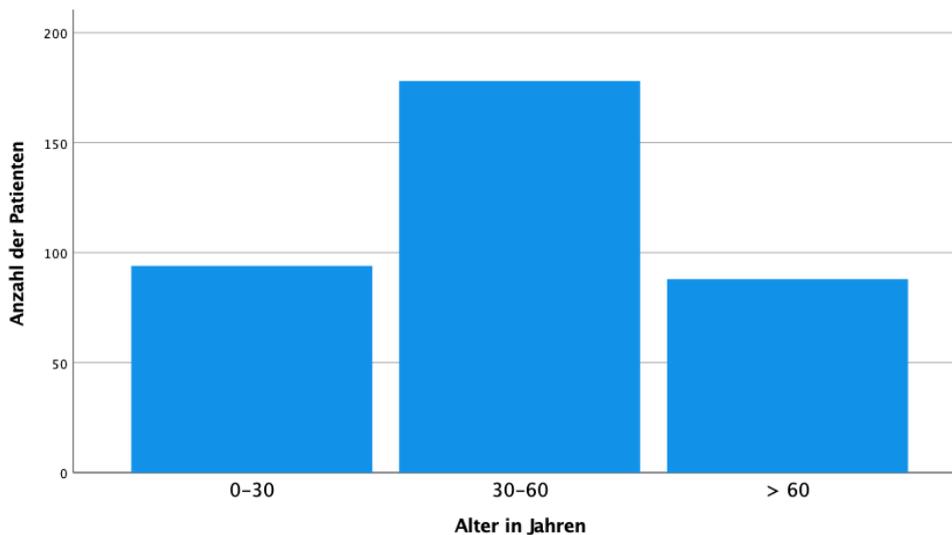


Abbildung 9: Verunfallte Fahrradpatienten nach Alter

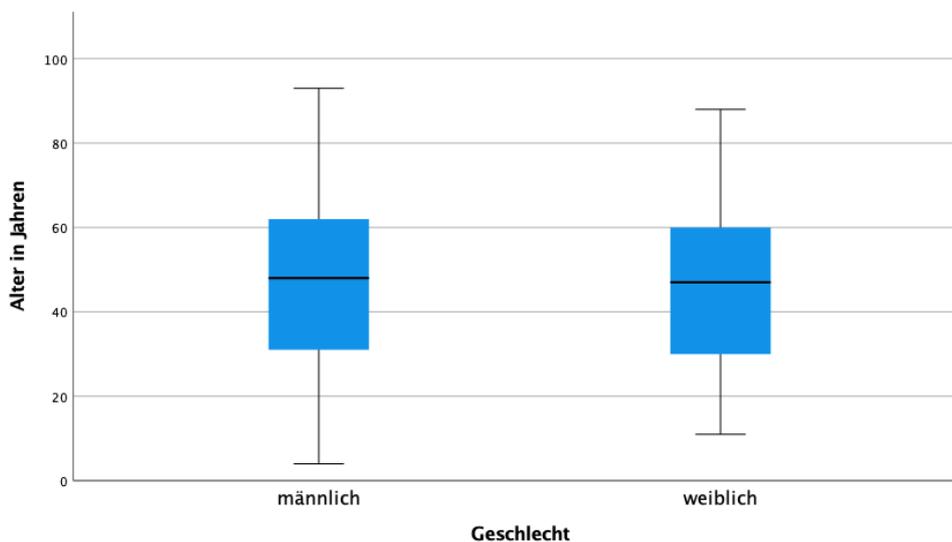


Abbildung 10: Verunfallte Fahrradpatienten nach Alter und Geschlecht

6.1.2.2 Zeitliche Komponente

144 (40 %) Patienten wurden nachmittags eingeliefert, 120 (33,3 %) abends, 57 (15,8 %) vormittags und 39 Patienten (10,8 %) nachts (siehe Abbildung 11).

Die meisten Patienten verunglückten an einem Sonntag (16,7 %) oder Samstag (15,8 %) (siehe Tabelle 4). Unter der Woche verunfallten die meisten Patienten an einem Donnerstag (15,3 %).

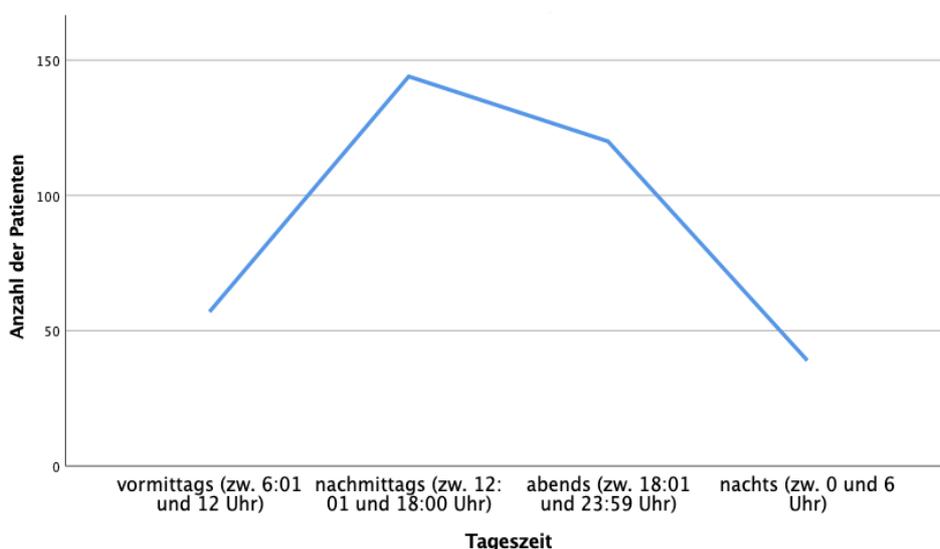


Abbildung 11: Fahrradunfälle nach Tageszeit

Tabelle 4: Fahrradunfälle nach Wochentagen

Wochentag	Anzahl der Patienten (n=360)	Prozent
Montag	36	10
Dienstag	53	14,7
Mittwoch	48	13,3
Donnerstag	55	15,3
Freitag	51	14,2
Samstag	57	15,8
Sonntag	60	16,7

Die Fahrradunfälle ereigneten sich mit 15,3 % häufig im Juni, gefolgt vom Juli (13,3 %) und Mai (13,1 %). Der Monat mit den wenigsten Fahrradunfällen war mit 3,9 % der November (siehe Tabelle 5). In der saisonalen Verteilung der aufgetretenen Fahrradunfälle dominierte der Sommer (39,4 %), anschließend der Frühling (24,7 %), der Herbst (21,4 %) und schließlich der Winter 14,4 % (siehe Abbildung 12).

Tabelle 5: Fahrradunfälle nach Monat

Aufnahmemonat	Anzahl der Patienten (n=360)	Prozent
Januar	16	4,4
Februar	17	4,7
März	15	4,2
April	27	7,5
Mai	47	13,1
Juni	55	15,3
Juli	48	13,3
August	39	10,8
September	29	8,1
Oktober	34	9,4
November	14	3,9
Dezember	19	5,3

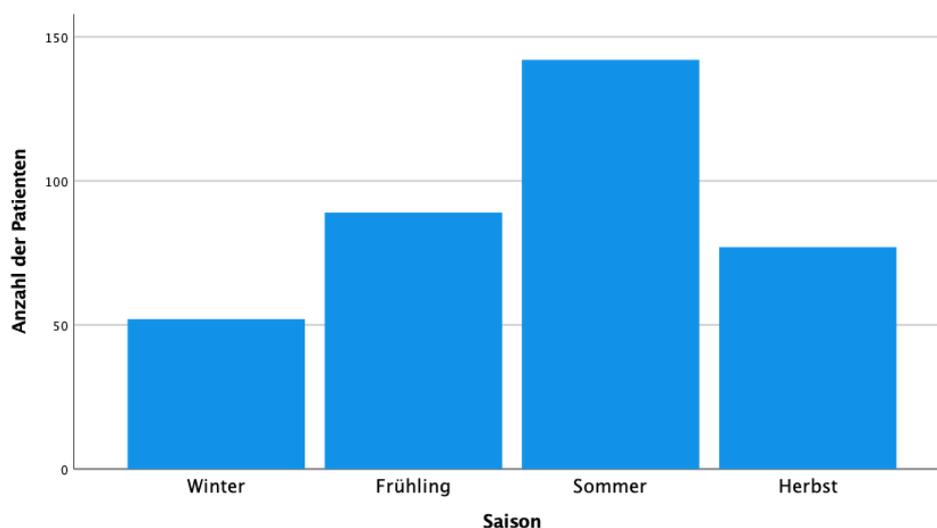


Abbildung 12: Saisonale Verteilung der Fahrradunfälle

6.1.2.3 Einlieferungsmodalität

Es wurden 55,6 % der Patienten (n=200) in medizinischer Begleitung (Rettungsdienst/Notarzt) eingeliefert, 44,4 % (n=160) trafen selbstständig im Klinikum ein.

6.1.2.4 Helm- und Alkoholanamnese

Eine Behelmung war bei 58 Patienten (16,1 %) in der elektronischen Akte vermerkt. 150 Patienten (41,7 %) trugen keinen Helm und bei 152 Patienten (42,2 %) bestand hierzu keine Information in der Patientenakte. Die Erfassungsrate der Behelmung belief sich somit auf

57,8 %. Die Helmträger waren zu 63,8 % männlich und zu 36,2 % weiblich. Die Auswertung des Alters zeigte die meisten behelmten Fahrradpatienten in der Kategorie der 30- bis 60-Jährigen (siehe Abbildung 13).

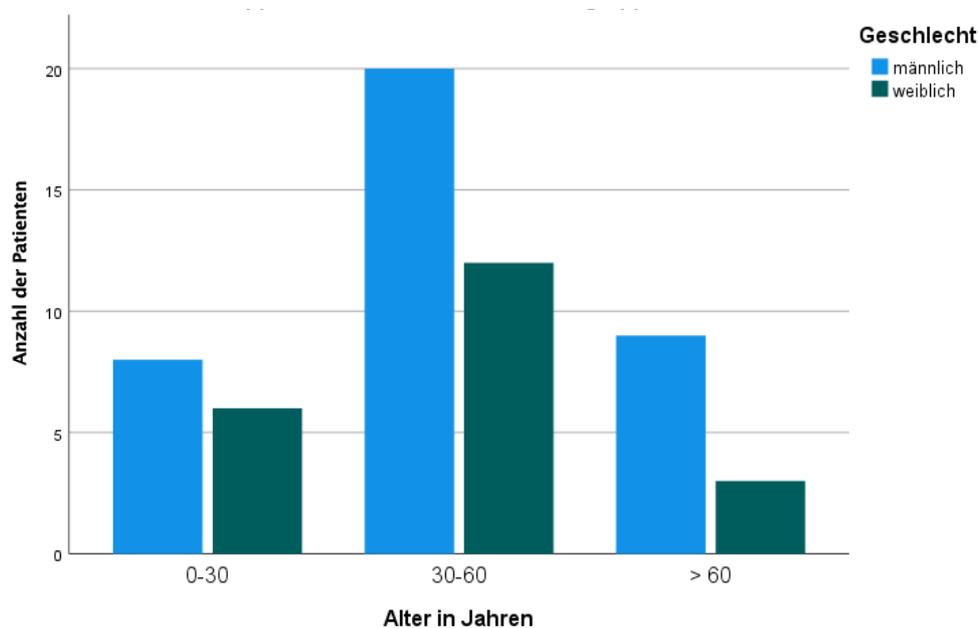


Abbildung 13: Altersstruktur und Geschlecht der behelmten Fahrradpatienten

46 Patienten (12,8 %) waren zum Unfallzeitpunkt alkoholisiert. Zu 76,1 % handelte es sich hierbei um Männer und zu 23,9 % um Frauen. Die meisten der alkoholisierten Fahrradpatienten wurden im Sommer (41,3 %) vorstellig, gefolgt vom Frühling (23,9 %) und Herbst bzw. Winter (jeweils 17,4 %). 84,8 % (n=39) der alkoholisierten Patienten wurden in medizinischer Begleitung eingeliefert und nur 15,2 % (n=7) trafen selbstständig ein.

6.1.2.5 Unfallhergang

Zum Unfallhergang lag bei knapp der Hälfte der Patienten (n=175; 48,6 %) keine nähere Angabe in der elektronischen Patientenakte vor. Die Erfassungsrate des Unfallhergangs betrug demnach 51,4 %. Der Rest stürzte größtenteils ohne Fremdeinwirkung, zum Beispiel aufgrund eines Anpralls gegen einen stehenden Gegenstand (7,2 %), eine Bordsteinkante (3,9 %), durch Gelangen in Tramschienen (6,4 %) oder Ausrutschen durch eine ungünstige Fahrbahnbeschaffenheit (4,4 %) (siehe Tabelle 6). In 9,4 % der Fälle wurde eine Kollision mit einem fahrenden Pkw genannt. Die weiteren Gründe sind der folgenden Tabelle zu entnehmen:

Tabelle 6: anamnestische Ursache des Fahrradsturzes

Ursache des Fahrradsturzes	Anzahl der Patienten (n=360)	Prozent
Sturz ohne nähere Angabe	175	48,6
Eigenverschuldeter Sturz		
- ohne nähere Angabe	35	9,7
- Anprall an einen stehenden Gegenstand	26	7,2
- Sturz aus dem Stand	10	2,8
- Sonst. eigenverschuldete Gründe	3	0,9
Kollisionen mit Fremdbeteiligung		
- mit fahrendem Pkw	34	9,4
- Zweiradkollision	10	2,8
- Sturz mit sonst. Fremdeinwirkung	9	2,5
- Sich öffnende Autotür	4	1,1
- Ausweichmanöver	1	0,3
Bodenbeschaffenheit		
- Gelangen in Straßenbahnschienen	23	6,4
- Aus- bzw. wegrutschen	15	4,2
- Anprall an eine Bordsteinkante	14	3,9
- Unebenheit am Boden	1	0,3

6.1.3 Vergleich beider Gruppen

Im Evaluationszeitraum der vorliegenden Studie ereigneten sich Fahrradunfälle neunmal häufiger als E-Scooter-Unfälle. In beiden Gruppen war der prozentuale Anteil der Männer höher als der der Frauen, jedoch ohne statistische Signifikanz ($p=0,177$). Im mittelwertigen Alter zeigte sich ein signifikanter Unterschied ($p<0,001$). E-Scooter Patienten waren durchschnittlich etwa 14 Jahre jünger als Fahrradpatienten (siehe Abbildung 14).

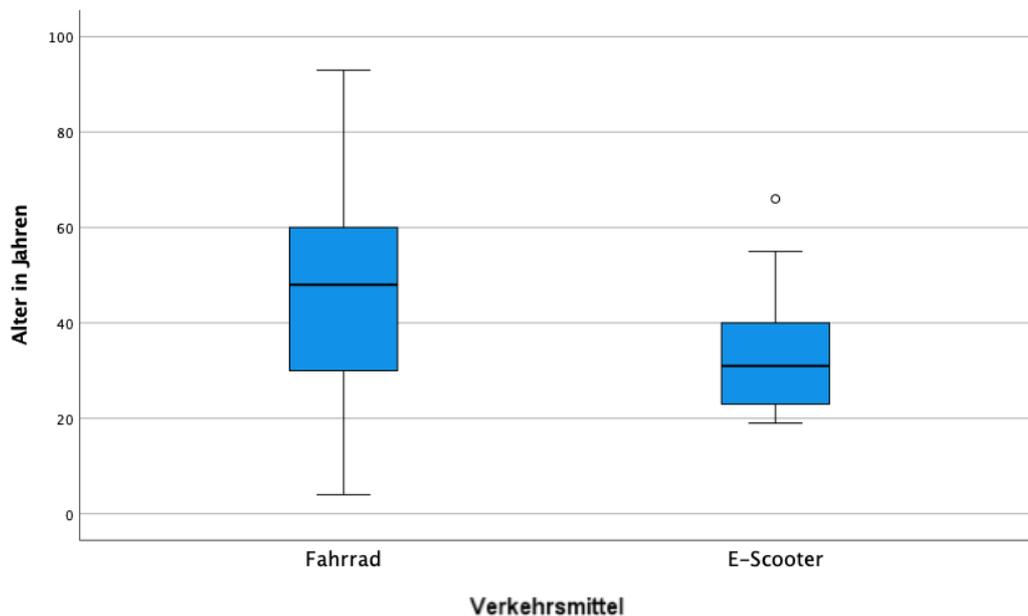


Abbildung 14: Verunfallte Patienten nach Alter und Verkehrsart

E-Scooter-Unfälle ereigneten sich eher nachts bzw. abends (sie stiegen an, je später die Tageszeit) und bevorzugt am Wochenende. Fahrradunfälle wurden dagegen am häufigsten nachmittags beobachtet (siehe Abbildung 15).

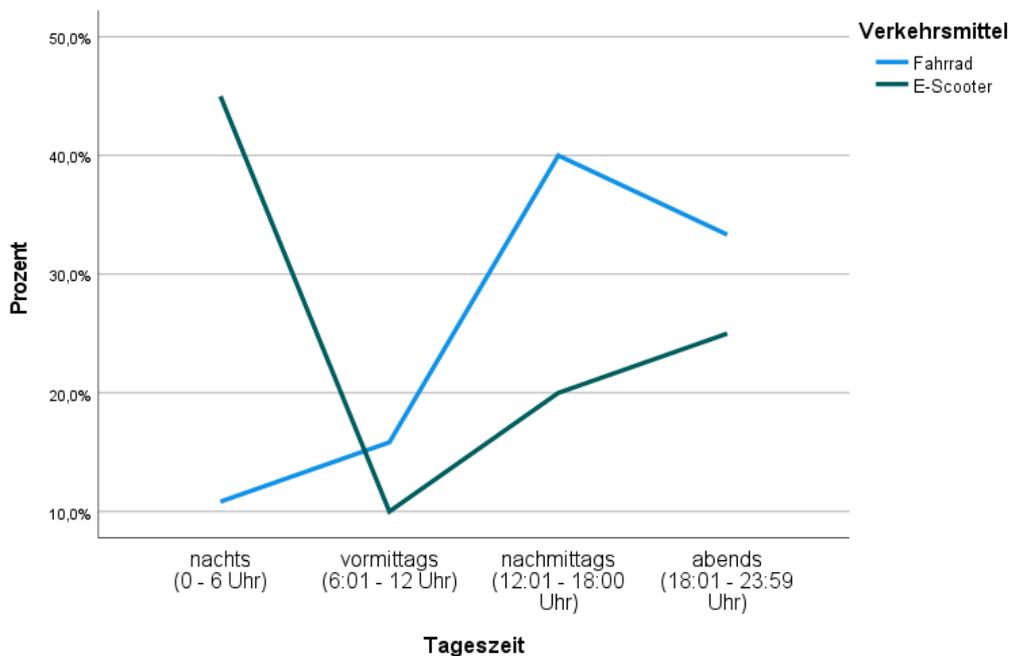


Abbildung 15: E-Scooter- und Fahrradunfälle nach Tageszeit im Vergleich

Während sich die meisten E-Scooter-Unfälle im Oktober und Februar ergaben, verzeichneten in der Fahrradkohorte die Monate Juni und Juli die meisten Unfälle. Im Anblick der vier Jahreszeiten trugen sich E-Scooter-Unfälle vor allem im Herbst zu, Fahrradunfälle eher im Sommer. Abbildung 16 stellt die Anzahl der Unfälle beider Verkehrsmittel während des Evaluationszeitraumes von Mitte Juni 2019 bis Mitte Juni 2020 gegenüber. Nach Einführung der Ausgangsbeschränkung ab dem 21. März 2020 in Bayern ließ sich im Vergleich zu den Vormonaten ein Rückgang der E-Scooter- und ein Anstieg der Fahrradunfälle erkennen.

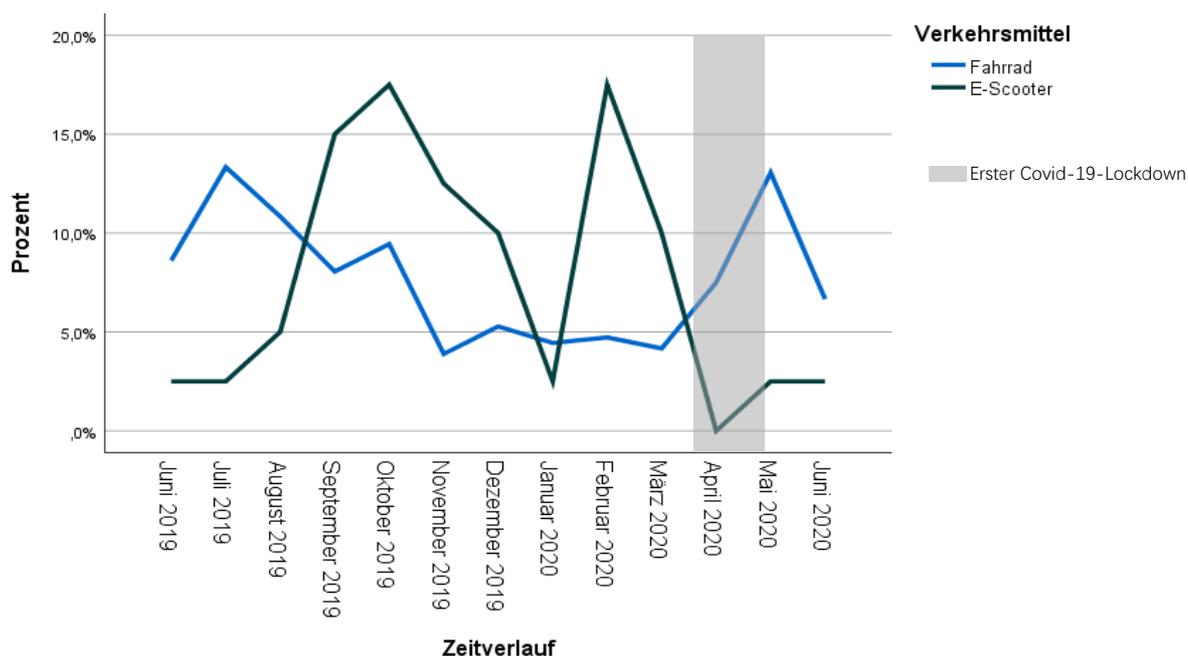


Abbildung 16: Zeitlicher Verlauf der E-Scooter- und Fahrradunfälle

Im Gegensatz zur Fahrradgruppe, in der 58 Patienten behelmt waren, bestand im Kollektiv der E-Scooter kein Patient, der einen Helm trug. Der exakte Test nach Fisher ergab für die Variable Helm $p=0,023$ und zeigte einen signifikanten Unterschied.

Über die Hälfte der Patienten des E-Scooter-Kollektivs (52,5 %) standen anamnestisch unter Alkoholeinfluss, während es im Fahrradkollektiv 12,8 % waren. Der Chi-Quadrat-Test ergab für die Variable Alkohol $p<0,001$. In beiden Kollektiven handelte es sich bei den alkoholisierten Patienten größtenteils um Männer (E-Scooter: 85,7 %, Fahrrad: 76,1 %). Die Altersgruppe der alkoholisierten, verunfallten E-Scooter-Patienten entsprach überwiegend der o. g. Gruppe 2 (30-60 Jahre), während im Fahrradkollektiv die o. g. Gruppen 1 und 2 gleichermaßen vertreten waren (siehe Abbildung 17).

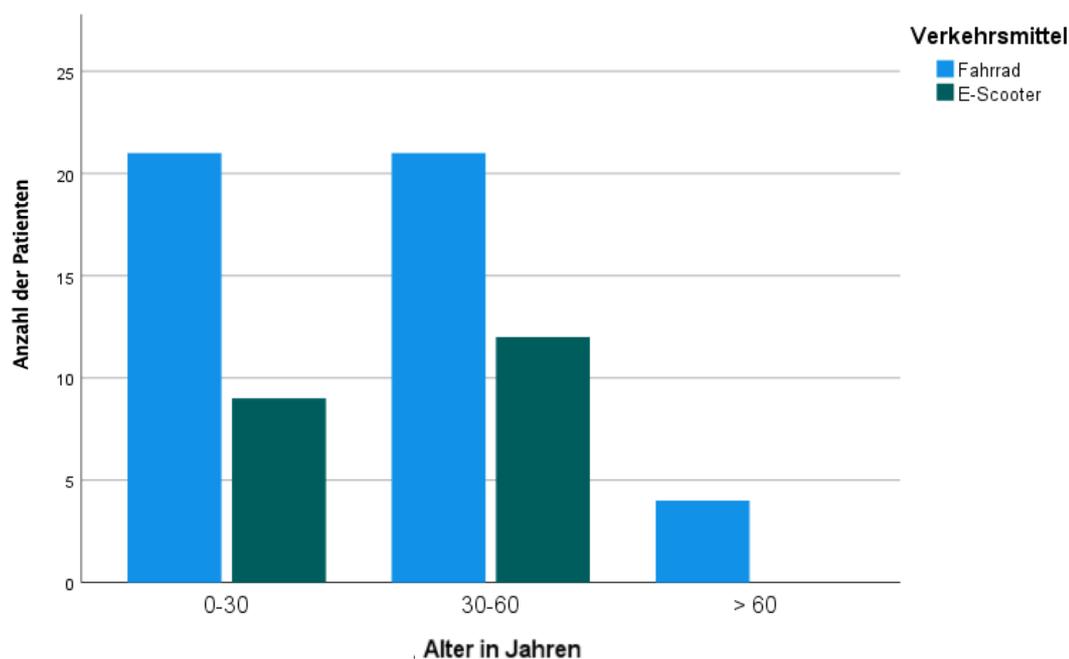


Abbildung 17: Alkoholisierter Patienten nach Alter und Verkehrsmittel

Die Einlieferung erfolgte in beiden Kohorten bei über der Hälfte der Patienten in medizinischer Begleitung. Es wurden geringfügig häufiger E-Scooter- als Fahrradpatienten mit dem Rettungsdienst eingeliefert, allerdings ohne statistische Signifikanz (siehe Tabelle 7). Betrachtet man nur die alkoholisierten Patienten, so wurden diese größtenteils unter medizinischer Begleitung eingeliefert (E-Scooter: 76,2 %, Fahrrad: 84,8 %).

Tabelle 7: Art der Einlieferung von E-Scooter- und Fahrradpatienten im Vergleich

Art der Einlieferung	Anzahl der E-Scooter-Patienten (n=40)	Prozent	Anzahl der Fahrradpatienten (n=360)	Prozent	p-Wert
Rettungsdienst/Notarzt	24	60	200	55,6	0,591
Fußläufige Vorstellung	16	40	160	44,4	

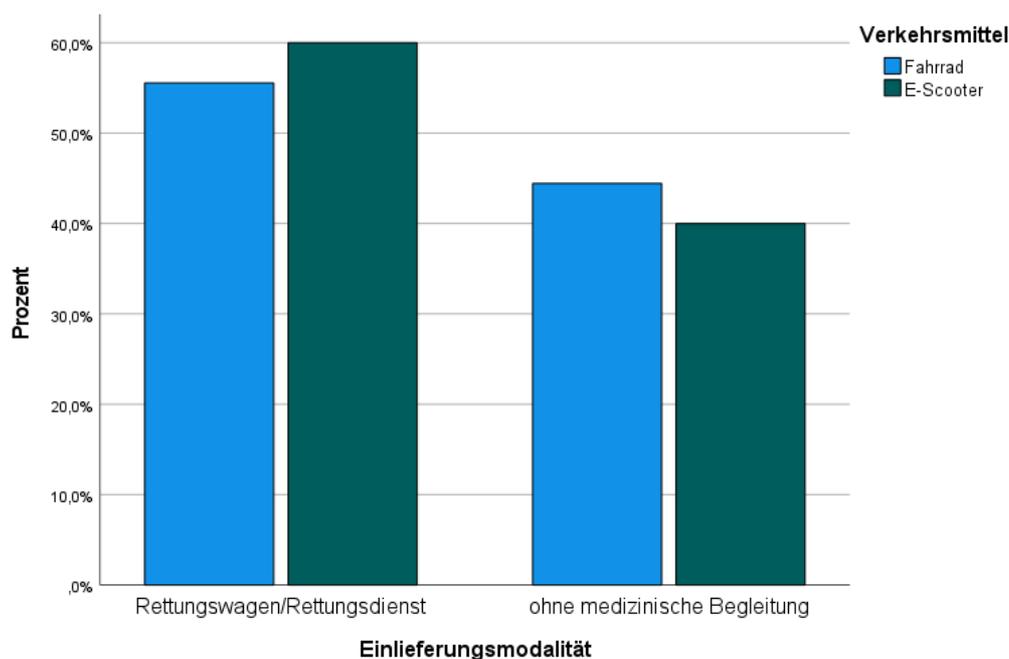


Abbildung 18: Einlieferungsmodalität der E-Scooter- und Fahrradpatienten im Vergleich

6.2 Kraniofaziale Verletzungsmuster

6.2.1 E-Scooter

Folgende Tabelle führt die kraniofazialen Verletzungsmuster bedingt durch E-Scooter-Unfälle auf:

Tabelle 8: Kraniofaziale Verletzungsmuster bedingt durch E-Scooter-Unfälle

Verletzungsmuster	Anzahl Patienten (n=40)	Prozent
Offene Weichteilverletzung	31	77,5
Prellung	4	10
Fraktur	18	45
Schädel-Hirn-Trauma	15	37,5
Intrakranielle Blutung	5	12,5
Zahnverletzung	11	27,5

Bei 9 Patienten (22,5 %) des E-Scooter-Kollektivs traten außerdem Verletzungen der oberen und bei 3 Patienten (7,5 %) der unteren Extremität auf.

6.2.1.1 Weichteilverletzungen

Als häufigstes Verletzungsmuster ergaben sich offene Weichteilverletzungen des Kopfes, die bei 31 Patienten (77,5 %) insgesamt 40-mal vorkamen und größtenteils als Platzwunden

spezifiziert wurden. Seltener handelte es sich um Riss-(Quetsch-), Schürf- oder Schnittwunden. Im Durchschnitt hatten verwundete Patienten somit 1,29 offene Weichteilverletzungen. Davon traten 77,5 % im Bereich des Viszerokraniums, 12,5 % am Neurokranium (occipital, parietal oder temporal) und 10 % intraoral auf.

Das Viszerokranium wurde nach Kollmann in drei vertikale Drittel eingeteilt. Das obere Gesichtsdrittel erstreckt sich vom Trichion bis zum Nasion, das mittlere vom Nasion bis zum Subnasalpunkt und das untere vom Subnasalpunkt bis zum Pogonion (Kollmann, 1886; Schopf, 2008). Die meisten offenen Weichteilverletzungen verbuchte das untere Gesichtsdrittel, gefolgt vom oberen Gesichtsdrittel (siehe Tabelle 9). Schädel- oder Gesichtsprellungen, die ebenfalls zu den Weichteilverletzungen zählen, waren bei 4 Patienten (10 %) in der Akte vermerkt.

Tabelle 9: Lokalisation der offenen Weichteilverletzungen im Kopfbereich (E-Scooter-Kollektiv)

Lokalisation	Anzahl der offenen Weichteilverletzungen (n=40)	Prozent
Oberes Gesichtsdrittel	9	22,5
Mittleres Gesichtsdrittel	5	12,5
Unteres Gesichtsdrittel	17	42,5
Temporal	3	7,5
Parietal	1	2,5
Occipital	1	2,5
Intraoral	4	10

Die Wundversorgung erfolgte meist durch eine Säuberung, Naht und gegebenenfalls eine Anlage eines Verbandes oder Pflasters. Falls indiziert, wurde der Tetanusschutz aufgefrischt.

6.2.1.2 Frakturen

Insgesamt 21 Frakturen wurden bei 18 Patienten (45 %) diagnostiziert. Im Durchschnitt hatten die betroffenen Patienten demnach 1,17 Frakturen. Bei 7 Patienten (17,5 %) zeigten sich die Frakturen disloziert. In beiden Kollektiven wurden die Frakturen übergeordneten Kopfpartien zugeordnet. Zum lateralen Mittelgesicht zählten Jochbein- und/oder Jochbogen- wie auch isolierte Orbitafrakturen. Das zentrale Mittelgesicht umfasste Le Fort I und II Frakturen, kombinierte Frakturen der Nase und Maxillafrakturen (mit Ausnahme des Alveolarfortsatzes, dieser wurde extra erfasst: siehe 6.2.1.4). Le Fort III Frakturen zählten zu dem zentrolateralen Mittelgesicht. Die Auswertung ergab vorwiegend Unterkieferfrakturen

(28,6 %), Frakturen des lateralen Mittelgesichts (19 %) und des isolierten Nasenbeins (14,3 %) (siehe Tabelle 10).

Die 6 Unterkieferfrakturen, die im E-Scooter-Kollektiv vorkamen, gliederten sich in 5 Einfach- und eine Mehrfachfraktur. Bei 3 Patienten war das Collum mandibulae betroffen und bei zwei Patienten frakturierte der Unterkiefer paramedian. Die einzige Mehrfachfraktur trat paramedian beidseits auf.

In der Gruppe der Frakturen des lateralen Mittelgesichts bestand bei einem Patienten eine Jochbeinfraktur mit Orbitabeteiligung, bei zwei Patienten Frakturen des Orbitadachs und bei einem Patienten eine Fraktur der lateralen Orbitawand. Zu den Frakturen des zentralen Mittelgesichtes zählte ein Patient mit einer Fraktur der dorsalen und fazialen Kieferhöhlenwand sowie ein Patient mit einer Le Fort II Fraktur.

Tabelle 10: Verteilung der Frakturen im Kopfbereich (E-Scooter-Kollektiv)

Lokalisation	Anzahl Frakturen (n=21)	Prozent
Zentrales Mittelgesicht	2	9,5
Laterales Mittelgesicht	4	19
Isoliertes Nasenbein	3	14,3
Unterkiefer	6	28,6
Gehörgang	2	9,5
Schädelbasis	2	9,5
Schädelkalotte	2	9,5

6.2.1.3 Schädel-Hirn-Traumata

Eingeteilt wurde das Schädel-Hirn-Trauma (SHT) anhand des Glasgow Coma Scale (GCS), der die Augenöffnung, die verbale und die motorische Reaktion der Patienten berücksichtigt. Ein Score von 13-15 entspricht dabei einem leichten SHT (Grad 1), ein GCS von 9-12 dem mittelschweren SHT (Grad 2) und ein GCS von 3-8 einem schweren SHT (Grad 3). (Teasdale & Jennett, 1974)

Es erlitten insgesamt 15 Patienten (37,5 %) ein Schädel-Hirn-Trauma. Diese waren im E-Scooter-Kollektiv ausschließlich 1. Grades. 80 % (n=12) der Patienten mit SHT waren Männer. Außerdem zeigte die Auswertung, dass 60 % der Schädel-Hirn-Trauma Patienten unter Alkoholeinfluss standen.

Des Weiteren wurden bei 5 Patienten (12,5 %) mittels CT intrakranielle Blutungen diagnostiziert. Dabei handelte es sich um Galea-, Epidural-, Subdural- und

Subarachnoidalhämatome. Der Großteil der Schädel-Hirn-Trauma Patienten wurde stationär überwacht, gegebenenfalls interdisziplinär mit der Neurochirurgie.

6.2.1.4 Dentale Traumata

Es zogen sich 11 Patienten (27,5 %) Zahnverletzungen zu. Hierbei handelte es sich bei 5 Patienten um mindestens eine (Kronen-)fraktur, bei zwei Patienten um eine Avulsion und bei einem Patienten um eine Luxation bzw. Dislokation. Bei 3 weiteren Patienten lag eine Kombination der drei Verletzungsarten vor. Mit Ausnahme eines Patienten war bei allen mindestens ein Frontzahn des Ober- und/oder Unterkiefers betroffen. Der Alveolarfortsatz frakturierte bei zwei Patienten (5 %).

6.2.1.5 Therapie

Bei 6 der E-Scooter-Patienten (15 %) bestand die Notwendigkeit der Einlieferung in den Schockraum, wovon 4 Patienten (66,7 %) männlich waren.

Insgesamt konnten 25 Patienten (62,5 %) ambulant versorgt werden, 15 Patienten (37,5 %) wurden stationär aufgenommen. Hiervon waren 8 Patienten in der Abteilung der Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie stationär, die Verweildauer betrug 3 Tage im Median (Spannweite 1-5 Tage).

Bei 16 Patienten (40 %) erfolgte die Therapie der kraniofazialen Verletzungen konservativ oder durch andere Fachrichtungen. 17 Patienten (42,5 %) konnten unter Lokalanästhesie behandelt werden. Eine Operation unter Intubationsnarkose war durch die Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie in 7 Fällen (17,5 %) notwendig, die im Median 122 Minuten andauerte.

6.2.1.6 Verletzungsmuster alkoholisierter und nicht alkoholisierter Patienten im Vergleich

Alkoholisierte E-Scooter-Patienten zeigten durchschnittlich 2,1 Verletzungsarten auf, nicht alkoholisierte nur 1,8.

Sowohl bei Patienten mit und ohne positiver Alkoholanamnese traten offene Weichteilverletzungen in Form von Wunden am häufigsten auf. Bei den alkoholisierten Patienten folgten Frakturen und Schädel-Hirn-Traumata an zweiter Stelle, Zahnverletzungen an dritter Stelle (siehe Tabelle 11). Besonders auffällig ist, dass 72,7 % der Patienten mit

Zahnverletzungen alkoholisiert waren. In der Gruppe der nicht alkoholisierten Patienten folgten ebenfalls Frakturen an zweiter, Schädel-Hirn-Traumata an dritter, Prellungen an vierter und Zahnverletzungen an letzter Stelle.

Tabelle 11: Art der Verletzungen im alkoholisierten verglichen mit dem nicht alkoholisierten Kollektiv

Art der Verletzung	% aller alkoholisierten E-Scooter-Patienten (n=21)	% aller nicht alkoholisierten E-Scooter-Patienten (n=19)
Offene Weichteilverletzung	85,7	68,4
Prellung	-	21,1
Fraktur	42,9	47,4
Schädel-Hirn-Trauma	42,9	31,6
Zahnverletzung	38,1	15,8

Tabelle 12 stellt den Transportweg der Patienten gegenüber. Alkoholisierte Patienten wurden prozentual häufiger in medizinischer Begleitung eingeliefert als nicht alkoholisierte.

Tabelle 12: Art der Einlieferung im alkoholisierten verglichen mit dem nicht alkoholisierten Kollektiv

Art der Einlieferung	% aller alkoholisierten E-Scooter-Patienten (n=21)	% aller nicht alkoholisierten E-Scooter-Patienten (n=19)
Rettungsdienst/Notarzt	76,2	42,1
Fußläufige Vorstellung	23,8	57,9

Bei 19 % (n=4) der alkoholisierten und 10,5 % (n=2) der nicht alkoholisierten E-Scooter-Patienten war eine Schockraumbehandlung erforderlich. 42,9 % (n=9) der alkoholisierten und 31,6 % (n=6) der nicht alkoholisierten E-Scooter-Patienten mussten stationär aufgenommen werden.

6.2.2 Fahrrad

Tabelle 13 zeigt die Verteilung der Kopfverletzungen im Vergleichskollektiv der Fahrradfahrer als Übersicht:

Tabelle 13: Kraniofaziale Verletzungsmuster bedingt durch Fahrradunfälle

Art der Verletzung	Anzahl Patienten (n=360)	Prozent
Offene Weichteilverletzung	222	61,7
Fraktur	93	25,8
Schädel-Hirn-Trauma	153	42,5
Zahnverletzung	48	13,3
Intrakranielle Blutung	35	9,7
Prellung	90	25

Bei 41,1 % der verunfallten Fahrrad-Patienten lag zusätzlich zu den Kopfverletzungen eine Beteiligung der oberen Extremität, bei 22,5 % eine Beteiligung der unteren Extremität vor.

6.2.2.1 Weichteilverletzungen

Wie auch im E-Scooter-Kollektiv handelte es sich am häufigsten um offene Weichteilverletzungen in Form von Wunden. Bei 222 Patienten (61,7 %) wurden insgesamt 272 offene Weichteilverletzungen des Kopfes diagnostiziert. Diese waren zu 78 % im Bereich des Viszerokraniums, zu 19,1 % des Neurokraniums und zu 2,9 % intraoral lokalisiert. Im Gesichtsbereich war in absteigender Häufigkeit das untere, das obere und das mittlere Gesichtsdrittel betroffen (siehe Tabelle 14). Zum Neurokranium zählten, wie auch im E-Scooter-Kollektiv, temporal, parietal, occipital und auriculär lokalisierte offene Weichteilverletzungen. Weichteilverletzungen im Sinne einer Prellung des Schädels und/oder Gesichtes wurden bei 90 Patienten (25 %) registriert.

Tabelle 14: Lokalisation der offenen Weichteilverletzungen im Kopfbereich des Fahrrad-Kollektivs

Lokalisation	Anzahl der offenen Weichteilverletzungen (n=272)	Prozent
Oberes Gesichtsdrittel	69	25,4
Mittleres Gesichtsdrittel	51	18,8
Unteres Gesichtsdrittel	92	33,8
Temporal	14	5,1
Auriculär	6	2,2
Parietal	10	3,7
Occipital	22	8,1
Intraoral	8	2,9

6.2.2.2 Frakturen

93 Patienten (25,8 %) zeigten insgesamt 116 Frakturen auf. Die Lokalisationen der Frakturen sind Tabelle 15 zu entnehmen. Hierbei war am häufigsten das laterale Mittelgesicht betroffen (37,9 %), gefolgt von isolierten Frakturen des Nasenbeins (19,8 %) und Frakturen der Schädelkalotte (16,4 %). Frakturen der Stirnhöhlenvorderwand (n=2) wurden hierbei zur Schädelkalotte gezählt. Insgesamt handelte es sich bei 52 Patienten (14,4 %) um dislozierte Frakturen.

Wie auch im E-Scooter-Kollektiv wurden die Unterkieferfrakturen genauer untersucht. Diese teilten sich in 10 Einfach- und 6 Mehrfachfrakturen auf. Die Einfachfrakturen waren wie folgt lokalisiert: 5 Frakturen des Collum mandibulae, eine Fraktur des Processus coronoideus, eine Fraktur des aufsteigenden Unterkieferastes, eine Paramedian-, eine Median- und eine Capitulumfraktur. Die Mehrfachfrakturen waren in 4 Fällen eine Kombination aus einer Paramedian- und Collumfraktur, in 2 Fällen eine Kombination aus einer Median- und Collumfraktur.

Tabelle 15: Lokalisation der Frakturen im Kopfbereich des Fahrrad-Kollektivs

Lokalisation	Anzahl der Frakturen (n=116)	Prozent
Zentrales Mittelgesicht	5	4,3
Laterales Mittelgesicht	44	37,9
Zentrolaterales Mittelgesicht	3	2,6
Isoliertes Nasenbein	23	19,8
Unterkiefer	16	13,8
Gehörgang	-	-
Schädelbasis	6	5,2
Schädelkalotte	19	16,4

6.2.2.3 Schädel-Hirn-Traumata

153 Patienten (42,5 %) erlitten ein Schädel-Hirn-Trauma. Hierbei handelte es sich in 93,5 % der Fälle um ein Schädel-Hirn-Trauma 1. Grades. Die Ausnahme bildeten 10 Patienten, bei denen ein Schädel-Hirn-Trauma 2. oder 3. Grades festgestellt wurde (siehe Tabelle 16).

Des Weiteren konstatierte man bei 35 Patienten (9,7 %) intrakranielle Blutungen. Hierbei lagen Galea-, Epidural-, Subdural-, Subarachnoidal- und/oder intrazerebrale Hämatome vor.

Ein Patient mit intrakraniellen Blutungen und Kalottenfraktur verunglückte tödlich.

Tabelle 16: Schädel-Hirn-Traumata im Fahrradkollektiv

Grad des SHT	Anzahl der Patienten mit SHT (n=153)	Prozent
SHT Grad 1	143	93,5
SHT Grad 2	4	2,6
SHT Grad 3	6	3,9

6.2.2.4 Dentale Traumata

Zahnverletzungen traten bei 48 Patienten (13,3 %) auf. Davon bestand bei 31 Patienten mindestens eine Fraktur, bei 7 Patienten mindestens eine Avulsion und 5 Patienten mindestens eine Luxation bzw. Dislokation. Eine Kombination verschiedener Zahnverletzungen lag bei 5 Patienten vor. Bei jedem der Patienten mit Zahnverletzung war mindestens ein Frontzahn beteiligt. Eine Alveolarfortsatzfraktur wurde bei 7 zahnverletzten Patienten (14,6 %) dokumentiert.

6.2.2.5 Verletzungsmuster behelmter und unbehelmter Patienten im Vergleich

Es erfolgte eine Untersuchung, wie sich die Benutzung des Fahrradhelms auf Frakturen und Schädel-Hirn-Traumata auswirkte. In der Kohorte der Fahrradfahrer erlitten die unbehelmten Patienten signifikant häufiger eine Fraktur. Die Rate der Schädel-Hirn-Traumata zeigte dagegen keinen signifikanten Unterschied (siehe Tabelle 17).

Tabelle 17: Frakturen und Schädel-Hirn-Traumata der behelmten und unbehelmten Fahrradfahrer im Vergleich

Art der Verletzung	Anzahl der behelmten Patienten (n=58)	Prozent	Anzahl der unbehelmten Patienten (n=150)	Prozent	p-Wert
Fraktur	9	15,5	48	32	0,017
SHT	26	44,8	71	47,3	0,745

Folgende Abbildungen stellen das Vorliegen von Frakturen und Schädel-Hirn-Traumata in Abhängigkeit der Behelmung graphisch dar:

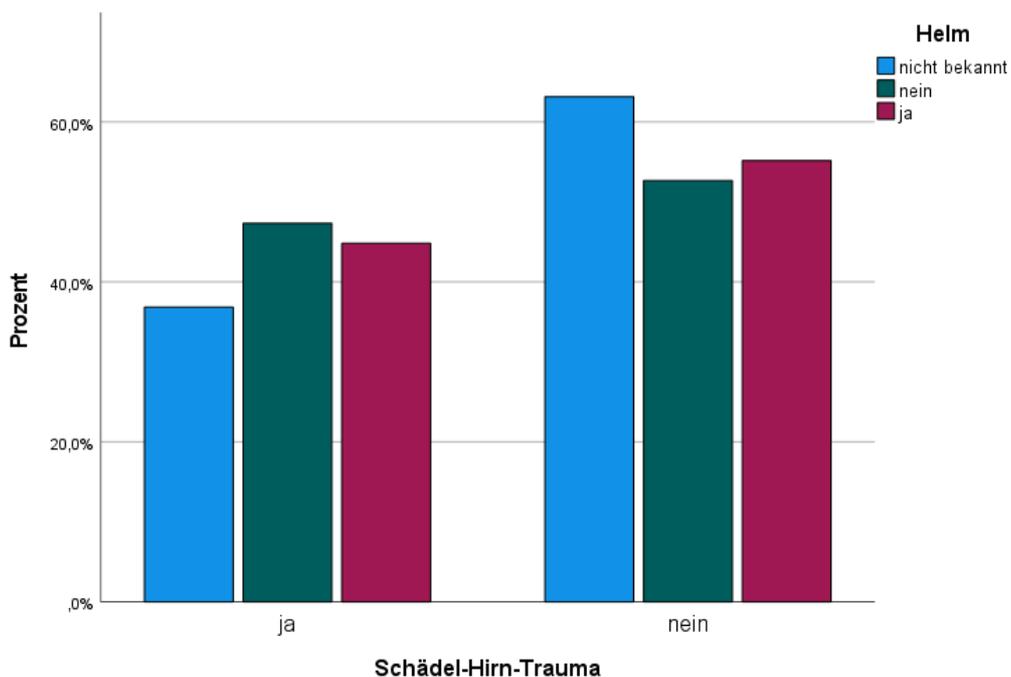


Abbildung 19: Schädel-Hirn-Traumata in Abhängigkeit der Behelmung

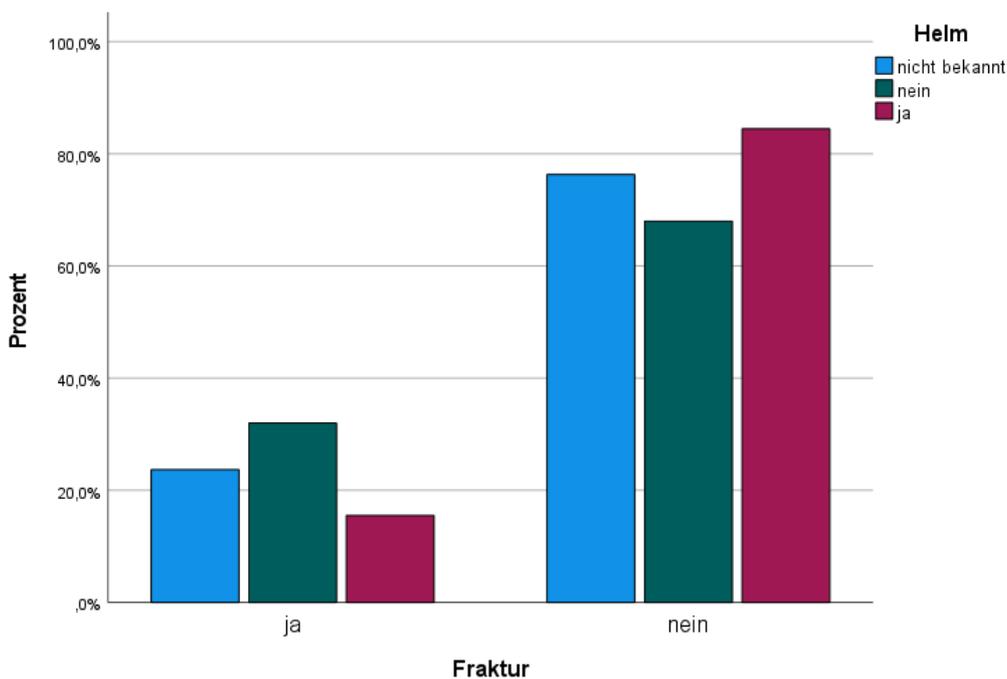


Abbildung 20: Frakturen in Abhängigkeit der Behelmung

Da Fahrradhelme insbesondere zum Schutz des Neurokraniums dienen, wurden Frakturen des Schädels detaillierter untersucht. Sie traten in der Gruppe der behelmten Fahrradfahrer seltener auf als in der Gruppe der unbehelmten Fahrradfahrer (siehe Tabelle 18).

Tabelle 18: Schädelfrakturen der behelmten und unbehelmten Fahrradfahrer im Vergleich

Art der Schädelfraktur	Anzahl der behelmten Patienten (n=58)	Prozent	Anzahl der unbehelmten Patienten (n=150)	Prozent
Fraktur der Schädelskalotte	-	-	12	8
Fraktur der Schädelbasis	1	1,7	5	3,3

6.2.2.6 Tödlich verunglückte Fahrradfahrer

Ein Patient verunglückte durch den Fahrradunfall tödlich (vgl. 6.2.2.3). Außerdem verstarben zwei weitere Patienten im Verlauf des stationären Aufenthalts nach dem Fahrradunfall, bei denen schwerwiegende Vorerkrankungen vorlagen und diese als Todesursache festgestellt wurden.

6.2.2.7 Therapie

Nach Einlieferung ergab sich bei 59 Patienten (16,4 %) die Indikation zur Schockraumbehandlung. Die Versorgung erfolgte bei 240 Patienten (66,7 %) ambulant und bei 120 Patienten (33,3 %) stationär. Hiervon hielten sich 38 Patienten (10,6 %) in der Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie, im Median 3 Tage (Spannweite 1-12 Tage), stationär auf.

In 218 Fällen (60,6 %) erfolgte die Therapie der kraniofazialen Verletzungen konservativ oder durch andere Fachrichtungen. 107 Patienten (29,7 %) konnten unter Lokalanästhesie therapiert werden. Mund-kiefer-gesichtschirurgische Operationen wurden bei 35 Patienten (9,7 %) durchgeführt, die im Median 82 Minuten betrugten.

6.2.3 Vergleich des E-Scooter- mit dem Fahrradkollektiv

Zusammengefasst erlitten die meisten Patienten in beiden Kollektiven offene Weichteilverletzungen. Im E-Scooter-Kollektiv folgten Frakturen und Schädel-Hirn-Traumata. Im Fahrradkollektiv traten dagegen Schädel-Hirn-Traumata öfter als Frakturen auf.

Die folgende Tabelle zeigt die jeweiligen prozentualen Anteile der Verletzungsarten beider Kollektive sowie die p-Werte, die sich aus dem Chi-Quadrat- bzw. Fishers-exakt-Test ergaben:

Tabelle 19: Vergleich der Verteilung der Verletzungsmuster zwischen dem E-Scooter- und dem Fahrradkollektiv

Art der Verletzung	% aller E-Scooter-Patienten	% aller Fahrrad-Patienten	p-Wert
Offene Weichteilverletzungen	77,5	61,7	0,049
Prellungen	10	25	0,032
Frakturen	45	25,8	0,010
Schädel-Hirn-Traumata	37,5	42,5	0,054
Dentale Traumata	27,5	13,3	0,017
Beteiligung der oberen Extremität	22,5	41,1	0,022
Beteiligung der unteren Extremität	7,5	22,5	0,025

Signifikant häufiger ergaben sich offene Weichteilverletzungen ($p=0,049$), Frakturen ($p=0,010$) und Zahnverletzungen ($p=0,017$) im E-Scooter-Kollektiv verglichen mit dem Fahrradkollektiv. Prellungen ($p=0,032$) und eine Beteiligung der oberen bzw. unteren Extremität ($p=0,022$ bzw. $p=0,025$) kamen signifikant häufiger im Fahrradkollektiv vor. Kein signifikanter Unterschied bestand bei den Schädel-Hirn-Traumata.

Die Testung der logistischen Regression ergab ein signifikant häufigeres Auftreten von Frakturen ($p=0,012$) und Zahnverletzungen ($p=0,020$) in der E-Scooter- als in der Fahrradkohorte. Dies wurde ebenfalls durch die berechneten Odds Ratios bestätigt (siehe Tabelle 20).

Tabelle 20: Binäre logistische Regression mit der unabhängigen Variabel „Verkehrsmittel“ (Referenzgruppe: Fahrradfahrer)

Art der Verletzung	Odds Ratio (E-Scooter- vs. Fahrrad-Patienten)	p-Wert	95% Konfidenzintervall
Offene Weichteilverletzungen	2,141	0,053	[0,989;4,633]
Frakturen	2,349	0,012	[1,207;4,573]
Schädel-Hirn-Traumata	1,232	0,544	[0,628;2,416]
Dentale Traumata	2,466	0,020	[1,156;5,260]

In der multivariablen Analyse erreichte das Transportmittel eine statistische Signifikanz für die Variable Schädel-Hirn-Traumata. Außerdem zeigte das Patientenalter einen statistisch signifikanten Einfluss auf die dentalen Traumata sowie die Behelmung auf die kraniofazialen Frakturen. Alle übrigen Ergebnisse befinden sich in Tabelle 21 zusammengefasst:

Tabelle 21: Binäre logistische Regression mit mehreren unabhängigen Variablen

Covariabel	Kraniofaziale offene Weichteilverletzungen	Kraniofaziale Frakturen	Schädel-Hirn-Traumata	Dentale Traumata
	OR* (p-Wert [95%KI**])	OR* (p-Wert [95%KI**])	OR* (p-Wert [95%KI**])	OR* (p-Wert [95%KI**])
Transportmittel	6,076 (0,094 [0,737; 50,086])	1,114 (0,862 [0,330;3,757])	4,253 (0,044 [1,039;17,404])	2,446 (0,192 [0,638;9,382])
Geschlecht	0,747 (0,325 [0,419;1,334])	0,847 (0,605 [0,452;1,587])	1,424 (0,218 [0,812;2,497])	0,848 (0,697 [0,369;1,948])
Alter	0,993 (0,396 [0,977;1,009])	0,998 (0,850 [0,981;1,016])	0,996 (0,640 [0,981;1,012])	0,964 (0,004 [0,939;0,989])
Behelmung	0,887 (0,721 [0,461;1,708])	0,407 (0,030 [0,180;0,919])	1,017 (0,960 [0,537;1,924])	1,284 (0,597 [0,508;3,247])
Alkoholeinfluss	1,438 (0,156 [0,871;2,377])	1,124 (0,597 [0,727;1,738])	0,704 (0,114 [0,456;1,088])	0,975 (0,929 [0,562;1,693])
Tageszeit	0,217 (0,316 [1,023;1,954])	0,913 (0,567 [0,669;1,246])	1,006 (0,969 [0,749;1,350])	1,044 (0,832 [0,701;1,554])

*Odds Ratio

**Konfidenzintervall

Zudem wurde die Rate an Verletzungen (offene Weichteilverletzungen, kraniofaziale Frakturen und Schädel-Hirn-Traumata) der Fahrradpatienten in Abhängigkeit der Behelmung analysiert (siehe Tabelle 22). Für die Variable kraniofaziale Frakturen ergab sich eine statistische Signifikanz ($p=0,017$). Anschließend wurden die unbehelmten Patienten beider Kollektive gefiltert und deren Verletzungen detaillierter untersucht (siehe Tabelle 23). Hierbei traten kraniofaziale offene Weichteilverletzungen signifikant häufiger im E-Scooter- als im Fahrradkollektiv auf ($p=0,035$).

Tabelle 22: Verletzungen von unbehelmtten und behelmtten Fahrradpatienten im Vergleich

Art der Verletzung	% aller behelmtten Fahrrad-Patienten	% aller unbehelmtten Fahrrad-Patienten	p-Wert
Offene Weichteilverletzungen	60,4	62,7	0,757
Frakturen	15,5	32	0,017
Schädel-Hirn-Traumata	44,8	47,3	0,745

Tabelle 23: Verletzungen von unbehelmten E-Scooter- und Fahrradpatienten im Vergleich

Art der Verletzung	% aller unbehelmten E-Scooter-Patienten	% aller unbehelmten Fahrrad-Patienten	p-Wert
Offene Weichteilverletzungen	92,3	62,7	0,035
Frakturen	38,5	32	0,633
Schädel-Hirn-Traumata	23,1	47,3	0,145

Keine statistische Signifikanz ergab sich zwischen der Schockraumbehandlung und dem Verkehrsmittel ($p=0,821$). E-Scooter-Patienten wurden signifikant häufiger chirurgisch therapiert als Fahrradpatienten ($p=0,012$) (siehe Tabelle 24).

Tabelle 24: Therapie von E-Scooter- und Fahrradpatienten im Vergleich

Therapie	Anzahl der E-Scooter-Patienten (n=40)	Prozent	Anzahl der Fahrradpatienten (n=360)	Prozent	p-Wert
Konservativ	16	40	218	60,6	0,012
Chirurgisch					
- Allgemeinanästhesie	7	17,5	35	9,7	
- Lokalanästhesie	17	42,5	107	29,7	

Der Median der Operationsdauer war zwar im E-Scooter-Kollektiv höher (siehe Abbildung 21), jedoch ohne statistische Signifikanz ($p=0,843$). Ebenso zeigte die Krankenhausverweildauer beider Kollektive keine statistische Signifikanz ($p=0,831$) (siehe Abbildung 22).

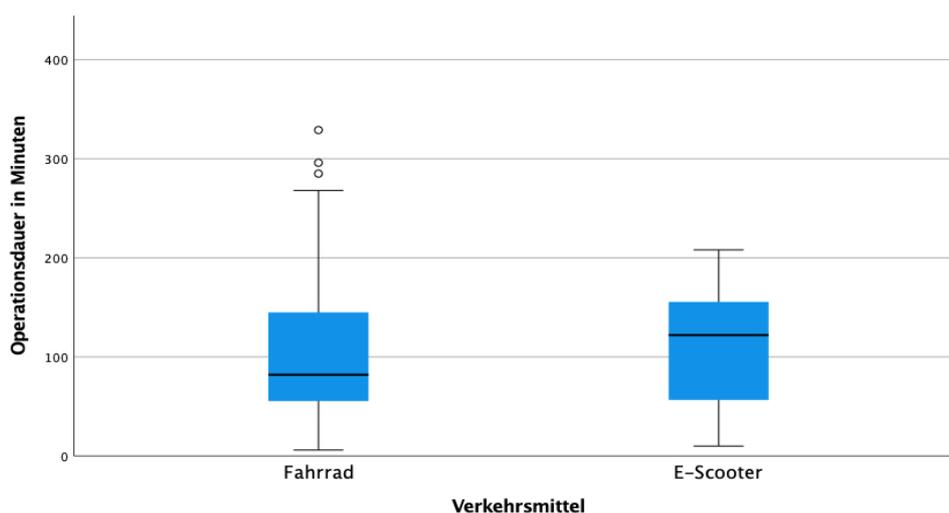


Abbildung 21: Operationsdauer nach Verkehrsmittel

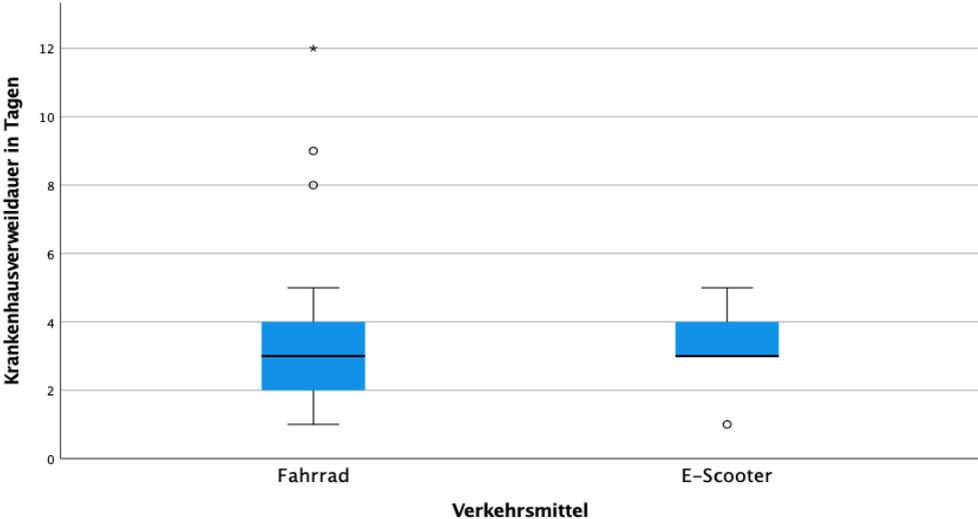


Abbildung 22: Krankenhausverweildauer nach Verkehrsmittel

7 Diskussion

Mit der zunehmenden Nutzung des E-Scooters wird in Zeitungsberichten und Statistiken von steigenden Zahlen an E-Scooter-Unfällen und Verletzungen berichtet (Polizeipräsidium München, 2021). Während die Unfälle von länger bestehenden Verkehrsmitteln wie zum Beispiel das Fahrrad und das Auto schon weitreichend durchleuchtet sind, werfen die Hintergründe und Verletzungsmuster der E-Scooter-Unfälle noch Fragen auf.

Im Verhältnis zum Fahrrad ereigneten sich bisher zwar deutlich weniger E-Scooter-Unfälle mit einem ebenfalls eher geringen Anteil (0,8 % für das Jahr 2020) am gesamten Unfallgeschehen (Statistisches Bundesamt (Destatis), 2021a). Internationale Studien der vergangenen Jahre zeigten jedoch ein vermehrtes Auftreten von Verletzungen des kraniofazialen Bereichs in Assoziation mit E-Scooter-Unfällen (Aizpuru et al., 2019; Kleinertz et al., 2021; B. Trivedi et al., 2019). Eine frühere Untersuchung der Klinik und Poliklinik für Unfallchirurgie am Klinikum rechts der Isar ergab Affektionen des Kopf- und Gesichtsbereichs bei E-Scooter-Unfällen in über der Hälfte der Fälle (Mair et al., 2020). Hieraus verdeutlicht sich die Notwendigkeit und das Ziel der Studie, die Verletzungsmuster durch E-Scooter-Unfälle aus Sicht der Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie genauer zu untersuchen sowie einen Vergleich zu den Fahrradunfällen zu ziehen.

7.1 Patientenkollektiv

Die vorliegende retrospektive Studie umfasst Patienten im Zustand nach einem E-Scooter- oder Fahrradunfall (Kontrollgruppe), die über einen Zeitraum von einem Jahr in der Klinik und Poliklinik für Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie am Klinikum rechts der Isar vorstellig wurden. Dies stellt eine Besonderheit dar, da in Notfallkliniken dieser Fachbereich häufig nicht abgedeckt wird. Außerdem handelt es sich bei dem Klinikstandort in der Stadt München um einen Ballungsraum, in dem E-Scooter von zahlreichen verschiedenen Anbietern gemietet werden können. Laut dem statistischen Bundesamt zählte im Jahr 2020 das Bundesland Bayern nach Nordrhein-Westfalen die meisten E-Scooter-Unfälle, weshalb München als Landeshauptstadt von Bayern in dieser Thematik von Bedeutung ist (Statistisches Bundesamt (Destatis), 2021a).

Mit einer Fallzahl von 40 E-Scooter- und 360 Fahrradpatienten traten in der vorliegenden Studie Fahrradunfälle neunmal häufiger auf. Dies entspricht einer vorherigen Untersuchung

aus Hamburg, die erstmalig in Deutschland Fahrrad- und E-Scooter-Unfälle verglich (Kleinertz et al., 2021). Auch das statistische Bundesamt berichtete für das Jahr 2020 deutschlandweit von höheren Zahlen an Fahrradunfällen. Es ereigneten sich 91.500 Fahrradunfälle und nur 2.155 E-Scooter-Unfälle. Dies bedeutet ein 42-mal häufigeres Vorkommen von Fahrradunfällen im Vergleich zu E-Scooter-Unfällen (Statistisches Bundesamt (Destatis), 2021a). Die höhere Rate an Fahrradunfällen lässt sich vor allem durch die größere Gesamtanzahl an Radfahrern im Verkehrsgeschehen erklären. Darüber hinaus wurde durch die SARS-CoV-2-Pandemie der E-Scooter-Verleih zeitweise unterbunden (siehe 7.2) (Wilke, 2020). Meyer et al. stellten in ihrer Studie einen Anteil von 73,5 % an nicht-polizeilich registrierten E-Scooter-Patienten fest, welche demnach nicht in der Statistik des Statistischen Bundesamts erscheinen und damit eine weitaus höhere, tatsächliche Zahl vermuten lassen (Meyer et al., 2022).

Die vorliegende Arbeit enthält nur Patienten, die zum Unfallzeitpunkt mit dem jeweiligen Fahrzeug selbst gefahren sind. Vom Fahrzeug angefahrene Fußgänger wurden hingegen ausgeschlossen, da hierbei andere Unfallmechanismen bestehen. Die Untersuchungen von Kleinertz et al. beinhalteten dagegen auch angefahrene Fußgänger, die jedoch einen geringen Anteil (7 %) bilden und nicht gesondert betrachtet wurden (Kleinertz et al., 2021). Das statistische Bundesamt gab im Jahr 2020 einen Anteil von mehr als 80 % der Verletzten in Zusammenhang mit E-Scooter-Unfällen an, die den Elektroroller selbst gefahren sind (Statistisches Bundesamt (Destatis), 2021a).

Männer verunglückten in der vorhandenen Studie mit dem E-Scooter etwa doppelt so häufig wie Frauen. Nach der Literaturrecherche zeigte sich mit einem Anteil von 54 bis 79,4 % an männlichen E-Scooter-Patienten ebenfalls ein deutlicher Trend (Aurora et al., 2022; Hennocq et al., 2020; Jones et al., 2022; Kleinertz et al., 2021; Mair et al., 2020; Mukhtar et al., 2021; Shichman et al., 2022; Störmann et al., 2020; Thoenissen et al., 2021; Uluk et al., 2020). Bekannt ist eine niedrigere Risikowahrnehmung bei fahrradfahrenden Männern im Vergleich zum weiblichen Geschlecht (Prati et al., 2019). Nach den aktuellen Studienergebnissen scheint dies auch für die E-Scooter-Nutzung durch männliche Fahrer, vorwiegend in einem jungen Alter, zu gelten (Gioldasis et al., 2021).

Der Altersdurchschnitt der E-Scooter-Nutzer wurde auf 33,2 Jahre berechnet (Fahrrad: 47,3 Jahre) und ist ähnlich wie in vorhergehenden Untersuchungen (Mair et al., 2020; Pepper et al., 2022; Shichman et al., 2022; Thoenissen et al., 2021; Uluk et al., 2020; Wüster et al.,

2020). Demnach waren in der vorliegenden Studie E-Scooter-Fahrer im Durchschnitt 14 Jahre jünger als Fahrradfahrer. Eine vergleichbare Altersdifferenz wird in bereits veröffentlichten Publikationen beschrieben (Kleinertz et al., 2021; Stray et al., 2022). Das Statistische Bundesamt gab für das Jahr 2020 korrespondierend einen jüngeren Altersdurchschnitt der E-Scooter-Verunfallten verglichen zu verunglückten Fahrradfahrern an (Statistisches Bundesamt (Destatis), 2021a). Daher sollten zur Verringerung von E-Scooter-Unfällen zukünftig insbesondere Menschen bis zum mittleren Lebensalter als Zielgruppe gewählt werden. Sicherlich ist das Ausleihsystem ein Grund, wieso die E-Scooter-Nutzung vor allem durch die junge Generation erfolgt, denn die Voraussetzung hierfür stellt ein Smartphone mit den entsprechenden Apps dar. Bekräftigt wird die These durch eine Umfrage anlässlich des zweiten bundesweiten Digitaltags: 53 % der über 65-Jährigen nutzen kein Smartphone (DFA Digital für alle, 2021). Jener Personengruppe ist folglich eine E-Scooter-Nutzung im Leihverfahren nicht oder nur erschwert möglich.

7.2 Einfluss des ersten Covid-19-Lockdowns auf den Untersuchungszeitraum

Der Untersuchungszeitraum beinhaltete besondere Umstände durch die Covid-19-Ausgangsbeschränkungen bzw. den Lockdown, der am 21. März 2020 in Kraft trat (Bayerisches Staatsministerium für Gesundheit und Pflege, 2021). Nach diesem Datum wurde ein Rückgang der E-Scooter- und Anstieg der Fahrradunfälle mit kraniofazialen Verletzungen beobachtet. Dies zeigte sich in der vorliegenden Studie besonders im Monat April, in dem kein Patient aufgrund eines E-Scooter-Unfalls die Klinik aufsuchte. Durch die SARS-CoV-2-Pandemie mussten sämtliche Festivitäten und Menschengesamtkünfte unterbunden werden. Überdies führte die SARS-CoV-2-Pandemie zu einem Stopp des E-Scooter-Verleihs einiger Anbieter. Folglich beobachtete man ein Rückgang der E-Scooter-Nutzung (Wilke, 2020). Um das Virus bestmöglich einzudämmen, forderten Barry et al. ein striktes Verbot für die E-Scooter-Nutzung. Es könnten damit einerseits Ansteckungen über Oberflächenkontakt vermieden werden. Andererseits ließen sich durch ein Verbot die Anzahl der E-Scooter-Unfälle und somit Krankenhausaufenthalte reduzieren, die das Gesundheitssystem in der Pandemie zusätzlich belasten. (Barry et al., 2020)

Im Gegenzug nutzten mehr Menschen das Fahrrad: eine Online-Befragung zur Verkehrsnutzung des SINUS-Instituts ergab, dass 25 % der Teilnehmer häufiger mit dem Fahrrad als im Vorjahreszeitraum (Juni/Juli 2019) fuhren. Hierbei nannten die Probanden

vielfältige Gründe: das Erhalten der Fitness während des Schließens von Sporteinrichtungen, den Ersatz von Freizeitaktivitäten sowie eine Kontaktreduktion in Anbetracht des Risikos einer SARS-CoV-2-Ansteckung im Vergleich zu den öffentlichen Verkehrsmitteln. (Sinus Markt- und Sozialforschung GmbH, 2021) Das Arbeiten in privatem Umfeld, wie es während der SARS-CoV-2-Pandemie zunehmend praktiziert wurde, führte darüber hinaus zu einer allgemein sinkenden Nutzung von Verkehrsmitteln. In Bayern ereigneten sich daher im Jahr 2020 verglichen zum Vorjahr, unabhängig des Verkehrsmittels, 17,1 % weniger Verkehrsunfälle und die Zahl der Verkehrstoten war die Geringste seit Beginn der Statistikaufzeichnungen vor 65 Jahren. Allerdings stieg die Zahl der Radfahrunfälle um 9,6 %, was sich durch die pandemiebedingt gesteigerte Fahrradnutzung erklären lässt. (Bayerisches Staatsministerium des Innern, 2021) Die Münchner Polizei stellte einen Anstieg von E-Scooter-Unfällen im Jahr 2021 um fast das Dreifache im Vergleich zum Vorjahr fest (Polizeipräsidium München, 2021). Schlussfolgernd lässt sich eine verminderte E-Scooter-Nutzung während der Ausgangsbeschränkungen im Jahr 2020 aufgrund der SARS-CoV-2-Pandemie konstatieren, was auf eine Beeinflussung der vorliegenden Fallzahlen schließen lässt. Darüber hinaus geben die Statistiken einen Hinweis auf einen möglichen Anstieg der E-Scooter-Unfälle in der Zukunft.

7.3 Einlieferungszeitpunkt und -modalität

Wie in bereits publizierten Studien ergab die Analyse der Tageszeiten ein gehäuftes Aufsuchen der Klinik durch die E-Scooter-Fahrer in der Nacht und am Wochenende (Kleinertz et al., 2021; Störmann et al., 2020; Stray et al., 2022; Thoenissen et al., 2021; Wüster et al., 2020). Dies ergänzt sich mit der Erkenntnis einer überwiegenden Nutzung des E-Scooters zu Freizeit- sowie touristischen Zwecken, dagegen verwenden Berufspendler den E-Scooter seltener (Deutscher Verkehrssicherheitsrat, 2020; Kubitzki & Wilke, 2021). In Oslo wurde daher seit September 2021 ein nächtliches E-Scooter-Fahrverbot verhängt (Österreichischer Rundfunk, 2021). Basierend auf den bisherigen Ergebnissen der bestehenden Literatur wäre ein derartiges Verbot aus medizinischer Sicht ebenfalls für Ballungsräume und Großstädte sinnvoll.

Die meisten E-Scooter-Unfälle ereigneten sich in der vorliegenden Studie im Herbst, gefolgt vom Winter. Hierbei könnten unter anderem schlechte Witterungsverhältnisse zu steigenden Unfällen geführt haben. Andererseits lagen saisonale Schwankungen während des

Untersuchungszeitraums vor, wie im Herbst 2019 der Zeitpunkt des Oktoberfests. Ergänzend dazu belegten Mair et al. eine signifikante Erhöhung des mittleren ISS während des Oktoberfest-Zeitraums gegenüber des Nicht-Oktoberfest-Zeitraums (Mair et al., 2020). Ergebnisse anderer Arbeitsgruppen zeigten abweichend zu der vorliegenden Studie in den Sommermonaten den höchsten Anteil an Patienten nach einem E-Scooter-Sturz (Jones et al., 2022; Störmann et al., 2020). Der Sommer verbuchte in der vorhandenen Studie die meisten Patienten nach einem Fahrradunfall, was bestehenden Untersuchungen zu Fahrradunfällen entspricht (Ellwein, 2011; Lindqvist et al., 1986).

Die Analyse der Einlieferungsmodalität ergab eine medizinische Begleitung von E-Scooter-Patienten in 60 % der Fälle. Unter den alkoholisierten Patienten belief sich die Rate der Einlieferung durch den Rettungsdienst sogar auf knapp 85 % in der Fahrrad- und etwa 76 % in der E-Scooter-Kohorte. Während die Hersteller und Verleihfirmen einerseits von der zunehmenden Nutzung profitieren, bedeutet dies somit andererseits durch die entstehenden Unfälle eine steigende Auslastung der Rettungsdienste, der Polizei und der medizinischen Einrichtungen.

7.4 Unfallursachen und Fehlverhalten

Da es sich um eine retrospektive Studie handelt und nur die Informationen aus den vorliegenden Patientenakten zur Verfügung standen, konnte oft keine Unfallursache eruiert werden. Die Erfassungsrate des Unfallhergangs war im Fahrradkollektiv signifikant höher als im E-Scooter-Kollektiv ($p=0,023$). Dies könnte durch den höheren Anteil an alkoholisierten E-Scooter-Patienten begründet sein, die folglich aufgrund von retrograder Amnesie zum Unfallhergang keine Angaben treffen konnten.

Die bestehende Literatur wie auch die vorliegende Studie zeigten eine seltene Fremdbeteiligung bei Verletzungen durch E-Scooter-Unfälle. In bis zu 87 % der Fälle lag ein fahrlässiges Eigenverhalten zu Grunde. (Hennocq et al., 2020; Mair et al., 2020; Stigson et al., 2021; Störmann et al., 2020)

Unter den erfassten Patienten der E-Scooter-Kohorte, die sich zum Unfallhergang äußerten, wurden Stürze aufgrund einer ungünstigen Bodenbeschaffenheit als häufigster Grund genannt (siehe 6.1.1.5). Hierbei bestehen Parallelen zu Tretroller-Unfällen bei Kindern, die in 83 % der Fälle aufgrund von Fahrbahnunebenheiten geschehen (Schalomon et al., 2002). Erfasste Patienten des Fahrradkollektivs erwähnten diesen Aspekt wiederum als letzten. Dies

könnte konstruktionsbedingt ein höhere Wahrscheinlichkeit für einen Sturz durch Fahrbahnunebenheiten während E-Scooter- im Vergleich zu Fahrradfahrten bedeuten. Ein weiteres Risiko für E-Scooter-Fahrer entsteht durch die Vibrationen, die im Vergleich zum Fahrrad stärker ausfallen. Hierbei liegt eine Abhängigkeit vom Bodenbelag vor: Beton verursacht stärkere Vibrationen als Asphalt (Ma et al., 2021).

Es stellt sich die Frage, welche beeinflussbaren Verhaltensweisen zu eigenverschuldeten E-Scooter-Unfällen führen. Denn mit entsprechender Aufklärung der Nutzer können derartige Unfälle in Zukunft reduziert werden. Das Statistische Bundesamt teilte die E-Scooter-Unfälle aus dem Jahr 2020 nach den vorliegenden Fehlverhalten ein. Als häufigstes Fehlverhalten wurde das Fahren des E-Scooters unter Alkoholeinfluss angegeben (18,3 %), während sich die Zahl der alkoholisierten Fahrradfahrer im gleichen Zeitraum auf 7,1 % belief. An zweiter Stelle befand sich in der Gruppe der E-Scooter-Unfälle die falsche Nutzung der Fahrbahn bzw. Gehwege (16,5 %) und an dritter Stelle eine unangemessene Geschwindigkeit (8,5 %). (Statistisches Bundesamt (Destatis), 2021a) Cicchino et al. belegten in einer prospektiven Studie zu Verletzungen durch E-Scooter-Unfälle ebenfalls ein vermehrtes Stürzen der Patienten auf dem Gehweg. Jedoch erlitten die Patienten, die auf der Straße verunfallten, eine stärkere Verletzungsschwere. Dies könnte durch erhöhte Fahrtgeschwindigkeiten bei der Straßenbenutzung bedingt sein. (Cicchino et al., 2021)

Die Münchner Polizei beobachtete darüber hinaus Fehlverhalten wie das Fahren eines E-Scooters zu zweit. Sie wendete sich folglich mit dem Hinweis an die Bevölkerung, E-Scooter-Fahrten seien nur alleine erlaubt. Des Weiteren wird berichtet: „Vielen E-Scooter-Nutzern ist offenbar nicht bewusst, dass es sich bei den E-Scootern um keine Spiel- oder Sportgeräte, sondern um Kraftfahrzeuge handelt. Eine aktive Teilnahme am Straßenverkehr erfordert ständige Vorsicht und gegenseitige Rücksicht“. (Polizeipräsidium München, 2021) Ein wesentlicher Unterschied zum Kraftfahrzeug wie dem Auto besteht jedoch: es muss keine Führerscheinprüfung mit entsprechenden Übungsstunden in der Theorie und Praxis abgelegt werden. Rix et al. gaben die Verletzungsrate von E-Scooter-Unfällen basierend auf zurückgelegten Meilen sogar 175- bis 200-mal höher als bei Kraftfahrzeugen an (Rix et al., 2021).

Das Fazit, dass vor der Nutzung eines E-Scooters bezüglich des Handlings und der Gefahren noch mehr aufgeklärt und geschult werden sollte, zeigte auch eine Umfrage für den Deutschen Verkehrssicherheitsrat. Hierbei waren bei 41 % der Befragten die Regelungen der

Nutzung unklar. 57 % der Befragten gaben außerdem an, bereits mit dem E-Scooter auf dem Gehweg oder in einer Fußgängerzone regelwidrig gefahren zu sein. Als Reaktion auf die Umfrageergebnisse startete die Kampagne „Roll ohne Risiko!“, die über die Verkehrsregeln in Zusammenhang mit der E-Scooter-Nutzung informieren sollte. (Deutscher Verkehrssicherheitsrat, 2021) Auch andere Autoren beobachteten häufig Regelverstöße bei E-Scooter-Fahrten und sprachen sich für eine bessere Kommunikation der bestehenden Regeln für die E-Scooter-Nutzung aus (Siebert et al., 2021).

7.5 Problematik des Fahrens unter Alkoholeinfluss

Bei der E-Scooter-Nutzung gelten dieselben Promillegrenzen wie bei dem Fahren eines Autos (siehe 3.1.3) (Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V., 2021). Nicht nur die vorliegende Arbeit gibt deutlich Hinweise einer häufigen Missachtung der geltenden Regelungen bezüglich des Alkoholkonsums. Die Daten aus bisherigen deutschen Studien beziehen sich ausschließlich auf Verletzungen am ganzen Körper. Hierbei berichteten die Autoren von niedrigeren Anteilen an alkoholisierten Patienten: 17 – 28 % in Berlin, 28 % in Hamburg und 36,7 % in einer vorhergehenden Studie aus München (Kleinertz et al., 2021; Mair et al., 2020; Uluk et al., 2020; Wüster et al., 2020). Internationale Studien belegen Raten zwischen 18 - 49 % an alkoholisierten E-Scooter-Patienten mit kraniofazialen Verletzungen (Hennocq et al., 2020; Kobayashi et al., 2019; B. Trivedi et al., 2019). Demnach scheint die vorliegende Arbeit entsprechend der aktuellen Studienlage mit 52,5 % einen Höchstwert an alkoholisierten Patienten nach einem E-Scooter-Unfall erreicht zu haben. Da der Alkoholkonsum meist auf einer subjektiven Angabe basierte, ist zudem von einer Dunkelziffer an alkoholisierten Patienten auszugehen.

Im Gegensatz dazu untersuchte Winkler et al. am Institut für Rechtsmedizin München von 379 E-Scooter-Nutzern die BAK-Werte über einen Zeitraum von Juni bis August 2019. Die Auswertung zeigte einen BAK-Wert von mindestens 1,09 ‰ bei über 80 % der Probanden. Daraus folgerten die Autoren ein Ignorieren oder dem Unwissen der geltenden Regelungen von vielen Nutzern. (Winkler et al., 2020) Als problematisch ist dabei zu bewerten, dass durch den Alkoholkonsum das subjektive Leistungsvermögen gesteigert, die Risikobereitschaft erhöht sowie die Konzentrationsfähigkeit und die Reaktionszeit vermindert werden (Gerchow, 1999). Auch Gangunsicherheiten, Gleichgewichtsproblematiken und Seheinschränkungen erhöhen das Unfallrisiko im Straßenverkehr und stellen darüber hinaus für andere

Verkehrsteilnehmer eine Gefahr dar (Buchta et al., 2004). Bereits beim Vorliegen einer niedrigen BAK ist eine signifikante Verminderung der Fahrleistung sowie eine relative Fahrunsicherheit mit dem E-Scooter anzunehmen (Zube et al., 2022).

Ein Grund für die erhöhte Rate an alkoholisierten E-Scooter-Patienten der vorliegenden Untersuchung könnte das Oktoberfest sein, das Ende September bzw. Anfang Oktober 2019 in München stattfand. Es zeigte sich analog hierzu ein deutlicher Anstieg an alkoholisierten E-Scooter-Patienten im Herbst (siehe Abbildung 8). Bereits im August 2019 berichtete die Süddeutsche Zeitung mit der Schlagzeile „E-Roller sind für Betrunkene das Transportmittel der Wahl“ (Hans, 2019). Die Stadt München reagierte daher schon vor dem Oktoberfest, indem sie Sperrzonen und -zeiten für E-Scooter rund um das Festgelände festgelegt hatte. Trotzdem stoppte die Polizei in München während des Oktoberfests 2019 414 alkoholisierte E-Scooter-Fahrer, wovon bei einem Großteil ein Fahrverbot verhängt wurde (Polizeipräsidium München, 2019). Entsprechend dieser Datenlage stellt sich für die Zukunft die Frage, ob während des Oktoberfestes zum Schutz der Bevölkerung die E-Scooter-Nutzung in München sogar ganz untersagt bzw. pausiert werden sollte. Zusätzlich ist eine ganzjährige strengere Überprüfung ratsam. Denkbar wäre auch das Einbauen von Hinweisen über die geltenden Vorschriften durch die Anbieter der E-Scooter-Verleihe bei der Buchung über eine App. Denn laut einer Umfrage des deutschen Verkehrssicherheitsrats war 51 % der Befragten die Tatsache der gleichen Promillegrenzen wie bei Autofahrten nicht bewusst (Deutscher Verkehrssicherheitsrat, 2020). Mittlerweile sprachen einige E-Scooter-Anbieter auf das Problem an, indem sie Reaktionstests in die App einfügten. Sollte die Reaktion des Nutzers zu langsam sein, wird die Empfehlung mitgeteilt, besser andere Verkehrsmittel zu nutzen. (Schubert, 2022) Ob dies eine effiziente Methode darstellt, um E-Scooter-Fahrten unter Alkoholkonsum deutlich zu reduzieren, ist zweifelhaft.

Die Schwankungen der Alkoholisierungsrate von verunfallten Patienten zwischen den oben genannten Studien lassen sich außerdem durch die unterschiedlichen Einschlusskriterien begründen. Als kritisch in der vorliegenden Studie ist demnach der Aspekt der fehlenden Verifizierung und des Ausmaßes der Alkoholintoxikation zu bewerten. Wüster et al. errechneten in einer Kleingruppe anhand von 7 Blutproben eine mittlere BAK von 1,7 g/l (Wüster et al., 2020).

Ähnlich wie in den Ergebnissen von Kleinertz et al. sowie Stray et al. waren die erfassten E-Scooter-Fahrer deutlich häufiger als Fahrradfahrer alkoholisiert (Kleinertz et al., 2021; Stray et

al., 2022). Von Fahrradunfällen ist bereits die zunehmende Schwere und Anzahl an Kopfverletzungen von alkoholisierten Patienten im Vergleich zu nüchternen Patienten bekannt. Eine höhere BAK kann mit einer höheren Rate an Verletzungen einhergehen (Airaksinen et al., 2018; Li et al., 2001). Die Fragestellung, ob mit zunehmender BAK auch die Schwere der Kopfverletzungen bei E-Scooter-Unfällen steigt, bleibt offen und bedarf weiterer dezidierter Forschung.

7.6 Helmnutzung

Die Behelmung der Patienten ist in der vorliegenden Studie insgesamt als sehr gering einzustufen. Kein E-Scooter Patient trug einen Helm und auch in der Fahrradkohorte war lediglich ein niedriger Anteil der Patienten (16,1 %) behelmt. Ein derartiges Ergebnis stellt keine Einzelheit dar, da andere Autoren ebenfalls von einer 0 %- Helmragequote bei E-Scooter-Fahrern berichten (Kleinertz et al., 2021; B. Trivedi et al., 2019; Uluk et al., 2020). Zum einen ist von Fahrradhelmen ein unmodisches sowie nicht praktikables Aussehen bekannt, wodurch sogar ein Gruppenzwang entstehen kann. Zum anderen ist aufgrund der Neueinführung des E-Scooters noch von einer Unterschätzung der Motorisierung und Geschwindigkeit auszugehen.

Es scheint zudem eine regionale bzw. kontinentale Diskrepanz hinsichtlich der Helmragegewohnheit bei der E-Scooter-Nutzung zu existieren. In Brisbane wurde bei E-Scooter-Fahrten eine Helmragepflicht eingeführt und demnach trugen in der Studie zu E-Scooter-Unfällen von Mitchell et al. 46 % der Patienten einen Helm. Es zeigte sich eine signifikante Reduktion von Kopfverletzungen durch das Tragen eines Helmes ($p=0.029$). (Mitchell et al., 2019) Eine weitere Studie aus Brisbane führte ein Helmrage bei 95 % der Fahrer von privaten und 66,8 % von mietbaren E-Scootern an. Daher folgerten die Autoren die Problematik des Nichttragens eines Helmes insbesondere bei mietbaren E-Scootern. (Haworth et al., 2021a, 2021b) Demgegenüber steht eine Studie aus Berlin, in der 777 E-Scooter-Fahrer innerhalb eines Zeitfensters von 12,5 Stunden beobachtet wurden. Hierbei trug keiner der erfassten E-Scooter-Fahrer einen Helm (Siebert et al., 2021).

In der vorliegenden Fahrradkohorte belief sich die Erfassungsrate der Behelmung auf einen deutlich höheren Anteil (E-Scooter: 32,5 % vs. Fahrrad: 57,8 %). Mit der mittlerweile gewonnenen Erkenntnis, dass Verletzungen des Mund-Kiefer-Gesichtsbereichs im Zusammenhang mit E-Scooter-Unfällen von Relevanz sind, sollten verunfallte Patienten im

Rahmen der Anamneseerhebung vermehrt befragt werden, ob bei der jeweiligen Fahrzeugnutzung ein Helm getragen wurde.

7.6.1 Schutzwirkung von Helmen

Benjamin et al. untersuchten in einer retrospektiven Kohortenstudie den Schutz von Fahrradhelmen bei Fahrradunfällen in den USA. Insgesamt wurden 85.187 Kopf- und Gesichtsverletzungen eingeschlossen. Frakturen des Kopfes konnten durch das Tragen eines Helmes um 52 % reduziert werden, Frakturen des Gesichts um 35 % im oberen Gesichtsdrittel, 28 % im Bereich des Mittelgesichts und 21 % des Untergesichts. Weichteilverletzungen des Gesichts wurden ebenfalls vorwiegend im oberen Drittel (33 %) vermieden. (Benjamin et al., 2019) Thompson und Rivara gaben durch das Tragen eines Helmes bei Fahrradunfällen sogar eine Reduktion von Kopfverletzungen um 74-85 % an (Thompson & Rivara, 2001).

Auch in der Untersuchung des Verfassers ergab sich in der behelmteten Gruppe der Fahrradfahrer ein signifikant geringeres Vorkommen an Frakturen. Die Rate an Schädel-Hirn-Traumata konnte jedoch durch das Tragen eines Helmes nicht reduziert werden. Die hohe Rate an aufgetretenen Frakturen des E-Scooter-Kollektivs, die unter anderem auch die Schädelbasis und Schädelkalotte betrafen, verdeutlichen die Notwendigkeit des Helmtragens bei E-Scooter-Fahrten. Da im E-Scooter-Kollektiv am häufigsten Unterkieferfrakturen, gefolgt von Frakturen des lateralen Mittelgesichts und des Nasenbeins diagnostiziert wurden, sollte der Helm mit einem Kinnschutz ausgestattet sein, um neben Verletzungen des Neurocraniums auch Verletzungen des Viszerocraniums (insbesondere des unteren Gesichtsdrittels) zu minimieren.

7.6.2 Helmpflicht

Eine Helmpflicht wird seit Jahrzehnten in der Fahrrad-, als auch seit Kurzem in der E-Scooter-Branche diskutiert. Ein vergleichbares Beispiel aus den vergangenen Jahrzehnten stellt die Anschnallpflicht bei Pkw-Fahrten dar, die früher zu kontroversen Diskussionen führte und heutzutage eine hohe Akzeptanz erreicht hat.

Bei einer Befragung mit 3.100 Teilnehmern im Auftrag des TÜV Rheinland befürworteten 54,3 % eine gesetzliche Helmpflicht bei E-Scooter-Fahrten (TÜV Rheinland, 2020). In der Fahrradbranche werden einige Gegenargumente aufgeführt, wie zum Beispiel ein Rückgang

der Nutzung entsprechender Verkehrsmittel. Dies würde sich in der Folge wiederum nachteilig auf den Umweltaspekt auswirken. (Jürgensohn et al., 2017) Außerdem könnte sich das Verhalten der Fahrradfahrer zu mehr Risikobereitschaft ändern, da der Helm ein gesteigertes Sicherheitsgefühl vermittelt (Gamble & Walker, 2016). Diese sogenannte Risikokompensation wurde in einer Studie mittels EEG-Aufzeichnungen untersucht, mit dem Resultat einer verminderten kognitiven Kontrolle im Sinne einer niedrigeren Leistung der frontalen Theta-Mittellinie der Helmgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe (Schmidt et al., 2019). Passend dazu wird in einem Feldversuch ein langsames Fahren der Fahrradfahrer ohne Helm berichtet (Fyhri & Phillips, 2013). Jedoch besteht in der Literatur über das Phänomen der Risikokompensation kein einheitlicher Konsens (Jürgensohn et al., 2017). Auch ist der sozioökonomische Aspekt der Helmpflicht zu berücksichtigen. Kosten-Nutzen-Analysen zeigen zwar unter Einführung einer Fahrradhelmpflicht eine Einsparung von etwa 570 Millionen Euro durch eine Verringerung von Kopfverletzungen und Unfalltoten. Andererseits entstünden aber durch das Umsteigen auf andere Verkehrsmittel, die keinen positiven Effekt auf die Gesundheit haben, wiederum steigende Gesundheitskosten. Hinzu kämen private Anschaffungskosten für die Fahrradhelme. (Sieg, 2016)

Ob die genannten Überlegungen zur Helmpflicht auch analog zum E-Scooter anwendbar sind, kann zwar durch die vorliegende Studie nicht belegt werden, jedoch ist das Helmtreten als ein Gebot der Vernunft zu sehen. Darüber hinaus sprechen sich zahlreiche Autoren aufgrund der hohen Rate an Kopfverletzungen bei E-Scooter-Unfällen für eine dringende Empfehlung bzw. der Verpflichtung einer Helmnutzung aus (Heuer et al., 2021; Kleinertz et al., 2021; Mair et al., 2020; Störmann et al., 2020; B. Trivedi et al., 2019; Uluk et al., 2020; Wüster et al., 2020). Dennoch bedarf es weiterer Forschung zur Helmnutzung bei E-Scooter-Unfällen.

7.7 Kraniofaziale Verletzungsmuster

7.7.1 Weichteilverletzungen

7.7.1.1 Offene Weichteilverletzungen als häufigstes Verletzungsmuster

Das statistische Bundesamt meldete für E-Scooter-Unfälle aus dem Jahr 2020 ein größtenteils leichtes Verletzen der Verunglückten (Statistisches Bundesamt (Destatis), 2021a). Auch in der vorliegenden Studie handelte es sich überwiegend um geringgradige Verletzungen, da sich in den beiden erfassten Kollektiven als häufigstes Verletzungsmuster die offenen

Weichteilverletzungen des Gesichts- und Kopfbereichs (E-Scooter: 77,5 %, Fahrrad: 61,7 %, $p=0,049$) ergaben. Analog berichteten weitere Autoren überwiegend von leichten Verletzungen wie Abschürfungen, Wunden, Zahnverletzungen und Prellungen (Kim et al., 2020; Kleinertz et al., 2021; Mitchell et al., 2019; Thoenissen et al., 2021; Wüster et al., 2020). Als günstig zu bewerten ist dabei, dass offene Weichteilverletzungen in den meisten Fällen unkompliziert und ohne Langzeitfolgen therapiert werden können. Dementsprechend stellt der E-Scooter in dieser Hinsicht einen moderaten Risikofaktor dar. Allerdings heben sich die Untersuchungen von Namiri et al., die von 2014 bis 2018 an der Universität San Francisco stattfanden, von dieser Erkenntnis ab. Sie legten im Rahmen der häufigsten Verletzungsarten durch E-Scooter-Unfälle Frakturen an erster Stelle dar. (Namiri et al., 2020)

7.7.1.2 Topographie der offenen Weichteilverletzungen

Werden die offenen Weichteilverletzungen des Gesichts detailliert betrachtet, so waren diese in beiden Gruppen überwiegend im unteren, gefolgt vom oberen Gesichtsdrittel lokalisiert. Dies stimmt mit Ergebnissen von Hennocq et al. überein, die Wunden in absteigender Häufigkeit an Kinn, Lippen und der Stirn feststellten (Hennocq et al., 2020). Der Vergleich beider Kohorten der vorliegenden Studie zeigt innerhalb des E-Scooter-Kollektivs häufigeres Auftreten von offenen Weichteilverletzungen im unteren Gesichtsdrittel als im Fahrradkollektiv (E-Scooter: 42,5 %, Fahrrad: 33,8 %). Der Grund hierfür könnte ein häufigeres Stürzen auf das Untergesicht bei E-Scooter-Unfällen sein. Bis dato kann diese These basierend auf der bestehenden Literatur jedoch nicht einheitlich bestätigt werden. Die Studienergebnisse von Trivedi et al. zeigen bezüglich der Lokalisation von Verletzungen jeglicher Art bei einer Fallzahl von 52 E-Scooter-Patienten, ein am häufigsten Betreffen des oberen und mittleren Gesichtsdrittels (B. Trivedi et al., 2019).

7.7.2 Frakturen

7.7.2.1 Häufigkeiten der aufgetretenen Frakturen

Meyer et al. nennen als eine der Hauptursachen von Gesichtsschädelfrakturen Verkehrsunfälle (Meyer et al., 1999). Dies erklärt ein Vorliegen der kraniofazialen Frakturen (45 %) an zweiter Stelle der Verletzungsmuster im erfassten E-Scooter-Kollektiv. Fast jeder zweite E-Scooter-Patient erlitt demnach eine Fraktur. Auch bestehende Studien berichten,

bezogen auf den Kopf- und Gesichtsbereich, von Frakturen als zweithäufigstes Verletzungsmuster nach den Wunden bzw. Weichteilverletzungen (Kleinertz et al., 2021; Thoenissen et al., 2021).

In dem erfassten Kollektiv der Fahrradfahrer traten Frakturen (25,8 %, $p=0,010$) dagegen erst an dritter Stelle auf. Somit erlitt hier nur etwa jeder vierte Patient eine Fraktur. Kleinertz et al. beschrieben kraniofaziale Frakturen innerhalb der Fahrradkohorte als seltenstes Verletzungsmuster (Kleinertz et al., 2021).

7.7.2.2 Unterkiefer- und Mittelgesichtsfrakturen

Die Frakturmuster bzw. -lokalisationen bei E-Scooter-Unfällen der vorliegenden Studie decken sich weitgehend mit den Daten aus Paris und Berlin, bei denen Unterkieferfrakturen am häufigsten diagnostiziert wurden (Hennocq et al., 2020; Wüster et al., 2020). Dagegen beobachteten Faraji et al. im Rahmen einer amerikanischen Studie eine Häufung von Frakturen im Bereich des Mittelgesichts bei einem größeren Patientenkollektiv von 188 Patienten mit E-Scooter-assoziierten kraniofazialen Verletzungen (Faraji et al., 2020).

In Köln untersuchten Lentzen et al. Unterkieferfrakturen durch E-Scooter-Unfälle gründlicher und gaben in 73 % der Fälle Mehrfachfrakturen an, bei denen es sich meist aus einer Kombination aus Symphyse/Corpus und dem Ramus/Kondylus bilateral handelte (Lentzen et al., 2021). Dies deckt sich jedoch nicht mit den vorliegenden Ergebnissen, bei denen überwiegend Einfachfrakturen vorlagen. Sowohl in der Literatur als auch in der vorhandenen Arbeit ergaben sich zwar signifikant gehäuft Frakturen des Viszerokraniums bei E-Scooter-Unfällen; die genaue Lokalisation und die Bruchqualität unterliegt allerdings Schwankungen, sodass von einem gewissen Zufallseffekt ausgegangen werden kann. Aufgrund der geringen Fallzahl von Unterkieferfrakturen in der vorliegenden Studie bedarf es hierzu grundsätzlich noch weiterer Untersuchungen.

Bezogen auf alle erfassten Patienten wurden im E-Scooter-Kollektiv Unterkieferfrakturen signifikant häufiger als im Fahrradkollektiv diagnostiziert ($p=0,005$). In der erfassten Fahrrad-Kohorte traten dagegen Frakturen des lateralen Mittelgesichts am meisten auf, jedoch ohne statistische Signifikanz. Bereits im Jahr 1986 untersuchten Lindqvist et al. maxillofaziale Frakturen durch Fahrradunfälle detaillierter. Es handelte sich bei zwei Drittel um Unterkiefer- und bei einem Drittel um Mittelgesichtsfrakturen. Hierbei war wie in der vorliegenden Studie vermehrt das laterale Mittelgesicht betroffen. (Lindqvist et al., 1986) Das überwiegend

seitliche Fallen bei Unfällen mit dem Fahrrad könnte die am häufigsten aufgetretene Frakturart des lateralen Mittelgesichts erklären. Bauer et al. führten bei Fahrradunfällen ein am häufigsten seitliches Stürzen, gefolgt von Stürzen über den Lenker auf (Bauer, 2017). Auch Prof. Dr. Chlodwig Kirchhoff beschrieb in einem Artikel der Süddeutschen Zeitung, dass E-Scooter-Fahrer aufgrund der geringeren Fallhöhe eher frontal und Fahrradfahrer eher seitlich fallen (Mölter, 2021). Der geringere Vorderrad-Durchmesser des E-Scooters im Vergleich zum Fahrrad könnte ein häufigeres frontales Stürzen bedingen, was sich im vorliegenden Kollektiv durch Verletzungen des Untergesichts in Form von offenen Weichteilverletzungen, Frakturen und Zahnverletzungen äußerte. Allgemein stellt sich jedoch bis dato der Forschungsstand zu Aufprallkinematiken in Zusammenhang mit E-Scooter-Unfällen rar dar. Die Literaturrecherche ergab lediglich Ergebnisse von Posirisuk et al., die nach simulierten E-Scooter-Stürzen aufgrund eines Schlaglochs einen meist schrägen Aufprall auf den Boden mit einem vorhergesagten Aufprallwinkel von $65 \pm 10^\circ$ beobachteten (Posirisuk et al., 2022). Es bedarf weiterer Studien mit der Simulation verschiedenster Unfallmechanismen, um möglichst viele reale Szenarien abdecken zu können. Damit könnte das Wissen über kraniofaziale Traumata durch E-Scooter-Unfälle erweitert und Schutzmaßnahmen entwickelt werden.

7.7.3 Sonstige Verletzungsmuster

Bei mehr als einem Drittel der Patienten beider erfasster Kollektive ereigneten sich Schädel-Hirn-Traumata. Im Gegensatz zum E-Scooter-Kollektiv, in dem lediglich Schädel-Hirn-Traumata 1. Grades vorkamen, traten im Fahrradkollektiv auch Schädel-Hirn-Traumata mit schwerwiegenderen Verläufen auf. Mögliche Gründe könnten andere Unfallmechanismen sowie eine größere Sturzhöhe beim Fahrradfahren darstellen. Die von uns ermittelte Häufigkeit von Schädel-Hirn-Traumata bei E-Scooter-Unfällen liegt über der von anderen Autoren, die eine entsprechende Verletzung in 12-20 % der Fälle angaben (Kleinertz et al., 2021; Mair et al., 2020; Uluk et al., 2020). Möglicherweise besteht ein Zusammenhang zwischen der erhöhten Rate an alkoholisierten Patienten, denn die häufigste Diagnose dieser Personengruppe ist das Schädel-Hirn-Trauma 1. Grades (Schneiders et al., 2017).

Zahnverletzungen traten im E-Scooter-Kollektiv etwa doppelt so häufig wie im Kollektiv der Fahrradfahrer auf ($p=0,017$). Der Anteil an Zahntraumata lag in der vorliegenden Untersuchung (E-Scooter: 27,5 %, Fahrrad: 13,3 %) über dem der Hamburger Studie (E-Scooter: 12 %, Fahrrad: 8 %) (Kleinertz et al., 2021). In Paris dagegen wurden

Zahnverletzungen bei E-Scooter-Unfällen noch häufiger, nämlich in 35 % der Fälle, dokumentiert (Hennocq et al., 2020). Es resultiert daraus eine zunehmende Konfrontation von Zahnarztpraxen mit dentalen Traumata bedingt durch E-Scooter-Unfälle. Der Erklärungsansatz könnte, wie im vorherigen Kapitel beschrieben, auch in diesem Punkt ein vermehrter frontaler Sturz mit dem E-Scooter sein (Mölter, 2021). Außerdem kann aufgrund der hohen Rate an alkoholisierten E-Scooter-Patienten ein verminderter Schutz durch verlangsamte Reflexe diskutiert werden, schließlich waren rund 73 % (n=8) der E-Scooter-Patienten mit Zahnverletzungen alkoholisiert. Zu der Art der Zahnverletzungen existieren in Deutschland bis dato keine vorhergehenden Untersuchungen. Es handelte sich in der vorliegenden Studie am häufigsten um Kronenfrakturen der Frontzähne, außerdem frakturierte der Alveolarfortsatz in 5 % der Fälle. Hennocq et al. nennen diesbezüglich identische Ergebnisse (Hennocq et al., 2020). Aufgrund lückenhafter Dokumentation in den erfassten Patientenakten der vorliegenden Studie konnte die Anzahl der Zähne nicht evaluiert werden. Eine koreanische Studie gab bei 27 Patienten Verletzungen an 82 Zähnen an (Kim et al., 2020).

Schädel- oder Gesichtsprellungen ereigneten sich in der Fahrradkohorte signifikant häufiger als im E-Scooter-Kollektiv ($p=0,032$). Kleinertz et al. ermittelten ebenso Gesichtsprellungen öfters im Fahrradkollektiv als in der Gruppe der E-Scooter (Kleinertz et al., 2021).

Zusätzlich zu den Kopf- und Gesichtsverletzungen traten Verletzungen der oberen Extremität sowohl im E-Scooter- als auch Fahrradkollektiv häufiger als die der unteren Extremität auf. Dies entspricht den Ergebnissen vorhergehender E-Scooter-Studien, auch wenn hierbei nicht ausschließlich Patienten mit Kopf- und Gesichtsverletzungen untersucht wurden (Kleinertz et al., 2021; Störmann et al., 2020). Vergleichbare Daten zu dem erfassten Patientengut, die allesamt Kopf- oder Gesichtsverletzungen aufwiesen, konnten nicht eruiert werden. Als Grund für die höhere Verletzungsrate der oberen Extremitäten nennen Frobenius & Betzel den reflexartigen Versuch der Fahrradfahrer, sich mit der oberen Extremität aufzufangen (Frobenius & Betzel, 1987). Dies könnte analog für die E-Scooter-Unfälle gelten.

7.8 Therapie

In einer Hamburger Studie war die Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie als Fachrichtung signifikant häufiger bei E-Scooter- als bei Fahrrad-assoziierten Verletzungen involviert. Außerdem mussten ähnlich wie in der vorliegenden Studie rund ein Drittel der E-Scooter- und

Fahrradpatienten, unabhängig der Fachrichtung, stationär aufgenommen werden. (Kleinertz et al., 2021) In der vorhandenen Arbeit bestand prozentual bei etwa gleich vielen Patienten beider Kollektive die Indikation zur Schockraumbehandlung (E-Scooter: 15 %, Fahrradpatienten: 16,4 %). Hierzu sind in der Literatur bis dato keine Vergleichswerte zu finden, die sich ausschließlich auf Patienten mit kraniofazialen Verletzungen beziehen. Die vorhergehende Studie der Unfallchirurgie am Universitätsklinikum rechts der Isar der Technischen Universität München ergab mit 6,7 % der Fälle einen etwas geringeren Wert von Einweisungen in den Schockraum bei E-Scooter-Verletzungen (Mair et al., 2020). Hierbei erlitt das Patientenkollektiv Verletzungen am gesamten Körper, was die Differenz erklären könnte. Übereinstimmend zu anderen Veröffentlichungen zeigte sich eine größtenteils ambulante Versorgung der Patienten beider erfassten Kollektive (Kleinertz et al., 2021; Shichman et al., 2022). In der Abteilung für Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie befanden sich nach eigenen Untersuchungen 20 % der E-Scooter-Patienten in stationärem Aufenthalt mit einer Verweildauer von 3 Tagen im Median. Wüster et al. geben mit 40 % eine noch höhere Hospitalisationsrate mund-kiefer-gesichtschirurgischer E-Scooter-Patienten an (Wüster et al., 2020). Mair et al. berichteten von 3,5 Tagen Verweildauer im Median der E-Scooter-Patienten (Mair et al., 2020). Somit scheint es nur geringfügige Unterschiede zwischen der Krankenhausverweildauer von E-Scooter-Patienten in Abhängigkeit der Fachrichtung und Verletzungsart zu geben. Während in der vorliegenden Studie keine statistische Signifikanz zwischen der Krankenhausverweildauer und dem Verkehrsmittel nachgewiesen werden konnte, geben Meyer et al. eine signifikant längere Verweildauer für E-Scooter- als für Fahrradpatienten an (Meyer et al., 2022).

Es ergab sich in der vorhandenen Arbeit für das E-Scooter-Kollektiv eine höhere Wahrscheinlichkeit eines chirurgischen Eingriffs (Intubationsnarkose/Lokalanästhesie) als für die Fahrradkohorte. Die Indikation zu einer operativen Therapie in Intubationsnarkose durch die Abteilung für Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie am Universitätsklinikum rechts der Isar bestand bei 17,5 % der E-Scooter-Patienten. Die Rate an Operationen von kraniofazialen Verletzungen durch E-Scooter-Unfälle wird in der bestehenden Literatur in einer ähnlichen Größenordnung von 14 bis 29 %, angegeben (Hennocq et al., 2020; B. Trivedi et al., 2019; Wüster et al., 2020). In einer kalifornischen Studie erfolgte die operative Therapie nach E-Scooter-Unfällen sogar in 33 % der Fälle, wobei hierbei lediglich Patienten mit schweren Traumata, unabhängig der Körperregion oder der Notwendigkeit einer

Krankenhauseinweisung eingeschlossen wurden (Kobayashi et al., 2019). Andere Autoren bezogen sich mit der Rate an operativen Eingriffen nur auf das Patientenkollektiv, das Frakturen erlitt (Hennocq et al., 2020). Dies veranschaulicht in Abhängigkeit der Einschlusskriterien mögliche Schwankungen der prozentualen Häufigkeit einer operativen Therapie.

Kein Vergleichswert konnte in den bestehenden Studien nach den eigenen Recherchen zur Dauer der operativen Therapie von kraniofazialen Verletzungen durch E-Scooter-Unfälle eruiert werden. Die Operationen an der Klinik- und Poliklinik für Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie der Technischen Universität München dauerten im Median 122 Minuten in der E-Scooter-Kohorte an. Dies bedeutet eine um 40 Minuten längere Dauer als in der Fahrradkohorte. Graef et al. berichten von einer kürzeren Operationszeit zwischen 34-91 Minuten, wobei keine dieser E-Scooter-assoziierten Verletzungen den kraniofazialen Bereich betraf (Graef et al., 2020). Dabei ist eine Abhängigkeit der Operationsdauer von multiplen Faktoren zu beachten. Die Auswertung der vorliegenden Daten gibt jedoch Hinweise darauf, dass E-Scooter-Unfälle zu komplexeren Therapien der resultierenden kraniofazialen Verletzungen führen könnten als bei entsprechenden Fahrradunfällen.

7.9 Volkswirtschaftliche Aspekte

Ein weiterer Aspekt der steigenden Anzahl von E-Scooter-Unfällen ist eine höhere Be- bzw. Auslastung der Klinikkapazitäten sowie steigende Kosten im Gesundheitswesen (Bekhit et al., 2020; Smit et al., 2020). In Neuseeland fielen beispielsweise fast 300 000 NZD Behandlungskosten auf 30 E-Scooter-Patienten an (Smit et al., 2020). Umgerechnet in Euro bedeutet dies etwa 176 000 € im Gesamten und durchschnittlich 5 867 € Behandlungskosten pro verunfallten E-Scooter-Patienten. Ahluwalia et al. berechneten pro Patienten einen niedrigeren Wert von etwa 1 482 GBP bzw. 927 GBP, wenn keine Operation innerhalb 12 Stunden benötigt wurde (Ahluwalia et al., 2022). Dies entspricht einem umgerechneten Eurobetrag von etwa 1 691 € bzw. 1 058 € pro verunfallten E-Scooter-Patienten. Von Fahrradunfällen ist außerdem folgendes bekannt: unter Alkoholeinfluss sind diese mit höheren Kosten für das Gesundheitswesen verbunden (Spaite et al., 1995). Um eine Aussage treffen zu können, ob diese Beobachtung auch für E-Scooter-Unfälle gilt, sind weitere Studien nötig.

Für die einzelnen Städte entsteht seit der Einführung der E-Scooter eine Herausforderung, indem unsachgemäß abgestellte E-Scooter entsorgt werden müssen (Österreichischer Rundfunk, 2021; Stolz, 2021). Beispielsweise berichtete das Referat für Klima- und Umweltschutz der Landeshauptstadt München auf Nachfrage des Verfassers, dass seit dem Sommer 2019 bis Juni 2020 etwa 224 E-Scooter aus Münchner Gewässern geborgen werden mussten, wobei neben den E-Scooter-Anbietern auch Umweltorganisationen und in einigen Fällen die Feuerwehr involviert waren (Pressestelle Referat für Klima- und Umweltschutz, 2021).

7.10 Limitationen

Die Limitationen der vorliegenden Studie ergeben sich unter anderem durch das retrospektive Design. Im Falle eines Nichterinnerns des Patienten an das Unfallereignis oder einer unvollständigen Dokumentation in der Patientenakte (beispielsweise zur Behelmung oder dem Unfallhergang), konnten die fehlenden Informationen nicht ergänzt werden. Außerdem berufen sich, wie in einer Anamneseerhebung üblich, einige Daten der vorliegenden Ergebnisse auf subjektive Patientenangaben. So auch der eventuelle vorhergehende Alkoholkonsum, der nicht mittels BAK verifiziert wurde. Ein Fragebogen wurde aufgrund der retrospektiven Gestaltung nicht eingesetzt. Möglicherweise könnte mit Hilfe eines Fragebogens ein noch höherer Informationsgehalt erzielt werden.

Des Weiteren waren die Patientenkollektive nicht von gleicher Größe und von begrenztem Umfang, da nur die Patienten der Unfall- und der Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie eines Klinikums berücksichtigt wurden. Durch den gewählten Zeitraum konnte zwar jede Jahreszeit miteingeschlossen werden, dennoch handelt es sich auch hier um eine limitierte Phase. Der erfasste Zeitraum beinhaltete unmittelbar die Zeit nach der Einführung des E-Scooters, was zu einer eingeschränkten Repräsentativität aufgrund noch geringer Nutzerzahlen zu Beginn geführt haben könnte. Zudem haben die SARS-CoV-2-Pandemie und der damit landesweit ausgerufenen Katastrophenfall zu einer veränderten Nutzung der Verkehrsmittel geführt. Alle genannten Ergebnisse der vorliegenden Arbeit sind somit unter Berücksichtigung dieses Aspektes zu interpretieren. Dennoch ist der gewählte Zeitraum von Relevanz um Entwicklungstendenzen der E-Scooter-Unfälle vergleichen zu können.

7.11 Anregungen und Ausblick

Insgesamt konnten trotz ausführlicher Literaturrecherche nur wenige Studien zu E-Scooter-assoziierten Verletzungen ermittelt werden, die den kraniofazialen Bereich fokussieren. Keine Untersuchungen konnten zu kraniofazialen Verletzungen durch E-Scooter-Unfälle im Vergleich zu Fahrradunfällen eruiert werden. Außerdem beziehen sich bestehende Studien oftmals auf geringe Fallzahlen in der E-Scooter-Kohorte, was sich durch die Neuartigkeit des Verkehrsmittels erklärt. Es werden daher weitere Studien über einen längeren Zeitraum benötigt. In diesem Zusammenhang sollten auch gesundheitliche Langzeitfolgen der E-Scooter-Nutzung untersucht werden.

Die Studie zeigte die vermehrte Alkoholisierung von E-Scooter- im Vergleich zu Fahrradpatienten auf. Außerdem ereigneten sich in der Landeshauptstadt München, verglichen zu anderen deutschen Städten, mehr E-Scooter-Unfälle unter Alkoholeinfluss. Daher plädiert der Verfasser nachdrücklich einerseits für mehr Aufklärung seitens der E-Scooter-Anbieter, wie beispielsweise Hinweise über Promillegrenzen und die Folgen von E-Scooter-Fahrten unter Alkoholeinfluss auf der Buchungs-App. Andererseits sollten strengere polizeiliche Kontrollen und Strafen veranlasst werden, um das Auftreten von Verletzungen durch derartige Unfälle zu vermeiden. Darüber hinaus ist ein nächtliches Fahrverbot, wie es bereits in anderen Ländern existiert, diskutabel. Weitere Studien mit Bestimmung der BAK sind nötig, um die Auswirkungen des Alkoholkonsums auf E-Scooter-Unfälle vollständig darzustellen. Außerdem wird deutlich, dass bei derartigen Unfällen mehr auf eine möglichst lückenlose Dokumentation im Rahmen der Patientenaufnahme geachtet werden sollte, auch wenn dies zu einem bürokratischen Zeitaufwand führt.

Ein weiterer Fokus muss auf das Tragen eines Helms bei E-Scooter-Fahrten gelegt werden, was ein einfaches Mittel zur Reduktion von Kopfverletzungen darstellt. Die Tatsache einer Fraktur von knapp jedem zweiten Patienten des E-Scooter-Kollektivs und eines Schädel-Hirn-Traumas von mehr als jedem dritten Patienten bestärkt die Notwendigkeit. Ein erster Ansatz wäre die verpflichtende Bereitstellung von Helmen mit Kinnschutz durch die Sharing-Anbieter. Dies sollte mit regelmäßigen Hygienemaßnahmen und Qualitätskontrollen einhergehen.

8 Zusammenfassung

Im Jahr 2019 traten die E-Scooter im Verkehrsleben deutscher Großstädte in Erscheinung. Es resultierte nicht nur eine gesteigerte Mobilität, sondern auch ein vermehrtes Auftreten von Verletzungen und in der Folge eine steigende Belastung des Gesundheitssystems durch E-Scooter-Unfälle. Bisherige Untersuchungen zeigten einen hohen Anteil an Kopfverletzungen bei derartigen Unfällen. Daher thematisierte die vorliegende Studie kraniofaziale Verletzungsmuster durch E-Scooter-Unfälle in München und verglich diese mit Fahrradunfällen.

Insgesamt wurden 40 E-Scooter- und 360 Fahrradpatienten über den Zeitraum zwischen dem 15. Juni 2019 und 14. Juni 2020 mit mindestens einer Kopf- und/oder Gesichtsverletzung eingeschlossen. Es erfolgte die Dokumentation und statistische Auswertung der Patientendaten, der Anamnese (insbesondere Unfallhergang, Tragen eines Helmes, Alkoholkonsum), der Diagnose von Kopf- und Gesichtsverletzungen sowie deren Therapie.

Aufgrund der höheren Gesamtzahl an Radfahrern verunfallten im gleichen Zeitraum Fahrradfahrer neunmal häufiger als E-Scooter-Nutzer. Männer verunglückten in beiden Kollektiven häufiger als weibliche Patienten. Die Patienten des E-Scooter-Kollektivs waren im Durchschnitt 14 Jahre jünger. E-Scooter-Unfälle ereigneten sich vorwiegend am Wochenende und nachts, Fahrradunfälle dagegen am häufigsten nachmittags. Die Ergebnisse lassen den E-Scooter als spontan genutztes Transportmittel vermuten, das insbesondere nach Festivitäten und im Nachtleben jungen Menschen dient. Das Oktoberfest, welches im Herbst 2019 stattfand, ließ in den Monaten September und Oktober die E-Scooter-Unfallzahlen ansteigen. In der Fahrradkohorte wurden dagegen die meisten Unfälle im Sommer verbucht. Bedingt durch die SARS-CoV-2-Pandemie ergab sich im vorliegenden Untersuchungszeitraum von März bis Juni 2020 eine veränderte Nutzung der Verkehrsmittel, die zu einem Absinken der E-Scooter- und Anstieg der Fahrradunfälle geführt hat.

In der vorliegenden Studie trug kein E-Scooter-Patient einen Helm, während die Patienten in der Fahrradkohorte signifikant häufiger behelmt waren ($p=0,023$). Außerdem bestand bei über der Hälfte der E-Scooter-Patienten eine signifikant häufigere Alkoholintoxikation ($p>0,001$). Unter den Patienten, die Angaben zum Unfallhergang mit dem E-Scooter äußern konnten, gaben die meisten die Bodenbeschaffenheit als Grund an, gefolgt von sonstigen

eigenverschuldeten Gründen wie ein Gleichgewichtsverlust oder eine fehlerhafte Bedienung des E-Scooters.

Die Auswertung des E-Scooter-Kollektivs zeigte als häufigstes kraniofaziales Verletzungsmuster offene Weichteilverletzungen, die am meisten das untere Gesichtsdrittel betrafen. Des Weiteren erlitten knapp die Hälfte der E-Scooter-Patienten eine Fraktur, bei denen es sich gehäuft um Unterkieferfrakturen handelte. Zudem wurden im E-Scooter-Kollektiv Schädel-Hirn-Traumata, Zahnverletzungen, intrakranielle Blutungen und Schädel- bzw. Gesichtsprellungen beobachtet. Im Vergleich zum Fahrradkollektiv resultierte in der Gruppe der E-Scooter-Patienten ein signifikant höheres Auftreten an offenen Weichteilverletzungen ($p=0,049$), Frakturen ($p=0,010$) und Zahnverletzungen ($p=0,017$).

Bei einem Großteil der Patienten beider Kohorten erfolgte eine ambulante Versorgung. Für die E-Scooter-Gruppe ergab sich eine höhere Wahrscheinlichkeit eines chirurgischen Eingriffs (unter Lokal- oder Allgemeinanästhesie) im Vergleich zur Fahrradkohorte. Die Operationen dauerten im Median 40 Minuten länger als bei Fahrradpatienten, jedoch ohne statistische Signifikanz.

Die Ergebnisse veranschaulichen den Bedarf einer vermehrten Aufklärung vor der Nutzung eines E-Scooters. Dies betrifft insbesondere das Handling, die Notwendigkeit des Helmtragens sowie den Verzicht auf einen vorhergehenden Alkoholkonsum.

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau und Bestandteile eines E-Scooters	9
Abbildung 2: Versuchsaufbau des E-Scooter-Crashtests ohne Helm (DEKRA Automobil GmbH, 2020)	13
Abbildung 3: Integrierter Klapphelm eines E-Scooters (TIER Mobility, 2020)	14
Abbildung 4: E-Scooter-Verunfallte nach Patientenalter	26
Abbildung 5: E-Scooter-Verunglückte nach Alter und Geschlecht	27
Abbildung 6: E-Scooter Unfälle nach Tageszeit	28
Abbildung 7: Saisonale Verteilung der E-Scooter-Unfälle	29
Abbildung 8: Saisonale Verteilung alkoholisierter E-Scooter-Patienten	30
Abbildung 9: Verunfallte Fahrradpatienten nach Alter	32
Abbildung 10: Verunfallte Fahrradpatienten nach Alter und Geschlecht	32
Abbildung 11: Fahrradunfälle nach Tageszeit	33
Abbildung 12: Saisonale Verteilung der Fahrradunfälle	34
Abbildung 13: Altersstruktur und Geschlecht der behelmten Fahrradpatienten.....	35
Abbildung 14: Verunfallte Patienten nach Alter und Verkehrsart.....	37
Abbildung 15: E-Scooter- und Fahrradunfälle nach Tageszeit im Vergleich.....	37
Abbildung 16: Zeitlicher Verlauf der E-Scooter- und Fahrradunfälle	38
Abbildung 17: Alkoholisierte Patienten nach Alter und Verkehrsmittel	39
Abbildung 18: Einlieferungsmodalität der E-Scooter- und Fahrradpatienten im Vergleich	40
Abbildung 19: Schädel-Hirn-Traumata in Abhängigkeit der Behelmung	48
Abbildung 20: Frakturen in Abhängigkeit der Behelmung	48
Abbildung 21: Operationsdauer nach Verkehrsmittel.....	52
Abbildung 22: Krankenhausverweildauer nach Verkehrsmittel.....	53

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: E-Scooter-Unfälle nach Wochentag	28
Tabelle 2: E-Scooter-Unfälle nach Monat.....	29
Tabelle 3: anamnestisch angegebene Ursache des E-Scooter-Sturzes.....	31
Tabelle 4: Fahrradunfälle nach Wochentagen.....	33
Tabelle 5: Fahrradunfälle nach Monat	34
Tabelle 6: anamnestische Ursache des Fahrradsturzes.....	36
Tabelle 7: Art der Einlieferung von E-Scooter- und Fahrradpatienten im Vergleich	39
Tabelle 8: Kraniofaziale Verletzungsmuster bedingt durch E-Scooter-Unfälle.....	40
Tabelle 9: Lokalisation der offenen Weichteilverletzungen im Kopfbereich des E-Scooter-Kollektivs	41
Tabelle 10: Verteilung der Frakturen im Kopfbereich (E-Scooter-Kollektiv)	42
Tabelle 11: Art der Verletzungen im alkoholisierten verglichen mit dem nicht alkoholisierten Kollektiv....	44
Tabelle 12: Art der Einlieferung im alkoholisierten verglichen mit dem nicht alkoholisierten Kollektiv.....	44
Tabelle 13: Kraniofaziale Verletzungsmuster bedingt durch Fahrradunfälle	45
Tabelle 14: Lokalisation der offenen Weichteilverletzungen im Kopfbereich des Fahrrad-Kollektivs	45
Tabelle 15: Lokalisation der Frakturen im Kopfbereich des Fahrrad-Kollektivs	46
Tabelle 16: Schädel-Hirn-Traumata im Fahrradkollektiv	47
Tabelle 17: Frakturen und Schädel-Hirn-Traumata der behelmten und unbehelmten Fahrradfahrer im Vergleich.....	47
Tabelle 18: Schädelfrakturen der behelmten und unbehelmten Fahrradfahrer im Vergleich.....	49
Tabelle 19: Vergleich der Verteilung der Verletzungsmuster zwischen dem E-Scooter- und dem Fahrradkollektiv.....	50
Tabelle 20: Binäre logistische Regression mit der unabhängigen Variabel „Verkehrsmittel“ (Referenzgruppe: Fahrradfahrer)	50
Tabelle 21: Binäre logistische Regression mit mehreren unabhängigen Variablen	51
Tabelle 22: Verletzungen von unbehelmten und behelmten Fahrradpatienten im Vergleich.....	51
Tabelle 23: Verletzungen von unbehelmten E-Scooter- und Fahrradpatienten im Vergleich.....	52
Tabelle 24: Therapie von E-Scooter- und Fahrradpatienten im Vergleich	52

11 Literaturverzeichnis

Ahluwalia, R., Grainger, C., Coffey, D., Malhotra, P.-S., Sommerville, C., Tan, P. S., Johal, K., Sivaprakasam, M., Al-Musa, O., & Janakan, G. (2022). The e-scooter pandemic at a UK Major Trauma Centre: a cost-based cohort analysis of injury presentation and treatment. The Surgeon. <https://doi.org/10.1016/j.surge.2022.07.001>

Airaksinen, N. K., Nurmi-Lüthje, I. S., Kataja, J. M., Kröger, H. P., & Lüthje, P. M. (2018). Cycling injuries and alcohol. Injury, **49**(5), 945-952. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2018.03.002>

Aizpuru, M., Farley, K. X., Rojas, J. C., Crawford, R. S., Moore Jr, T. J., & Wagner, E. R. (2019). Motorized scooter injuries in the era of scooter-shares: a review of the national electronic surveillance system. The American Journal of Emergency Medicine, **37**(6), 1133-1138. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2019.03.049>

Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V. (2021). E-Scooter: Diese Regeln gelten für Elektroroller. Retrieved 04.01.2023, from <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/elektrofahrzeuge/e-scooter/>

Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club e.V. (2017). Verbraucherinformation zu Pedelecs und E-Bikes. Retrieved 04.01.2023 from https://www.adfc.de/fileadmin/user_upload/Im-Alltag/Fahrradtypen/E-Bike_Pedelec/Downloads/Verbraucherinformation_Pedelecs_2017.pdf

Appel, H., Otte, D., Rau, H., Suren, E., & Grabhöfer, P. (1979). Unfallursachen und Verletzungsmechanismen bei Fahrradunfällen. Möglichkeiten und Grenzen der Rekonstruktion. Unfall- und Sicherheitsforschung, Straßenverkehr(21), 269-284.

Attewell, R. G., Glase, K., & McFadden, M. (2001). Bicycle helmet efficacy: a meta-analysis. Accident Analysis & Prevention, **33**(3), 345-352. [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(00\)00048-8](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(00)00048-8)

Aurora, F., Cove, G., Sandhu, P., Thomas, S. J., & Gormley, M. (2022). Oral and maxillofacial injuries from electric scooters in Bristol: a retrospective observational study. British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, **60**(6), 837-840. <https://doi.org/10.1016/j.bjoms.2021.12.053>

Baker, S. P., o'Neill, B., Haddon Jr, W., & Long, W. B. (1974). The injury severity score: a method for describing patients with multiple injuries and evaluating emergency care. Journal of Trauma and Acute Care Surgery, **14**(3), 187-196.

Barry, T. M., Ross, J. M., & Gemayel, K. T. (2020). Electric Scooters during a Pandemic: Cutting out Emergency Room Visits and Coronavirus Disease 2019 Transmission. Plastic and Reconstructive Surgery – Global Open, **8**(5), e2890. <https://doi.org/10.1097/gox.0000000000002890>

Bauer, K. (2017). Bewertung und Optimierung des Schutzpotentials von Fahrradhelmen durch Realunfallanalyse und Simulation typischer Unfallszenarien (Dissertation). LMU München. <https://doi.org/10.5282/edoc.20302>

Bayerische Staatskanzlei. (2020). Pressemitteilung Nr. 93. Retrieved 05.01.2023 from <https://www.bayern.de/wp-content/uploads/2020/08/200505-ministerrat.pdf>

Bayerisches Staatsministerium des Innern. (2021). Verkehrsunfallstatistik 2020: Auswirkungen der Corona-Pandemie. Retrieved 04.01.2023 from <https://www.stmi.bayern.de/med/aktuell/archiv/2021/210218verkehrsunfallstatistik/index.php>

Bayerisches Staatsministerium des Innern für Bau und Verkehr. (2017). Radverkehrsprogramm Bayern 2025. Retrieved 04.01.2023 from https://www.stmi.bayern.de/assets/stmi/med/aktuell/170217_rvpb_druckbogen.pdf

Bayerisches Staatsministerium für Gesundheit und Pflege. (2021). Vorläufige Ausgangsbeschränkung anlässlich der Corona-Pandemie. Retrieved 04.01.2023 from <https://www.bayern.de/wp-content/uploads/2021/01/20-03-20-ausgangsbeschraenkung-bayern-.pdf>

Bekhit, M. N. Z., Le Fevre, J., & Bergin, C. J. (2020). Regional healthcare costs and burden of injury associated with electric scooters. *Injury*, **51**(2), 271-277. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2019.10.026>

Benjamin, T., Hills, N. K., Knott, P. D., Murr, A. H., & Seth, R. (2019). Association Between Conventional Bicycle Helmet Use and Facial Injuries After Bicycle Crashes. *JAMA Otolaryngology–Head & Neck Surgery*, **145**(2), 140-145. <https://doi.org/10.1001/jamaoto.2018.3351>

Blomberg, S., Rosenkrantz, O., Lippert, F., & Christensen, H. (2019). Injury from electric scooters in Copenhagen: a retrospective cohort study. *BMJ open*, **9**(12), e033988. <http://dx.doi.org/10.1136/bmjopen-2019-033988>

Buchta, M., Höper, D. W., & Sönnichsen, A. (2004). Verkehrsmedizin. Berlin, Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-18569-4_332

Bundesanstalt für Straßenwesen. (2021). Gurte, Kindersitze, Helme und Schutzkleidung - 2020. Retrieved 04.01.2023 from https://www.bast.de/BASt_2017/DE/Publikationen/DaFa/2022-2021/2021-01.html?nn=1836400

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. (2019). Verordnung über die Teilnahme von Elektrokleinstfahrzeugen am Straßenverkehr (Elektrokleinstfahrzeuge-Verordnung - eKFV). Retrieved 04.01.2023 from <http://www.gesetze-im-internet.de/ekfv/eKFV.pdf>

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. (2018). Elektromobilität. Retrieved 04.01.2023 from https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/flyer-elektromobilitaet.pdf?__blob=publicationFile&v=35

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. (2011). Regierungsprogramm Elektromobilität. Retrieved 04.01.2023 from https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/P-R/regierungsprogramm-elektromobilitaet-mai-2011.pdf?__blob=publicationFile&v=6

Cicchino, J. B., Kulie, P. E., & McCarthy, M. L. (2021). Severity of e-scooter rider injuries associated with trip characteristics. *J Safety Res*, **76**, 256-261. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2020.12.016>

Cripton, P. A., Dressler, D. M., Stuart, C. A., Dennison, C. R., & Richards, D. (2014). Bicycle helmets are highly effective at preventing head injury during head impact: head-form accelerations and injury criteria for helmeted and unhelmeted impacts. *Accident Analysis & Prevention*, **70**, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.02.016>

DEKRA Automobil GmbH. (2020). Verkehrssicherheitsreport 2020 - Mobilität auf zwei Rädern. Retrieved 04.01.2023 from <https://www.dekra-roadsafety.com/media/dekra-evs-report-2020-de.pdf>

Delank, K. W., Meldau, P., & Stoll, W. (1995). Die Traumatologie des Gesichtsschädels bei Fahrradunfällen. *Laryngorhinootologie*, **74**(07), 428-431. <https://doi.org/10.1055/s-2007-997774>

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena). (2021). E-Scooter-Sharing - eine ganzheitliche Bilanz Retrieved 04.01.2023 from <https://www.dena.de/newsroom/publikationsdetailansicht/pub/dena-studie-e-scooter-sharing-eine-ganzheitliche-bilanz/>

Deutscher Verkehrssicherheitsrat. (2020). Umfrage zeigt: Viele E-Scooter Nutzende kennen die Regeln nicht. Retrieved 04.01.2023 from <https://www.dvr.de/presse/pressemitteilungen/umfrage-viele-e-scooter-nutzende-kennen-regeln-nicht>

Deutscher Verkehrssicherheitsrat. (2021). Kampagne „Roll ohne Risiko“ klärt über Regeln für's Fahren mit E-Scootern auf. Retrieved 04.01.2023 from <https://www.dvr.de/praevention/kampagnen/roll-ohne-risiko>

DFA Digital für alle. (2021). Mehr als die Hälfte der Über-65-Jährigen nutzt kein Smartphone. Retrieved 04.01.2023 from <https://digitaltag.eu/node/4092>

DiGuseppi, C. G., Rivara, F. P., & Koepsell, T. D. (1990). Attitudes toward bicycle helmet ownership and use by school-age children. *American Journal of Diseases of Children*, **144**(1), 83-86. <https://doi.org/10.1001/archpedi.1990.02150250093041>

Ellwein, A. (2011). Verletzungsmuster und Verletzungsschwere bei Fahrradunfällen im Großraum Göttingen (Dissertation). Georg-August-Universität zu Göttingen
<http://dx.doi.org/10.53846/goediss-1102>

Elvik, R. (2013). Corrigendum to: "Publication bias and time-trend bias in meta-analysis of bicycle helmet efficacy: A re-analysis of Attewell, Glase and McFadden, 2001" [Accid. Anal. Prev. 43 (2011) 1245–1251]. Accident Analysis & Prevention, **60**, 245-253.
<https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.12.003>

Evers, C. (2019). Gurte, Kindersitze, Helme und Schutzkleidung - 2018. Retrieved 04.01.2023 from https://www.bast.de/BASt_2017/DE/Publikationen/DaFa/2020-2019/2019-01.html

Faraji, F., Lee, J. H., Faraji, F., MacDonald, B., Oviedo, P., Stuart, E., Baxter, M., Vuong, C. L., Lance, S. H., & Gosman, A. A. (2020). Electric scooter craniofacial trauma. Laryngoscope Investigative Otolaryngology, **5**(3), 390-395. <https://doi.org/10.1002/lio2.380>

Frobenius, H., & Betzel, A. (1987). Verletzungen und deren Ursache bei Fahrradunfällen. Unfallchirurgie, **13**(3), 135-141. <https://doi.org/10.1007/BF02588417>

Froböse, I. (2006). Cycling and Health. Kompendium gesundes Radfahren. 13-16. Retrieved 04.01.2023, from <https://repository.difu.de/jspui/bitstream/difu/125787/1/DB0128.pdf>

Fyhri, A., & Phillips, R. O. (2013). Emotional reactions to cycle helmet use. Accident Analysis & Prevention, **50**, 59-63. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.03.027>

Gamble, T., & Walker, I. (2016). Wearing a bicycle helmet can increase risk taking and sensation seeking in adults. Psychological Science, **27**(2), 289-294.
<https://doi.org/10.1177/0956797615620784>

Gebhardt, L., Wolf, C., Ehrenberger, S., Seiffert, R., Krajzewicz, D., & Cyganski, R. (2021). E-Scooter-Potentiale, Herausforderungen und Implikationen für das Verkehrssystem: Abschlussbericht Kurzstudie E-Scooter. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Verkehrsforschung, 9.

Gerchow, J. (1999). Alkohol und Straßenverkehr. In Alkohol und Alkoholfolgekrankeheiten (pp. 507-517). Berlin, Heidelberg: Springer. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-662-05657-8_37

Gioldasis, C., Christoforou, Z., & Seidowsky, R. (2021). Risk-taking behaviors of e-scooter users: a survey in Paris. Accident Analysis & Prevention, **163**, 106427.
<https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106427>

Graef, F., Doll, C., Niemann, M., Tsitsilonis, S., Stöckle, U., Braun, K. F., Wüster, J., & Märdian, S. (2020). Epidemiology, Injury Severity, and Pattern of Standing E-Scooter Accidents: 6-Month Experience from a German Level I Trauma Center. Clinics in Orthopedic Surgery, **13**(4), 443-448. <https://doi.org/10.4055/cios20275>

- Gutsche, J., Hintzpeter, B., Neuhauser, H., & Schlaud, M. (2011). Helmtragequoten bei Kindern und Jugendlichen in Deutschland und vermeidbare Kopfverletzungen bei Fahrradunfällen. Das Gesundheitswesen, **73**(8/09), 491-498. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1268511>
- Hans, J. (2019). E-Roller sind für Betrunkene das Transportmittel der Wahl. Süddeutsche Zeitung. Retrieved 04.01.2023 from <https://www.sueddeutsche.de/muenchen/muenchen-e-scooter-polizei-betrunkene-oktoberfest-1.4573768>
- Haworth, N., Schramm, A., & Twisk, D. (2021a). Changes in shared and private e-scooter use in Brisbane, Australia and their safety implications. Accident Analysis & Prevention, **163**, 106451. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106451>
- Haworth, N., Schramm, A., & Twisk, D. (2021b). Comparing the risky behaviours of shared and private e-scooter and bicycle riders in downtown Brisbane, Australia. Accident Analysis & Prevention, **152**, 105981. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.105981>
- Hennocq, Q., Schouman, T., Khonsari, R. H., Sigaux, N., Descroix, V., Bertolus, C., & Foy, J.-P. (2020). Evaluation of Electric Scooter Head and Neck Injuries in Paris, 2017-2019. JAMA Network Open, **3**(11), Article e2026698. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.26698>
- Heuer, S., Landschoof, S., Kornherr, P., Grospietsch, B., & Kühne, C. A. (2021). Epidemiology and Injury Pattern of E-Scooter Injuries—Initial Results. Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie, **160**(05), 559-563. <https://doi.org/10.1055/a-1419-0584>
- Iken, K. (2019). Urahn der E-Scooter: Per Autoped und Krupp-Roller durch die Stadt Retrieved 04.01.2023, from <https://www.spiegel.de/geschichte/urahren-der-e-scooter-per-autoped-und-krupp-roller-durch-die-stadt-a-1285196.html>
- Jones, K., Parkin, J., Rathod, N., & Bhatt, V. (2022). Oral and maxillofacial injuries associated with e-scooter use at Broomfield Hospital: a cohort study of 24 months of data since e-scooter legalisation in the UK. British Dental Journal. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1902707/v1>
- Jürgensohn, T., Schwarz, J., Heß, R., & Platho, C. (2017). Sicherheitspotentiale durch Fahrradhelme - Kurzfassung des Endberichts. Retrieved 04.01.2023 from https://www.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/PDF/170309_Anlage_1_Studie_Sicherheitspotentiale_Fahradhelme_Kurzfassung.pdf
- Kim, M., Lee, S., Ko, D. R., Kim, D. H., Huh, J. K., & Kim, J. Y. (2020). Craniofacial and dental injuries associated with stand-up electric scooters. Dental Traumatology, **37**(2), 229-233. <https://doi.org/10.1111/edt.12620>
- Kleinertz, H., Ntalos, D., Hennes, F., Njchtern, J. V., Frosch, K.-H., & Thiesen, D. M. (2021). Unfallmechanismen und Verletzungsmuster bei E-Scooter-Fahrern. Dtsch Arztebl International, **118**(8), 117-121. <https://doi.org/10.3238/arztebl.m2021.0019>

Kobayashi, L. M., Williams, E., Brown, C. V., Emigh, B. J., Bansal, V., Badiee, J., Checchi, K. D., Castillo, E. M., & Doucet, J. (2019). The e-merging e-pidemic of e-scooters. Trauma Surgery & Acute Care Open, **4**(1), Article e000337. <https://doi.org/10.1136/tsaco-2019-000337>

Köhler, O. (2022). Schon wieder zahlreiche E-Scooter im Rhein in Köln. Retrieved 04.01.2023 from <https://www1.wdr.de/nachrichten/rheinland/e-scooter-rhein-koeln-bergung-krake-100.html>

Kollmann, J. (1886). *Plastische Anatomie des menschlichen Körpers für Künstler und Freunde der Kunst* Leipzig: Veit & Comp

Kords, M. (2021). Statistiken zum Thema E-Scooter. Retrieved 04.01.2023 from <https://de.statista.com/themen/7054/e-scooter/>

Kronisch, R. L., & Pfeiffer, R. P. (2002). Mountain biking injuries. Sports Medicine, **32**(8), 523-537. <https://doi.org/10.2165/00007256-200232080-00004>

Kubitzki, J., & Wilke, J. (2021). E-Scooter als Gegenstand der Polizeieinsätze 2020. VKU Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, **59**(3), 112-116.

Lajunen, T., & Räsänen, M. (2001). Why teenagers owning a bicycle helmet do not use their helmets. Journal of Safety Research, **32**(3), 323-332. [https://doi.org/10.1016/S0022-4375\(01\)00056-1](https://doi.org/10.1016/S0022-4375(01)00056-1)

Landeshauptstadt München - Referat für Stadtplanung und Bauordnung. (2021). Demografiebericht München - Teil 1. Retrieved 04.01.2023 from https://stadt.muenchen.de/dam/jcr:9f74fb22-9f40-49de-8c47-32110718ec9e/Demografiebericht_Teil1_2021.pdf

Lee, R., Hagel, B. E., Karkhaneh, M., & Rowe, B. (2009). A systematic review of correct bicycle helmet use: how varying definitions and study quality influence the results. Injury Prevention, **15**(2), 125-131. <http://dx.doi.org/10.1136/ip.2008.019695>

Lentzen, M.-P., Grandoch, A., Buller, J., Kreppel, M., Zöller, J. E., & Zirk, M. (2021). Mandible Fractures Associated With the Introduction of an E-Scooter-Sharing System. The Journal of Craniofacial Surgery, **32**(4), 1405-1408. <https://doi.org/10.1097/SCS.00000000000007518>

Li, G., Baker, S. P., Smialek, J. E., & Soderstrom, C. A. (2001). Use of Alcohol as a Risk Factor for Bicycling Injury. JAMA, **285**(7), 893-896. <https://doi.org/10.1001/jama.285.7.893>

Lindqvist, C., Sorsa, S., Hyrkäs, T., & Santavirta, S. (1986). Maxillofacial fractures sustained in bicycle accidents. International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, **15**(1), 12-18. [https://doi.org/10.1016/S0300-9785\(86\)80005-9](https://doi.org/10.1016/S0300-9785(86)80005-9)

Ma, Q., Yang, H., Mayhue, A., Sun, Y., Huang, Z., & Ma, Y. (2021). E-scooter safety: The riding risk analysis based on mobile sensing data. Accident Analysis & Prevention, **151**, Article 105954. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105954>

Mair, O., Wurm, M., Müller, M., Greve, F., Pesch, S., Pförringer, D., Biberthaler, P., Kirchhoff, C., & Zyskowski, M. (2020). E-Scooter-Unfälle und deren Folgen. Der Unfallchirurg, **124**, 382-390. <https://doi.org/10.1007/s00113-020-00910-7>

Maxwill, P. (2012). Elektroauto-Revolution vor 100 Jahren: Summsumm statt Brummbumm. Spiegel. Retrieved 04.01.2023 from <https://www.spiegel.de/geschichte/elektroauto-revolution-vor-100-jahren-a-947600.html>

Meyer, H.-L., Kauther, M. D., Polan, C., Abel, B., Vogel, C., Mester, B., Burggraf, M., & Dudda, M. (2022). E-Scooter-, E-Bike- und Fahrradverletzungen im gleichen Zeitraum – eine prospektive Vergleichsstudie eines Level-1-Traumazentrums. Der Unfallchirurg. <https://doi.org/10.1007/s00113-021-01136-x>

Meyer, U., Benthaus, S., Du Chesne, A., Wannhof, H., Zöllner, B., & Joos, U. (1999). Untersuchung von Patienten mit Gesichtsschädelfrakturen unter ätiologischen und rechtsrelevanten Gesichtspunkten. Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, **3**(3), 152-157. <https://doi.org/10.1007/s100060050120>

Mitchell, G., Tsao, H., Randell, T., Marks, J., & Mackay, P. (2019). Impact of electric scooters to a tertiary emergency department: 8-week review after implementation of a scooter share scheme. Emergency Medicine Australasia, **31**(6), 930-934. <https://doi.org/10.1111/1742-6723.13356>

Mölter, J. (2021). E-Scooter- die neue Sorge von Unfallchirurgen Retrieved 04.01.2023 from <https://www.sueddeutsche.de/muenchen/muenchen-e-scooter-unfall-studie-sicherheit-1.5420273>

Mukhtar, M., Ashraf, A., Frank, M. S., & Steenburg, S. D. (2021). Injury incidence and patterns associated with electric scooter accidents in a major metropolitan city. Clin Imaging, **74**, 163-168. <https://doi.org/10.1016/j.clinimag.2021.02.005>

Namiri, N. K., Lui, H., Tangney, T., Allen, I. E., Cohen, A. J., & Breyer, B. N. (2020). Electric Scooter Injuries and Hospital Admissions in the United States, 2014-2018. JAMA Surg, **155**(4), 357-359. <https://doi.org/10.1001/jamasurg.2019.5423>

Nobis, C. (2019). Mobilität in Deutschland - MiD Analysen zum Rad- und Fußverkehr. Retrieved 04.01.2023 from http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2017_Analyse_zum_Rad_und_Fussverkehr.pdf

Nobis, C., & Kuhnimhof, T. (2018). Mobilität in Deutschland - MiD Ergebnisbericht. Retrieved 04.01.2023 from http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2017_Ergebnisbericht.pdf

Österreichischer Rundfunk. (2021). E-Scooter in Europas Städten am Pranger. Retrieved 04.01.2023 from <https://orf.at/stories/3222023/>

Otte, D., Facius, T., & Wiese, B. (2013). Einflüsse auf das Verletzungsrisiko des Kopfes von Radfahrern und Nutzen von Radhelmen zur Vermeidung und Minderung von Verletzungen. *VKU Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik*, **51**(9), 298-309.

Pepper, T., Barker, M., Smyth, D., Kingham, M., Dua, R., & Fan, K. (2022). Electric scooters: a quick way to get to the emergency department? *British Dental Journal*, **232**(8), 535-537. <https://doi.org/10.1038/s41415-022-4153-6>

Polizeipräsidium München. (2019). Sonderbeilage Pressekonferenz zur vorläufigen Abschlussbilanz Oktoberfest 2019 mit der Münchner Polizei. Retrieved 30.09.2022 from https://www.polizei.bayern.de/content/2/6/7/5/7/5/sonderbeilage_abschluss-pk2019.pdf

Polizeipräsidium München. (2021). 1098. Steigerung der Unfälle mit E-Scooter – Stadtgebiet <https://www.polizei.bayern.de/muenchen/news/presse/aktuell/index.html/330660>

Posirisuk, P., Baker, C., & Ghajari, M. (2022). Computational prediction of head-ground impact kinematics in e-scooter falls. *Accident Analysis & Prevention*, **167**, Article 106567. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2022.106567>

Prati, G., Fraboni, F., De Angelis, M., Pietrantonio, L., Johnson, D., & Shires, J. (2019). Gender differences in cycling patterns and attitudes towards cycling in a sample of European regular cyclists. *Journal of transport geography*, **78**, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.05.006>

Pressestelle Referat für Klima- und Umweltschutz. (2021). *Persönliche E-Mail-Korrespondenz vom 06. Dezember 2021*.

Puzio, T. J., Murphy, P. B., Gazzetta, J., Dineen, H. A., Savage, S. A., Streib, E. W., & Zarzaur, B. L. (2020). The electric scooter: A surging new mode of transportation that comes with risk to riders. *Traffic Inj Prev*, **21**(2), 175-178. <https://doi.org/10.1080/15389588.2019.1709176>

Rashed, S., Vassiliou, A., & Barber, J. (2022). Neurosurgical trauma from E-Scooter usage: a review of early case series in London and a review of the literature. *British Journal of Neurosurgery*, **36**(4), 532-543. <https://doi.org/10.1080/02688697.2021.2024506>

Rix, K., Demchur, N. J., Zane, D. F., & Brown, L. H. (2021). Injury rates per mile of travel for electric scooters versus motor vehicles. *The American Journal of Emergency Medicine*, **40**, 166-168. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2020.10.048>

Romanow, N., Hagel, B. E., Williamson, J., & Rowe, B. (2014). Cyclist head and facial injury risk in relation to helmet fit: a case-control study. *Chronic Diseases and Injuries in Canada*, **34**(1), 1-7. <https://doi.org/10.24095/hpcdp.34.1.01>

Sacks, J. J., Kresnow, M., Houston, B., & Russell, J. (1996). Bicycle helmet use among American children, 1994. *Inj Prev*, **2**(4), 258-262. <https://doi.org/10.1136/ip.2.4.258>

- Schalamon, J., von Bismarck, S., Mayr, J., & Höllwarth, M. E. (2002). Scooterunfälle bei Kindern. *Monatsschrift Kinderheilkunde*, **150**(11), 1381-1383. <https://doi.org/10.1007/s00112-002-0422-2>
- Schellong, D., Sadek, P., Schaetzberger, C., & Barrack, T. (2019). The promise and pitfalls of e-scooter sharing. Retrieved 04.01.2023 from https://web-assets.bcg.com/img-src/BCG-The-Promise-and-Pitfalls-of-E-Scooter%20Sharing-May-2019_tcm9-220107.pdf
- Schmidt, B., Kessler, L., Holroyd, C. B., & Miltner, W. H. (2019). Wearing a bike helmet leads to less cognitive control, revealed by lower frontal midline theta power and risk indifference. *Psychophysiology*, **56**(12), Article 13458. <https://doi.org/10.1111/psyp.13458>
- Schneiders, W., Niemann, G., Rammelt, S., Meyner, T., & Rehberg, S. (2017). Verletzungen unter Alkoholeinfluss. *Der Unfallchirurg*, **120**(7), 585-589. <https://doi.org/10.1007/s00113-016-0164-6>
- Schopf, P. (2008). Curriculum Kieferorthopädie - Band 1 (4 ed.). Berlin Quintessenz Verlags-GmbH.
- Schrader, H. (2002). Deutsche Autos Band 1, 1885-1920. Stuttgart 1. Motorbuch Verlag
- Schubert, A. (2022). Betrunkene Wiesn-Besucher auf E-Scootern - wie Apps das verhindern wollen Süddeutsche Zeitung <https://www.sueddeutsche.de/muenchen/oktoberfest-muenchen-e-scooter-tests-1.5664321>
- Shichman, I., Shaked, O., Factor, S., Weiss-Meilik, A., & Khoury, A. (2022). Emergency department electric scooter injuries after the introduction of shared e-scooter services: a retrospective review of 3,331 cases. *World Journal of Emergency Medicine*, **13**(1), 5-10. <https://doi.org/10.5847/wjem.j.1920-8642.2022.002>
- Siebert, F. W., Hoffknecht, M., Englert, F., Edwards, T., Useche, S. A., & Rötting, M. (2021). Safety Related Behaviors and Law Adherence of Shared E-Scooter Riders in Germany. 446-456. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78358-7_31
- Sieg, G. (2016). Costs and benefits of a bicycle helmet law for Germany. *Transportation*, **43**(5), 935-949. <https://doi.org/10.1007/s11116-015-9632-z>
- Sinus Markt- und Sozialforschung GmbH. (2021). Fahrrad-Monitor Deutschland, Corona-Befragung 2020. Retrieved 04.01.2023 from <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/StV/fahrrad-monitor-deutschland-corona-befragung-2020.html>
- Smit, R. B., Graham, D. O., & Erasmus, J. (2020). E-scooter injuries referred to the Oral and Maxillofacial Surgical Service at Christchurch Hospital: A retrospective observational study and cost-analysis of 17-months of data. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, **59**(4), 439-444. <https://doi.org/10.1016/j.bjoms.2020.08.112>

- Soyer, T. (2019). Die Anbieter in der Stadt. Retrieved 04.01.2023 from <https://www.sueddeutsche.de/muenchen/muenchen-verkehr-e-scooter-anbieter-1.4515521>
- Spaite, D. W., Criss, E. A., Weist, D. J., Valenzuela, T. D., Judkins, D., & Meislin, H. W. (1995). A Prospective Investigation of the Impact of Alcohol Consumption on Helmet Use, Injury Severity, Medical Resource Utilization, and Health Care Costs in Bicycle-Related Trauma. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, **38**(2), 287-290. <https://doi.org/10.1097/00005373-199502000-00028>
- Statistisches Bundesamt (Destatis). (2021a). 2155 E-Scooter-Unfälle mit Personenschaden im Jahr 2020. Retrieved 04.01.2023 from https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/03/PD21_N021_462.html
- Statistisches Bundesamt (Destatis). (2021b). Kraftrad- und Fahrradunfälle im Straßenverkehr 2020. Retrieved 04.01.2023 from https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Verkehrsunfaelle/Publikationen/Downloads-Verkehrsunfaelle/unfaelle-zweirad-5462408207004.pdf?__blob=publicationFile
- Statistisches Bundesamt (Destatis). (2022). Verkehrsunfälle 2021. Retrieved 04.01.2023 from https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Verkehrsunfaelle/Publikationen/Downloads-Verkehrsunfaelle/verkehrsunfaelle-jahr-2080700217004.pdf?__blob=publicationFile
- Stigson, H., Malakuti, I., & Klingegård, M. (2021). Electric scooters accidents: analyses of two Swedish accident data sets. *Accident Analysis & Prevention*, **163**, 106466, Article 106466. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106466>
- Stolz, B. (2021). Hunderte E-Scooter aus dem Wasser gefischt Retrieved 04.01.2023 from <https://www.sueddeutsche.de/muenchen/muenchen-e-scooter-wasser-isar-1.5462730>
- Störmann, P., Klug, A., Nau, C., Verboket, R. D., Leiblein, M., Müller, D., Schweigkofler, U., Hoffmann, R., Marzi, I., & Lustenberger, T. (2020). Characteristics and injury patterns in electric-scooter related accidents—a prospective two-center report from Germany. *Journal of clinical medicine*, **9**(5), 1569. <https://doi.org/10.3390/jcm9051569>
- Stray, A. V., Siverts, H., Melhuus, K., Enger, M., Galteland, P., Næss, I., Helseth, E., & Ramm-Pettersen, J. (2022). Characteristics of electric scooter and bicycle injuries after introduction of electric scooter rentals in Oslo, Norway. *JAMA Network Open*, **5**(8), Article 2226701. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2022.26701>
- Tack, A., Klein, A., & Bock, B. (2019). E-Scooter in Deutschland. Ein datenbasierter Debattenbeitrag. Retrieved 04.01.2023 from <https://scooters.civity.de>
- Teasdale, G., & Jennett, B. (1974). Assessment of coma and impaired consciousness: a practical scale. *The Lancet*, **304**(7872), 81-84. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(74\)91639-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(74)91639-0)

The Nunatak Group. (2019). New Urban Mobility. Retrieved 04.01.2023 from <https://www.nunatak.com/themen/new-urban-mobility>

Thoenissen, P., Salewski, D., Heselich, A., Sader, R., Marzi, I., Muehlenfeld, N., & Ghanaati, S. (2021). Patterns of Craniomaxillofacial Trauma After E-Scooter Accidents in Germany. The Journal of Craniofacial Surgery, **32**(4), 1587-1589. <https://doi.org/10.1097/SCS.00000000000007694>

Thompson, M. J., & Rivara, F. P. (2001). Bicycle-related injuries. American Family Physician, **63**(10), 2007-2014.

TIER Mobility. (2020). TIER Mobility bringt ersten integrierten E-Scooter-Helm auf den Markt. Retrieved 04.01.2023 from <https://www.tier.app/de/first-ever-integrated-e-scooter-helmet/>

Tragatsch, E. (1971). Motorräder - Deutschland, Österreich, Tschechoslowakei, 1894-1971 (2 ed.). Stuttgart: Motorbuch Verlag.

Trivedi, B., Kesterke, M. J., Bhattacharjee, R., Weber, W., Mynar, K., & Reddy, L. V. (2019). Craniofacial injuries seen with the introduction of bicycle-share electric scooters in an urban setting. Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, **77**(11), 2292-2297. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2019.07.014>

Trivedi, T. K., Liu, C., Antonio, A. L. M., Wheaton, N., Kreger, V., Yap, A., Schriger, D., & Elmore, J. G. (2019). Injuries Associated With Standing Electric Scooter Use. JAMA Netw Open, **2**(1), Article 187381. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2018.7381>

TÜV Rheinland. (2020). Ein Jahr E-Scooter in Deutschland: Akzeptanz sehr gering Retrieved 04.01.2023 from <https://presse.tuv.com/ein-jahr-e-scooter-in-deutschland-akzeptanz-sehr-gering/>

U.S. Government Publishing Office. (1971). Federal Motor Vehicle Safety Standard - 49 CFR Part 571 - FMVSS 208 - Occupant Crash Protection. Retrieved 04.01.2023 from <https://www.govinfo.gov/content/pkg/CFR-2006-title49-vol6/pdf/CFR-2006-title49-vol6-sec571-208.pdf>

Ueblacker, P., Rathmann, W., Rueger, J., & Püschel, K. (2008). Verletzungshäufigkeit und-muster beim Rennradfahren. Der Unfallchirurg, **111**(6), 414-420. <https://doi.org/10.1007/s00113-008-1410-3>

Uluk, D., Lindner, T., Palmowski, Y., Garritzmann, C., Göncz, E., Dahne, M., Möckel, M., & Gerlach, U. (2020). E-Scooter: erste Erkenntnisse über Unfallursachen und Verletzungsmuster. Notfall + Rettungsmedizin, **23**, 293-298. <https://doi.org/10.1007/s10049-019-00678-3>

Umweltbundesamt. (2021). E-Scooter momentan kein Beitrag zur Verkehrswende. Retrieved 04.01.2023 from <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/nachhaltige-mobilitaet/e-scooter#aktuelles-fazit-des-uba>

Verordnung über die Teilnahme von Elektrokleinstfahrzeugen am Straßenverkehr §1 Abs. 1-5 eKFV (2019).

Wilke, F. (2020). Zwangspause für die Tretroller. *Zeit*. Retrieved 04.01.2023 from https://www.zeit.de/mobilitaet/2020-04/e-scooter-tier-coronavirus-elektromobilitaet?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F

Winkler, C., Eppler, M., Graw, M., & Helmreich, C. (2020). Alkoholfahrten mit dem E-Scooter. Erste Fälle am Institut für Rechtsmedizin München zwischen Juni und August 2019. *Blutalkohol*, **57**(3), 141-144.

Wüster, J., Voß, J., Koerdt, S., Beck-Broichsitter, B., Kreutzer, K., Märdian, S., Lindner, T., Heiland, M., & Doll, C. (2020). Impact of the Rising Number of Rentable E-scooter Accidents on Emergency Care in Berlin 6 Months after the Introduction: A Maxillofacial Perspective. *Craniomaxillofacial Trauma & Reconstruction*, **14**(1), 43-48. <https://doi.org/10.1177/1943387520940180>

Zhang, J., Yoganandan, N., & Pintar, F. A. (2009). Dynamic biomechanics of the human head in lateral impacts. *Annals of Advances in Automotive Medicine/Annual Scientific Conference*, **53**, 249-256.

Zube, K., Daldrup, T., Lau, M., Maatz, R., Tank, A., Steiner, I., Schwender, H., & Hartung, B. (2022). Fahrsicherheit beim E-Scooter-Fahren unter Alkoholeinfluss. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, **68**(3). <https://doi.org/10.1007/s00414-022-02792-3>

Zweirad-Industrie-Verband. (2020). Pressemitteilung: Fahrrad- und E-Bike-Industrie trotzen der Corona-Krise Retrieved 04.01.2023 from https://www.ziv-zweirad.de/fileadmin/redakteure/Downloads/PDFs/PM_2020_02.09._Fahrradmarkt_Stimmungsbarometer_1._HJ_2020.pdf

12 Publikation

Grill, F. D., Roth, C., Zyskowski, M., Fichter, A., Kollmuss, M., Stimmer, H., Deppe, H., Wolff, K.-D. & Nieberler, M. (2022)

E-scooter-related craniomaxillofacial injuries compared with bicycle-related injuries – A retrospective study.

Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery

13 Danksagung

Ein herzliches Dankeschön möchte ich meinem Doktorvater Herrn Priv.-Doz. Dr. Dr. Markus Nieberler für das interessante und aktuelle Thema sowie die überaus freundliche Unterstützung, Hilfsbereitschaft und motivierenden Worte aussprechen.

Besonderer Dank gilt meinem Betreuer, Herrn Dr. Dr. Florian Grill, der von Beginn an unermüdlich in allen Phasen der Promotion behilflich war und darüber hinaus großen Einsatz für die Veröffentlichung des Themas zeigte.

Außerdem möchte ich mich bei Herrn Dr. Michael Zyskowski für die freundliche und unkomplizierte Zusammenarbeit bedanken, ohne den die Datenerhebung in dem Umfang nicht möglich gewesen wäre.

Ebenfalls möchte ich meinem Mentor Herrn Dr. Maximilian Kollmuß meine Erkenntlichkeit für seine Unterstützung zeigen.

Abschließend bedanke ich mich besonders bei meiner Familie für das immer offene Ohr, die vielen Ratschläge und die Unterstützung, die nicht nur während der Promotion, sondern auch über den ganzen Weg des Studiums anhielt.