

Tabelle 2.6 zeigt zusammenfassend die zentralen Ergebnisse des betriebswirtschaftlichen Vergleichs der städtischen Verkehrsarten in Kassel.

**Tabelle 2.6: Ergebnisse des betriebswirtschaftlichen Vergleichs der verschiedenen Verkehrsarten in der Stadt Kassel 2019 (Abweichungen von „Gesamt“ rundungsbedingt)**

	Lkw- Verkehr (Fzg. > 3,5 t zGG)	Pkw- Verkehr (Fzg. ≤ 3,5 t zGG)	ÖPNV	Radver- kehr	Fußver- kehr	Gesamt
<b>Absoluter Aufwand [Mio. EUR/a]</b>	6,9	42,5	88,1	1,4	10,0	<b>148,9</b>
<b>Absoluter Ertrag [Mio. EUR/a]</b>	0,8	16,2	57,7	0,2	2,3	<b>77,2</b>
<b>Absoluter Zuschuss [Mio. EUR/a]</b>	6,1	26,3	30,4	1,2	7,7	<b>71,7</b>
<b>Absoluter Aufwand pro Einwohner [EUR/EW·a]</b>	34	207	430	7	49	<b>726</b>
<b>Absoluter Ertrag pro Einwohner [EUR/EW·a]</b>	4	79	281	1	11	<b>376</b>
<b>Absoluter Zuschuss pro Einwohner [EUR/EW·a]</b>	30	128	148	6	38	<b>350</b>
<b>Relativer Zuschuss [%]</b>	8%	37%	42%	2%	11%	<b>100%</b>
<b>Zuschuss-Modal-Split im Personenverkehr [%]</b>	---	40%	46%	2%	12%	<b>100%</b>
<b>Kostendeckungsgrad Vollkosten [%]</b>	12%	38%	65%	---	---	---
<b>Fahrleistungsbezogener Zuschuss [EUR/Fzkm]</b>	0,21	0,04	---	---	---	---
<b>Zuschuss pro Platzkm [EUR/Platzkm]</b>	---	0,01	0,04	---	---	---
<b>Zuschuss pro Betriebsleistung ÖPNV [EUR/Fzkm]</b>	---	---	4,6	---	---	---

Die Gegenüberstellung der Erträge und Aufwendungen zeigt, dass die verkehrsbezogenen Aufwendungen nicht durch deren Erträge gedeckt werden können, sodass ein jährlicher Finanzierungsbedarf in Höhe von 71,7 Mio. EUR besteht. Im Vergleich der verschiedenen städtischen Verkehrsarten zeigen die Ergebnisse, dass der Radverkehr den geringsten (2%) Finanzierungsanteil bekommt. Der Fußverkehr verursacht einen Anteil in Höhe von 11% an den gesamten ungedeckten Kosten. Bei der Einordnung dieser Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die nicht-verkehrliche Funktion von Fußgängerverkehrsanlagen bei der Bestimmung von allokatonsrelevanten Anteilen nicht herausgerechnet wurde. Des Weiteren wurde die anteilige Nutzung von Fußverkehrsanlagen, die als Zu- und Abgangswege zu den anderen Verkehrsarten dienen, ebenfalls bei der Allokation nicht berücksichtigt. Es kann davon ausgegangen werden, dass bei einer Berücksichtigung dieser beiden Aspekte die zugeordneten Kosten für den Fußverkehr deutlich geringer ausfallen würden als hier ausgewiesen.

Der Pkw-Verkehr verursacht einen Anteil in Höhe von 37% und der Lkw-Verkehr von ca. 8% an den ungedeckten Kosten des städtischen Verkehrs. Der städtische ÖPNV ist verantwortlich für 42% der gesamten ungedeckten Kosten. Zur weiteren Einordnung dieses Ergebnisses ist an dieser Stelle hinzuzufügen, dass das vorliegende Verfahren die Ergebnisse aus Sicht des Stadtkonzerns ausweist. Hierbei werden beim städtischen ÖPNV verschiedene Kostenkomponenten berücksichtigt (z.B. Unterhalt und Betrieb von Fahrzeugen, Fahrpersonal), die jedoch beim Pkw- und Lkw-Verkehr im vorliegenden Ansatz nicht einbezogen werden.



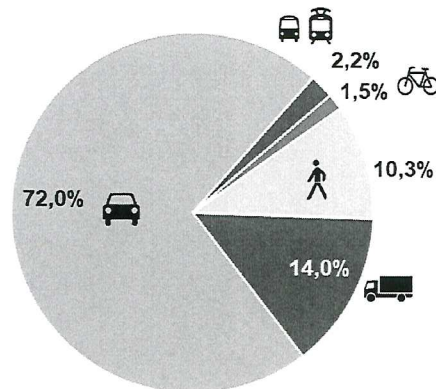
Die Aufwendungen des städtischen ÖPNV sind zwar grundsätzlich am höchsten, werden aber durch die höheren Erträge in größerem Maße ausgeglichen als im Pkw-Verkehr. Dies zeigt sich auch am Kostendeckungsgrad, der die Eigenwirtschaftlichkeit der verschiedenen Verkehrsarten aus betriebswirtschaftlicher Sicht des Stadtkonzerns widerspiegelt. Die Ergebnisse zeigen, dass der Kostendeckungsgrad des städtischen ÖPNV deutlich höher (65%) ist als der im Pkw-Verkehr (38%). Bedingt durch einen höheren Verschleiß des Fahrbahnoberbaus und den relativ geringen Erträgen ist der Kostendeckungsgrad des Lkw-Verkehrs (12%) im Vergleich der motorisierten Verkehrsarten am geringsten.

### InfoBox

Im Rahmen dieser Studie wurde für das Straßenverkehrs- und Tiefbauamt der Stadt Kassel (Amt 66) ein Aufteilungsschlüssel für das Personal im Amt 66 berechnet, um die Personalkosten verursachergerecht auf die verschiedenen Verkehrsarten aufzuteilen.

In diesem Zusammenhang wurden die Positionen in die Berechnung einbezogen, in der Personalressourcen des Amtes eingesetzt wurden.

Die folgende Abbildung zeigt das Ergebnis der Berechnung, mit der die Personalkosten des Straßenverkehrs- und Tiefbauamtes in der vorliegenden Studie aufgeteilt wurden.



## 3 Berücksichtigung externer Effekte

### 3.1 Einführung

Der *zweite Teil* des ökonomischen Vergleichs basiert auf der *Monetarisierung der externen Effekte* des städtischen Verkehrs. Die Frage der externen Wirkungen des Verkehrs ist im Besonderen in Zusammenhang mit Wettbewerbsverzerrungen, der Preisgestaltung des Verkehrs, dem ökonomischen Vergleich von Verkehrsträgern und Verkehrsmitteln und damit der Schaffung einer Kostentransparenz im Verkehrssektor von besonderer Relevanz. Ein ökonomischer Vergleich wäre daher ohne die Einbeziehung der externen Effekte des städtischen Verkehrs unvollständig. In der vorliegenden Studie werden, ausgehend von der besonderen ökonomischen und verkehrspolitischen Bedeutung, die folgenden externen Kosten berücksichtigt, die aus den monetarisierbaren Wirkungen des Verkehrsmittelbetriebs im städtischen Verkehr entstehen:

- Unfallkosten (ungedeckte Folgekosten von Personenschäden durch Verkehrsunfälle),
- Luftschadstoffkosten (Kosten durch verkehrsbedingte Luftschadstoffemissionen),
- Klimakosten (Kosten durch verkehrsbedingte Treibhausgasemissionen),
- Lärmbelastungskosten (Kosten durch Verkehrslärmexposition).

Die *Ursache-Wirkungs-Kette*, mit der die verursachten Schäden der externen Wirkungen des Verkehrs quantifiziert werden, deren monetäre Bewertung und ihre Allokation (Anlastung) auf die verursachenden Verkehrsmittel sind komplex. Die Monetarisierung der externen Wirkungen des städtischen Verkehrs basiert daher auf methodischen Empfehlungen und Erkenntnissen aus der einschlägigen Literatur (vgl. u.a. Becker et al. (2002), Bickel und Friedrich (2005), Maibach et al. (2007), UBA (2007), van Essen et al. (2011), UBA (2012), Korzhenevych et al. (2014), ECOPLAN und INFRAS (2014), UBA (2014), UBA (2018)).

Gemäß dem „Top-Down-Ansatz“ werden zunächst die relevanten und quantifizierbaren Wirkungen durch Verkehrsaktivitäten der Teilnehmer im städtischen Verkehr abgeschätzt (*Mengengerüst*). Anschließend werden die daraus resultierenden Schäden auf den Menschen und die Umwelt mit abgeleiteten Kostensätzen (*Wertgerüst*) aus der Fachliteratur verknüpft und somit die monetarisierbaren Schäden bewertet und den verschiedenen Verursachern (Verkehrsmitteln) zugeordnet bzw. angelastet. Im Ergebnis wird die Höhe der monetarisierten externen Wirkungen je Verkehrsmittel bzw. Verkehrsart und Jahr ausgewiesen. Neben externen Kosten erzeugt der nicht-motorisierte Verkehr durch die körperlich aktive Fortbewegung auch externe Nutzen in Form von Gesundheitsnutzen (eingesparte Kosten), die auf Grundlage von neuen Erkenntnissen in der Literatur quantifizierbar und monetarisierbar sind. Daher werden neben den externen Kosten auch die externen Gesundheitsnutzen durch den städtischen Fuß- und Radverkehr auf Grundlage des „Health Economic Assessment Tool for walking and cycling“ (*HEAT*) (WHO 2014) berücksichtigt.

Die verursachergerechte Allokation der monetarisierten externen Wirkungen erfolgt dabei anhand von



- Daten des Mengengerüsts,
- wissenschaftlichen Erkenntnissen hinsichtlich der Wirkungszusammenhänge und
- neu entwickelten Aufteilungsverfahren, die wiederum auf wissenschaftlichen Erkenntnissen und Empfehlungen basieren.

Bei der Monetarisierung der externen Effekte handelt es sich um Schätzungen und Bewertungen. Das Ergebnis derartiger Schätzungen bzw. Bewertungen ist maßgeblich von den verwendeten Definitionen, Abgrenzungen, Annahmen sowie dem methodischen Vorgehen und der Qualität der Datengrundlage abhängig. Um die Unsicherheiten bei der Monetarisierung einzugrenzen, wurde vom „*At-Least-Ansatz*“ ausgegangen. Daher wurden bei kritischen Annahmen oder einer unsicheren Datengrundlage prinzipiell vorsichtige Annahmen getroffen, um die Höhe der externen Kosten (bzw. Nutzen) nicht zu überschätzen.

Die Tabelle 3.1 gibt einen komprimierten Überblick über die wesentlichsten Elemente der methodischen Bewertungsansätze der einzelnen (berücksichtigten) externen Effekte des städtischen Verkehrs. Sie zeigt für jeden berücksichtigten externen Effekt die bewerteten Wirkungen, mit welchen Bewertungsverfahren die aus der Literatur entnommenen Kostensätze abgeschätzt wurden, das Mengengerüst der Monetarisierung und das eingesetzte Aufteilungsverfahren, auf dem die verkehrsmittelspezifische Allokation basiert (siehe Tabelle 3.1).



**Tabelle 3.1: Überblick über die methodischen Bewertungsansätze zur Monetarisierung der berücksichtigten externen Effekte**

Art des Effektes	Bewertete Wirkungen	Bewertungsansatz der Monetarisierung und Kostensätze	Mengengerüst	Verkehrsmittelspezifische Aufteilung (Aufteilungsverfahren bzw. Allokationsprinzip)
<b>Unfallkosten</b> (ungedeckte Personenschäden)	Unfallfolgen von Personenschäden durch Verkehrsunfälle (Getötete, Schwerverletzte und Leichtverletzte)	Schadenskostenansatz für Reproduktions-, Nettoressourcen- und außermarktliche Kosten Kostensätze in EUR pro verunglückter Person, differenziert nach Verletzungsgrad und Unfallverursacher nach (Baum et al. 2010), (Neumann 2016) und (Becker et al. 2002)  „Value-of-Statistical-Life“ (VSL) aus Zahlungsbereitschaftsansatz für immaterielle Kosten bei den verunglückten Nicht-Unfallverursachern Empfohlener VSL von 1,70 Mio. EUR je Todesfall nach (Korzhenevych et al. 2014)  Minderung der Unfallkosten um durchschnittliche Versicherungszahlungen der Kfz-Haftpflicht nach (Neumann 2016)	Polizeilich registrierte Verkehrsunfälle der Unfallkategorien 1 bis 3. Differenzierung der Verkehrsunfalldaten nach den in § 2 des Straßenverkehrsunfallstatistikgesetzes (StVUnfStatG) definierten Merkmalen	Berechnung und Aufteilung der Unfallfolgekosten für jeden einzelnen polizeilich registrierten Verkehrsunfall  Aufteilungsverfahren basiert aus der Kombination des Verursacherprinzips und dem Schadenspotentialansatz
<b>Luftschadstoffkosten</b>	Gesundheitsschäden, Gebäude- und Materialschäden, Ernteschäden, Schäden an Ökosystemen und der Biodiversität	Schadenskostenansatz Kostensätze für Luftschadstoffemissionen in EUR/t je Schadstoffart nach (UBA 2018)	Modellhaft abgeschätzte jährliche Gesamtmenge an verkehrsbedingten Luftschadstoffemissionen (warmer Betriebszustand) je Luftschadstoffart und Verkehrsmittel	Verkehrsmittelspezifische Abschätzung der Luftschadstoffemissionen
<b>Klimakosten</b>	Klimafolgeschäden	Schadenskostenansatz für Klimafolgeschäden durch Treibhausgasemissionen nach (UBA 2018)	Modellhaft abgeschätzte jährliche Gesamtmenge an verkehrsbedingten Treibhausgasemissionen (warmer Betriebszustand) in CO <sub>2</sub> -Äquivalente je Verkehrsmittel	Verkehrsmittelspezifische Abschätzung der Treibhausgasemissionen

**Tabelle 3.1: Überblick über die methodischen Bewertungsansätze zur Monetarisierung der berücksichtigten externen Effekte (Fortsetzung)**

Art des Effektes	Bewertete Wirkungen	Bewertungsansatz der Monetarisierung und Kostensätze	Mengengerüst	Verkehrsmittelspezifische Aufteilung (Aufteilungsverfahren bzw. Allokationsprinzip)
<b>Lärm-belastungs-kosten</b>	Belästigungswirkungen und Gesundheitsschäden	Zahlungsbereitschaftsansatz für Belästigungswirkungen und Schadenskostenansatz für Gesundheitsschäden  Kostensätze in EUR pro Jahr und exponierter Person je Schalldruckpegel des Lärmindex $L_{DEN}$ für Straßen- und Schienenverkehr nach (UBA 2018)	Verkehrslärmexponierte Personen auf Grundlage von Umgebungslärmkarten gemäß EU-Richtlinie 2002/49/EG durch Straßenverkehr und schienengebunden ÖSPV (Straßenbahnen, Tram, U- und Stadtbahnen)  Extrapolierung von lärmexponierten Personen durch Straßen, die sich nicht in der Baulast der Kommune befinden (Bundesautobahnen)	Verkehrsmittelspezifische Aufteilung der Lärmkosten im Straßenverkehr  (Fahrleistungsabhängige Gewichtung von Lärmgewichtungsfaktoren je Verkehrsmittel auf Grundlage von Erkenntnissen der Literatur)
<b>Nutzen im nicht-motorisierten Verkehr</b>	Gesundheitswirkungen durch körperlich aktive Fortbewegung im nicht-motorisierten Verkehr (reduziertes Sterberisiko, statistisch verhinderte Todesfälle)  Einsatz von "Health Economic Assessment Tool for walking and cycling" (HEAT) der WHO (vgl. WHO 2011))	Grundlage des HEAT-Ansatzes: Eingesparte Kosten je statistisch verhinderter Todesfall  „Value-of-Statistical-Life“ (VSL) aus Zahlungsbereitschaftsansatz. Empfohlener VSL von 1,70 Mio. EUR je Todesfall nach (Korzhenyevych et al. 2014) (analog zu Unfallkosten)	Abschätzung statistisch reduzierter Todesfälle über „relative Risiken“ (RR) auf Grundlage von epidemiologischen Studien (in HEAT hinterlegt), die den Zusammenhang zwischen der Dauer der körperlich aktiven Fortbewegung (wöchentliche Unterwegszeit zu Fuß bzw. mit dem Fahrrad) und dem reduzierten Sterberisiko abbilden	Durch HEAT-Ansatz differenzierte Abschätzung für den Fuß- und Radverkehr (proportional zur spezifischen wöchentlichen Unterwegszeit)

## 3.2 Externe Unfallkosten

### Einführung und methodisches Vorgehen

Verkehrsunfälle können zu weitreichenden Folgen führen. Neben Schäden an Fahrzeugen und Infrastrukturen können je nach Art des Unfalls, Verletzungen oder sogar Todesfälle auftreten. Im vorliegenden Bewertungsverfahren werden die im Verkehrswegenetz der Stadt Kassel (Straßenbaulast der Kommune, d.h. ohne Bundesautobahnen) entstandenen und polizeilich registrierten Personenschäden infolge von Verkehrsunfällen betrachtet. Nicht berücksichtigt werden Sachschäden (Materialschäden) an Fahrzeugen und Infrastrukturen. Diese werden aus individueller Sicht durch Versicherungsbeiträge abgedeckt und sind entsprechend bereits im Rahmen der Fahrzeugbetriebskosten als interner (privater) Kostenbestandteil erfasst und somit überwiegend internalisiert, sodass keine externen Kosten entstehen. Die Personenschäden durch Verkehrsunfälle werden für jeden einzelnen Unfall auf Grundlage von abgeleiteten externen Unfallkostensätzen aus der Literatur monetarisiert und darauf aufbauend auf die unfallbeteiligten Verkehrsmittel allokiert. Aus der Monetarisierung der Personenschäden infolge von Verkehrsunfällen und deren Aufteilung resultiert das Endergebnis, in dem die externen Unfallkosten je Verkehrsmittel und Jahr ausgewiesen werden.

### Mengengerüst

Detaillierte Informationen über das Unfallgeschehen im städtischen Verkehr bilden den Grundbaustein zur monetären Bewertung der Unfallfolgen und deren Allokation auf die unfallbeteiligten Verkehrsmittel. Als Datengrundlage werden die polizeilich registrierten Unfalldaten in der Stadt Kassel für die Jahre 2017 bis 2019 aus dem elektronischen Unfallsteckkartensystemen zu Grunde gelegt (Polizeipräsidium Nordhessen 2020). Nach einer Analyse der einzelnen polizeilich registrierten Unfallereignisse werden die daraus resultierenden verunglückten Unfallopfer, differenziert nach Verletzungsschwere, sowie deren genutzten Verkehrsmitteln ermittelt und nach Unfallverursacher und Nicht-Unfallverursacher unterschieden.

### Kostensätze

Zur Abschätzung der externen Unfallkosten wird auf die ermittelten Kostensätze der BASt zurückgegriffen. Basierend auf dem Schadenskostenansatz wurden in (Baum et al. 2010) für Personenschäden spezifische Unfallkostensätze pro getöteter, schwerverletzter und leichtverletzter Person abgeleitet. Folgende Kostenbereiche werden im vorliegenden Ansatz berücksichtigt:

- **Reproduktionskosten** (Kosten für die medizinische Versorgung, Polizei- Rechtssprechungs-, Versicherungs- und Neubesetzungskosten),
- **Ressourcenausfallkosten** (Verluste durch Produktionsausfälle infolge Arbeitsunfähigkeit),
- **außermarktliche Kosten** (Wertschöpfungsverluste in Haushaltswirtschaft etc.).

Zusätzlich zu den Kostensätzen für Ressourcenverzehr durch unfallbedingte Personenschäden der BASt (Baum et al. 2010) werden in der vorliegenden Studie auch die humanitären Kosten (Schmerz, Leid, psychische Beeinträchtigungen, verringerte Belastbarkeit) der Unfallopfer anhand des „*Value of Statistical Life*“ (VSL) bewertet. Der VSL wird in verschiedenen

ökonomischen Analysen zur monetären Bewertung von Todesfällen herangezogen. Aus ethischen Gründen wird der Wert des statistischen Lebens („Value of Statistical Life“, Abkürzung VSL) nicht nach Alter, Einkommen oder Berufstätigkeit der Opfer differenziert.

Da bestimmte Unfallkosten durch Versicherungsleistungen der Verkehrsteilnehmer gedeckt werden, werden die Versicherungszahlungen der gesetzlich vorgeschriebenen Kfz-Haftpflichtversicherung als internalisierte Kosten berücksichtigt, da diese von den entsprechenden Verkehrsteilnehmern (Kfz-Halter) in Form von „risikoabhängigen Beiträgen“, die mit den Risiken der Verkehrsteilnahme einhergehen, gezahlt werden. Leistungen aller anderen Personenversicherungen (z.B. Unfall-, Kranken-, Privathaftpflicht- oder Sozialversicherung) werden dementsprechend nicht als Internalisierungsbeiträge berücksichtigt. Um die externen Unfallkosten abzuschätzen, werden die bereits internalisierten Kostenanteile durch die Kfz-Haftpflichtversicherungen für Personenschäden von (Neumann 2016) übernommen und analog zu (Becker et al. 2002) von den Kostensätzen der BAST bei den Nicht-Unfallverursachern entsprechend gemindert (siehe Tabelle 3.2). Sind jedoch Fußgänger bzw. Radfahrer die Unfallverursacher, werden sämtliche Unfallkosten der nicht-unfallverursachenden Personen als externe Kosten betrachtet (siehe Tabelle 3.2). In Tabelle 3.2 sind zusammenfassend die eingesetzten Kostensätze, differenziert nach Verletzungsgrad und Unfallverursacher, dargestellt. Diese ergeben sich aus den o.g. aufgeführten Kostenkomponenten der BAST (Baum et al. 2010)<sup>4</sup>, dem empfohlenen VSL von (Korzhenevych et al. 2014) und den durchschnittlichen Versicherungszahlungen der Kfz-Haftpflichtversicherungen von (Neumann 2016) als Internalisierungsbeiträge zur Reduzierung der Unfallkosten.

---

<sup>4</sup> Hier die abgeleiteten Netto-Ressourcenausfallkosten von (Neumann 2016).



**Tabelle 3.2: Externe Unfallkostensätze in EUR pro verunglückter Person, differenziert nach Verletzungsgrad und Unfallverursacher, nach (Neumann 2016, S. 13), (Baum et al. 2010), (Becker et al. 2002) und (Korzhenevych et al. 2014)**

Kostenkomponenten	Getötete		Schwerverletzte		Leichtverletzte	
	Unfallverursacher (Fahrer)	Nicht-Unfallverursacher (Mitfahrer, Unfallverursacher und Insassen, Nicht-Unfallverursacher)	Unfallverursacher (Fahrer)	Nicht-Unfallverursacher (Mitfahrer, Unfallverursacher und Insassen, Nicht-Unfallverursacher)	Unfallverursacher (Fahrer)	Nicht-Unfallverursacher (Mitfahrer, Unfallverursacher und Insassen, Nicht-Unfallverursacher)
Reproduktions-, Nettoressourcenausfall- und außermärkliche Kosten	553.158	553.158	100.485	100.485	2.263	2.263
Immaterielle Kosten	—***	1.700.000	—***	226.100	—***	17.000
<b>Kostensatz (Summe)*</b>	<b>553.158</b>	<b>2.253.158</b>	<b>100.485</b>	<b>326.585</b>	<b>2.263</b>	<b>19.263</b>
Minderung um Versicherungszahlungen der Kfz-Haftpflicht	—	-354.086	—	-22.201	—	-7.326
<b>Kostensatz (Summe)**</b>	<b>553.158</b>	<b>1.899.072</b>	<b>100.485</b>	<b>304.384</b>	<b>2.263</b>	<b>11.937</b>

\* Kostensatz falls der Unfallverursacher ein nicht-motorisiertes Verkehrsmittel (Fußgänger oder Radfahrer) ist

\*\* Kostensatz falls der Unfallverursacher ein motorisiertes Verkehrsmittel ist

\*\*\* Es wird angenommen, dass der Unfallverursacher die von ihm verursachten immateriellen Kosten selbst trägt, da diese selbst verursacht sind (Verursacherprinzip)

### Allokation und Berechnung der externen Unfallkosten

Auf Grundlage der Angaben zu den Unfallfolgen der polizeilich registrierten Verkehrsunfälle und den in Tabelle 3.2 dargestellten Kostensätzen kann die Höhe der externen Unfallkosten des städtischen Verkehrs berechnet werden. Die resultierenden Unfallfolgekosten infolge von personenbezogenen Schäden werden für jeden einzelnen polizeilich registrierten Verkehrsunfall berechnet. Neben der Berechnung der Höhe der externen Unfallkosten ist deren Zuordnung (Allokation) auf unfallbeteiligte Verkehrsmittel für einen verkehrsmittelübergreifenden Ansatz von besonderer Relevanz. Bei Alleinunfällen werden die so berechneten externen Unfallkosten vollständig dem einen einzigen unfallbeteiligten Verkehrsmittel zugeordnet. Bei Verkehrsunfällen mit mehreren beteiligten Verkehrsmitteln erfolgt die Allokation der Unfallkosten auf die unfallbeteiligten Verkehrsmittel nach dem Ansatz von (Saighani 2020) aus der Kombination des Verursacherprinzips und des Schadenspotentialansatzes. Dem unfallverursachenden Verkehrsmittel werden dabei vollständig die externen Unfallkosten von allen seinen verunglückten Insassen angelastet (Verursacherprinzip) und anteilig die Unfallkosten der Verunglückten der nicht-unfallverursachenden Verkehrsmittel. Die Aufteilung der Unfallkosten der verunglückten Insassen des nicht-unfallverursachenden Verkehrsmittels erfolgt dabei auf Grundlage des Schadenspotentialansatzes. Beim Schadenspotentialansatz wird davon ausgegangen, dass der Betrieb von verschiedenen Verkehrsmitteln mit einem gewissen Schadenspotential für andere Verkehrsteilnehmer einhergeht. In diesem Zusammenhang wird nach (Saighani 2020) davon ausgegangen, dass das von den unfallbeteiligten Verkehrsmitteln bzw. Verkehrsteilnehmern ausgehende Schadenspotential sich über ihre kinetische Energie ausdrücken lässt. Die kinetische Energie definiert dabei den physikalischen Zusammenhang, dass je schwerer ein Verkehrsmittel ist und je schneller es sich bewegt, desto größer sein Schadenspotential ist, das es anderen Verkehrsteilnehmern aussetzt.

Da in den polizeilich erfassten Unfalldaten i.d.R. weder Masse noch Geschwindigkeit der Unfallparteien erhoben werden, erfolgt die Abschätzung der von den Unfallbeteiligten ausgehenden Schadenspotentiale auf Grundlage von literaturgestützten Annahmen von (Saighani 2020).

Aufbauend darauf erfolgt die Berechnung und Allokation der externen Unfallkosten im städtischen Verkehr. Nach (Saighani 2020) werden dem unfallverursachenden Verkehrsmittel vollständig die externen Unfallkosten der Personenschäden von allen seinen verunglückten Insassen (Fahrer und Mitfahrer) angelastet (Verursacherprinzip). Diese berechnen sich durch Multiplikation der Anzahl der verletzten Personen je Verletzungsgrad mit den spezifischen Kostensätzen aus Tabelle 3.2. Darüber hinaus werden dem unfallverursachenden Verkehrsmittel anteilig auf Basis des Aufteilungsfaktors  $\varepsilon$  (siehe Gleichung (3.2)) die externen Unfallkosten der verunglückten Insassen aller beteiligten nicht-unfallverursachenden Verkehrsmittel angelastet. Gleichung (3.1) zeigt die Berechnung und Allokation der externen Unfallkosten je Unfall und unfallversuchendem Verkehrsmittel.

$$\text{CUV}_{i,vs} = \left( \sum_{inj} (nVF_{i,inj} \cdot \text{cuv}_{inj} + nVMF_{i,inj} \cdot \text{cunv}_{inj}) \right) + \left( \varepsilon_{i,vs} \cdot \sum_{vsnv} \sum_{inj} (nNVI_{i,vsnv,inj} \cdot \text{cunv}_{vsnv,inj}) \right) \quad (3.1)$$

$\text{CUV}_{i,vs}$	... Externe allokierte Unfallkosten des unfallverursachenden Verkehrsmittels (vs) je Unfall (i) [EUR/Unfall]
i	... Unfallereignis [-]
vs	... Verkehrsmittel des Verursachers (Lkw, Pkw, Linienbus, Straßenbahn, Fußgänger, Fahrrad, Kraftrad, Sonstige)
vsnv	... Verkehrsmittel der Nicht-Unfallverursacher (Lkw, Pkw, Linienbus, Straßenbahn, Fußgänger, Fahrrad, Kraftrad, Sonstige)
inj	... Verletzungsgrad (Getötet, Schwerverletzt, Leichtverletzt)
nVF	... Fahrer Unfallverursacher [1 Pers.]
nVMF	... Anzahl Mitfahrer [Pers.]
cuv	... spezifischer Unfallkostensatz für Unfallverursacher [EUR/Pers.]
cunv	... spezifischer Unfallkostensatz für Nicht-Unfallverursacher [EUR/Pers.]
nNVI	... Anzahl nicht-unfallverursachende Insassen [Pers.]
$\varepsilon_{i,vs}$	... Aufteilungsfaktor je unfallbeteiligtes Verkehrsmittel und Unfallereignis [-]

Der Aufteilungsfaktor  $\varepsilon$  ergibt sich, wie in Gleichung (3.2) dargestellt, aus dem Verhältnis der kinetischen Energie eines unfallbeteiligten Verkehrsmittels ( $E_{kin,vs}$ ) zu der Summe der gesamten kinetischen Energie aller unfallbeteiligten (p) Verkehrsmittel (vs) je Unfallereignis (i).

$$\varepsilon_{i,vs} = \frac{E_{kin,i,vs}}{\sum_p E_{kin,i,vs(p)}} \quad (3.2)$$

Die externen Unfallkosten der nicht-unfallverursachenden Verkehrsmittel ergeben sich anteilig aus der Multiplikation des Aufteilungsfaktor  $\varepsilon$  mit der Summe der monetarisierten Personenschäden der Insassen der nicht-unfallverursachenden Verkehrsmittel.

Nachdem die allokierten externen Unfallkosten für die einzelnen polizeilich registrierten Verkehrsunfälle ermittelt wurden, werden sie anschließend über den betrachteten Zeitraum (36