

Gesundheits- und umweltökonomische Auswirkungen einer Radhelmpflicht in Österreich

Eine Nutzen-Kosten-Analyse

Verfasserin:

Huem Otero Garcia, BSc

Masterarbeit für das Fachgebiet
VERKEHRSWESEN

Betreuung:

Michael Meschik

Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn.



Institut für Verkehrswesen
Department für Raum, Landschaft und Infrastruktur
Universität für Bodenkultur Wien

MA-Nr.01/2016

I. Vorwort

Hinweis: In dieser Arbeit wird ausschließlich die weibliche Form verwendet, um die Lesbarkeit zu erleichtern.

Ich widme diese Arbeit meiner Mutter, Josefina Huemer, die immer eine große Stütze in jeglicher Hinsicht in meinem Leben war und ohne die diese Arbeit niemals fertig gestellt worden wäre. Gracias mamá por todo lo que has sido, eres y serás para mi.

Ich danke meinem Bruder Rodolfo, der mich immer gefordert, aber auch unterstützt hat. Seine Excel-Kenntnisse haben mir das Leben sehr erleichtert.

Danke auch an meine Freund_innen, die mich motiviert und unterstützt haben und mit denen ich unzählige Stunden in der Bibliothek verbracht und teilweise auch ein Dach geteilt habe: Corina, Motz, Odin und Sigi.

Ein besonderer Dank gilt meinem Freund Markus, der in den schwierigsten Zeiten für mich da war, mich ausgehalten und immer aufbauende Worte gefunden hat.

Fachliche Unterstützung erhielt ich von Mag. Rupert Tomschy von Herry Consult, der mir mit benötigten Daten unkompliziert und schnell weitergeholfen hat. Auch Eva Dietl von der Statistik Austria und Monika Steiner vom Kuratorium für Verkehrssicherheit möchte ich für Ihre Auskünfte danken. Last but not least möchte ich mich bei meinem Betreuer Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn Michael Meschik bedanken, der sehr verständnisvoll, flexibel und hilfsbereit war.

II. Kurzfassung

In dieser Arbeit werden mögliche Auswirkungen einer Radhelmpflicht in Österreich in verschiedenen Szenarien mittels Nutzen-Kosten-Analysen untersucht. Internationale Beispiele zeigen, dass eine Fahrradhelmpflicht nicht nur positive Effekte hat, sondern auch negative. Auf der einen Seite führt eine Helmpflicht zu einer Erhöhung der Helmtragequote und somit zu einer Verringerung des Kopfverletzungsrisikos von Radunfällen, auf der anderen Seite scheint es einen Zusammenhang zwischen der Radhelmpflicht und einer Reduktion des Radverkehrsanteils zu geben, vor allem unter Jugendlichen. Diese Reduktion hat gesundheitsökonomische Relevanz, zumal die körperliche Aktivität von Personen, die mit dem Radfahren aufhören, abnimmt. Des Weiteren kann das Unfallrisiko von Radfahrerinnen aufgrund der Helmpflicht steigen: Es hat sich gezeigt, dass in Gebieten mit einer Fahrradhelmpflicht die Kopfverletzungsraten nicht im erwarteten Maß abgenommen haben. Als Hauptursache dafür gilt der Effekt „Safety in Numbers“, nach dem das Unfallrisiko für Radfahrerinnen steigt, wenn in einem Untersuchungsgebiet weniger Rad gefahren wird und abnimmt, wenn mehr Rad gefahren wird. Da das Mobilitätszeitbudget, also jene Zeit, die wir durchschnittlich täglich im Verkehr verbringen, annähernd konstant ist, muss davon ausgegangen werden, dass die Kilometer, die nicht mehr mit dem Rad gefahren werden mit anderen Verkehrsmitteln zurückgelegt werden. Für den Anteil, der durch den motorisierten Individualverkehr (MIV) substituiert wird, entstehen Umweltkosten, die sich vorwiegend aus Klima-, Lärm- und Schadstoffkosten zusammensetzen.

In dieser Nutzen-Kosten-Analyse werden Daten zum Radverkehr und Unfallgeschehen in Österreich herangezogen und der Nutzen einer Helmpflicht beziehungsweise die Kosten pro Radkilometer für verschiedene Szenarien berechnet. Die Szenarien unterscheiden sich hinsichtlich der angenommenen Schutzwirkung von Helmen und zu erwartenden Helmtragequote nach Einführung der Helmpflicht.

In neun Szenarien wurde berechnet, wie stark sich eine Helmpflicht auf die Gesamtkosten (Gesundheits-, Unfall- und Umweltkosten) auswirkt und ab welcher durch die Helmpflicht reduzierten Radverkehrsleistung eingesparte Unfallkosten durch den wegfallenden Gesundheitsnutzen und verursachte Umweltkosten

kompensiert würden. Negative Folgen treten auf jeden Fall ein, wenn Radfahrerinnen, die vor Einführung der Helmpflicht ohne Helm gefahren sind, jährlich über 10 % weniger Kilometer mit dem Rad zurücklegen. Das ist das Ergebnis aus dem optimistischsten Szenario hinsichtlich der Schutzwirkung von Helmen und der angenommenen Helmtragequote nach der Helmpflicht und entspricht einer Reduktion der Gesamtradverkehrsleistung von 7,1 %. Diese Werte liegen im Bereich der international beobachteten Reduktionen des Radverkehrs nach Einführung einer Helmpflicht und es ist realistisch, dass sie in Österreich so eintreten könnten. Wenn die Reduktion weniger als 1,7 % der Radverkehrsleistung beträgt, fällt die Nutzen – Kosten Bilanz einer Helmpflicht insgesamt positiv aus.

Auf Basis dieser Berechnungen kann keine Empfehlung für die Einführung einer Helmpflicht gegeben werden, allerdings muss berücksichtigt werden, dass die Dunkelziffer von Radunfällen in Österreich eine große Unbekannte darstellt und das Ergebnis einer Nutzen-Kosten-Analyse stark von der Verunglücktenrate (Verunglückte pro Mio. Kilometer) abhängt. Auch die Dunkelziffer von Unfällen mit anderen Verkehrsmitteln, insbesondere für Fußgängerinnen, ist für das Ergebnis der Analyse relevant. Aus diesem Grund ist eine zentrale Empfehlung dieser Arbeit, eine Verbesserung der Daten zum Unfallgeschehen für den Rad- und Fußverkehr in Österreich anzustreben. Die Methode, die in dieser Arbeit gewählt und weiterentwickelt wurde, kann für zukünftige Nutzen-Kosten-Analysen mit einer besseren Datengrundlage herangezogen werden.

Grundsätzlich muss berücksichtigt werden, dass ein Großteil der Einsparungen an Unfallkosten in der Nutzen-Kosten-Analyse nicht durch die Einsparung an Kopfverletzungen zu verzeichnen sind, sondern durch den Entfall von Nicht-Kopfverletzungen, wenn weniger Rad gefahren wird. Das heißt, dass diese Verletzungen den größten Anteil an Kosten ausmachen. Daher ist eine weitere Empfehlung, dass eine Verringerung der Verunglücktenrate angestrebt werden muss, vor allem müssen die Unfälle mit Beteiligung von Kraftfahrzeugen reduziert werden, da diese die schwersten Auswirkungen für die betroffenen Radfahrerinnen haben. Die Förderung des Radverkehrs und die Verringerung der Geschwindigkeiten des motorisierten Verkehrs können ein erster wichtiger Schritt in diese Richtung sein, da Radfahren sicherer wird, wenn mehr Radfahrerinnen unterwegs sind und die Aufprallgeschwindigkeit von Kfz der wichtigste Faktor für den Verletzungsgrad von Radfahrerinnen ist.

III. Abstract

In this Thesis, the potential impacts of a helmet law in Austria are examined in a benefit-cost analysis. International examples show that bicycle helmet legislation not only has positive effects, but also negative ones. At first glance it seems that the only effect of legislation would be an increase of helmet wearing rates, leading to a reduction of the risk of head injuries in accidents. On the other hand, there seems to be a relation between helmet laws and a reduction of cycling rates, especially among teenagers. This reduction is relevant from a health-economic point of view, since the physical activity of people who quit cycling decreases. Furthermore, the risk of accidents of cyclists can rise due to the helmet law, which must be considered in its evaluation. It has been shown that in areas with a bicycle helmet law, the head injury rates have not decreased to the expected level. The main reason for this is considered to be the effect, "Safety in Numbers", according to which the accident risk for cyclists increases when cycling rates decrease. Since the time travel budget, the individual's average daily travel time, is approximately constant, it must be assumed that the kilometres that are no longer cycled will be travelled by other modes. The amount that is substituted by motor vehicles causes environmental costs, which in turn consist of climate, noise and pollution costs. In this cost-benefit analysis, Austrian data on bicycle use and accidents are used to calculate the benefits of helmet legislation or its costs per kilometres by bike for different scenarios. The scenarios differ in terms of the assumed protective effect of helmets and helmet wearing rates expected after the introduction of a helmet law.

Nine scenarios were calculated to see how much a mandatory helmet law affects the total costs (health, accident and environmental costs). Negative consequences definitely occur when cyclists who rode without a helmet before the introduction of mandatory helmet wearing would reduce their annual cycling by over 10 %. This is the result of the most optimistic scenario in regards to the protective effect of helmets and helmet wearing rates after the introduction of a helmet law and corresponds to a reduction of the overall cycling performance of 7,1 %. These numbers lie within the internationally observed reductions of cycling after the introduction of a helmet law and it seems to be realistic that such reductions could be found in Austria as well. When the reduction is less than 1,7 % of the cycling performance, helmet use has no negative effects.

Based on these calculations no recommendation for the introduction of a helmet law can be given. However, it must be kept in mind that the number of unreported bicycle accidents represents an unknown and relevant variable of the benefit-cost analysis. Unreported accidents with other means of transportation, especially pedestrians, are also relevant for the analysis result. For this reason, a central recommendation of this work is to strive for an improvement of data on accidents for cyclists and pedestrians in Austria. The method that was chosen and developed in this thesis can be used for future cost-benefit analyses with a better data basis.

It must also be said that a large part of savings in accident costs in the cost-benefit analyses have not been caused by the reduction of head injuries due to helmets, but as a consequence of the absence of non-head injuries due to a reduction in cycling. This means that these injuries account for the largest share of costs. Therefore, another recommendation is that generally a reduction of cycling accident rates must be sought, especially for accidents involving motor vehicles, since these have the most serious consequences for cyclists. Due to the fact that more cyclists on the road make a safer cycling environment and that impact speeds of motor vehicles are the most important factor for injury severity among cyclists, the promotion of cycling and lower speed limits can be important first steps in this direction.

IV. Abkürzungsverzeichnis

AIS *Abbreviated Injury Scale*
BMVIT *Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie*
DSI *Death and serious injuries*
HEAT *Health Economic Assessment Tool*
HP *Radhelmpflicht*
IDB *Injury Database*
KV *Kopfverletzung*
MIV *Motorisierter Individualverkehr*
NKA *Nutzen-Kosten-Analyse*
NSW *New South Wales (Australien)*
OR *Odds Ratio, Quotenverhältnis*
SiN *Safety in Numbers, Safety in Numbers*
StGB *Strafgesetzbuch*
StVO *Straßenverkehrsordnung*
WTP *Willingness to pay*

Inhaltsverzeichnis

I.	Vorwort	II
II.	Kurzfassung.....	III
III.	Abstract	V
IV.	Abkürzungsverzeichnis.....	VII
1	Einleitung.....	1
2	Verkehrssicherheit und Verkehrsunfälle	3
2.1	Verkehrsunfälle und Radverkehrsunfälle	3
2.2	Dunkelziffer von Radunfällen	5
2.3	Risiko von Verkehrsunfällen	6
2.4	Unfallkennzahlen von Radfahrerinnen in Österreich.....	8
3	Die Bedeutung von Kraftfahrzeugen für Radunfälle.....	13
4	Kopfverletzungen.....	17
5	Schutzwirkung von Radhelmen	20
6	Helmtragequoten	23
6.1	Radhelmtragequoten in Österreich	23
6.2	Altersspezifische Unterschiede.....	23
6.3	Unterschiede nach Art des Radfahrens	24
7	Auswirkungen der Radhelmpflicht	26
7.1	Auswirkungen auf Helmtragequote und Radverkehrsanteil	26
7.2	Auswirkungen auf das Risiko von Kopfverletzungen	44
8	Nutzen-Kosten-Analyse	61
8.1	Änderung der Kosten von Kopfverletzungen durch Helme	65
8.2	Entgangener gesundheitlicher Nutzen von Radfahren	66
8.3	Eingesparte Unfallkosten von Radfahren	66
8.4	Neue Unfallkosten durch Änderung der Verkehrsmittelwahl.....	67

8.5	Zusätzlicher gesundheitlicher Nutzen von Zufußgehen	67
8.6	Umweltkosten durch neue Pkw-Kilometer	68
8.7	Zusätzliche Unfallkosten von verunglückten Radfahrerinnen durch Safety-in-Numbers-Effekt	68
8.8	Zusätzliche Unfallkosten von getöteten Radfahrerinnen durch Safety-in-Numbers-Effekt	70
8.9	Berechnung der neuen Getötetenrate (λ_{gh}) und Verunglücktenrate (λ_h) durch Safety in Numbers	70
8.10	Variable Ausdrücke der Nutzen-Kosten-Rechnung	71
8.11	Radverkehrsleistung ohne Helm vor der Radhelmpflicht	73
8.12	Verunglücktenrate λ und Getötetenrate λ_g	74
8.13	Unfallkosten	75
8.14	Kosten einer durchschnittlich verletzten RadfahrerIn	79
8.15	Vermeidbare Kosten einer durchschnittlichen Kopfverletzung	80
8.16	Gesundheitlicher Nutzen von Radfahren	81
8.17	Auswirkungen durch Verkehrsmittelwechsel	84
8.18	Ergebnisse Nutzen-Kosten-Analyse für Österreich	94
9	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	107
10	Tabellenverzeichnis	111
11	Abbildungsverzeichnis	116
12	Literaturverzeichnis	118

1 Einleitung

Immer dann, wenn außergewöhnliche Unfallereignisse oder überdurchschnittlich viele getötete Radfahrerinnen zu beklagen sind, wird der Ruf nach einer generellen Radhelmpflicht (HP) laut. Diese Forderung erscheint auf den ersten Blick nahe liegend, schützen Helme doch vor Kopfverletzungen. Bei näherer Betrachtung sind die Wirkungen verkehrspolitischer Maßnahmen allerdings komplexer und oftmals ist es nicht möglich, eine genaue Ursache-Wirkung-Beziehung im Verkehrswesen aufzustellen. Es sind viele Faktoren, die das Unfallgeschehen und die Unfallschweren beeinflussen, beispielsweise die Beschaffenheit einer Fahrbahn, zulässigen Höchstgeschwindigkeiten oder Witterungsbedingungen. Auch können einzelne Maßnahmen unterschiedliche Wirkungen haben, manchmal auch unerwünschte, wie es im Fall einer verpflichtenden Radhelmpflicht zu sein scheint. Gegnerinnen der Fahrradhelmpflicht beanstanden, dass sie negative Auswirkungen auf den Radverkehrsanteil und das Unfallgeschehen von Radfahrerinnen hätte. Die durch eine Helmpflicht reduzierten Unfallfolgekosten wären geringer als die entstandenen Gesundheits- und Umweltkosten, die durch eine Reduktion des Radverkehrs zu erwarten wären.

Ziel dieser Arbeit war es, die möglichen Auswirkungen einer Helmpflicht in Österreich zu untersuchen und Empfehlungen für oder gegen diese abzugeben.

Für diese Arbeit wurde eine umfangreiche Literaturrecherche zum Thema Radhelm und Radhelmpflicht durchgeführt. Der Schwerpunkt lag nicht darauf, zu überprüfen, wie hoch die Schutzwirkung von Helmen tatsächlich ist, sondern die Implikationen, die eine gesetzliche Regelung mit sich bringt, zu erörtern, zu bewerten und aus den Erfahrungen anderer Länder mit Radhelmpflicht zu lernen. Auf Basis der Literaturrecherche wurde folgende Arbeitshypothese formuliert:

„Die Einführung einer Radhelmpflicht ist mit volkswirtschaftlichen Kosten verbunden, die die Einsparungen bei den Unfallkosten durch Kopfverletzungen übersteigen.“

Im ersten Teil der Arbeit werden grundlegende Begriffe, die zur Bewertung der HP notwendig sind, geklärt. Das Radverkehrsunfallgeschehen in Österreich (inklusive Kopfverletzungen), die Schutzwirkung von Helmen und die Helmtragequoten werden hier beschrieben. Die Bedeutung von Kraftfahrzeugen für das Radunfallgeschehen ist auch Gegenstand der Analyse. Im zweiten Teil werden die Auswirkungen der

Radhelmpflicht in Australien, Neuseeland, Kanada und Kalifornien als Fallbeispiele für mögliche Auswirkungen in Österreich besprochen, hier wird insbesondere auf das Thema Risikokompensation und den Effekt „Safety in Numbers“ (SiN) eingegangen. Der zweite Teil liefert die theoretische Grundlage für die Nutzen-Kosten-Analyse (NKA) im dritten Teil der Arbeit. Für die NKA werden verschiedene Szenarien modelliert, um abschließend Empfehlungen für oder gegen eine Radhelmpflicht abzugeben.

2 Verkehrssicherheit und Verkehrsunfälle

2.1 Verkehrsunfälle und Radverkehrsunfälle

Die Straßenverkehrsordnung (StVO)¹ definiert einen Verkehrsunfall als „... jedes plötzliche, mit dem Straßenverkehr ursächlich zusammenhängende Ereignis, das sich auf Straßen mit öffentlichem Verkehr ereignet und einen Personenschaden oder Sachschaden zur Folge hat.“

Jeder Verkehrsunfall mit Personenschaden ist anzeigepflichtig (§ 4 Abs. 2 und 3 StVO), die Statistik Austria führt die Statistik über Straßenverkehrsunfälle auf Österreichischem Staatsgebiet: „Ein Straßenverkehrsunfall mit Personenschaden liegt vor, wenn infolge des Straßenverkehrs auf Straßen mit öffentlichem Verkehr Personen verletzt oder getötet wurden und daran zumindest ein in Bewegung befindliches Fahrzeug beteiligt war“ (Statistik Austria 2010).

Als Verunglückte bei Unfällen werden folgende Personen gezählt:

- (1) Getötete
- (2) Schwerverletzte
- (3) Leichtverletzte

Als Verkehrstote gelten alle Personen, die entweder am Unfallort oder innerhalb von 30 Tagen, gerechnet ab dem Unfallereignis, an den Unfallfolgen sterben (Statistik Austria 2010). Die Einstufung nach schwerem und leichtem Verletzungsgrad erfolgt nach den Bestimmungen des Strafgesetzbuches (§ 84 Abs. 1 StGB), demnach gilt eine Verletzung als schwer, wenn sie eine länger als 24 Tage dauernde Gesundheitsschädigung oder Berufsunfähigkeit zur Folge hat. Abbildung 2-1 liefert einen Überblick über den Verletzungsgrad verunglückter Radfahrerinnen nach Altersklassen.

Zwischen 1961 und 2011 wurden die Unfalldaten an die Statistik Austria mittels von der Polizei ausgefüllter Unfallzählblätter weitergeleitet. Seit dem Jahr 2012 erfolgt eine elektronische Erfassung, die auch mit Veränderungen der Erhebungsmethoden

¹ VwGH 15.5.1990, ZfVB 1991/3/1056

einherging. Aus diesem Grund lassen die Daten ab 2012 keinen Vergleich mit den vorherigen Zeitreihen zu (Statistik Austria 2013).

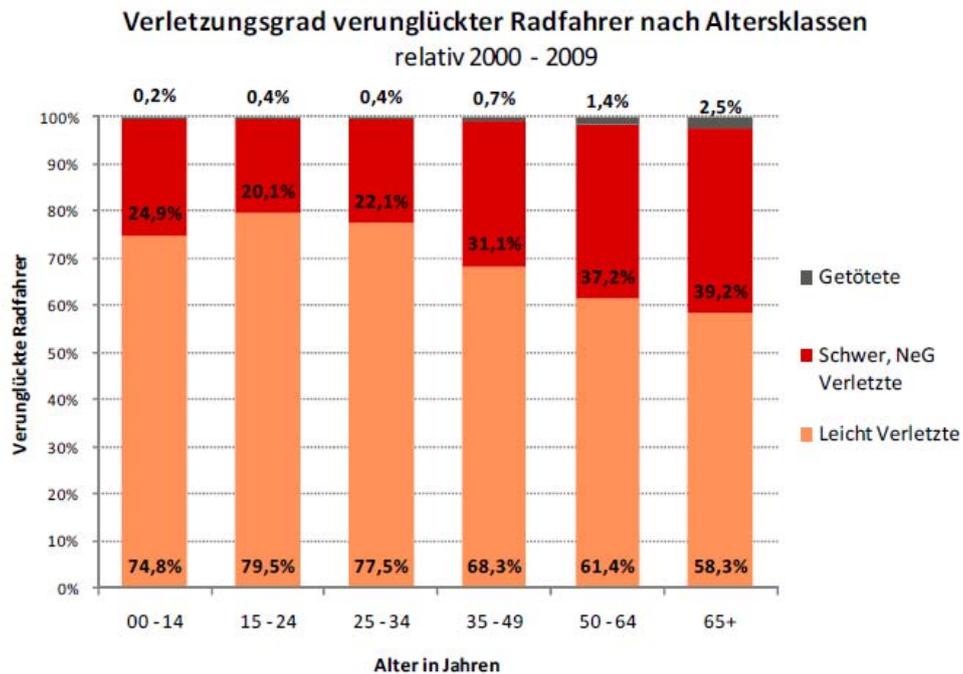


Abbildung 2-1 Verletzungsgrad verunglückter Radfahrerinnen nach Altersklassen in der Verkehrsunfallstatistik, Jahresdurchschnitt 2000 – 2009, in % (Pfaffenbichler et al. 2011)

Abbildung 2-1 liefert einen Überblick über die polizeilich gemeldeten verletzten und getöteten Radfahrerinnen in Österreich. Im Jahresdurchschnitt (2005-2009) verletzten sich 5.525 Radfahrerinnen und 47 verunglückten tödlich (Pfaffenbichler et al. 2011). Alleinunfälle von Radfahrerinnen sind in der Verkehrsunfallstatistik enthalten, wenn diese den Unfall bei der Polizei anzeigen oder wenn es zu einem Polizeieinsatz kommt. Der Anteil an Alleinunfällen unter den polizeilich erfassten Unfällen von Radfahrerinnen betrug in den Jahren 2009-2011 rund ein Fünftel, im Jahr 2012 28 % (Dietl 2013).

Tabelle 2-1 Verletzte und getötete Radfahrerinnen in Österreich nach Altersklassen. Jahresdurchschnitt 2005-2009 (eigene Darstellung, Daten: Pfaffenbichler et al. 2011)

Altersklasse	Verunglückte [Ø 2005-2009]	Getötete [Ø 2005-2009]
6-14	709	1
15-24	712	3
25-34	712	3
35-49	1342	8
50-64	1128	12
≥ 65	922	20
Summe	5525	47

2.2 Dunkelziffer von Radunfällen

Der Anteil statistisch nicht erfasster Verkehrsunfälle mit Personenschaden wird von der Statistik Austria (2010) auf etwa 10-15 % geschätzt, wobei sich diese Zahl auf alle Verkehrsteilnehmerinnen bezieht. Das Kuratorium für Verkehrssicherheit (KfV) hat im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) geschätzt, dass zumindest zwei Drittel der auf Verkehrsflächen verletzten Radfahrerinnen nicht polizeilich erfasst werden (Pfaffenbichler et al. 2011), dies trifft hauptsächlich auf Alleinunfälle von Radfahrerinnen zu (Abbildung 2-2).

Die Schätzung basiert auf Daten der Injury Database (IDB), einer Statistik, die auf Interviews mit Unfallopfern in ausgewählten Krankenhäusern beruht. Die Befragungsergebnisse geben unter anderem Auskunft über die beteiligten Personen, Unfallursachen, Unfallort und Verletzungsarten von spitalsbehandelten Verletzten aus neun österreichischen Krankenhäusern. Diese Daten wurden hochgerechnet und geben ein Bild über das Unfallgeschehen auf österreichischem Staatsgebiet wieder.

Die IDB erfasst Heim-, Freizeit-, Sport-, Arbeits- und Verkehrsunfälle. Seriöse Hochrechnungen können nur mit korrekten Hochrechnungsfaktoren erstellt werden, welche es derzeit nur für Heim-, Freizeit und Sportunfälle gibt. Für den Vergleich mit der Verkehrsunfallstatistik werden daher nur Unfälle berücksichtigt, die in der Freizeit passierten und zwar nur jene, die sich auf öffentlichen Verkehrsflächen und privaten und öffentlichen Parkplätzen ereigneten, da nur diese laut Definition Verkehrsunfälle sind (Pfaffenbichler et al. 2011). Pfaffenbichler et al. (2011) haben die Durchschnittswerte der Jahre 2007 bis 2009 der IDB für Vergleiche mit der Verkehrsunfallstatistik gewählt. In diesem Zeitraum verletzten sich jährlich rund 5.600 Radfahrerinnen laut Verkehrsunfallstatistik und laut IDB etwa 15.800 auf Verkehrsflächen (Abbildung 2-2). Es muss davon ausgegangen werden, dass die tatsächliche Dunkelziffer von Radunfällen mit Personenschaden, die sich auf öffentlichen Verkehrsflächen und Parkplätzen ereignen, höher ist.

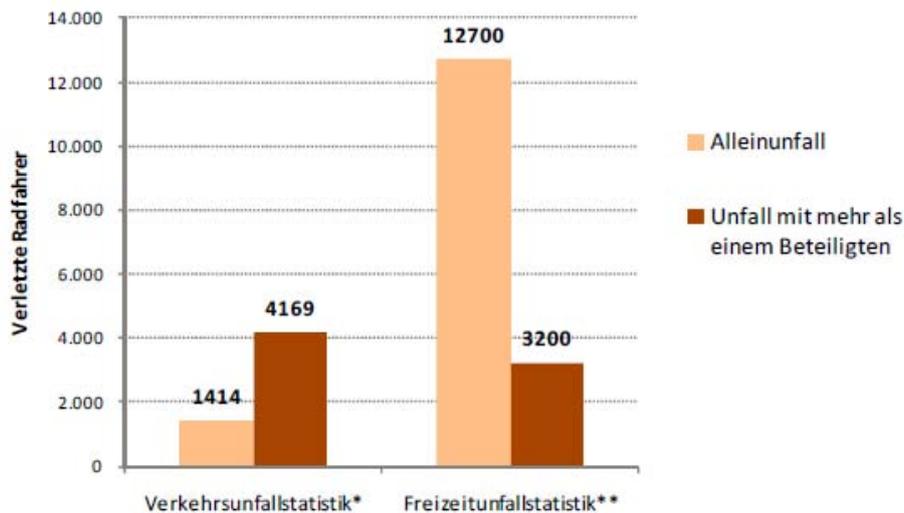


Abbildung 2-2 Verletzte Radfahrerinnen bei Alleinunfällen und Unfällen mit mehr als einer Unfallbeteiligten in der Verkehrsunfallstatistik und Freizeitunfallstatistik (nicht polizeilich erfasst) (Pfaffenbichler et al. 2011)

Grundsätzlich wäre davon auszugehen, dass die Unfallschwere in der Dunkelziffer eher leicht ist, weil die Exekutive bzw. Rettung bei leichten Alleinunfällen vermutlich nicht verständigt wird. Eine eindeutige Aussage über die Verteilung der Unfallschwere bei der Dunkelziffer von Radunfällen kann jedoch nicht getroffen werden. Pfaffenbichler et al. (2011) schätzen die Unfallschwere in der Freizeitunfallstatistik über die stationäre Behandlungsdauer, jedoch handelt es sich auch bei ambulant behandelten Knochenbrüchen um schwere Verletzungen. Knochenbrüche machen immerhin 44 % der Verletzungen aus, es gibt allerdings keine Information zu deren Verteilung auf ambulante und stationäre Behandlungen. Auch gibt es keine Aufschlüsselung über die Verteilung der Schweregrade von Kopfverletzungen. Eine genauere Aufschlüsselung über die Verletzungsarten und deren Schweregrad wäre für eine bessere Untersuchung des Fahrradunfallgeschehens wünschenswert.

2.3 Risiko von Verkehrsunfällen

Um das Risiko von Verkehrsunfällen beurteilen zu können, reicht es nicht, die absoluten Zahlen zu kennen, sie müssen in Bezug zu einer weiteren Größe gesetzt werden, um die Gefährdung der Individuen zu bewerten. In der Medizin bezeichnet beispielsweise die Mortalität oder Sterberate die Anzahl der Todesfälle bezogen auf die Gesamtanzahl der Individuen. Hier wird die Gesamtbevölkerung als Vergleich herangezogen, dies ermöglicht beispielsweise einen Vergleich zwischen Ländern mit

unterschiedlicher Einwohnerinnenzahl. Für Untersuchungen zur Verkehrssicherheit ist die Einwohnerzahl nicht relevant, diese sagt nicht viel über die Verkehrsbedingungen in einem Untersuchungsgebiet aus. Im Verkehrswesen ist es daher sinnvoll andere Indizes anzuwenden, die einen Vergleich mit anderen Verkehrsmitteln zulassen bzw. einen Bezug zur Verkehrsleistung herstellen.

Die International Traffic Safety and Analysis Group des International Transport Forums nennt folgende Indizes für die Bewertung des Gefährdungspotenzials im Verkehr (International Transport Forum/OECD 2012):

- (1) Todesfälle pro 100.000 Einwohnerinnen
- (2) Todesfälle pro Milliarden Fahrzeugkilometer
- (3) Todesfälle pro 10.000 registrierte Fahrzeuge

2.3.1 Todesfälle pro 100.000 Einwohnerinnen

Dieser Index ist am einfachsten zu ermitteln, gleichzeitig ist er der mit der geringsten Aussagekraft. Er gibt die durchschnittliche Wahrscheinlichkeit einer Person an, im Verkehr tödlich zu verunglücken. Er eignet sich gut für Vergleiche von Ländern mit gleichem oder ähnlichem Motorisierungsgrad, nicht jedoch für Vergleiche zwischen Ländern mit sehr unterschiedlichen Motorisierungsgraden oder für Vergleiche zwischen verschiedenen Verkehrsmitteln.

2.3.2 Todesfälle pro Milliarden Fahrzeugkilometer

Dieser Index beschreibt die Unfallwahrscheinlichkeit im Verkehr am besten, dennoch gibt es nur wenige Länder, die Daten zu den gefahrenen Kilometern erheben. Wenn der Besetzungsgrad von Kfz berücksichtigt wird, können Todesfälle pro Mrd. Personenkilometer gerechnet werden.

2.3.3 Todesfälle pro 10.000 registrierte Fahrzeuge

Bei diesem Index handelt es sich um eine Annäherung an den vorher genannten. Hier werden allerdings keine Kilometer berücksichtigt, die mit nichtmotorisierten Fahrzeugen zurückgelegt wurden. Er eignet sich gut für Vergleiche zwischen Ländern mit ähnlichem Modal Split.

2.4 Unfallkennzahlen von Radfahrerinnen in Österreich

Die Unfallkennzahlen, die dazu dienen, das Risiko von Verkehrsunfällen in Österreich zu bewerten sind:

- (1) Verunglücktenrate (Verunglückte/1Mio km)
- (2) Verunglücktenzeirrate (Verunglückte/100.000 Stunden Verkehrsbeteiligungsdauer)
- (3) Getötetenrate (Getötete/ 100 Mio km)
- (4) Getötetenzeirrate (Getötete/10 Mio. Stunden Verkehrsbeteiligungsdauer)

Um diese Unfallkennzahlen zu ermitteln, braucht es Daten zur Verkehrsleistung, die im folgenden Kapitel ermittelt werden.

2.4.1 Radverkehrsleistung in Österreich

Um die Verunglückten- und Getötetenraten von Radfahrerinnen in Österreich zu berechnen, braucht es Daten zur Radverkehrsleistung. Es ist für den Radverkehr leider schwierig, repräsentative Zählstellen zu finden, da er größtenteils auf dem untergeordneten Straßennetz stattfindet. Für seriöse Hochrechnungen ist allerdings ein dichtes Zählnetz notwendig, daher ist die Datengrundlage zum Radverkehr relativ schlecht. Ein weiterer erschwerender Faktor ist die Witterungsabhängigkeit des Radverkehrs, die bei Erhebungen berücksichtigt werden muss (VCÖ 2010)

Die Jahresverkehrsleistung wird auf Basis der durchschnittlichen Weglänge und der durchschnittlichen Weganzahl pro Person und Tag berechnet. Diese Zahlen wurden mit 365 und den Bevölkerungszahlen der Statistik Austria des Jahres 2008 multipliziert. Die allgemeinen Mobilitätskennzahlen (Weglänge und Weganzahl), die in dieser Arbeit herangezogen werden, entstammen den Auswertungen der Mobilitätsbefragungen für das Jahr 2008, die von Herry Consult (2013) durchgeführt wurden. Die Jahresverkehrsleistung für den Radverkehr für das Jahr 2008 nach Altersklassen findet sich auf Tabelle 2-2.

Tabelle 2-2 Mobilitätskennzahlen für den Radverkehr in Österreich für das Jahr 2008 (Herry Consult, 2013)

	Österreich 2008 (Personen ab 6 Jahren)						
	Altersklasse						
	bis 14	15 - 24	25 - 34	35 - 49	50- 64	65 und älter	Total
Personenanzahl	798.291	1.022.077	1.088.746	2.032.514	1.483.872	1.427.625	7.853.125
Radweglänge [km]	2,3	3,2	3,1	3,6	2,9	2,5	2,9
Radanteil	7,90%	3,60%	5,80%	6,10%	8,80%	6,90%	6,80%
Wege/ Person	3,3	2,8	3,00	3,1	2,8	2,6	2,9
Radverkehrsleistung pro Tag pro Person [km/d]	0,61	0,32	0,55	0,68	0,71	0,44	0,57
Radverkehrsleistung pro Tag, alle Personen [km/d]	490.367	327.305	597.763	1.388.473	1.053.230	626.088	4.483.226
Radverkehrsleistung pro Jahr [km]	178.983.921	119.466.217	218.183.541	506.792.781	384.428.949	228.521.977	1.636.377.386

2.4.2 Verunglückenrate nach Verkehrsleistung

Zur Bestimmung des Unfallrisikos (Verletzten- und Getötetenraten) für verschiedene Verkehrsteilnehmerinnen nach Altersgruppen in Österreich werden die Daten der Verkehrsunfallstatistik des KfV sowie die von Herry Consult (2013) berechneten Verkehrsleistungen herangezogen. Diese Jahresverkehrsleistungen wurden dann in Relation zu den jährlich durchschnittlich Verunglückten bzw. tödlich Verunglückten gesetzt. In dieser Arbeit, wie auch in Pfaffenbichler et al. (2011), wird nur mit den Daten der Verkehrsunfallstatistik gerechnet, da in der Freizeitunfallstatistik eine systembedingte Unschärfe auf Grund der Hochrechnung der Befragungsergebnisse besteht, außerdem gibt es auch eine Dunkelziffer bei anderen Verkehrsmitteln, insbesondere bei Unfällen von Fußgängerinnen. In der NKA werden die Auswirkungen von einer Substitution des Verkehrsmittels Fahrrad untersucht, die mit einer Änderung des Unfallrisikos einhergeht. Die Dunkelziffer anderer Verkehrsmittel, insbesondere der Fußgängerinnen, müsste in der Nutzen-Kosten-Analyse berücksichtigt werden, diese ist jedoch ebenfalls unbekannt.

Die Verunglücktenrate für ein Verkehrsmittel wird nach Formel 2-1 berechnet (Pfaffenbichler et al. 2011):

Formel 2-1 Berechnung der Verunglücktenrate

$$VR = \frac{V \times 10^6}{W \times dWL \times EW \times 365} = \frac{V \times 10^6}{VL}$$

VR Verunglücktenrate [Verunglückte/1 Mio. km]

V Anzahl der verunglückten Verkehrsteilnehmerinnen im Untersuchungsgebiet während des Untersuchungszeitraums [Personen]

W Anzahl der Wege pro Person und Tag

dWL Durchschnittliche Weglänge [Kilometer]

EW Einwohnerinnen im Untersuchungsgebiet

VL Jahresverkehrsleistung

Die Ergebnisse nach Altersklassen und Modal-Split finden sich in Tabelle 2-3

Tabelle 2-3 Verunglücktenrate pro 1 Mio. Kilometer Verkehrsleistung nach Verkehrsbeteiligung und Altersklasse, Jahresdurchschnitt 2005 – 2009 (Pfaffenbichler et al., 2011)

Modal-Split	Verunglücktenrate nach Verkehrsbeteiligung und Altersklassen pro 1.000.000 Kilometer Verkehrsleistung						Total
	Durchschnitt 2005 – 2009						
	6 bis 14 Jahre	15 bis 24 Jahre	25 bis 34 Jahre	35 bis 49 Jahre	50 bis 64 Jahre	65 und älter	
Fußgänger	1,83678	2,57869	1,01061	1,06311	0,92041	1,33972	1,31550
Radfahrer	3,95901	5,96319	3,26514	2,64881	2,93526	4,03637	3,37734
MIV-Lenker	0,19782	2,66687	0,63659	0,46225	0,35488	0,43909	0,66978
MIV-Mitfahrer	0,55921	1,50645	1,24537	0,47242	0,38324	0,30512	0,67805
ÖV Fahrgast	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	0,01547
Total	0,42518	0,85034	0,56086	0,38373	0,32015	0,48385	0,50313

2.4.3 Verunglücktenzeiträte

Eine weitere Kenngröße zur Bewertung des Risikos eines Verkehrsmittels ist die Verunglücktenzeiträte. Sie beschreibt das Risiko nach der Verkehrsbeteiligungsdauer und eignet sich besser für einen Vergleich zwischen verschiedenen Verkehrsmitteln, da Fußgängerinnen und Radfahrerinnen in der gleichen Zeit kürzere Strecken zurücklegen. Sie wird nach Formel 2-2 berechnet (Pfaffenbichler et al., 2011)

Formel 2-2 Berechnung der Verunglücktenzeiträte

$$VZ = \frac{V \times 10^5}{W \times dWD \times EW \times 365}$$

VZ Verunglücktenzeiträte pro 100.000 Stunden Verkehrsbeteiligungsdauer

V Anzahl der verunglückten Verkehrsteilnehmerinnen im Untersuchungsgebiet während des Untersuchungszeitraums [Personen]

W Anzahl der Wege pro Person und Tag

dWD Durchschnittliche Verkehrsbeteiligungsdauer pro Weg [Stunden pro Weg]

EW Einwohnerinnen im Untersuchungsgebiet

Abbildung 2-3 zeigt die Verunglücktenzeitraten für verschiedene Verkehrsmittel in Österreich.

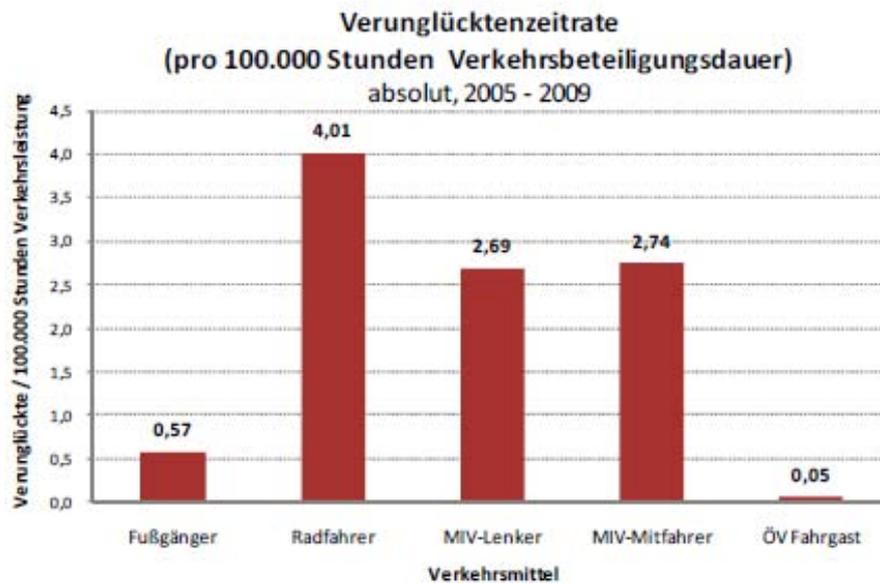


Abbildung 2-3 Verunglücktenzeirrate pro 100.000 Stunden Verkehrsbeteiligungsdauer nach Verkehrsmittel, Jahresdurchschnitt 2005 – 2009 (Pfaffenbichler et al. 2011)

Die Verunglücktenraten nach Verkehrsleistung zeigen, dass Radfahrerinnen das größte Risiko haben, bei einem Verkehrsunfall zu verunglücken (ca. 3,4 Verunglücke pro 1 Mio. gefahrener Kilometer). Die Wahrscheinlichkeit als MIV-Insassin zu verunglücken ist 5-mal geringer, als Fußgängerin 2,5-mal geringer. Betrachtet man die Verunglücktenzeirrate sind auch hier Radfahrerinnen die gefährdetsten Verkehrsteilnehmerinnen, das Verhältnis zum MIV ist aber nur noch 1,5-mal größer und Fußgängerinnen sind hier 7-mal weniger gefährdet (Pfaffenbichler et al., 2011)

2.4.4 Getötetenraten und Getötetenzeitraten

Aufgrund der hohen Dunkelziffer von Radverkehrsunfällen eignen sich für einen Vergleich zwischen Verkehrsmitteln die Getötetenraten besser, da bei Verkehrsunfällen mit Todesfällen nicht mit einer Dunkelziffer zu rechnen ist. Pfaffenbichler et al. (2011) haben die Getötetenraten und Getötetenzeitraten für Österreich berechnet, die Ergebnisse sind in Tabelle 2-4 und Abbildung 2-4 dargestellt.

Hier zeigt sich, dass MIV-Lenkerinnen nach Verkehrsbeteiligungsdauer das höchste Risiko aufweisen tödlich zu verunglücken.

Tabelle 2-4 Getötetenrate nach Verkehrsmittel und Altersklassen pro 100 Mio. Kilometer Verkehrsbeteiligung, Jahresdurchschnitt 2005-2009 (Pfaffenbichler et al. 2011).

Modal-Split	Getötetenrate nach Verkehrsmittel und Altersklassen pro 100 Mio. Kilometer Verkehrsleistung Durchschnitt 2005 - 2009						
	6 bis 14 Jahre	15 bis 24 Jahre	25 bis 34 Jahre	35 bis 49 Jahre	50 bis 64 Jahre	65 und älter	Total
Fußgänger	1,01	4,85	1,45	2,03	2,21	7,26	3,31
Radfahrer	0,78	2,68	1,19	1,50	3,07	8,75	2,85
MIV-Lenker	0,00	2,70	0,72	0,61	0,65	1,50	0,91
MIV-Mitfahrer	0,28	1,30	1,31	0,46	0,43	0,71	0,68
ÖV Fahrgast	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	0,01
Total	0,18	0,84	0,60	0,47	0,52	1,64	0,66

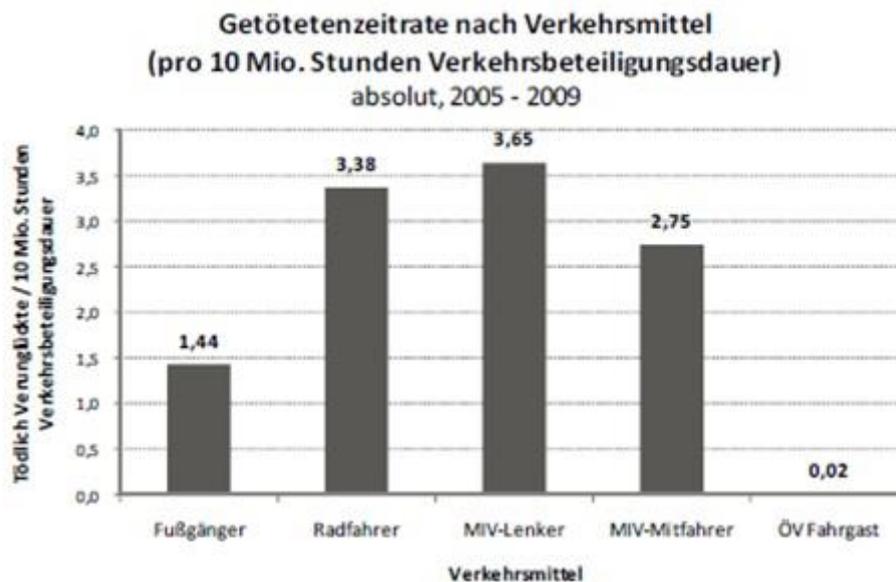


Abbildung 2-4 Getötetenzeitrate nach Verkehrsmittel pro 10 Mio. Stunden Verkehrsbeteiligung, Jahresdurchschnitt 2005-2009 (Pfaffenbichler et al. 2011)

3 Die Bedeutung von Kraftfahrzeugen für Radunfälle

Bei Radfahrerinnen handelt es sich um schwache Verkehrsteilnehmerinnen. Im Gegensatz zu Autofahrerinnen besitzen sie keine „Schutzhülle“, haben eine viel geringere Masse und bewegen sich mit kleineren Geschwindigkeiten fort. Unfälle, in denen verschiedene Verkehrsmittel involviert sind, haben nicht die gleichen Auswirkungen für alle Beteiligten, schwächere Verkehrsteilnehmerinnen sind gegenüber anderen in dieser Hinsicht benachteiligt.

Die Unterschiede in der Unfallschwere für verschiedene Verkehrsmittel lassen sich anhand eines Ungleichheit-Faktors gut zeigen, hier wird das Verhältnis der Verunglückten bei einem Unfall mit Beteiligung unterschiedlicher Verkehrsmittel betrachtet. Beim Ungleichheits-Faktor wird die Anzahl der Schwerverletzten des schwachen Verkehrsmittels durch die des Starken dividiert. Per Definition ist der Faktor größer gleich eins, da das schwache Verkehrsmittel im Zähler ist und immer mehr Verunglückte hat (SWOV 2009). Tabelle 3-1 zeigt vom Niederländischen Institut für Verkehrssicherheitsforschung berechnete Ungleichheits-Faktoren für die Niederlande. Die Ungleichheit-Faktoren für Fußgängerinnen, Radfahrerinnen und Mopeds liegen bei weit unter 10, sobald es sich bei einer Unfallgegnerin um ein Kfz handelt, steigt der Faktor in die Hunderter-Bereiche.

Tabelle 3-1 Ungleichheits-Faktor für schwere Unfälle mit zwei beteiligten Verkehrsmitteln in den Niederlanden. Jahresdurchschnitt 2004-2008 (SWOV 2009)

Transport mode of casualty	Crash opponent transport mode				
	Bicycle	(Light-) moped	Motorcycle	Car or van	Lorry
Pedestrian	1.7	3.8	3.9	202.6	-
Bicycle	1	1.8	2.4	126.2	245.0
(Light-) moped		1	1.8	129.5	191.0
Motorcycle			1	37.9	127.0
Van & Car				1	18.6
Lorry					1

Zahlreiche Studien zeigen auch, dass Kraftfahrzeuge in 90 bis 100 % der tödlichen Radunfälle verwickelt sind allerdings nur in 9 % bis 70 % der Radunfälle (Acton et al. 1995; Frank et al. 1995; Kennedy 1996; Kraus et al. 1987; Rowe et al. 1995; Finnoff et al. 2001). Beim Großteil der leichteren Radunfälle handelt es sich um Alleinunfälle (Aertsens et al. 2010; Foss & Beirness 2000).

Radunfälle fallen also schwerer aus, wenn ein Kfz involviert ist (Haileyesus et al. 2007; Stutts & Hunter 1999; Haworth et al. 2010). Dieser Umstand, ist nicht verwunderlich zumal ein Sturz mit dem Fahrrad eine geringere Aufprallenergie aufweist. Die übertragene Energie ist eine Funktion der Masse mal dem halben Quadrat der Geschwindigkeit, so erfährt ein Kopf während eines Sturzes auf den Boden bei 19 km/h nur 36 % der Energie, die derselbe Kopf bei einer Kollision mit einem Kfz und einer kombinierten Geschwindigkeit von 32 km/h erfahren würde. Bei größeren Geschwindigkeiten ist dieser Unterschied größer: ein zwei Tonnen Fahrzeug, das mit 50 km/h fährt, besitzt eine 200 Mal größere kinetische Energie als ein 85 kg schwerer Mensch, der mit 15 km/h auf einem 15 kg schweren Fahrrad unterwegs ist (Jacobsen & Rutter 2012).

Aus einer Fall-Kontroll-Studie von Rivara et al. (1997) geht hervor, dass das Risiko, eine schwere Verletzung bei einem Radunfall zu erleiden, um das Vierfache und zu sterben um das 14-fache steigt, wenn ein Kfz involviert ist. McCarthy & Gilbert (1996) untersuchten tödliche Unfälle von Radfahrerinnen zwischen 1985 und 1992 in London und fanden heraus, dass LKWs die größte Gefahr für Radfahrerinnen in urbanen Gebieten darstellen.

Bíl et al. (2010) untersuchten Radunfälle mit tödlichem Ausgang für Radfahrerinnen in der Tschechischen Republik in den Jahren 1995 bis 2007. In 64 % der tödlichen Radunfälle handelte es sich um Unfälle mit Beteiligung von motorisierten Fahrzeugen. Die Autorinnen geben an, dass Autofahrerinnen 1,62 Mal öfter Schuld an einem tödlichen Unfall waren als Radfahrerinnen (589 vs. 370), wobei eine Geschwindigkeitsüberschreitung seitens der Autofahrerinnen als Hauptursache genannt wird.

Stone & Broughton (2003) zeigen, dass die Getötetenrate (hier als Anzahl der tödlichen Unfälle durch Anzahl der Unfälle mit schweren Verletzungen) für Radfahrerinnen mit zunehmender Geschwindigkeit des MIV zunimmt (Tabelle 3-2). Die Autorinnen untersuchten über 30.000 Radunfälle mit schweren bzw. tödlichen Verletzungen aus den Jahren 1990 bis 1999 im Vereinigten Königreich.

Table 6
Speed limits and back-hit fatality rates for no-junction accidents

Speed limit (mph)	Not back/B	Back/B
30	3	5
40	7	13
60	8	21
70	11	31

Janssen & Wismans (1985) untersuchten die Auswirkung der Aufprallgeschwindigkeit bei Unfällen mit Pkws und stellten eine Reduktion der Beschleunigung des Kopfes von Dummies von 40 % für Fußgängerinnen und 50 % für Radfahrerinnen bei einer Reduktion der Aufprallgeschwindigkeit von 40 auf 30 km/h fest. Olivier et al. (2013) geben an, dass Radfahrerinnen bei Unfällen mit einem Kfz und einem Geschwindigkeitsunterschied ab 60 km/h in der Regel Schädelbrüche erleiden, die mit einer sehr geringen Überlebenschance einhergehen.

Nach Kim et al. (2007) ist bei Radunfällen mit Beteiligung von Kraftfahrzeugen die Geschwindigkeit des Kfz die wichtigste Einflussgröße für den Schweregrad einer Verletzung der Radfahrerinnen. Sie berechneten einen Grenzwert ab einer Kfz-Geschwindigkeit von 20 mph (32,2 km/h), ab der die Getötetenraten überproportional steigen. In Bezug auf Geschwindigkeiten von unter 32,2 km/h. steigen die Getötetenraten bei Geschwindigkeiten von 32,2 bis 48,3 km/h um 92,5 %, bei 48,3 bis 64,4 km/h um 302,7 %, bei 64,4 bis 80,5 km/h um 1.159,1 % und bei Geschwindigkeiten von über 80,5 km/h um 1.503,9 %. Das heißt beispielsweise, dass die Wahrscheinlichkeit einer Radfahrerin bei einem Pkw-Rad-Unfall zu sterben um das 11-fache steigt, wenn ein Pkw mit 65 km/h fährt statt mit 32,2 km/h. Dieser Grenzwert unterstützt die Forderung nach zulässigen Höchstgeschwindigkeiten von 30 km/h in Wohngebieten und Gebieten mit viel Rad- und Fußverkehr bzw. wo der nichtmotorisierte Verkehr gefördert werden soll.

Geschwindigkeitsüberschreitungen gehören zu den größten Verkehrssicherheitsproblemen in Ländern mit hohen Motorisierungsgraden, gleichzeitig haben sie sich als normales Verhalten im Straßenverkehr etabliert und werden von den Menschen nicht als prioritär zu behandelndes Problem betrachtet (Elvik 2010).

Was die Schuldfrage betrifft, zeigt sich bei Kim et al. (2007) ein anders Bild als bei Bíl et al. (2010). Radfahrerinnen waren in 55,5 % der Fälle Schuld am Unfall, Autofahrerinnen in 22,2 %.

Ungeachtet dessen, ob die Schuld bei den Radfahrerinnen oder bei den Autofahrerinnen zu suchen ist, sollte die Rolle der Planerinnen mehr Beachtung erhalten. Es ist davon auszugehen, dass Menschen Fehler machen und Regeln brechen. Um die Zahl der Verunglückten und Verkehrstoten zu verringern, müssen Verkehrssysteme so geplant werden, dass die Konsequenzen bzw. Häufigkeit dieser Fehler und Regelverstöße möglichst gering bleiben. Die Frage nach den Ursachen von Unfällen sollte sich stellen, um nach planerischen Lösungen für die Zukunft zu entwickeln und weniger um Schuldige festzumachen, selbstverständlich ohne diese aus ihrer Verantwortung zu entlassen (Fahlquist 2006).

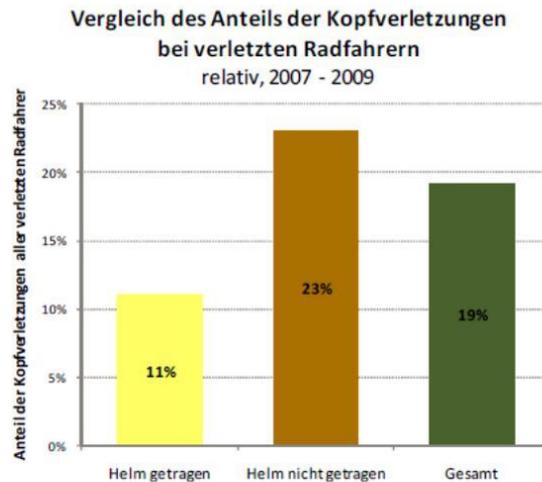
4 Kopfverletzungen

Die Internationale statistische Klassifikation der Krankheiten und verwandter Gesundheitsprobleme (Englisch: International Classification of Diseases –ICD) ist das weltweit anerkannte Diagnoseklassifikationssystem für Epidemiologie, Gesundheitsmanagement und klinische Zwecke. Krankheiten und Verletzungen werden für statistische Zwecke kodiert um ihre Inzidenz und Prävalenz zu überwachen um die allgemeine Gesundheitslage der Länder und Bevölkerungsgruppen abzubilden (WHO 2015b).

Die aktuell gültige Version ist ICD-10: 2015. Kopfverletzungen sind im Kapitel XIX „Verletzungen, Vergiftungen und bestimmte andere Folgen äußerer Ursachen“ angeführt, es handelt sich hierbei um die Codes S00 bis S09. Unter Kopfverletzungen werden alle Verletzungen im Bereich des Kopfes verstanden, dies inkludiert auch Verletzungen an Ohren, Augen, Gesicht, Zahnfleisch, Kiefer, Kiefergelenk, Mundhöhle, Gaumen, Periokularregion, Kopfhaut, Zunge und Zähne (WHO 2015a). Der Arbeitskreis "Österreichische Radhelminitiative", in dem nahezu alle an Unfallverhütung interessierten Institutionen vertreten waren, zählt in seinem Bericht auch Genicksverletzungen zu den Kopfverletzungen (Furian & Gruber 1999)

Radunfälle mit Kopfverletzungen in Österreich

In der Verkehrsunfallstatistik werden verletzte Körperteile nicht erfasst, weshalb Aussagen über Verletzungsarten nur aus Hochrechnungen der Freizeitunfallstatistik möglich sind. Das KfV hat aus den Daten der IDB eine Zusammenstellung der verletzten Körperteile bei Radunfällen erstellt. Je nach Altersklasse variiert der Anteil an Kopfverletzungen zwischen 6 und 30 % zwischen den Jahren 2007 und 2009. Die Hochrechnung ergibt einen Anteil von 19 % Kopfverletzungen für alle mit dem Fahrrad Verunglückte, 23 % unter Nicht-Helmträgerinnen und 11 % unter Helmträgerinnen
Abbildung 4-1.



Vergleich des Anteils der Kopfverletzungen bei verletzten Radfahrern mit oder ohne Helm (auf Verkehrsflächen, in der Freizeit), 2007 – 2009, in %. Q: KfV, IDB Austria, 2010; Hochrechnung gerundet, N= 512

Abbildung 4-1 Anteil an Kopfverletzungen unter verunglückten Radfahrerinnen mit und ohne Helm in Österreich (Pfaffenbichler et al. 2011)

Für Getötete Radfahrerinnen wird die Todesursache in der Todesursachenstatistik der Statistik Austria dokumentiert. Eine Auswertung dieser erfolgte durch das KfV und ergab, dass etwa die Hälfte (Abbildung 4-2) aller getöteten Radfahrerinnen zwischen 2004 und 2009 an den Folgen von Kopfverletzungen starben, wobei keine Info zum Helmtragen angegeben ist (Pfaffenbichler et al., 2011).

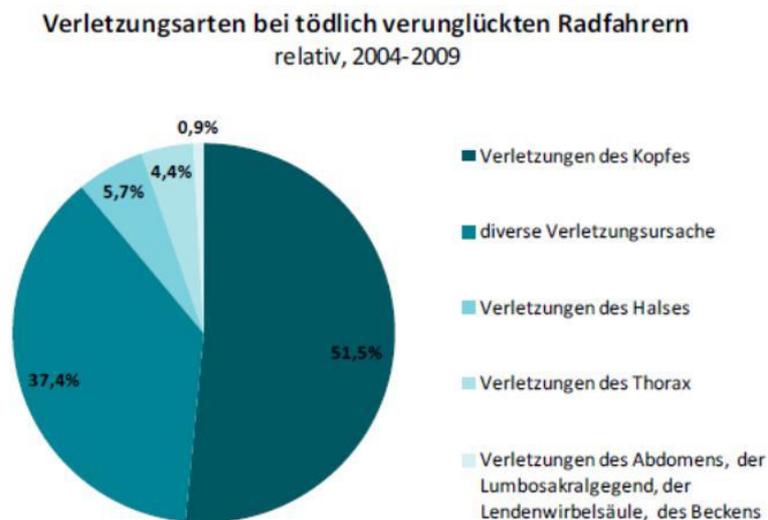


Abbildung 4-2 Verletzungsarten bei tödlich verunglückten Radfahrerinnen (Pfaffenbichler et al. 2011)

Ein großer Unterschied zwischen Freizeitunfallstatistik und Verkehrsunfallstatistik liegt im Verhältnis zwischen Alleinunfällen und Verkehrsunfällen mit mehr als einer Beteiligten. Da die Wahrscheinlichkeit, eine Kopfverletzung zu erleiden von der Freizeitunfallstatistik übernommen wird, muss sichergestellt werden, dass es nicht zu

einer Unterschätzung kommt, wenn die gleiche Wahrscheinlichkeit in der Nutzen-Kosten-Analyse für die Verkehrsunfallstatistik herangezogen wird. Spalte et al. (1991) untersuchten ausschließlich Unfälle mit Beteiligung von motorisierten Fahrzeugen und aus ihren Daten ergibt sich eine Wahrscheinlichkeit einer Kopfverletzung für alle Radfahrerinnen von 13,3 %. Hailey et al. (2007) werteten ebenfalls Daten von Unfällen mit motorisierten Fahrzeugen aus und geben eine Kopfverletzungswahrscheinlichkeit von 19,7 % an. Robinson (1996) gibt Wahrscheinlichkeiten von 8 % bis 18 % an. Vergleicht man diese Wahrscheinlichkeiten mit denen der Freizeitunfallstatistik für alle Radfahrerinnen (19 %), so ist die Vorgehensweise für die Nutzen-Kosten-Analyse legitim.

5 Schutzwirkung von Radhelmen

Seit den 1980er Jahren finden sich in der Literatur zahlreiche Studien zur Schutzwirkung von Fahrradhelmen. Hier seien Laboruntersuchungen, Populationsstudien und Fall-Kontroll-Studien erwähnt (Attewell et al. 2001). In dieser Arbeit wird im Speziellen auf Fall-Kontroll-Studien eingegangen.

5.1.1 Fall-Kontroll-Studien

Fall-Kontroll-Studien werden in der Epidemiologie in der Medizin angewendet, um Aussagen über den Zusammenhang zwischen einer Exposition bestimmter Bevölkerungsgruppen und einer Erkrankung zu treffen. Beispielsweise ist der statistische Zusammenhang zwischen Rauchen (Exposition) und Lungenkrebs (Erkrankung) bekannt. Um Aussagen über die Schutzwirkung von Fahrradhelmen zu treffen, wird die Verletzungswahrscheinlichkeit (Odds) von Helmträgerinnen und Nichtträgerinnen berechnet und miteinander verglichen. In diesem Fall entspricht das Nichttragen eines Helmes einer Exposition und eine Verletzung entspricht der Erkrankung. Die Fälle sind Personen mit Kopfverletzung und die Kontrollgruppen bestehen aus Personen ohne Kopfverletzung (Elvik 2011).

Als statistische Maßzahl dient die Odds Ratio (OR), auch Quotenverhältnis genannt. Sie sagt aus, um wie viel Mal wahrscheinlicher eine Kopfverletzung für eine Person ohne Helm ist. Eine OR kleiner als eins wird als Schutzwirkung von Radhelmen interpretiert. Je kleiner die OR, umso größer ist die Schutzwirkung von Helmen. Tabelle 5-1 zeigt wie die OR berechnet wird.

Tabelle 5-1 Definition der Odds Ratio (Quotenverhältnis) (Attewell et al. 2001)

Table 1
Definition of odds ratio (OR)^a for head injury for helmeted versus unhelmeted cyclists

	Head injury	No head injury	Total
Helmet	[a]	[b]	a + b
No helmet	[c]	[d]	c + d

^a OR (helmet vs. no helmet) = $(a/b)/(c/d) = ad/bc$

Die Daten für Fall-Kontroll-Studien stammen von verunglückten Radfahrerinnen, die in einem bestimmten Zeitraum in Krankenhäusern behandelt wurden. Eine Schwäche von Fall-Kontroll-Studien ist, dass nicht alle in einen Unfall verwickelten Radfahrerinnen berücksichtigt werden können. Radfahrerinnen, die während eines

Unfalls einen Helm getragen haben, der sie vor einer Kopfverletzung geschützt hat, werden nicht immer ein Krankenhaus aufsuchen, wenn sie sonst keine anderen Verletzungen erlitten haben. Diese würden somit nicht in der Kontrollgruppe der Helmträgerinnen aufscheinen und somit die errechnete Schutzwirkung des Helmes verringern (Thompson et al. 1996). Ein weiteres Problem ist, dass Radfahrerinnen, die sich bei einem Unfall nicht den Kopf angeschlagen haben, aber aufgrund anderer Verletzungen im Krankenhaus behandelt werden, zu den Kontrollgruppen gezählt werden. Für den Fall, dass eine solche Person einen Helm getragen hätte, würde sich dies positiv auf die angenommene Schutzwirkung von Helmen auswirken (OR würde kleiner werden). Hätte sie keinen Helm getragen, hätte das den gegenteiligen Effekt (OR würde größer werden), obwohl der Kopf auch ohne Helm nicht verletzt worden wäre.

5.1.2 Meta-Analyse Fall Kontroll-Studien

Fall-Kontroll-Studien werden nicht einheitlich durchgeführt, wodurch sich ihre Vergleichbarkeit schwierig gestaltet. Attewell et al. (2001) publizierten eine Metaanalyse mit 16 Fall-Kontroll-Studien, die zwischen 1987 und 1998 durchgeführt wurden und auf Daten basieren, die zwischen 1980 und 1995 gesammelt wurden. Sie machen auf verschiedene Unterschiede zwischen den Studien aufmerksam: Bei drei dieser Studien handelt es sich um Befragungen. Alle anderen Studien basieren auf Daten von Spitälern in Australien, Kanada und im Vereinigten Königreich, in denen verletzte Radfahrerinnen behandelt wurden.

Diesen Studien liegen verschiedene Unfallszenarien zugrunde. Manche untersuchen nur Unfälle von Kindern, andere berücksichtigen nur Unfälle, in denen motorisierte Fahrzeuge verwickelt waren und andere behandeln nur Unfälle, die sich nicht im Straßenverkehr ereignet haben. Auch im Umfang der Stichproben gibt es große Unterschiede. Diese reichen von 21 bis einige Tausend.

Weitere wichtige Unterschiede sind die genaue Definition der Kontrollgruppen, die berücksichtigten Verletzungen, die Klassifizierung nach Körperregionen und die Schwere der Verletzung. Manche Studien unterscheiden nur grob zwischen Kopf, Rumpf, oberen und unteren Extremitäten, weshalb auch Gesichts- und Nackenverletzungen zu den Kopfverletzungen gezählt werden. Auch gibt es verschiedene Definitionen von Gehirnerschütterung.

Elvik (2013) führte eine Korrektur von Attewell et al. (2001) auf Publikationsbias durch und liefert mit sieben zusätzlich untersuchten Studien die Ergebnisse für die ORs, die in dieser Arbeit in der Kosten-Nutzen-Rechnung herangezogen werden (Tabelle 5-2).

Tabelle 5-2 Schutzwirkung von Helmen nach verletztem Körperteil als OR. 95 % Konfidenzintervall in Klammer. Anzahl der untersuchten Studien in eckiger Klammer (Eigene Darstellung, Daten Elvik, 2013)

Studie	Attewell et al. (2001)	Elvik (2013)	
		Studien wie in Attewell	Mit zusätzlichen Studien
Verletzter Körperteil	OR		
Kopf	0,40 (0,29; 0,55) [12]	0,43 (0,31; 0,59) [16]	0,50 (0,39; 0,65) [23]
Gesicht	0,53 (0,39; 0,73) [7]	0,58 (0,44; 0,77) [9]	0,79 (0,62; 1,01) [13]
Hals	1,36 (1,00; 1,86) [3]	keine Korrektur möglich	keine Korrektur möglich
Kopf, Gesicht oder Hals		0,57 (0,45; 0,72) [28]	0,67 (0,56; 0,82) [39]
Gehirn	0,42 (0,26; 0,67) [8]	0,42 (0,26; 0,67) [8]	
Tödliche Verletzungen	0,27 (0,1; 0,72) [6]		0,37 (0,15; 0,90) [10]

Tabelle 5-2 zeigt, dass die Schutzwirkung von Helmen variiert, wenn eine Unterscheidung nach Kopfregionen getroffen wird. So ist die Schutzwirkung für das Gesicht kleiner, für den Hals etwa steigt das Risiko einer Verletzung (nicht signifikant), wenn ein Helm getragen wird (Elvik 2013).

Für eine bessere Auswertung in der Nutzen-Kosten-Analyse müsste eine feinere Erfassung von Kopfverletzungen getroffen werden, sodass die jeweilige Schutzwirkung angesetzt werden kann. Das KfV macht in seiner Auswertung allerdings keinen Unterschied zwischen Kopf-, Gesicht-, oder Gehirnverletzungen. Verletzungen des Halses sind ausgenommen. In dieser Arbeit wird mit der Schutzwirkung für Verletzungen des Kopfes bzw. für tödliche Verletzungen gerechnet ($OR_v = 0,5 [0,39; 0,65]$, $OR_g = 0,37 [0,15; 0,90]$).

6 Helmtragequoten

6.1 Radhelmtragequoten in Österreich

Die Tragequoten sind in Österreich zwischen 1994 (6 %) und 2006 (22 %) gestiegen. Die letzte aktuelle Erhebung zur Verwendung von Radhelmen in Österreich wurde 2009 vom KfV durchgeführt. Diese ergab, dass 33 % aller Frauen und 37 % aller Männer beim Radfahren einen Helm tragen. Insgesamt wurden 19.306 Radfahrerinnen in allen Landeshauptstädten beobachtet (Pfaffenbichler et al. 2011). Abbildung 6-1 gibt einen Überblick über die Tragequoten nach Altersklassen und Geschlecht.

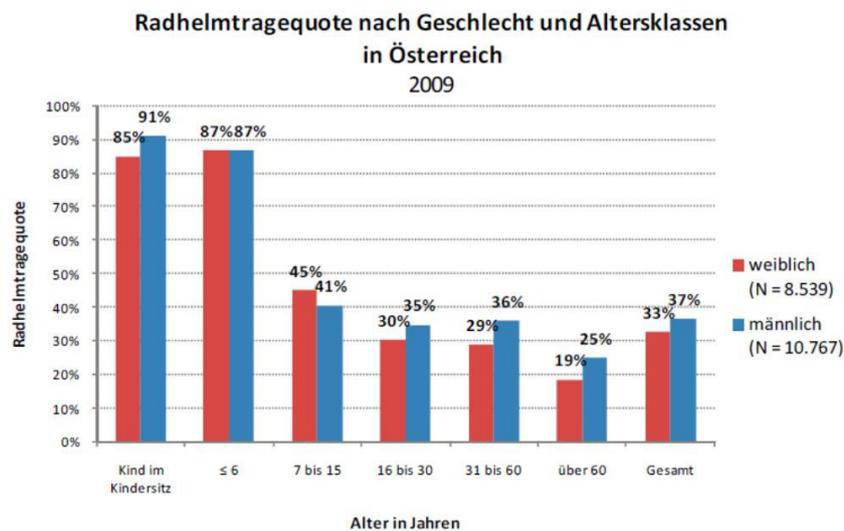


Abbildung 6-1 Radhelmtragequoten in Österreich nach Altersklassen und Geschlecht im Jahr 2009 (Pfaffenbichler et al. 2011)

6.2 Altersspezifische Unterschiede

Im Jahr 2006 war die Tragequote mit 87 % bei Kindern unter 6 Jahren am höchsten, gefolgt von der Gruppe der 7-15-Jährigen. Sie fällt dann wieder für die Gruppe der 16 bis 30-Jährigen. Es ist aus diesen Daten nicht ersichtlich, wie hoch die Tragequote unter Teenagern ist, da die Altersklassen 7-15 Jahren bzw. 16-30 Jahren sehr weit gefasst sind (Abbildung 6-1). Aus australischen Daten (Tabelle 6-1) ist bekannt, dass die Gruppe der Teenager die mit der geringsten Tragequote in diesem Land ist. Zählungen in New South Wales ergaben, dass die Tragequoten am geringsten unter

Jugendlichen waren, vor allem unter 11-15-Jährigen, am Höchsten in den Altersgruppen 20-44 Jahre (Walker 1990).

Tabelle 6-1 Altersspezifische Unterschiede in den Helmtragequoten in New South Wales. Zählungen September 1990 (Walker 1990)

Age differences in helmet wearing for different regions of New South Wales								
Region	Sample N	Sites	0-10	11-15	16-19	20-29	30-45	46+
<i>Rural areas</i>								
Inner rural	1519	7	28.0	17.7	9.4	31.2	37.2	23.8
Outer rural	1991	9	21.1	5.2	4.6	14.1	20.0	9.6
<u>Rural</u>	3510	16	23.3	9.5	6.6	22.1	29.0	14.7
<i>Sydney areas</i>								
North	806	6	32.0	16.6	18.5	50.8	61.2	50.0
South	988	4	6.4	2.2	8.0	30.1	22.3	22.9
East ¹	213	2	35.7	31.5	33.2	46.6	40.9	17.6
West	1467	12	17.3	3.0	8.4	31.1	33.8	23.8
<u>Sydney</u>	3474	24	20.1	5.8	11.3	37.9	39.5	30.4
<i>Supplementary sites</i>								
Arterial roads	617	4	28.0	12.5	15.2	49.4	48.7	12.5
Cycling paths	2122	5	30.7	17.2	28.0	36.8	28.1	15.9
Cycling parks	625	4	0.0	47.6	60.5	58.7	55.1	62.2
Other sites	627	8	8.0	11.6	20.4	33.8	31.0	16.7
<u>Supplementary</u>	3991	21	25.0	15.9	27.2	44.1	35.8	22.0
<u>NSW Total</u>	10975	61	23.1	10.3	16.1	35.2	34.1	21.4

Note 1: The sample for the East is augmented by the inclusion of the additional Woollahra site. Thus the sample size for this row is N = 920. The Sydney rates (column calculations) do not include the augmented sample for the East but are based on the inclusion of N = 213 from the Sydney survey.

Finch et al. (1994) befragten Jugendliche zwischen 13 und 17 Jahren in Melbourne und identifizierten Aussehen und Komfort als Hauptgründe, warum Teenager keinen Helm tragen wollten. Lediglich 15 % der Befragten gaben an, aus Angst vor einer Geldstrafe einen Helm zu tragen. Sicherheitsbedenken und Druck von den Eltern waren die Hauptfaktoren, die sich positiv auf das Tragen von Helmen auswirkten. Teenagern ist die Schutzwirkung von Helmen bewusst, dass sie dennoch die Gruppe mit der geringsten Tragequote bilden, lässt darauf schließen, dass die soziale Akzeptanz von Helmen eine große Rolle spielt.

6.3 Unterschiede nach Art des Radfahrens

Die Österreichische Energieagentur hat im Jahr 2010 Erhebungen zur Helmtragequote in Wien durchgeführt. Die Ergebnisse wurden unter anderem nach Fahrradtyp ausgewertet. Die größte Tragequote war mit 44 % unter Rennradfahrerinnen festzustellen. Es wurde ebenfalls eine Auswertung nach Freizeit- und Alltagsverkehr durchgeführt, die gezeigt hat, dass Freizeitradfahrerinnen eine statistisch signifikant höhere Tragequote aufweisen (Pfaffenbichler et al. 2011). Walker (1992) stellte

ebenfalls für Sydney fest, dass Radfahrerinnen, die Radfahren als sportliche Aktivität betreiben, eine höhere Tragequote aufweisen als solche, die das Rad als Transportmittel verwenden (Tabelle 6-2)

Tabelle 6-2 Helmtragequote nach Art des Radfahrens in Australien 1991 und 1992 %N = Anteil der Gruppe von Radfahrerinnen (serious, commuter, recreational) an allen Radfahrerinnen; %H = Helmtragequote (Walker 1992)

Helmet wearing rates among different types of adult cyclists

		Survey 2 (1991)			Survey 3 (1992)		
		N	%N	%H	N	%N	%H
Sydney	Serious	1110	37	98.4	882	33	97.3
	Commuter	784	26	74.5	761	28	81.7
	Recreational	1118	37	50.9	1038	39	67.1
Rural	Serious	519	24	96.9	484	25	99.4
	Commuter	517	24	85.9	566	29	93.5
	Recreational	1110	52	66.7	883	46	83.2
NSW total	Serious	1629	32	98.2	1366	30	98.0
	Commuter	1301	25	80.4	1327	29	86.7
	Recreational	2220	43	60.0	1921	42	74.6

Note: These data exclude observations made at the central Sydney site

7 Auswirkungen der Radhelmpflicht

Befürworterinnen der Fahrradhelmpflicht argumentieren, dass dadurch die Helmtragequote und somit das Risiko von Kopfverletzungen unter Radfahrerinnen reduziert wird. Gegnerinnen wenden ein, dass durch die Einführung einer Radhelmpflicht der Radverkehrsanteil sinkt, was negative Auswirkungen hat, sowohl in gesundheitlicher und ökologischer Hinsicht als auch in Hinblick auf die Sicherheit von Radfahren. Volkswirtschaftlich ist eine Nutzenmaximierung bzw. Kostenminimierung aus maximalen Gesundheitsbenefits und verringerten Unfallkosten erstrebenswert. In den kommenden Kapiteln werden diese Argumente anhand internationaler Beispiele erläutert. Es werden die Auswirkungen auf die Helmtragequote und den Radverkehrsanteil behandelt sowie auf die Reduktion des Risikos von Kopfverletzungen. Hierfür wurde Literatur zur Radhelmpflicht in Australien, Kanada, Neuseeland und den USA ausgewertet. Eine Übertragung von Erkenntnissen aus diesen Ländern auf Österreich ist aufgrund kultureller Unterschiede mit Vorsicht zu behandeln. Aufschlüsse über die Einstellung zur Radhelmpflicht und eine mögliche Änderung des Mobilitätsverhaltens der Radfahrerinnen in Österreich könnten beispielsweise Befragungen ergeben.

7.1 Auswirkungen auf Helmtragequote und Radverkehrsanteil

Karkhaneh et al. (2006) untersuchten zwölf Studien zur Auswirkung der Radhelmpflicht auf die Helmtragequote (Tabelle 7-1). Acht Journalartikel, zwei Reports und eine unveröffentlichte Studie aus den USA, Australien, Kanada und Neuseeland wurden herangezogen. Die Tragequoten vor der Radhelmpflicht variieren zwischen 4 % und 59 % und nach der Radhelmpflicht zwischen 37 % und 91 %. Eine Studie verzeichnete eine Steigerung der Helmtragequote um weniger als 10, vier zwischen 10 und 30 und sieben über 30 Prozentpunkten. Die größte Zunahme war um 54 Prozentpunkte von 7 % auf 61 %. Die Studie mit dem größten Untersuchungszeitraum zeigte, dass die Tragequote zehn Jahre nach Einführung der Radhelmpflicht gleich war wie nach einem Jahr. Die größten Zunahmen wurden dort beobachtet, wo die Helmtragequote vor der Radhelmpflicht niedrig war (hier wurde ein, jedoch nicht statistisch signifikanter, Zusammenhang beobachtet) und wo die Stichprobengrößen kleiner waren (Karkhaneh et al. 2011).

Tabelle 7-1 Änderung der Helmtragequote nach Einführung der Radhelmpflicht nach untersuchten Studien (Karkhaneh et al. 2006)

Study ID	Pre-intervention proportion	Post-intervention proportion	Δ
1. Cote, 1992	4	47	+43
2. Cameron, 1994	31	75	+44
3. Ni, 1997	24	51	+27
4. Foss, 2000	39	60	+21
5. Kanny, 2001	33	79	+46
6. Leblanc, 2002	38	84	+46
7. Thomas, 2002	32	37	+5
8. Delamater, 2003	7	61	+54
9. Liller, 2003	7	57	+50
10. Parkin, 2003	44	66	+22
11. Hagel, 2005	43	53	+10
12. Povey, 2005	59	91	+32

7.1.1 Australien

In Australien ist die Radhelmpflicht im gesamten Staatsgebiet vorgeschrieben. Victoria war der erste Bundesstaat, der eine generell gültige Radhelmpflicht erlassen hat (Finch 1996).

7.1.1.1 New South Wales

In New South Wales (NSW) gilt die Radhelmpflicht für Kinder unter 16 Jahren seit 1. Juli 1991. Die Tragequote stieg zwischen 1991 und 1992 für Kinder unter 16 Jahren von 32 % auf 76 % (Walker 1992). Dieser Anstieg von 44,4 Prozentpunkten wurde von einer Abnahme in der Stichprobe in der zweiten Zählung begleitet. Wurden 1991 6.270 Rad fahrende Kinder beobachtet, so waren es 1992 noch 3.887 (Tabelle 7-2). Die Beobachtungen wurden unter gleichen Bedingungen durchgeführt (Ort, Jahres-, Tageszeit etc.). Die Frage, wie hoch der Anstieg der Tragequote tatsächlich war, versucht Walker (1992) mit folgendem Ansatz zu klären: 1992 wurden 2.383 weniger Kinder als im Vorjahr gezählt. Im besten Fall wird angenommen, dass all diese Kinder mit Helm gefahren wären, hier würde die Tragequote um 54 Prozentpunkten steigen. Im Worst Case wird angenommen, dass diese Kinder 1992 ohne Helm gefahren wären. In diesem Fall würde die effektive Steigerung der Helmtragequote 16 Prozentpunkte betragen (Tabelle 7-3).

Tabelle 7-2 Helmtragequote von Kindern unter 16 Jahren in NSW 1991, 1992 und 1993 (Smith und Milthorpe 1993)

Type of Site and Age Group		Survey 2 April 1991		Survey 3 April 1992		Survey 4 April 1993	
		N	%	N	%	N	%
Road intersections Ages	under 6	18	50%	43	79%	18	47%
	6-9	171	40%	138	78%	100	81%
	10-12	612	27%	399	79%	280	72%
	13-15	940	21%	608	69%	547	64%
	Total	1741	25%	1188	74%	945	68%
Recreation Areas Ages	under 6	224	71%	253	71%	147	79%
	6-9	435	57%	270	82%	319	83%
	10-12	479	37%	324	77%	339	79%
	13-15	604	21%	419	65%	400	60%
	Total	1742	41%	1266	73%	1205	74%
School gates Ages	6-9	384	75%	275	96%	269	90%
	10-12	746	40%	427	89%	351	87%
	13-15	1459	12%	731	70%	729	65%
	Total	2589	29%	1433	81%	1349	76%
Helmet rate all sites		6270	32%	3887	76%	3499	74%

Figures prior to 1993 from Walker (1992)

Tabelle 7-3 Best Case und Worst Case Änderung der Helmtragequote von Kindern unter 16 Jahren in NSW zwischen 1991 und 1992 (Eigene Darstellung, Daten: Walker, 1992)

Jahr	N	H	Tragequote
1991	6270	1975	0,31
1992	3887	2950	0,76
Differenz 1992-1991			0,44
1992 _{WC}	6270	2950	0,47
1992 _{BC}	6270	5333	0,85
Differenz 1992 _{WC} -1991			0,16
Differenz 1992 _{BC} -1991			0,54

Teenager bleiben auch nach Einführung der Radhelmpflicht die Gruppe mit der niedrigsten Tragequote (Tabelle 7-4). Wie Abbildung 7-1 zeigt, stieg die Tragequote für Radfahrerinnen älter als 16 Jahre von 26 % auf 83 % zwischen 1990 und 1993. Für Radfahrerinnen älter als 19 Jahre beträgt die Tragequote 90 % (Walker 1990; Walker 1992; Smith und Milthorpe 1993). Jugendliche stellen die Gruppe dar, für die die größten Abnahmen von Radfahrerinnen verzeichnet wurden (Tabelle 7-5). Im Vergleich zu 1991 wurden 1992 36 % und 1993 44 % weniger Radfahrerinnen unter 16 Jahren gezählt (Walker 1992; Smith und Milthorpe 1993).

Tabelle 7-4 Helmtragequote von Schulkindern in Sydney (Walker 1992)

		Second survey, 1991		Third survey, 1992	
		N	% H	N	% H
Primary schools		238	67.6	179	90.5
am	males	110	66.4	68	91.2
	females	19	73.7	15	80.0
pm	males	96	65.6	78	93.6
	females	13	84.6	18	83.3
Secondary schools		904	12.4	428	55.8
am	males	351	11.7	185	55.1
	females	108	15.7	26	73.1
pm	males	339	12.4	192	52.6
	females	106	11.3	25	68.0
Total		1142	23.9	607	66.1

Note: The data analysed for schools includes all secondary school children independently of age. Thus a proportion of the students included in this analysis is over 16 years of age.

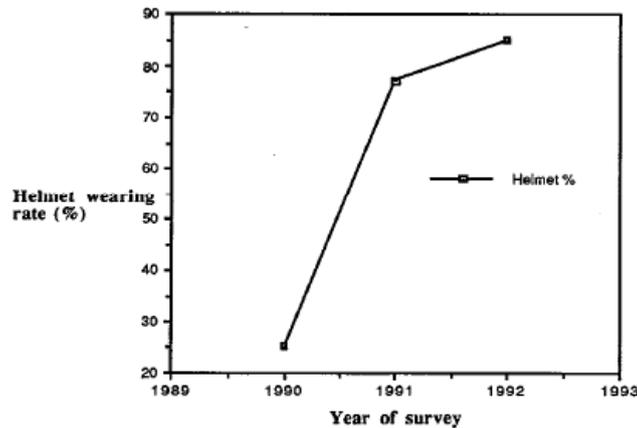


Abbildung 7-1 Helmtragequote von Radfahrerinnen älter als 16 Jahre zwischen 1990 und 1992 in NSW (Walker 1992)

Tabelle 7-5 Gezählte Radfahrerinnen unter 16 Jahren in NSW zwischen 1991 und 1993 (Robinson 1996)

Table 1. Counts of child cyclists in NSW before and in the first two years of the bicycle helmet law (from Walker 1992; Smith and Milthorpe 1993)

Year	1991 (pre law)		1992 (1st law year)		1993 (2nd law year)	
	Total counted	No.* helmeted	Total counted	No.* helmeted	Total counted	No.* helmeted
Road Intersections	1741	440	1188	874	881	582
Change from 1991			-553	434	-860	142
Recreational areas	1742	709	1236	899	1184	872
Change from 1991			-506	190	-558	163
School gates	2589	761	1433	1156	1349	1025
Change from 1991			-1156	395	-1240	264
Total child cyclists	6072	1910	3857	2929	3414	2479
Change from 1991			-2215	1019	-2658	569

*Numbers helmeted obtained by multiplying sample size by percentage wearing helmets.

Die Anzahl der gezählten Radfahrerinnen über 16 Jahre stieg von der ersten Zählung (September 1990 – vor Radhelmpflicht) zur zweiten (April 1991 – nach Radhelmpflicht) um 6 % und sank bei der dritten Zählung (April 1992) um 14 % (Walker, 1992). Als

eine mögliche Erklärung für den Anstieg zwischen der ersten und zweiten Zählung gibt Walker (1992) die unterschiedlichen Zählzeitpunkte an, da diese zu verschiedenen Schulferien gefallen sind. Weiters war das Wetter zum Zeitpunkt der zweiten und dritten Zählung sonniger und wärmer, was den Anstieg zwischen der ersten und zweiten Zählung erklären könnte, nicht jedoch den Rückgang zwischen der zweiten und dritten. Für die Zählung 1993 konnte keine Signifikante Abnahme bei den Radfahrerinnen über 16 Jahre festgestellt werden (Smith & Milthorpe 1993).

Olivier et al. (2013) nehmen an, dass die Anzahl der Radfahrerinnen in NSW stärker zugenommen hat als das Bevölkerungswachstum. Diese Annahme basiert auf Zahlen von Fahrradimporten nach Australien, da keine Zählzeiten zur Verfügung standen und muss nicht automatisch bedeuten, dass es tatsächlich mehr Radfahrerinnen gibt oder mehr Rad gefahren wird, daher ist sie nur als grobe Näherung zulässig. Die Zunahmen seit 2006 führen Olivier et al. (2013) auf die erhöhten Ausgaben für Radinfrastruktur zurück. Zwischen 2006 und 2008 wurden in NSW 29,3 Mio. AU\$ hierfür ausgegeben.

7.1.1.2 *Victoria*

In Victoria gilt die Radhelmpflicht seit 1. Juli 1990, das war weltweit der erste Ort, in dem eine generelle Fahrradhelmpflicht eingeführt wurde (Finch 1996). Eine Hochrechnung von Cameron et al. (1992) ergibt eine durchschnittliche Helmtragequote in Victoria von 5 % für das Jahr 1982/83, von 31 % für 1989/90 und von 75 % für 1990/91.

Abbildung 7-2 zeigt die Zunahme der Tragequote für verschiedene Altersgruppen in Victoria nach Einführung der Radhelmpflicht. Es ist erkennbar, dass die größte Zunahme unter den Erwachsenen stattgefunden hat. Die geringste Zunahme verzeichnet die Altersgruppe der 5-11-Jährigen, die bereits vor Einführung der Helmpflicht eine hohe Tragequote aufwies. Die Gruppe der Teenager (12-17-Jährige) zeigt auch in Victoria die geringste Tragequote vor und nach Einführung der Radhelmpflicht (Finch et al. 1993).

Finch et al. (1993) führten Zählungen im Mai 1990, 1991 und 1992 in Melbourne durch. Die Benützung des Fahrrades nahm zwischen 1990 und 1992 bei Kindern zwischen 5 und 11 Jahren um 10 % und bei Teenagern (12-17 Jahre) um 46 % ab. Für Erwachsene Radfahrerinnen konnte kein negativer Effekt festgestellt werden. Abbildung 7-3 zeigt die Anzahl der beobachteten Radfahrerinnen in Melbourne

zwischen 1987 und 1992. Im ersten Jahr nahm die Anzahl der Radfahrerinnen ab, 1992 pendelte sich diese wieder bei Erwachsenen und Kindern ein, bei Teenagern blieb diese geringer als vor Einführung der Radhelmpflicht. Zu beachten ist, dass die Abnahme in der Altersgruppe der 5 bis 10-Jährigen schon vor Einführung der Radhelmpflicht eingetreten ist.

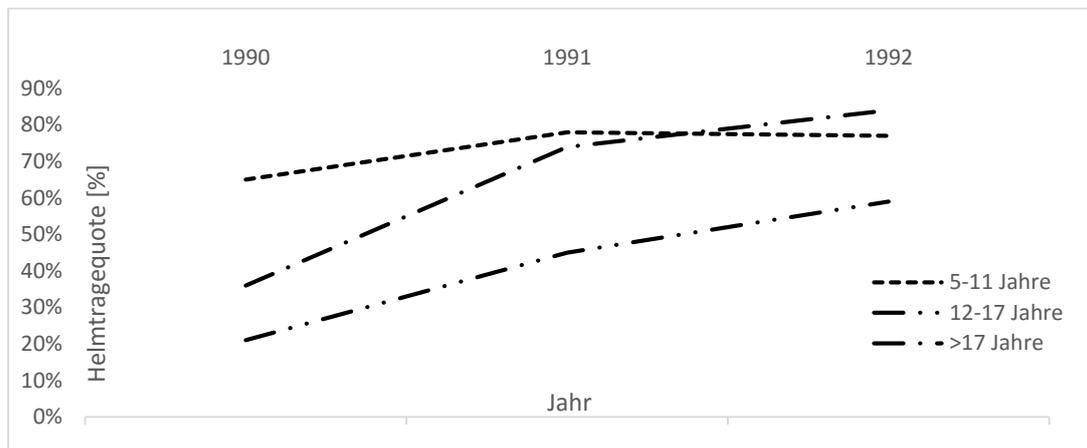


Abbildung 7-2 Helmtragequoten für verschiedene Altersklassen zwischen 1990 und 1992 in Victoria (Eigene Darstellung, Daten: Finch et al. 1993)

Numbers of bicyclists observed during each of the MUARC surveys

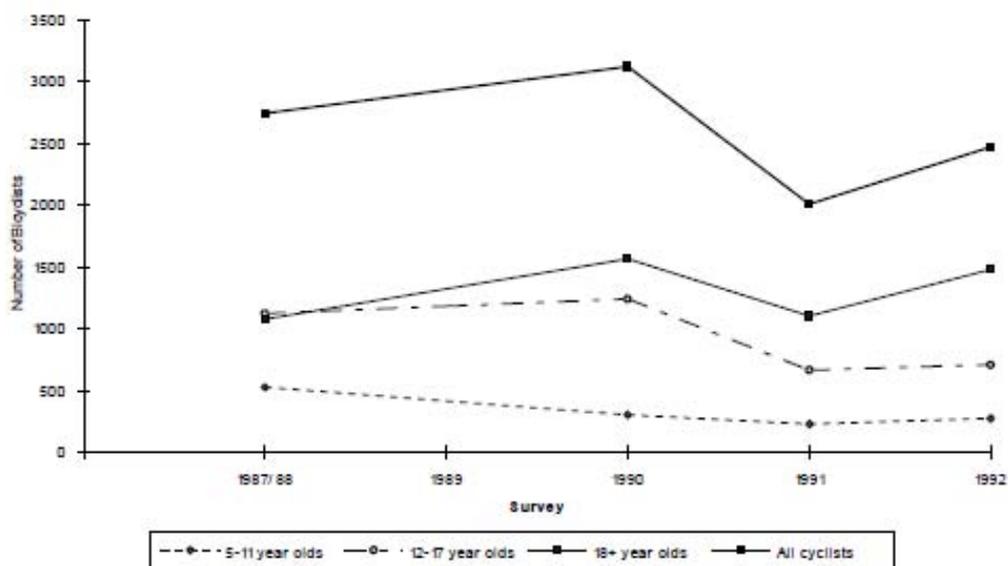


Abbildung 7-3 Beobachtete Radfahrerinnen in Melbourne zwischen 1987 und 1992 (Finch et al. 1993)

Robinson (1996) verglich Schadensersatzansprüche von Fußgängerinnen und Radfahrerinnen zwischen 1987 und 1994, die keine Kopfverletzung erlitten haben und schließt aus dem überproportional großen Rückgang unter den Radfahrerinnen im Vergleich zu den Fußgängerinnen, dass der größte Effekt der Radhelmpflicht eine Reduktion an Radfahrerinnen gewesen ist (Abbildung 7-4)

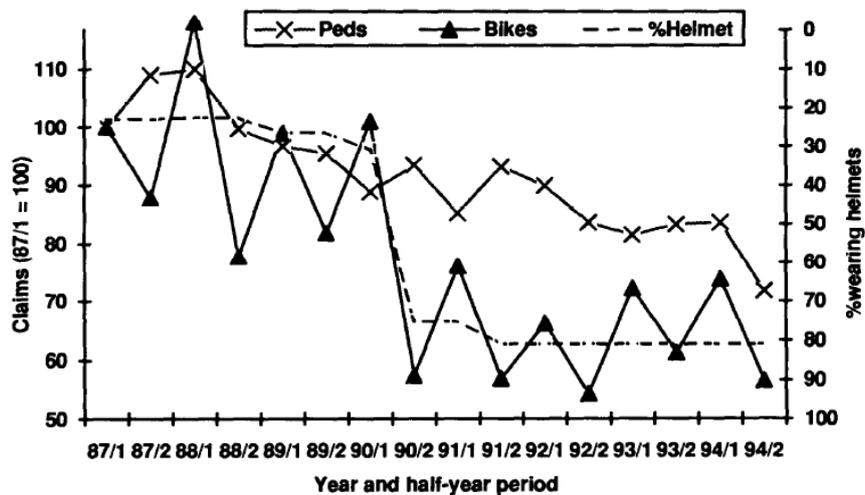


Abbildung 7-4 Zusammenhang zwischen Schadensersatzansprüchen für Unfälle ohne Kopfverletzung für Radfahrerinnen (Bikes) und Fußgängerinnen (Peds) in Victoria und Helmtragequote (%Helmet). Die Anzahl der Ansprüche wird in % im Vergleich zum Jahr 1987 angegebenen (Robinson 1996)

7.1.1.3 Western Australia

In Western Australia (WA) betrug die Helmtragequote in den Jahren nach der Einführung der Radhempflcht 82 % (Hendrie et al. 1999). Der Rückgang an Radfahrerinnen in WA wurde zwischen 1991 und 1995 auf 25 % geschätzt. Eine Schätzung für das Jahr 1993 ergab einen Rückgang von 38 % (Gillham 2014).

Bei einer Telefonumfrage in WA gaben in Perth 13 % und im ländlichen Raum 8 % der Erwachsenen an, dass sie bzw. ihre Kinder aufgrund der Radhempflcht nicht mehr bzw. weniger Rad fahren würden. 27 % aller Erwachsenen in WA gaben an, sie würden mehr Rad fahren, wenn es keine Radhempflcht gäbe (Robinson 1996).

7.1.1.4 Northern Territory

Die Radhempflcht für alle Altersklassen trat 1992 im Northern Territory in Kraft. Während einer Straßenbefragung im Northern Territory gaben 20 % der Radfahrerinnen an, aufgrund der Radhempflcht mit dem Radfahren aufgehört zu haben und 42 % gaben an, sie würden weniger Rad fahren (Robinson 1996). 17 % weniger Grundschulkindern und 39 % weniger Schülerinnen der Sekundarstufe fuhren im ersten Jahr nach Einführung der Radhempflcht mit dem Rad (BHRF 2014b)

1994 wurde nach einer öffentlichen Kampagne die Radhempflcht für Radfahrerinnen über 17 Jahre aufgeweicht, insofern als die Benützung eines Helmes auf Gehsteigen und baulich getrennten Radwegen nicht mehr erforderlich ist (BHRF 2014b).

7.1.1.5 *Aktuelle Daten aus Australien*

Gillham und Rissel (2012) verglichen Radverkehrsleistungen aus dem Jahr 2011 mit Daten aus 1985/86. Das sind die frühesten verfügbaren Daten einer landesweiten Radverkehrserhebung in Australien. Die Daten für 2011 entstammen dem Australian Cycling Participation Survey. Diese Erhebung des Verbandes der australischen Verkehrsbehörden ist die offizielle Datenquelle und der Ausgangspunkt für die Nationale Radverkehrsstrategie 2011-2016 der australischen Regierung. Die Daten wurden mit jenen der Bevölkerungsentwicklung verglichen. Zwar gibt es eine größere Anzahl von Wegen, die im Jahr 2011 mit dem Rad zurückgelegt wurden, die pro-Kopf-Beteiligung ist allerdings zurückgegangen. Die australische Bevölkerung älter als neun Jahre nahm zwischen 1986 und 2010 um 58,4 % zu. Die Anzahl an Wegen, die mit dem Rad zurückgelegt wurden, nahm um 20,9 % zwischen den beiden Radverkehrserhebungen zu. Beide Erhebungen weisen Unterschiede in den Erhebungsmethoden auf, es sind allerdings die einzigen verfügbaren Datenquellen, die einen Vergleich über einen längeren Zeitraum ermöglichen.

In einer Telefonumfrage in Australien mit 1.000 Teilnehmerinnen war für 16,5 % der Befragten ein Grund, nicht öfter Rad zu fahren, dass sie keinen Helm tragen wollten (Cycling Promotion Fund 2011).

Rissel & Ming Wen (2011) führten 2010 ebenfalls eine Telefonbefragung mit 600 Personen in Sydney durch. Die Befragten gaben Auskunft darüber, ob sie öfter Rad fahren würden, wenn es keine Radhelfpflicht gäbe und wie oft sie in diesem Fall ohne Helm fahren würden. 22,6 % aller Befragten gaben an, dass sie mehr Rad fahren würden, wenn keine Radhelfpflicht bestünde, wobei dies eher auf Personen in den Altersgruppen von 16-24 Jahren und 25-29 Jahren und jene, die gelegentlich Rad fahren, zutrifft.

Die größten Zunahmen wären bei gelegentlichen Radfahrerinnen zu erwarten. Menschen, die regelmäßig Rad fahren, weisen nicht viel Spielraum nach oben auf wie solche, die nur einmal in der Woche oder im Monat Rad fahren. Es ist nicht möglich eine Aussage zu treffen, ob die Befragten tatsächlich so handeln würden, wie sie angeben, jedoch wenden Rissel und Ming Wen (2011) ein, dass wenn nur ein Viertel sich den eigenen Angaben entsprechend verhielte, die Ziele für den Radverkehr in

Sydney (10 % aller Wege mit dem Rad im Jahr 2016 im Vergleich zu 1,2 % in 2007) erreicht werden könnten, wenn die Radhelmpflicht aufgehoben wird.

7.1.2 Kanada

In sechs von zehn Provinzen in Kanada gilt die Radhelmpflicht. In vier Provinzen gilt sie für alle Altersgruppen und in zwei für Radfahrerinnen unter 18 Jahre. Einen Überblick über die geltenden Gesetze in Kanada liefert Tabelle 7-6. In diesem Kapitel werden die Auswirkungen in den Provinzen Alberta, British Columbia, Nova Scotia und Ontario besprochen.

Tabelle 7-6 Überblick über Provinzen mit und ohne Radhelmpflicht in Kanada

Provinz/Territorium	gültig seit	Keine Radhelmpflicht
<i>für alle Altersklassen</i>		Saskatchewan
British Columbia	1996	Manitoba
New Brunswick	1995	Quebec
Nova Scotia	1997	Neufundland
Prince Edward Island	2003	Yukon
<i>< 18 Jahre</i>		Northwest
Alberta	2002	Nunavut
Ontario	1995	

7.1.2.1 Alberta

In Alberta trat die Radhelmpflicht im Mai 2002 für Radfahrerinnen unter 18 Jahren in Kraft. Hagel et al. (2006) geben eine Steigerung der Tragequote zwischen den Jahren 2000 und 2004 von 44 % auf 53 % für alle Altersklassen an (Tabelle 7-7). Für unter 18-Jährige änderte sich die Tragequote von 28 % auf 83 %, für die Gruppe älter als 18 Jahre gab es keine signifikante Änderung. Zwischen 2000 und 2004 wurde eine Reduktion der gezählten Radfahrerinnen um 61 % bei Zählungen in Edmonton festgestellt. Für unter 18-Jährige betrug diese Reduktion 75 % (Hagel et al. 2006). Karkhaneh et al. (2011) wiederholten die Zählungen² im Jahr 2006 und kamen zu ähnlichen Ergebnissen. Die Tragequote für Kinder (<13 Jahre) betrug im Jahr 2006 92 %, für 13 bis 17-Jährige 63 % (für unter 18-Jährige 80 %) und für die Gruppe älter als 18 Jahre 55 %. Auch hier wurden weniger Radfahrerinnen im Jahr 2006 als 2000 beobachtet (Tabelle 7-7). Karkhaneh (2011) gibt an, dass die Anzahl der Radfahrerinnen pro Stunde in Alberta zwischen 2000 und 2008 unter Kindern und

² Die Bezugszählung für Hagel et al. (2006) und Karkhaneh et al. (2011) aus dem Jahr 2000 wurde von (Nykolyshyn et al. (2003) durchgeführt. Hagel et al. (2006) vergleichen allerdings nur die Zählstellen aus Edmonton, während Karkhaneh et al. (2011) alle Zählstellen in Alberta berücksichtigen. Daher sind die Werte für die gezählten Radfahrerinnen bei Hagel et al. (2006) viel kleiner.

Teenagern signifikant abgenommen hat, für Erwachsene hat sie signifikant zugenommen³

Tabelle 7-7 Helmtragequoten nach Altersklassen für die Jahre 2000, 2004 und 2006 in Alberta, Kanada (Nach Hagel et al. 2006 und Karkhaneh et al. 2011)

Altersklasse	2000 ^{a)}			2004 ^{a)}			2000 ^{b)}			2006 ^{b)}		
	n	N	%	n	N	%	n	N	%	n	N	%
<18	46	164	28	34	41	83	1073	1809	59	856	1075	80
18+	234	474	49	110	230	48	1074	2077	52	744	1348	55
Alle	280	638	44	144	271	53	2147	3886	55	1600	2423	66
n = mit Helm				a) Hagel et al. (2006)								
N = alle				b) Karkhaneh et al. (2011)								

Tabelle 7-8 Radfahrerinnen pro Stunde in Alberta in den Jahren 2000 und 2006 nach Altersklassen. V = Verhältnis 2006 zu 2000; S = statistisch signifikant (Nach Karkhaneh 2011)

Altersklasse	2000	2006	V	S
<13	3,56	1,58	0,44	*
13-17	1,92	1,41	0,73	*
18+	6,29	7,58	1,21	*

Dennis et al. (2010) analysierten Daten einer Befragung der kanadischen Statistikbehörde (Canadian Community Health Survey – CCHS) aus dem Jahr 2005. Die Befragten waren 12 Jahre alt oder älter. Im Jahr 2003 war der Anteil der Jugendlichen, die angaben, in den letzten drei Monaten in ihrer Freizeit mit dem Rad gefahren zu sein (Radsport betrieben zu haben), am Größten. Dieser Wert ging in den darauffolgenden Jahren zurück auf die Werte vor Einführung der Radhelmpflicht. Die Häufigkeit des Radfahrens pro Person ging von 30,1 im Jahr 2001 auf 28,1 im Jahr 2003 zurück. Von 2005 auf 2007 sank die Häufigkeit des Radfahrens unter Jugendlichen signifikant (Abbildung 7-5). Für den Radverkehr fanden Dennis et al. (2010) weder für Erwachsene noch für Kinder eine signifikante Änderung des Anteils an Personen, die mit dem Rad in die Arbeit oder in die Schule gefahren sind (Abbildung 7-5). Das Paper liefert keine Angaben zu Änderungen der Häufigkeit der Nutzung des Rades als Verkehrsmittel pro Person. Alle Befragten, die angaben, in den letzten drei Monaten mehr als eine Stunde pro Woche Rad gefahren zu sein, wurden als Radfahrerinnen gezählt.

³ Die Zähldauer während der Zählungen 2006 war kleiner als im Jahr 2000, aus diesem Grund sinken die Werte für Erwachsene in Tabelle 7-7 zwischen den beiden Jahren, obwohl es eine Steigerung pro Stunde gegeben hat (Tabelle 7-8)

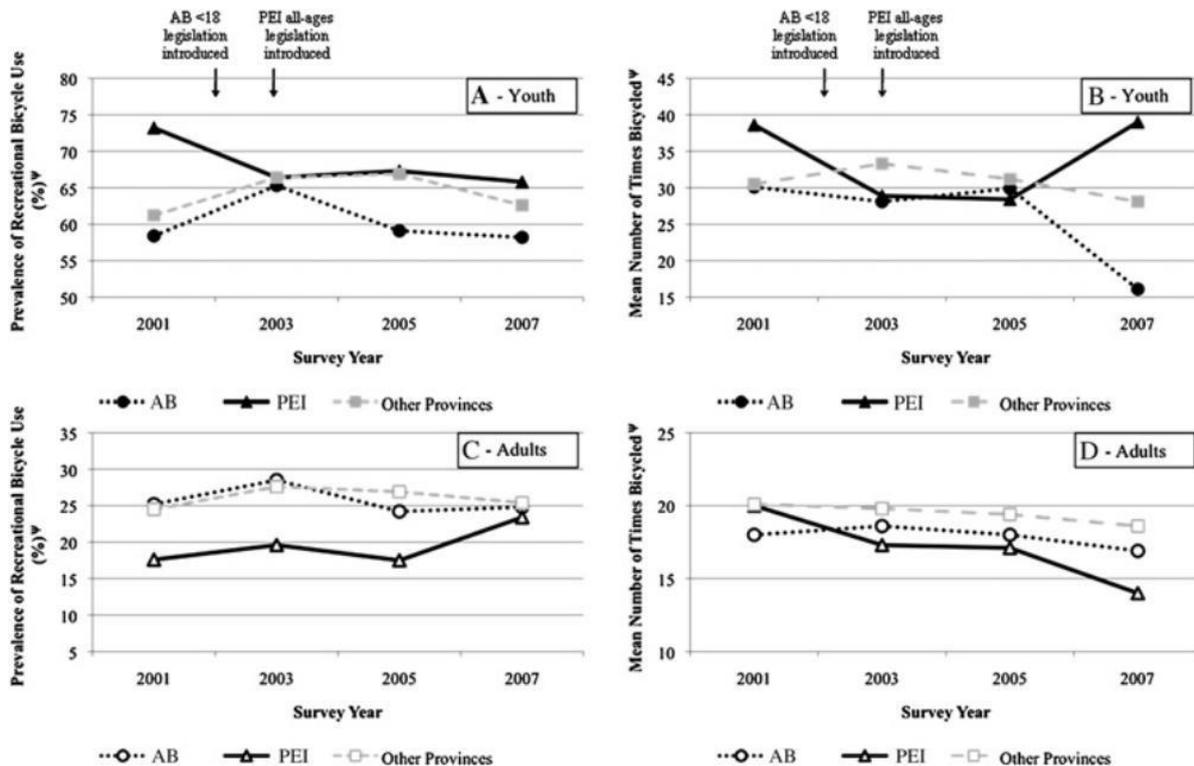


Abbildung 7-5 Änderungen im Radsport zwischen 2001 und 2007 unter Jugendlichen (A,B) und Erwachsenen (C,D) in Alberta (AB), Prinz Edward Island (PEI) und anderen kanadischen Provinzen. Links: Anteil an Personen, die Radsport betreiben. Rechts: Häufigkeit der Nutzung (Dennis et al. 2010)

7.1.2.2 British Columbia

1996 führte British Columbia als erste kanadische Provinz die Radhelmpflicht für alle Altersklassen ein. Die Tragequoten stiegen zwischen 1995 und 1999 für alle Altersklassen an (Tabelle 7-9), insgesamt stieg die Tragequote unter Frauen von 50 % auf 76 % und unter Männern von 44 % auf 68 % (Foss & Beirness 2000). Für Vancouver wurde für das Jahr 2010 eine Helmtragequote von 55-60 % geschätzt (BHRF 2014a). Es gibt keine Zählungen, die über die Entwicklung des Radverkehrs in British Columbia Auskunft geben.

Tabelle 7-9 Helmtragequoten in British Columbia nach Altersklassen vor (1995) und nach (1999) Einführung der Radhelmpflicht (nach Foss und Beirness, 2000)

Alter	Tragequote 1995	Tragequote 1999
	[%]	[%]
1-5	60	78
6-15	35	61
16-30	47	69
31-50	52	75
51+	41	73

7.1.2.3 Nova Scotia

In Nova Scotia trat die Radhelmpflicht für alle Altersgruppen 1997 in Kraft. Die Helmtragequote stieg in Halifax von 36 % 1995 auf 84 % 1999 (Leblanc et al. 2002). Teenager waren bei diesen Zählungen stets die Gruppe mit der geringsten Tragequote. Tabelle 7-10 zeigt Tragequoten in Halifax zwischen 1995 und 1999. Dennis et al. (2010) geben an, dass im Jahr 2005 73 % von 793 Befragten in Nova Scotia antworteten, immer bzw. meistens einen Helm zu tragen.

Tabelle 7-10 Helmtragequote in Halifax (Nova Scotia) zwischen 1995 und 1999 (LeBlanc et al. 2002)

Characteristic	Period; % (and no.) of bicyclists wearing a helmet		
	1995/96 <i>n</i> = 1494	1997 <i>n</i> = 636	1998/99 <i>n</i> = 672
Sex			
Male	34 (391/1136)	72 (337/468)	84 (455/539)
Female	42 (151/358)	85 (142/168)	84 (112/133)
<i>p</i> value	0.008	0.001	0.953
Age group			
Child	49 (59/121)	95 (37/39)	84 (21/25)
Adolescent	29 (72/246)	68 (30/44)	70 (33/47)
Adult	36 (411/1127)	75 (412/553)	86 (513/600)
<i>p</i> value	0.001	0.009	0.021
Time of year observed			
July–Aug	36 (427/1189)	52 (28/54)	83 (505/608)
Sept–Nov	38 (115/305)	77 (451/582)	81 (52/64)
<i>p</i> value	0.561	0.001	0.469
Time of week observed			
Weekday	36 (447/1231)	63 (116/183)	84 (553/657)
Weekend	36 (95/263)	80 (363/453)	93 (14/15)
<i>p</i> value	0.954	0.001	0.334

7.1.2.4 Ontario

In Ontario wurde die Radhelmpflicht für Radfahrerinnen unter 18 Jahren im Oktober 1995 eingeführt. Dennis et al. (2010) geben für das Jahr 2005 eine Tragequote von 40,6 % für alle Altersklassen an, unter Jugendlichen betrug diese 46,7 %.

Macpherson et al. (2001) beobachteten Rad fahrende Kinder an 111 Zählstellen zwischen 1993 und 1997 und im Jahr 1999 (Abbildung 7-6). Die niedrigsten Zahlen wurden 1995 vor Einführung der Radhelmpflicht beobachtet (4,32 Radfahrerinnen pro Stunde) und 1997 (4,57). Die Anzahl an Kinder, die mit dem Rad in die Schule fuhren, änderte sich nicht signifikant, unmittelbar nach Einführung der Radhelmpflicht wurde dennoch beobachtet, dass Kinder mehr in Parks und weniger an größeren Kreuzungen gezählt wurden, was die Autorinnen auf die Debatte um die Sicherheit von Radfahren zurückführen. Dieser Shift wurde nicht über die gesamte Untersuchungsdauer beobachtet. Macpherson et al. (2002) gehen nach Beobachtungen von Verletzungen von Radfahrerinnen zwischen 1994 und 1998 in Provinzen mit und ohne Radhelmpflicht in Kanada nicht davon aus, dass die Radhelmpflicht zu einer Reduktion an Radfahrerinnen geführt hat, da Verletzungen von anderen Körperteilen pro 100.000 EW weder in Provinzen mit noch ohne Radhelmpflicht signifikant abgenommen haben (Tabelle 7-11).

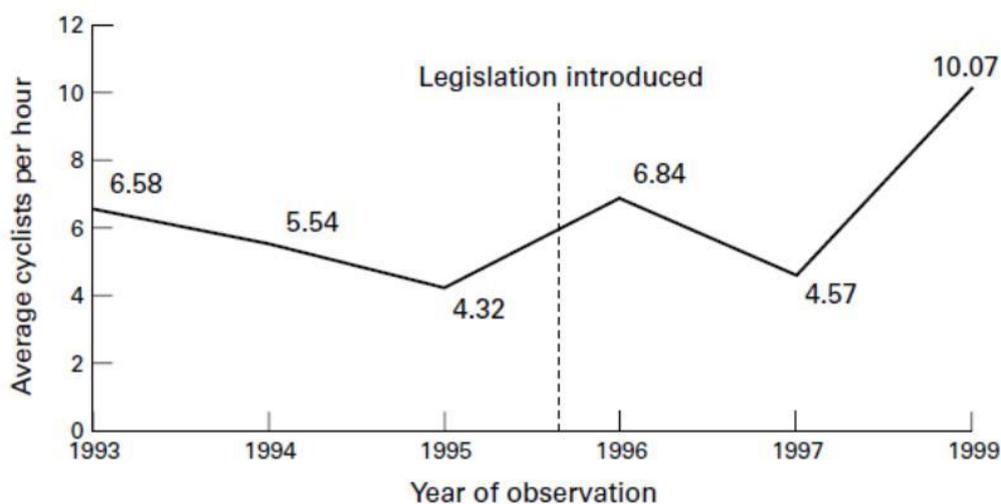


Abbildung 7-6 Beobachtete Rad fahrende Kinder pro Stunde in Ontario zwischen 1993 und 1999 (Macpherson, Parin und To, 2001)

Tabelle 7-11 Nicht-Kopfverletzungsraten in Kanada (5-19-Jährige) in den Jahren 1994-1998 (Macpherson et al. 2002)

Province	Date of Adoption of Legislation	Midyear Population (5-19 Years)	Other Injury Rates by Year (Rate per 100 000)			
			1994-1995	1995-1996	1996-1997	1997-1998
Legislation provinces						
Ontario	October 1995	2 178 015	23.78	21.17	20.48	20.98
New Brunswick	December 1995	153 275	32.62	25.44	27.40	40.45
British Columbia	September 1996	745 030	36.24	41.61	28.19	31.81
Nova Scotia	July 1997	186 275	24.16	31.67	23.62	22.01
Subtotal legislation provinces		3 262 595	27.06	26.63	22.74	24.42
No-legislation provinces						
Newfoundland		124 800	42.47	43.27	32.85	32.85
Prince Edward Island		30 150	23.22	9.95	23.22	19.90
Québec		1 410 965	31.75	24.52	26.51	26.01
Manitoba		241 655	26.48	23.59	24.83	18.62
Saskatchewan		235 100	38.71	31.90	32.33	30.63
Alberta		611 415	31.89	30.75	21.43	21.75
Yukon, NWT		15 900	44.03	44.03	44.03	37.74
Subtotal no-legislation provinces		2 669 985	35.52	29.98	28.58	27.52
Canada		5 932 580	29.46	26.95	24.23	24.72

7.1.3 Neuseeland

In Neuseeland betrug 1992 die Helmtragquote 64,9 % (83,5 % für Grundschulkinder, 62,4 % für Jugendliche und 39,1 % für Erwachsene). In den ersten zwei Jahren nach Inkrafttreten der Radhelmpflicht (1994) stieg die Helmtragequote auf 92 % über alle Altersklassen (Scuffham et al., 2000).

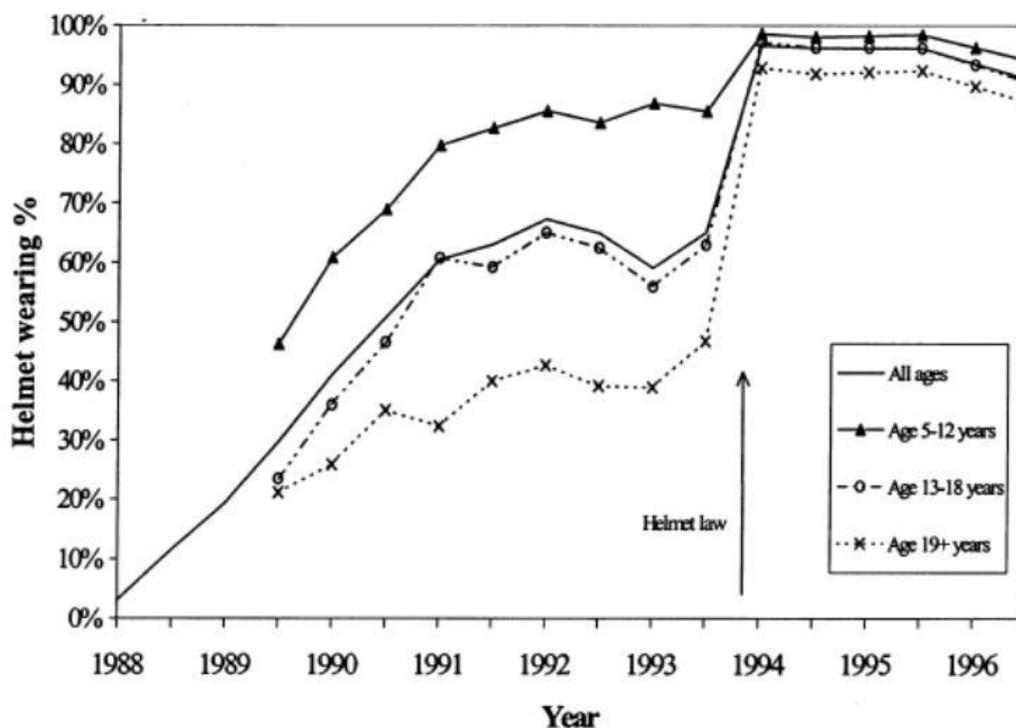


Abbildung 7-7 Helmtragequoten in Neuseeland 1988-1996 nach Altersklassen (Scuffham et al. 2000)

Es gibt nicht genügend Informationen in Neuseeland um bestätigen zu können, ob die Radhelmpflicht zu einer Reduktion des Radverkehrsanteils geführt hat (Povey et al. 1999).

7.1.4 Richtiges Tragen des Helmes

Beobachtungen zu Tragequoten von Helmen sollten berücksichtigen, ob Helme richtig getragen werden, da sonst mit einer zu großen Schutzrate gerechnet wird. Zwei Jahre nach Einführung der Radhelmpflicht in NSW haben 20 % der Kinder unter 16 Jahre ihren Helm falsch getragen. Unter Erwachsenen wurde festgestellt, dass im ländlichen Raum Helme öfter falsch getragen wurden als in Sydney, sodass die Schutzraten ähnlich einzustufen sind als vor Einführung der Radhelmpflicht (Smith und Milthorpe, 1993). Abbildung 7-8 zeigt die Tragequalitäten in NSW für Erwachsene und Kinder im Jahr 1993.

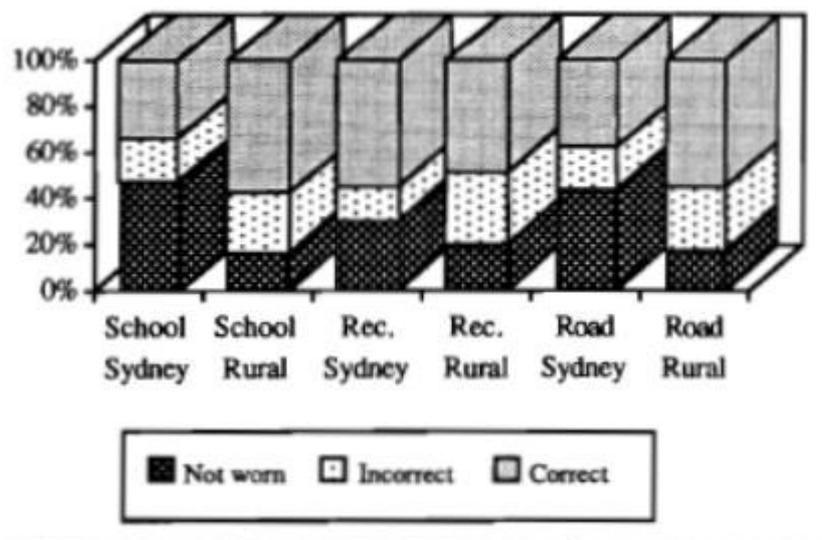


Abbildung 7-8 Tragequalität von Radhelmen für RadfahrerInnen unter 16 Jahre in New South Wales 1993 (Smith & Milthorpe 1993)

7.1.5 Bedeutung der Vollstreckung der Radhelmpflicht

Angst vor der Polizei oder vor Strafen war nur für 15 % der Teenager in Victoria (AUS) ein wichtiger Grund für das Tragen von Helmen, was für Finch (1996) darauf hin deutet, dass Jugendliche es nicht für wahrscheinlich hielten, mit einer Strafe rechnen zu müssen. Die Anzahl der Strafzettel, die in Victoria für Radfahrerinnen ausgestellt wurden, stieg von 2.836 auf 19.229 zwischen 1989/90 und 1990/91 (Cameron et al. 1992). Für die Autorinnen ist es wahrscheinlich, dass dieser Anstieg an Strafen auf

Verletzungen der Radhelmpflicht zurückzuführen ist, was sie für 2 Mio. Radfahrerinnen in Victoria als moderate Vollstreckung einstufen.

Cameron et al. (1992) argumentieren, dass durch eine Radhelmpflicht hohe Tragequoten verzeichnet werden können, selbst wenn die Vollstreckung nicht streng durchgeführt wird, wenn die Bevölkerung für die Vorteile des Helmtragens sensibilisiert wurde. Tatsächlich gab es bereits zwischen 1983 und 1990 einen stetigen Zuwachs der Helmtragequoten auf freiwilliger Basis: von 5 auf 70 % unter Grundschulkindern, von 2 auf 20 % unter Kinder der Sekundarstufe und von 27 auf 40 % unter Erwachsenen. Unterschiedliche Maßnahmen zur Bewerbung von Fahrradhelmen wurden bereits 1980 eingeleitet (Vulcan et al. 1992).

In Queensland (AUS) gab es anfänglich keine Strafen für die Verletzung der Radhelmpflicht, die 1991 eingeführt wurde. Die Tragequoten erhöhten sich unmittelbar nach Einführung der Radhelmpflicht erheblich, reduzierten sich aber danach wieder. Seit 1993 gibt es eine Vollstreckung mit Strafen von 100 AU\$ und es werden jährlich 7.500 Strafzettel für das Nichttragen des Fahrradhelmes ausgestellt (Haworth et al. 2010). Verglichen mit der Anzahl an Strafen in Victoria erscheint diese Zahl unter Berücksichtigung der Bevölkerungszahlen als niedrig, was ebenfalls auf keine strenge Vollstreckung der Radhelmpflicht schließen lässt.

In Alberta (Kanada) wurden zwischen 2003 und 2006 insgesamt 153 Strafen in Calgary und Edmonton bei einer Gesamtbevölkerung von 2 Mio. Einwohnerinnen verhängt. Das heißt, es wurde auch hier keine besondere Vollstreckung der Radhelmpflicht durchgeführt, auch gab es keine Maßnahmen zur Bewerbung von Radhelmen, wie Bildungsmaßnahmen an Schulen, Bewerbung in den Medien oder gratis Helme (Karkhaneh 2011).

Im Jahr 2001 hatten 19 US-Bundesstaaten und der District of Columbia eine Radhelmpflicht für Kinder. Nach einer Untersuchung von Rodgers (2002) sahen fünf Bundesstaaten entweder keine Vollstreckung bzw. nur Verwarnungen vor. Die restlichen Staaten verhängten Strafen zwischen 25 US\$ und 50 US\$, die erlassen wurden, wenn der Kauf eines Helmes nachgewiesen werden konnte. Rodgers (2002) stellte dennoch eine signifikant höhere Tragequote in Bundesstaaten mit Radhelmpflicht fest, obwohl diese nicht streng kontrolliert wurde.

Die oben genannten Beispiele zur Einschätzung der Durchsetzung der Radhelmpflicht werden von einem UNICEF-Report über die Gesetzgebung zur Reduktion von Verletzungen von Kindern von 26 OECD-Ländern bestätigt (Towner & Towner 2002). Für den Report wurden Expertinnen in den einzelnen Ländern zum Grad der Durchsetzung von verschiedenen Rechtsvorschriften in ihren Ländern befragt. Die Kategorien „stark“, „unterschiedlich“ und „schwach“ standen zur Auswahl. Obwohl es sich bei dieser Bewertung um eine subjektive Meinung der Befragten handelt, erscheint sie als guter Anhaltspunkt für die Bewertung im jeweiligen nationalen und kulturellen Kontext. In keinem der in dieser Arbeit untersuchten Länder (Australien, Kanada, Neuseeland, USA) wurde nach dieser Untersuchung die Radhelmpflicht für Kinder stark kontrolliert. Die Studie macht auch auf regionale Unterschiede in den einzelnen Ländern aufmerksam.

Auch Karkhaneh et al. (2006) befragten alle zwölf Autorinnen der von Ihnen untersuchten Studien (Kap. 7.1) zum Grad der Vollstreckung der Radhelmpflicht und kamen zu dem Schluss, dass diese in den untersuchten Regionen schwach ausgefallen ist. Die Effekte der Radhelmpflicht fielen in den unterschiedlichen Untersuchungsgebieten unterschiedlich aus und es sind mehrere Faktoren dafür verantwortlich:

„The published evidence and our results suggest that perhaps the main effect of the legislation is to educate the community/parents that bike helmets are protective, subsequently changing social norms about helmet use and increasing prevalence. This appears to occur even in the absence of rigorous enforcement.“

7.1.6 Zusammenfassung

Grundsätzlich lässt sich sagen, dass eine Radhelmpflicht immer zu einer Zunahme der Helmtragequote führt. Diese Zunahme tritt auch ein, wenn die Radhelmpflicht nicht streng kontrolliert wird. Auf der anderen Seite scheint es einen Zusammenhang zwischen der Radhelmpflicht und einer Reduktion des Radverkehrsanteils zu geben, vor allem unter Jugendlichen, wobei diese nicht überall und nicht im gleichen Maße zu beobachten war. Unklar ist, wie hoch die Tragequoten werden könnten, wenn es eine strenge Vollstreckung einer Radhelmpflicht gäbe und welchen Einfluss diese auf den Radverkehrsanteil hätte. Leider gibt es keine Studien, die den Zusammenhang

zwischen Vollstreckung der Radhelmpflicht und den Radverkehrsanteil untersuchen (Karkhaneh 2011).

Wie stark der Zusammenhang zwischen einer Radhelmpflicht und einer Abnahme des Radverkehrsanteils - und ob dieser Effekt langfristig relevant ist, lässt sich schwer beurteilen, da die Datenlage zum Radverkehr sehr schlecht ist. Dass es einen Zusammenhang geben kann und eine Radhelmpflicht weiterhin eine Barriere zum Radfahren darstellt, zeigen einige in diesem Kapitel genannten Beispiele und auch aktuelle Befragungen aus Australien.

Für Horton (2007) stellt Angst vor dem Radfahren eine geistige Barriere zum Radfahren dar. Durch Versuche, Radfahren sicherer zu machen, entstehe die Assoziation von Radfahren mit Gefahr. Wenn Radfahrerinnen aufgefordert oder verpflichtet werden, einen Helm zu tragen, würden ihre Ängste angesprochen und verstärkt. Dieser Effekt wird von Horton (2007) „Dangerisation“ genannt.

In einer Telefonbefragung von Rissel und Ming Wen (2011) mit 600 Personen in Sydney geben 14,4 % der Befragten an, sie würden immer ohne Helm fahren, wenn es erlaubt wäre, 30,4 % würden manchmal und 47,6 % nie ohne Helm fahren wollen, 7,6 % waren sich in dieser Frage nicht sicher. Ältere Personen würden eher nicht ohne Helm und erfahrene Radfahrerinnen würden eher ohne Helm fahren. Zwei Drittel der Befragten sprachen sich für die Radhelmpflicht aus, wobei diese von den 16-24-Jährigen sowie von erfahrenen Radfahrerinnen eher nicht unterstützt wurde. Die Autoren führen diese Zahlen darauf zurück, dass Sydney einen kleinen Radverkehrsanteil hat (1,2 % in 2007) und im Vergleich zu anderen Australischen Großstädten nicht fahrradfreundlich ist. Zudem sei die mediale Berichterstattung Radfahren gegenüber negativ eingestellt. Je weniger eine Person mit dem Rad fährt, umso mehr unterstützt sie die Radhelmpflicht und umso weniger ist sie bereit ohne einen Helm zu fahren. Eine mögliche Erklärung hierfür ist nach Rissel & Ming Wen (2011), dass die Gefahren des Radfahrens von weniger erfahrenen Radfahrerinnen überschätzt werden und Radfahren generell als gefährlich eingestuft wird, was durch Helmkampagnen und den öffentlichen Diskurs verstärkt wird.

7.2 Auswirkungen auf das Risiko von Kopfverletzungen

Um beurteilen zu können, ob eine Radhelmpflicht das Risiko von Kopfverletzungen minimiert, muss immer berücksichtigt werden, wie viele Personen mit dem Rad unterwegs sind (wie viele Kilometer im Beobachtungszeitraum mit dem Rad zurückgelegt wurden) und auch, wie viele Radunfälle sich ereignet haben. Es müssen die Kopfverletzungen pro Radkilometer und die Unfälle pro Radkilometer berücksichtigt werden. Dass in einem Beobachtungszeitraum weniger Kopfverletzungen verzeichnet werden, kann mehrere Gründe haben und diese sind sehr komplex:

- Werden in einem Beobachtungszeitraum weniger Unfälle beobachtet, so könnte die Reduktion der Kopfverletzungen dadurch erklärt werden, dass sich weniger Unfälle ereignet haben, beispielsweise durch bessere Verkehrsbedingungen.
- Werden weniger Kilometer mit dem Rad zurückgelegt, kann auch die Reduktion der Kopfverletzungen dadurch erklärt werden. Ein erhöhtes Risiko für die Radfahrerinnen besteht dann, wenn die Kopfverletzungen nicht im gleichen Maße abnehmen, wie die Abnahme der gefahrenen Kilometer oder die Anzahl an beobachteten Radfahrerinnen (siehe Kap. 7.2.8 Safety in Numbers).
- Die Anzahl an Kopfverletzungen sollte proportional zur Tragequote steigen bzw. sinken, um Trends auszuschließen muss dies bei der Bewertung der Radhelmpflicht berücksichtigt werden.

7.2.1 Australien

Robinson (1996) schätzt die Schutzwirkung durch die Radhelmpflicht mit folgenden Gleichungen:

$$hb \times H + (100 - hb) \times N = Pb$$

$$ha \times H + (100 - ha) \times N = Pa$$

hb Helmtragequote (%) vor Einführung der Radhelmpflicht

ha Helmtragequote (%) nach Einführung der Radhelmpflicht

H Kopfverletzungswahrscheinlichkeit mit Helm

N Kopfverletzungswahrscheinlichkeit ohne Helm

Pa Anteil (%) an Kopfverletzungen nach Einführung der Radhelmpflicht

Pb Anteil (%) an Kopfverletzungen vor Einführung der Radhelmpflicht

$$N = \frac{Pa \times hb - Pb \times ha}{(100 - ha) \times hb - (100 - hb) \times ha}$$

$$H = \frac{Pa - (100 - ha) \times N}{ha}$$

Nach Auflösen der Gleichung mit Daten aus Krankenhäusern in New South Wales und Victoria ergeben sich Werte für die Schutzwirkung von Helmen zwischen 24 und 32 % (Tabelle 7-12). Die Schutzwirkung ist als 1-(H/N) definiert, also dem Verhältnis der Wahrscheinlichkeit einer KV mit Helm durch die Wahrscheinlichkeit einer KV ohne Helm.

Tabelle 7-12 Reduktion des KV-Risikos (1-(H/N)) für verschiedene Altersgruppen durch Radhelmpflicht in Victoria und NSW, Australien (nach Robinson 1996).

	<16 Jahre NSW	≥16 Jahre NSW	Alle Altersklassen Victoria	Kinder Melbourne
hb* [%]	31,50	26,10	30,90	39,20
ha* [%]	75,90	81,00	75,20	71,90
Pb [%]	29,30	29,90	31,40	10,90
Pa [%]	25,00	25,70	27,30	9,60
* geschätzt aus Beobachtungen				
N	0,32	0,32	0,34	0,12
H	0,23	0,24	0,25	0,08
H/N	0,70	0,76	0,73	0,68
1-(H/N)	0,30	0,24	0,27	0,32

Nach Robinson (1996) müsste ein verringertes Auftreten von Radfahrerinnen bzw. eine Reduktion der Radfahrleistung mit einem dazu proportionalen Rückgang an Kopfverletzungen einhergehen, selbst wenn Helme keine Schutzwirkung hätten. Für die Zählungen von Walker (1992) und Smith und Milthorpe (1993) (Tabelle 7-13) ist das Verhältnis der Anzahl an Rad fahrenden Kindern vor und nach der Radhelmpflicht 0,64 für das Jahr 1992 und 0,56 für das Jahr 1993 (Bezugsjahr 1991). Wenn nur die Abnahme der Radfahrerinnen berücksichtigt wird, hätten sich 1992 246 (= 384 x 0,64) und 1993 215 (= 384 x 0,56) Kopfverletzungen ereignen müssen. Stattdessen haben sich 272 (1992) und 273 (1993) ereignet. Das sind + 11 % und + 27 % mehr Kopfverletzungen im jeweiligen Jahr. Nicht-KV haben ebenfalls nicht im erwarteten Ausmaß abgenommen. 1992 gab es 815 Verletzungen statt 593 (+ 37 %) und 1993 893 statt 518 (+ 72 %) (Tabelle 7-13)

Tabelle 7-13 Verletzte Radfahrerinnen unter 16 Jahren in NSW zwischen 1989 und 1993 (Robinson 1996)

Table 2. Injuries of cyclists under 16 admitted to hospital in NSW (Source NSW Health Department) compared with estimated amount of cycling

Year to end June	No of head injuries (<i>H</i>)	No of non head injuries (<i>O</i>)	No of cyclists (Proportion of 1991) (<i>N</i>)	Equivalent no of injuries for pre law numbers of cyclists	
				Head injury (= H/N)	Other injury (= O/N)
1989	414	908			
1990	453	1053			
1991	384	926	1.00	384	926
1992	272	815	0.64	425	1273
1993	273	893	0.56	488	1595

Selbst wenn die Tragequote nicht gestiegen wäre bzw. wenn Helme keinen zusätzlichen Schutz bieten würden, hätten sich weniger KV ereignen müssen, weil weniger Radfahrerinnen gefahren sind. Aus diesen Zahlen geht hervor, dass zwar die Verletzungen in Summe zurückgegangen sind, das Risiko (die Verletzungswahrscheinlichkeit) für die Radfahrerinnen jedoch gestiegen ist.

Olivier et al. (2013) modellierten die Entwicklung von Kopfverletzungen im Vergleich zu Verletzungen der Arme für NSW zwischen 1990 und 2010 (Abbildung 7-9). Es lässt sich ein steigender Trend für beide Verletzungsarten feststellen, wobei die Wachstumsrate pro Jahr der Kopfverletzungen mit 0,5 % kleiner ist als die der Arme mit 3,3 %. Das Verhältnis Kopfverletzungen zu Nicht-KV zeigt einen fallenden Trend zwischen 1990 und 2010 (Abbildung 7-10). Zu beachten ist, dass die Verletzungen pro 100.000 Einwohnerinnen angegeben werden und nicht pro gefahrene Radkilometer, da es hierfür keine vollständigen Daten gibt. Auch gibt es seit 1993 keine Veröffentlichungen zu Helmtragequoten in NSW (Olivier et al. 2013).

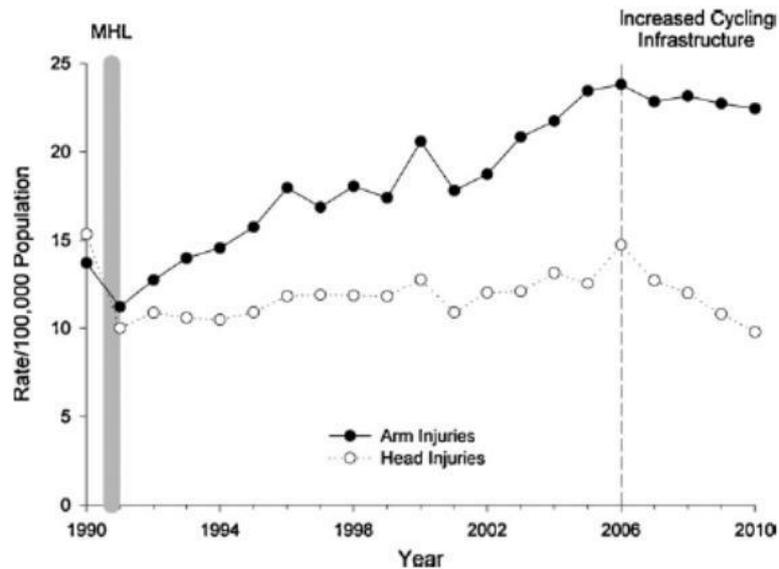


Abbildung 7-9 Verletzungsraten (Kopf- und Armverletzungen) pro 100.000 EW in NSW zwischen 1990 und 2010 (Olivier et al. 2013)

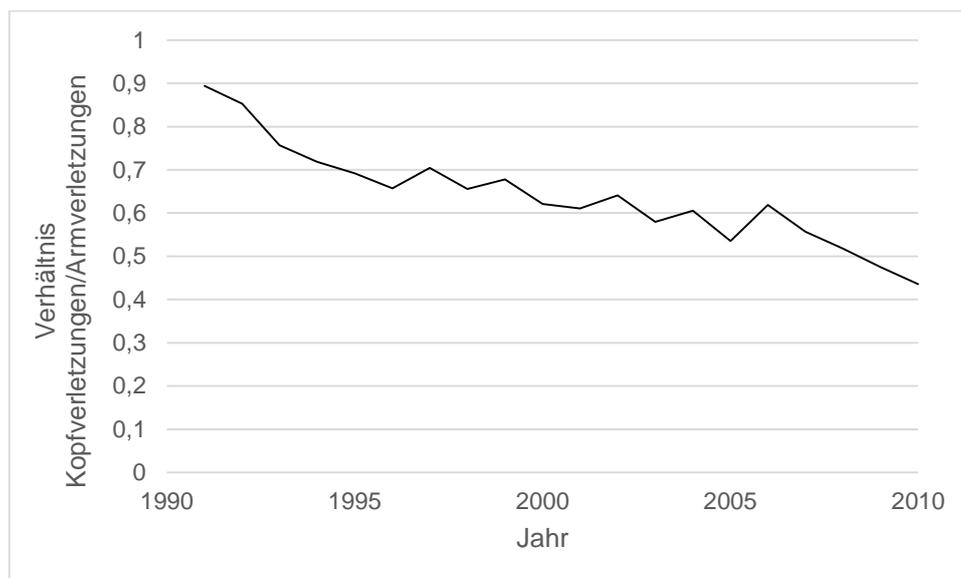


Abbildung 7-10 Verhältnis Kopfverletzungen/Armverletzungen in NSW zwischen 1990 und 2010 (Eigene Darstellung, Daten: Olivier et al. 2013)

Hendrie et al. (1999) berichten von 11 % bis 21 % weniger Radfahrerinnen, die in Western Austria aufgrund von Kopfverletzungen in Krankenhäusern behandelt wurden, die Autorinnen haben keine Daten zur Reduktion des Radverkehrsanteils berücksichtigt.

Carr et al. (1995) geben für die ersten vier Jahre nach Einführung der Radhempflcht in Victoria eine 39,5 %-ige Reduktion von Kopfverletzungen an. In dieser Modellierung wurden andere Faktoren (wie z.B. Änderungen in der Aufnahmepolitik von

Krankenhäusern) berücksichtigt und eine Bereinigung der Daten vorgenommen, sodass die Autorinnen die Reduktion auf die Radhelmpflicht zurückführen. Für Unfälle mit dem MIV wurde eine Reduktion von 45,3 % festgestellt. Die Autorinnen untersuchten auch die Reduktionen nach Verletzungsgrad, welcher mit dem Abbreviated Injury Scale (AIS) angegeben wird. Der AIS (Tabelle 7-14) ist eine international verwendete Kategorisierung von Verletzungen nach Schweregraden und stuft Verletzungen zwischen 1 (gering) und 6 (tödlich) ein (Nakahara & Yokota 2011). Der Anteil an schweren und sehr schweren Verletzungen (AIS 3 und 4) nahm als Verhältnis zu den gesamten KV von 17,1 auf 10,3 % um 39 % ab, absolut gesehen um 47 %. Für kritische Verletzungen (AIS 5) war allerdings keine signifikante Reduktion festzustellen, das heißt, je schwerer ein Unfall ist, umso geringer fällt die Schutzwirkung des Helmes aus. (Tabelle 7-15).

Tabelle 7-14 Definition der AIS-Codes (Trauma.org n.d.)

AIS-Code	Verletzungsgrad
1	Gering
2	Ernsthaft
3	Schwer
4	Sehr schwer
5	Kritisch
6	Maximal (nicht behandelbar)
9	Nicht genauer angegeben

Tabelle 7-15 Anzahl Kopfverletzungen von Radfahrerinnen nach Verletzungsgrad vor und nach Einführung der Radhelmpflicht in Victoria, Australien (Carr et al. 1995)

Maximum Head AIS level (MAIS)	Pre-law (7/1987-6/1990)		Post-law (7/1990-6/1994)		Total
	N	%	N	%	
1	1	0,1	0	0	1
2	1.013	79,5	976	86,4	1.989
3	91	7,1	39	3,5	130
4	127	10	77	6,8	204
5	42	3,3	38	3,4	80
Total	1.274		1.130		2.404

7.2.2 Kanada

Macpherson et al. (2002) untersuchten die Auswirkungen der Radhelmpflicht für Kinder in Kanada. Daten des Canadian Institute for Health Information (CIHI) aus den Jahren 1994 bis 1998 wurden für die Studie herangezogen, wobei vier Provinzen mit Radhelmpflicht und acht ohne Radhelmpflicht miteinander verglichen wurden. Es wurde ein signifikanter Unterschied zwischen dem Rückgang an Kopfverletzungen in den beiden Gruppen ermittelt.

Vor Einführung der Radhelmpflicht waren die Kopfverletzungsraten zwischen den beiden Gruppen ähnlich (18,27 pro 100.000 Kinder in Provinzen, in denen die HP eingeführt wurde und 18,35 in Provinzen, in denen sie nicht eingeführt wurde). Nach Einführung der HP konnte in den Provinzen mit HP eine 45 %-ige Reduktion der KV-Rate festgestellt werden (1994: 18,27 pro 100.000 EW und 1998: 9,96 pro 100.000 EW). In der Gruppe ohne Radhelmpflicht fand eine Reduktion um 27 % statt (18,35 zu 13,33). Mittels χ^2 -Test wurde festgestellt, dass die Abnahme der Gruppe mit HP signifikant größer war ($p = 0,001$). Da keine Daten zum Radverkehr vorhanden waren, wurden andere verletzte Körperteile als Bezug herangezogen um mögliche Auswirkungen durch die Reduktion von Radfahrerinnen auszuschalten. Das Verhältnis KV zu anderen Verletzungen nahm in Provinzen mit HP zwischen 1994 und 1998 von 0,67 auf 0,41 ab, der Unterschied von 0,26 (95 %-KI: 0,25–0,27) stellt eine Reduktion um 38 % dar.

In den Provinzen ohne HP betrug der Unterschied 0,04 (95 %-KI: 0,03-0,05), das ist eine Reduktion von 8 %. Macpherson et al. (2002) geben an, dass die Radhelmpflicht die einzige signifikante Variable war.

Karkhaneh (2011) untersuchte Daten aus über hundert Krankenhäusern in Alberta zwischen 1999 und 2006. Es wurden die Kopfverletzungen und andere Verletzungen von Radfahrerinnen vor (1999-2001) und nach (2003-2006) Einführung der Radhelmpflicht verglichen. Die Unfallzahlen wurden auf die Bevölkerungszahlen von Alberta bezogen. Als Kontrollgruppe wurden Fußgängerinnen herangezogen, um Trends hinsichtlich der Verkehrssicherheit zu berücksichtigen.

Der Jahresdurchschnitt über die drei Jahre vor Einführung der Radhelmpflicht (1999-2001) betrug für Radfahrerinnen 47,3 Kopfverletzungen pro 100.000 EW, nach Einführung (2003-2006) 40,5 (Abbildung 7-11). Das stellt einen Rückgang von 6,8 Kopfverletzungen pro 100.000 EW dar. Für Kinder betrug dieser Rückgang 30,3 und für Erwachsene 1,2 pro 100.000 EW⁴, für Teenager stieg der Wert um 3,5. Die beiden letzten Werte sind statistisch nicht signifikant. Nicht-Kopfverletzungen stiegen für Kinder und Teenager signifikant an. Für Nicht-Kopf-Verletzungen ergab sich folgendes Bild: Bei Kindern stieg die Zahl der Verletzungen von 310,4 auf 325 pro 100.000 EW,

⁴ Pro 100.000 EW aus der jeweiligen Altersgruppe

bei Teenagern von 390,2 auf 464. Unter den Erwachsenen gab es keine signifikanten Unterschiede (Abbildung 7-11).

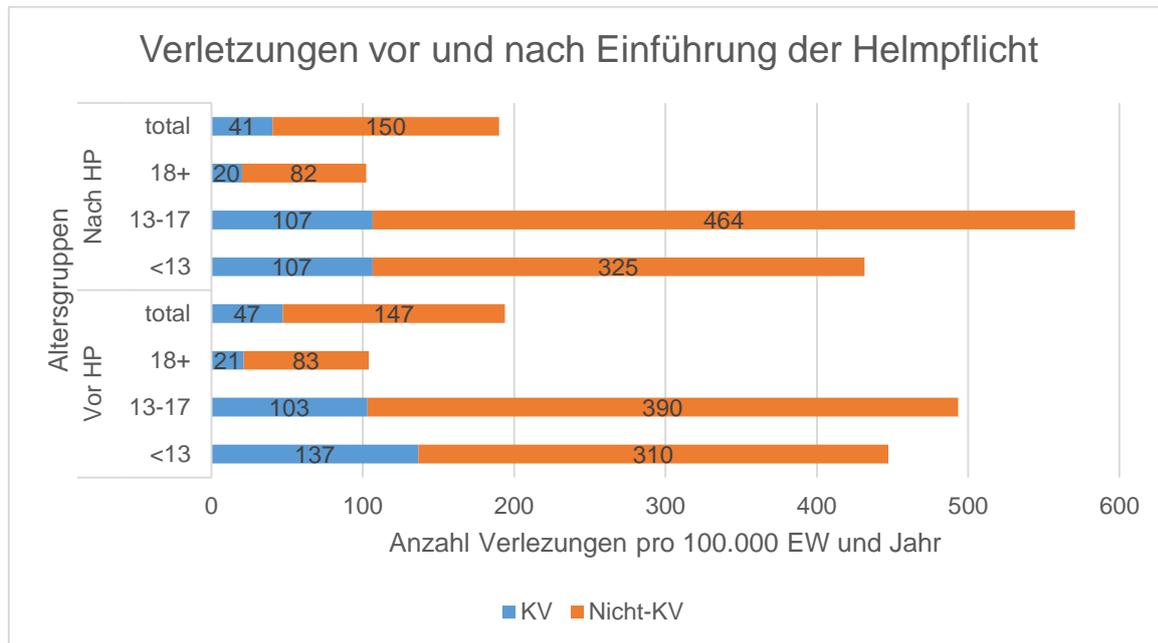


Abbildung 7-11 Vergleich von Verletzungen von Radfahrerinnen nach Altersgruppen vor und nach Einführung der Helmpflicht in Alberta, Kanada. Behandlungen in der Notaufnahme (Nach Karkhaneh 2011)

Bezogen auf die Bevölkerungszahlen hat das Verhältnis Kopfverletzungen/Nicht-Kopfverletzungen für Radfahrerinnen abgenommen, das spricht für die Schutzwirkung von Helmen. Änderungen der Verhältnisse vor und nach der Radhelmpflicht können Tabelle 7-16 und Abbildung 7-12 entnommen werden. Die Anzahl aller Verletzungen pro 100.000 EW ist für Radfahrerinnen der Altersgruppe 13-17 Jahre jedoch gestiegen. Werden diese Zahlen mit denen von Fußgängerinnen und anderen Radfahrerinnen verglichen, so sind unterschiedliche Entwicklungen erkennbar (Abbildung 7-13).

Tabelle 7-16 Änderung des Verhältnisses (V) Kopfverletzung/Nicht-Kopfverletzung (KV/N) vor und nach Einführung der Radhelmpflicht nach Altersgruppen für Radfahrerinnen und Fußgängerinnen in Alberta, Kanada. S = statistisch signifikant. (Nach Karkhaneh, 2011)

	Ø KV/N	Ø KV/N	V	S	Ø KV/N	Ø KV/N	V	S
	1999-2001	2003-2006			1999-2001	2003-2006		
	Rad				Fuß			
<13	0,31	0,25	0,81	*	0,33	0,29	0,89	
13-17	0,21	0,19	0,89	*	0,18	0,18	1,00	
18+	0,21	0,20	0,96	*	0,22	0,20	0,93	
total	0,25	0,21	0,86	*	0,23	0,21	0,90	*

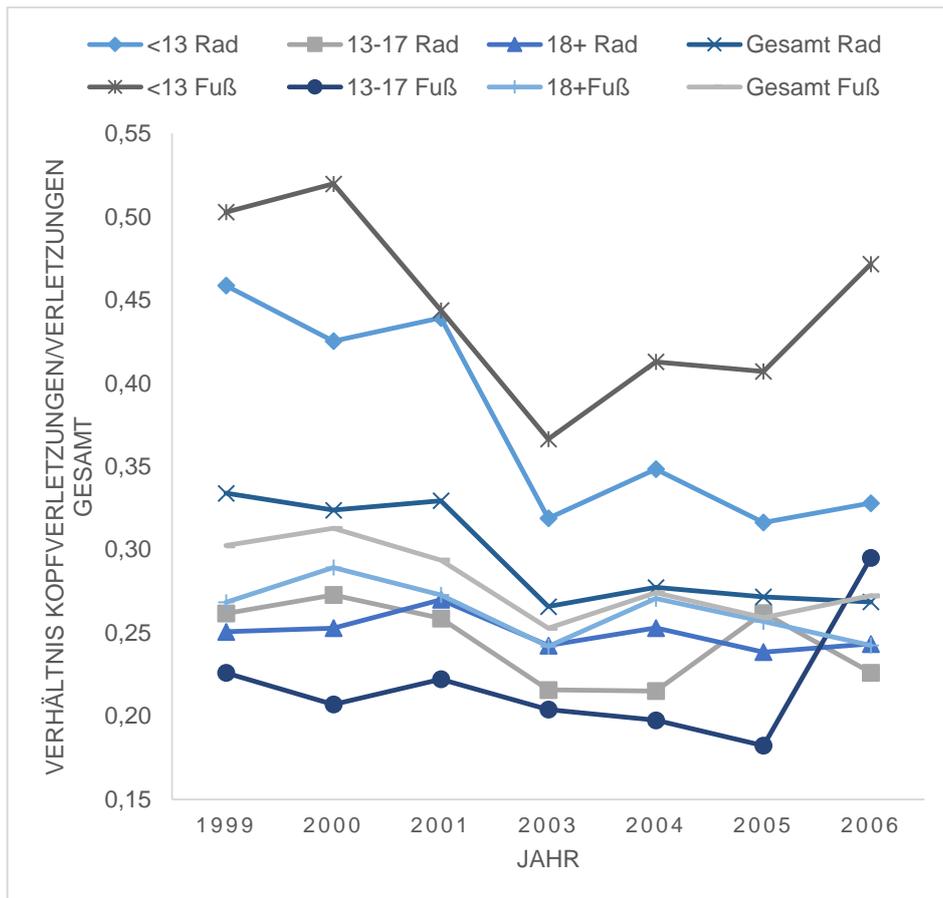


Abbildung 7-12 Verhältnis Kopfverletzung/Nicht-Kopfverletzungen zwischen 1999 und 2006 für Radfahrerinnen und Fußgängerinnen nach Altersgruppen in Alberta, Kanada. Behandlungen in der Notaufnahme (Eigene Darstellung nach Karkhaneh 2011)

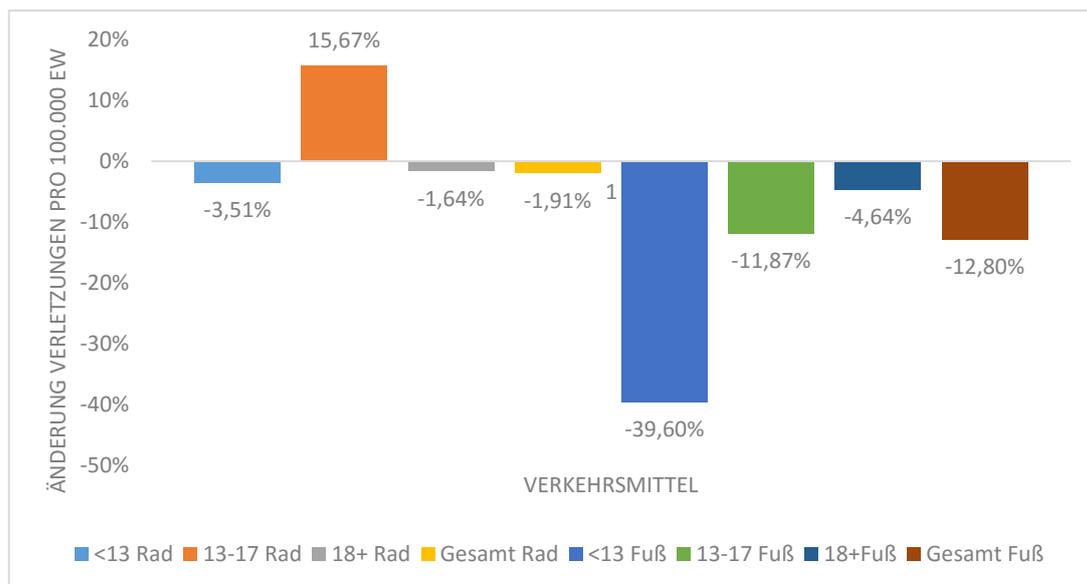


Abbildung 7-13 Entwicklung aller Verletzungen von Radfahrerinnen und Fußgängerinnen pro 100.000 EW und Jahr nach Altersgruppen vor und nach Radhelmpflicht. (Eigene Darstellung nach Karkhaneh 2011)

Wenn die Änderungen der Anzahl an Verletzungen auf die Änderungen der Anzahl an gezählten Radfahrerinnen bezogen werden, ist erkennbar, dass das Risiko einer (Kopf-)verletzung für die Gruppe der unter 18-Jährigen gestiegen ist. Das Risiko eine KV zu erleiden ist für Kinder 1,76 Mal größer als vor der Radhelmpflicht, für Teenager 1,5 Mal größer und für Erwachsene nur 0,88 (Tabelle 7-17).

Tabelle 7-17 Vergleich zwischen Änderungen in der Anzahl an Kopfverletzungen und Anzahl an gezählten Radfahrerinnen pro Stunde vor und nach Einführung der Radhelmpflicht in Alberta (Eigene Darstellung nach BHRF 2014 und Karkhaneh 2011)

Ø Kopfverletzungen/Jahr			Ø Alle Verletzungen/ Jahr			Verhältnis Radfahrerinnen pro Stunde vor und nach Radhelmpflicht	Verhältnis Änderung Radnutzung zu Änderung Anzahl Verletzungen		
	1999-2001	2003-2006	V	1999-2001	2002-2006		V	KV	Alle
<13	739	577,25	0,78	2.415	2.339	0,97	0,44	1,76	2,18
13-17	230	253	1,10	1.100	1.354	1,23	0,73	1,50	1,68
18+	476	504	1,06	2.323	2.567	1,10	1,21	0,88	0,92

7.2.3 Neuseeland

Am 1. Januar 1994 trat die HP in Neuseeland für alle Altersgruppen in Kraft. Scuffham et al. (2000) gehen von einer 19 %-igen Reduktion an Kopfverletzungen durch die Einführung der Radhelmpflicht in den ersten drei Jahren aus. Eine 1 %-ige Steigerung der Tragequote wird mit einer 0,43 %-igen Reduktion aller Kopfverletzungen assoziiert. Nach Povey et al. (1999) konnten 1994 Kopfverletzungen um 24 bis 32 % reduziert werden, um 20 % für Unfälle mit Kfzs. Für eine Zunahme der Helmtragequote um 5 % nahmen die Kopfverletzungen ohne Beteiligung von Kfzs bei Kindern zwischen 5 und 12 Jahren um 10,2 %, zwischen 13 und 18 Jahren um 5,3 % und bei Erwachsenen um 3,2 % ab. Für die Jahre vor der Radhelmpflicht ergibt sich eine Abnahme von 3,47 Verletzungen pro 1 % Zunahme der Tragequote. Für die Jahre danach sind es 0,23. Povey et al. (1999) geben als eine mögliche Erklärung für diese Zahlen das Gesetz des abnehmenden Ertrags an. So würden Helme von Menschen eher richtig getragen, wenn dies freiwillig geschieht. Robinson (2001) bezweifelt, dass die Wirkung von Helmen vor Einführung der Radhelmpflicht 15 Mal größer sei als danach und interpretiert die Zahlen als Trend. Als weiteren Hinweis für einen Trend führt Robinson (2001) an, dass die Änderungen bei den Kopfverletzungen unter Erwachsenen und Jugendlichen in einem ähnlichen Maß abgenommen ($r= 0,955$)

haben, obwohl die Änderungen bei der Tragequote sehr unterschiedlich sind (Abbildung 7-14).

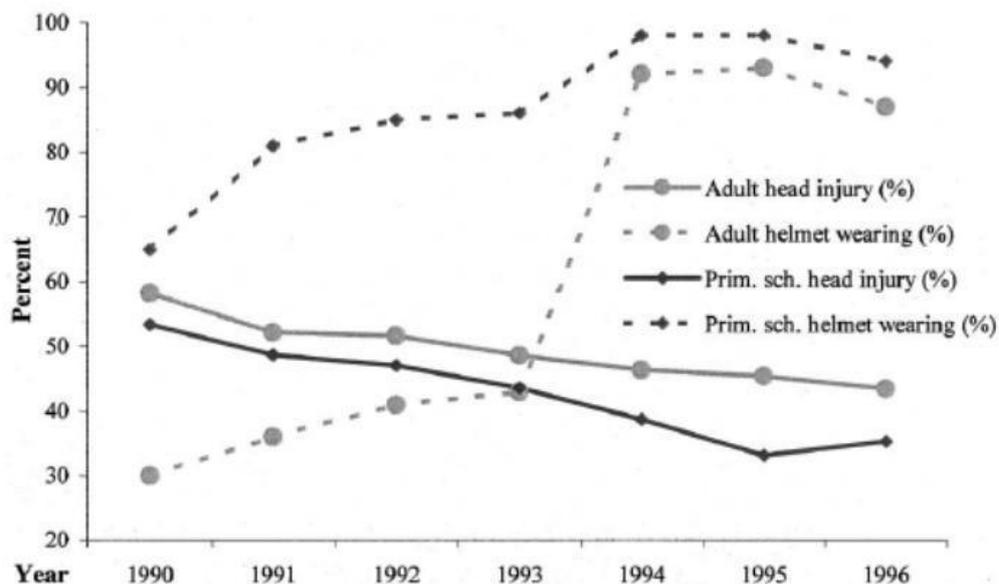


Abbildung 7-14 Helmtragequoten in Neuseeland (Erwachsene und Grundschul Kinder) und Kopfverletzungsrate nach Unfällen ohne Kfz Beteiligung (Robinson 2001).

7.2.4 Kalifornien

In Kalifornien trat die Radhelmpflicht für Radfahrerinnen bis 17 Jahre am 1. Januar 1994 in Kraft. Lee et al. (2005) untersuchten Krankenhausdaten zwischen 1991 und 2000 aus allen öffentlichen Krankenhäusern im Bundesstaat. Es gibt keine Daten zur Helmtragequote und zur Radverkehrsleistung, weshalb das Verhältnis von Kopfverletzungen zu anderen Verletzungen als Maßzahl herangezogen wurde. Es wurden die Daten von Erwachsenen mit Radfahrerinnen bis 17 Jahre verglichen. Verkehrstote wurden in der Untersuchung nicht berücksichtigt, da die Todesursachen nicht bekannt waren.

Für die Gruppe bis 17 Jahre konnte in der Zeit nach Einführung der Radhelmpflicht eine Reduktion von 18,2 % bei den Gehirnverletzungen festgestellt werden. Andere Kopfverletzungen verzeichneten keine signifikante Abnahme, dies könnte damit zusammenhängen, dass auch Gesichts- und Nackenverletzungen dazu gezählt wurden. Die größte Abnahme an Gehirnverletzungen wurde in der Gruppe der 0-9-Jährigen und die kleinste in der Gruppe der 14-17-Jährigen festgestellt. Für die

Gruppe der Erwachsenen waren die Änderungen bei allen Verletzungsarten nicht signifikant.

7.2.5 Weitere mögliche Gründe für die Reduktion von Kopfverletzungen

Daten zu Todesfällen und schweren Verletzungen (Death and serious injuries, DSI) von Radfahrerinnen in NSW wurden von Robinson (1996) mit denen von verunglückten Fußgängerinnen verglichen, um zu überprüfen, ob sich der Rückgang an Kopfverletzungen durch bessere Verkehrsbedingungen erklären lässt oder auf die Radhelmpflicht zurück zu führen ist. Tabelle 7-18 zeigt, dass die Anzahl an verunglückten Fußgängerinnen zwischen 1993 und 1990 um 21 % zurückgegangen ist. Werden diese Daten mit dem Rückgang an Radfahrerinnen unter 16 Jahren verglichen, so hätten sich im Jahr 1993 85 statt 103 DSI ereignen müssen, das stellt eine Zunahme um 21 % dar.

Tabelle 7-18 Vergleich schwerverletzter und getöteter RadfahrerInnen und FußgängerInnen in New South Wales unter 16 Jahren zwischen 1989 und 1993 (Robinson 1996)

Table 3. Numbers of reported deaths and serious injuries (DSI) for various road users aged 0–16 in NSW (from Road Traffic Accidents in NSW)

Year to end December	Reported DSI, all child road users	Reported Pedestrian DSI, (P)	Reported DSI, Cyclists (C)	No of cyclists (proportion of pre law), (N)	DSI for pre law no of cyclists (R = C/N)	Cyclist DSI vs Pedestrian = R/P
1989	1207	380	175			
1990	1037	354	152	1.00	152	0.43
1991	877	315	115			
1992	836	316	97	0.64	152	0.48
1993	829	281	103	0.56	184	0.65

Robinson (1996) verglich die Zählzeiten von Finch et al. (1993) mit jenen von drei Krankenhäusern in Melbourne und kam zu ähnlichen Ergebnissen wie in Victoria (Tabelle 7-19).

Tabelle 7-19 Vergleich zwischen geschätzter Anzahl an Rad fahrenden Kindern und Verletzungen in Melbourne 1990-1993 (Robinson 1996)

Table 5. Children's cycling activity and bicycle injuries, Melbourne (VISS injury data)

Year to end June	Proportion of 1990 cycle use (N)	Total cycling injuries, (C)	Total head injuries (H)	Equivalent no of injuries for pre law cycle use	
				All injuries (= C/N)	Head injury (= H/N)
1990	1.00	809	88	809	88
1991	0.67	628	60	937	90
1992	0.64	604	58	944	91
1993	n/a	633	63		

Robinson (1996) gibt als eine mögliche Erklärung für den Rückgang der Verletzungen sowohl bei Fußgängerinnen und Radfahrerinnen bessere Verkehrsbedingungen an. In Victoria wurden im Dezember 1989 und im März 1990 Maßnahmen (Überwachungskameras und härtere Strafen) gegen Rasen und Autofahren unter

Alkoholeinfluss eingeführt und 1989 reduzierten sich die Todesfälle unter Fußgängerinnen um 42 %, was durch eine mögliche Reduktion von Aufprallgeschwindigkeiten erklärt werden könnte.

In den Jahren vor Einführung der Radhelmpflicht in Australien nahm die Beliebtheit des Radfahrens zu. Robinson (1996) vergleicht diese Zahlen mit jenen von DSI in Western Australia und NSW und räumt ein, dass die starke Zunahme an Radfahrerinnen mit einer geringen Zunahme an DSI einherging und dass die Wahrnehmung von Radfahrerinnen im Straßenverkehr und Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit eine größere Rolle spielen als das Tragen von Helmen (siehe Kapitel 7.2.8 Safety in Numbers).

Schadensersatzansprüche (Abbildung 7-4) von Verletzten Radfahrerinnen und Fußgängerinnen, die von Autos getroffen wurden und eine Kopfverletzung erlitten, wurden für Victoria für ein Jahr vor und zwei Jahre nach Einführung der Radhelmpflicht verglichen, um zu analysieren, ob ein Rückgang an Kopfverletzungen mit der Radhelmpflicht erklärbar ist, oder ob sich durch andere verkehrspolitische Maßnahmen weniger Unfälle ergeben haben (Robinson, 1996). Für beide Gruppen lässt sich ein Rückgang an Schadensersatzansprüchen feststellen, wobei in den Jahren 1980 bis 1985 ein ähnlicher Trend festzustellen war. Die Korrelation zwischen Verletzungen von Radfahrerinnen und Fußgängerinnen war statistisch signifikant ($r = 0,94$, $p < 0,02$). Robinson (1996) nennt auch Queensland und South Australia als weitere Beispiele für einen Rückgang an Kopfverletzungen, der sich nicht ausschließlich durch die Radhelmpflicht erklären lässt. In Queensland wurde vor Einführung der Radhelmpflicht ein Rückgang an Kopfverletzungen unter Radfahrerinnen beobachtet und in South Australia wurde ein Rückgang an Kopfverletzungen unter allen Verkehrsteilnehmerinnen beobachtet. In Western Australia folgte der Anteil an Kopfverletzungen unter Radfahrerinnen einem ähnlichen Trend wie unter Fußgängerinnen und Autoinsassen (Hendrie et al. 1999).

7.2.6 Zusammenfassung

Während die Schutzwirkung von Helmen relativ einfach zu ermitteln ist, ist die Frage nach der Schutzwirkung einer Radhelmpflicht für die Rad fahrende Population eine komplexere. Einerseits hat die Anzahl der Kopfverletzungen in den Gebieten mit einer Radhelmpflicht absolut gesehen abgenommen, auf der anderen Seite scheint sich das

spezifische Risiko für die einzelnen Radfahrerinnen erhöht zu haben. Auch das Unfallrisiko ist in den betroffenen Gebieten gestiegen. Eine Erklärung für diese Entwicklungen könnte Risikokompensation oder der Effekt „Safety in Numbers“ sein, die in den folgenden Kapiteln behandelt werden.

Bei der Bewertung einer Radhelfpflicht ist auch wichtig, andere Faktoren oder verkehrspolitische Maßnahmen, die zu einer Reduktion von Unfällen bzw. Kopfverletzungen geführt haben könnten, mit zu berücksichtigen wie z.B. eine Reduktion des Tempolimits.

7.2.7 Risikokompensation

Die Risikokompensationstheorie besagt, dass Menschen sich riskanter verhalten, wenn sie glauben, durch bestimmte Vorrichtungen geschützt zu werden. Die Schutzwirkung dieser Vorrichtungen (z.B. Sicherheitsgurte, ABS, Helme etc.) werde durch ein riskanteres Verhalten kompensiert, sodass eine Verminderung des Risikos geringer ausfällt als erwartet.

Im Fall der Radhelfpflicht würde die Risikokompensationstheorie sowohl das Fahrverhalten von Radfahrerinnen mit Helm selbst betreffen als auch das Verhalten von Autofahrerinnen gegenüber Radfahrerinnen mit Helm.

7.2.7.1 Risikokompensation von Radfahrerinnen

Risikokompensation durch Radfahrerinnen wird in zahlreichen Publikationen als eine mögliche Erklärung für die geringere Schutzwirkung von Helmen auf Populationsebene genannt (Curnow 2005; Adams & Hillman 2001; Robinson 2007), allerdings ist der Nachweis für eine Verhaltensänderung unter Radfahrerinnen bisher nicht erbracht worden. Im Gegenteil, Studien zeigen, dass Helmträgerinnen sich weniger riskant verhalten als nicht Helmträgerinnen (Lardelli-Claret et al. 2003) bzw. dass Radfahrerinnen ohne Helm eher in schwere Unfälle verwickelt sind als Helmträgerinnen (Spaite et al. 1991). Farris et al. (1997) beobachteten ebenfalls, dass Helmträgerinnen eher Verkehrsregeln (Handsignale geben und anhalten, wenn es verpflichtend ist) einhalten als Nicht-Trägerinnen.

Lardelli-Claret et al. (2003) etwa untersuchten Unfalldaten von ca. 23.000 Radfahrerinnen in Spanien für den Zeitraum zwischen 1990 und 1999. Sie konnten einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Nichttragen eines Helmes und dem

Begehen von Verstößen gegen Verkehrsregeln wie beispielsweise falsches Abbiegen feststellen. Für zu schnelles Fahren konnten sie keinen Zusammenhang zwischen dem Tragen oder Nichttragen eines Helmes feststellen. Für die Autorinnen ist das Nichttragen eines Helmes und gegen Verkehrsregeln zu Verstoßen ein Indiz für ein grundsätzlich riskantes (Fahr)-Verhalten von Radfahrerinnen. Sollten Helmträgerinnen von Grund auf vorsichtiger sein und es einen Risikokompensationseffekt geben, so scheint dieser nicht stark genug ausgeprägt zu sein, um die gleiche Anzahl an Verstößen herbeizuführen wie unter Nichthelmträgerinnen. Eine andere Erklärung ist, dass es keine Risikokompensation für Helmträgerinnen gibt (Lardelli-Claret et al. 2003).

Fyhri & Phillips (2013) fanden in einem Feldexperiment heraus, dass Radfahrerinnen, die normalerweise einen Helm tragen, signifikant langsamer fahren und sich ihre Herzfrequenz (als Proxy für eine psychophysische Belastung) signifikant erhöht, wenn sie ohne Helm fahren. Ob dies eine Bestätigung der Risikokompensationstheorie ist, stellen die Autoren in Frage, zumal für die Probandinnen, die normalerweise ohne Helm fahren, keine signifikante Änderung im Fahrverhalten oder Herzfrequenz festzustellen war. Die Autoren merken jedoch an, dass argumentiert wird, dass Risikokompensation längere Zeit braucht, bis ein Effekt eingetreten ist und dass ihre Probandinnen demnach nicht genügend Zeit gehabt hätten, sich an den Helm zu gewöhnen.

Mit den Worten von (Curnow 2005) lässt sich die Kenntnis über die Auswirkungen einer Radhelmpflicht in Zusammenhang mit einer Risikokompensation für Radfahrerinnen gut zusammenfassen:

“Another possible reason why the aggregate effects of bicycle helmets could be smaller than expected on the basis of individual effects is behavioural adaptation. Once helmeted, cyclists might feel better protected and adopt more risky riding behaviour. While this cannot be ruled out, there is no direct evidence for it and performing a convincing study of such behavioural adaptation would be very difficult. The issue remains unresolved.”

7.2.7.2 Risikokompensation von Autofahrerinnen

Walker (2007) fand in einer experimentellen Studie heraus, dass Autofahrerinnen beim Überholen einen geringeren Abstand zu Radfahrerinnen halten, wenn diese einen

Helm tragen. Der Autor fand heraus, dass der Effekt des Helmes signifikant war und nennt zwei mögliche Gründe für dieses Verhalten. Einerseits könnte die Schutzwirkung eines Helmes zu einem riskanteren Verhalten der Autofahrerinnen führen, da diese annehmen könnten, die Auswirkungen wären im Fall eines Unfalls mit Helm geringer. Auf der anderen Seite könnten Autofahrerinnen glauben, dass Helmträgerinnen vorsichtiger fahren würden und voraussehbarer wären. Nach einer Untersuchung von Basford et al. (2002) glauben Autofahrerinnen tatsächlich oft, dass Helmträgerinnen seriöser, vernünftiger und erfahrener als Nicht-Helmträgerinnen wären.

7.2.7.3 *Zusammenfassung Risikokompensation*

Die Frage, ob Risikokompensation von Radfahrerinnen mit dem Tragen von Helmen zusammenhängt, ist Gegenstand der wissenschaftlichen Auseinandersetzung. Für diese Arbeit wurde nur eine Studie gefunden, die den Zusammenhang zwischen Helmtragen von Radfahrerinnen und einem riskanteren Verhalten von Autofahrerinnen bestätigt, nicht allerdings einen Zusammenhang zwischen Helmtragen und einem erhöhten Unfallrisiko. Die Risikokompensationstheorie wird nicht in der Nutzen-Kosten-Analyse in dieser Arbeit berücksichtigt, da sie für Radfahrerinnen sehr umstritten ist und mangels einer geeigneten Methode der Einbeziehung einer Risikokompensation durch Autofahrerinnen.

7.2.8 Safety in Numbers

Die Wahrscheinlichkeit für eine Radfahrerin, in einen Unfall mit Beteiligung des MIV verwickelt zu werden, sinkt mit zunehmendem Anteil an Radfahrerinnen, es gibt also keinen linearen Zusammenhang zwischen Unfallraten und Radverkehrsanteil. In der Literatur wird vom Effekt „Schutz der Masse“ gesprochen beziehungsweise „Safety in numbers“ (SiN). Wenn die HP zu einer Reduktion des Radverkehrs führt, dann erhöht sie die Wahrscheinlichkeit für Radfahrerinnen zu verunglücken. Abbildung 7-15 und Abbildung 7-16 zeigen den Effekt für die Stadt Wien zwischen 2002 und 2009 sowie für zehn verschiedene europäische Länder (Pfaffenbichler et al. 2011).

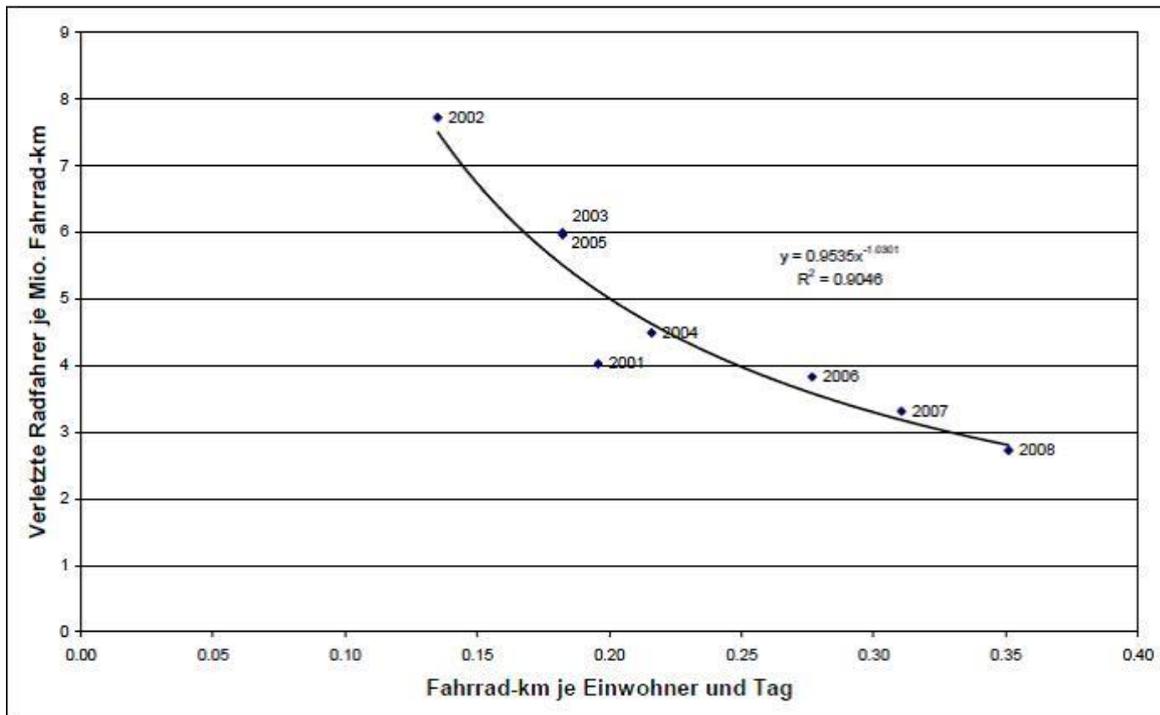


Abbildung 7-15 Gegenüberstellung der Verunglücktenrate und der zurückgelegten Fahrradkilometer je Einwohnerin in Wien, 2002 – 2008 (Pfaffenbichler et al. 2011)

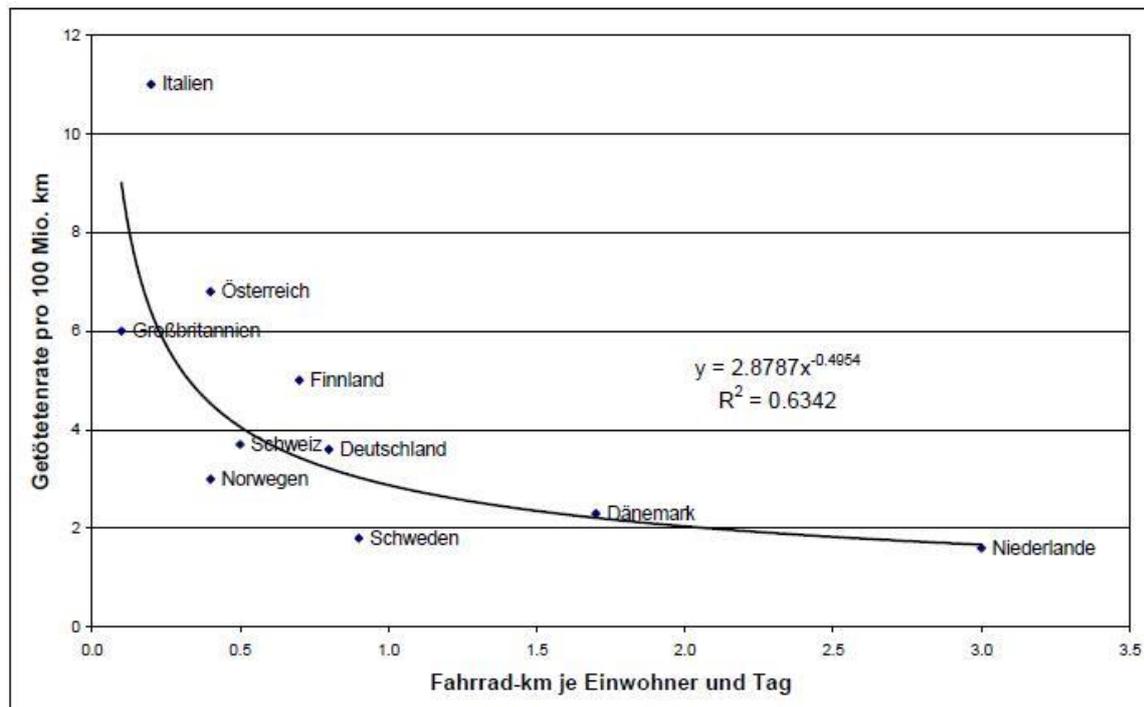


Abbildung 7-16 Gegenüberstellung der Getötetenrate und der zurückgelegten Fahrradkilometer je Einwohnerin in Europa (Pfaffenbichler et al. 2011)

Jacobsen (2003) erklärt die unterschiedlichen Verunglücktenraten in Abhängigkeit der Radverkehrsleistung mit Änderungen im Fahrverhalten von Fahrerinnen von motorisierten Fahrzeugen, welches sich dem Anteil an Radfahrerinnen anpassen

würde. Der Autor geht nicht davon aus, dass Veränderungen der Verkehrsinfrastruktur, Gesetze oder gesellschaftlicher Normen die Unterschiede in seiner Untersuchung erklären können, zumal diese relativ langsam stattfinden würden und die Änderungen der Verunglücktenraten in den beobachteten Zeitreihendaten relativ schnell eingetreten sind. Jacobsen (2003) zitiert eine weitere Studie aus den USA (Todd 1992), die zeigt, dass Autofahrerinnen langsamer fahren, wenn sie viele Fußgängerinnen auf den Straßen sehen und schneller im umgekehrten Fall. Weiters sei in Gebieten mit einem hohen Radverkehrsanteil die Wahrscheinlichkeit, dass eine Autofahrerin selbst gelegentlich Rad fährt, größer und so würde sich diese vermutlich rücksichtsvoller gegenüber anderen Radfahrerinnen im Straßenverkehr verhalten, weil sie deren Bedürfnisse und Probleme im Verkehrsablauf aus RF-Sicht kennt.

Durch eine Abnahme an Radfahrerinnen im Straßenverkehr kann davon ausgegangen werden, dass sie von Autofahrerinnen weniger wahrgenommen werden (Robinson 1996). Robinson (2006) schätzt, dass es zu gleich vielen bzw. mehr Kopfverletzungen kommen würde, wenn es zu einer Zunahme von 10 % der Unfallraten pro Kilometer von weniger schweren Unfällen kommt, selbst wenn mit einer Schutzwirkung von Helmen von 80 % gerechnet wird.

8 Nutzen-Kosten-Analyse

Um die Sinnhaftigkeit von Verkehrssicherheitsmaßnahmen zu bewerten, sind Nutzen-Kosten-Analysen notwendig. Eine Radhelmpflicht ist dann sinnvoll, wenn der erwartete Nutzen die erwarteten Kosten, die durch deren Einführung entstehen, übersteigt, wenn also folgende Gleichung erfüllt ist:

$$\text{Nutzen} - \text{Kosten} > 0$$

Der Nutzen besteht in der Einsparung von Unfallkosten, die durch Kopfverletzungen verursacht werden. Dieser betrifft nur Radfahrerinnen, die vor Einführung der Radhelmpflicht ohne Helm gefahren sind, weiterhin das Rad als Verkehrsmittel nutzen und nun mit Helm fahren. Kosten entstehen, wenn aufgrund der Radhelmpflicht weniger Rad gefahren wird, also wenn weniger Radkilometer zurückgelegt werden. Diese Kosten werden durch die sogenannte Behavior Changing Group verursacht, es wird angenommen, dass nur Radfahrerinnen, die vor Einführung der Radhelmpflicht ohne Helm gefahren sind, dieser Gruppe angehören (de Jong 2012).

Die Kosten können in gesundheitliche Kosten und Umweltkosten eingeteilt werden. Erstere entstehen durch eine Abnahme der körperlichen Aktivität, letztere wenn Radkilometer durch Pkw-Kilometer ersetzt werden. Eine weitere Komponente, die berücksichtigt wird, ist die Änderung des Unfallrisikos durch die Wahl eines anderen Verkehrsmittels für die nicht mehr mit dem Rad zurück gelegten Kilometer. Ob diese positiv oder negativ ausfällt, ist von den Verunglücktenraten (Verunglückte/1Mio km) der jeweiligen Verkehrsmittel im untersuchten Gebiet abhängig. Durch den „Safety in Numbers“-Effekt (Kap. 7.2.8) entstehen ebenfalls Kosten, da die Verunglücktenrate steigt, wenn weniger Rad gefahren wird. Wenn also zu viele Radfahrerinnen mit dem Radfahren aufhören, kann es sein, dass die Kosten der Radhelmpflicht deren Nutzen übersteigen.

Als Bewertungsbasis für die Nutzen-Kosten-Analyse werden Nutzen und Kosten pro Kilometer herangezogen. Es werden nur die Altersklassen 25-64 Jahre berücksichtigt, da der gesundheitliche Nutzen, der mittels HEAT-Tool berechnet wird, nur für diese Altersklassen aussagekräftig ist (siehe Kapitel 8.16).

Ein Problem des HEAT Tools ist, dass der ermittelte gesundheitliche Nutzen von Radfahren nur die Änderung der Mortalitätsraten berücksichtigt. Nur mit den Getötetenraten zu rechnen, würde zu der Berechnung mit der besten Datenlage

führen, da es hier nahezu keine Dunkelziffer gibt. Es würde auch zu einem fairen Vergleich zwischen Nutzen und Kosten kommen, weil hier gewonnene und verlorene Lebensjahre miteinander verglichen werden.

Auch wenn die durchschnittlichen Unfallkosten pro Verunglückte (131.400 €) kleiner sind als die von Getöteten (3.097.584 €), verursachen verunglückte Radfahrerinnen höhere Unfallkosten pro km, da die Verunglücktenraten λ um zwei Zehnerpotenzen höher sind als die Getötetenraten λ_g ($\lambda = 2,87$, $\lambda_g = 0,02$ Fälle pro 1 Mio. km). Die Unfallkosten pro km von verunglückten Radfahrerinnen (373.176 €/Mio km) sind um das sechsfache größer als die von Getöteten (61.951 €/Mio km). Aus diesem Grund muss auch eine Berechnung mit den Verunglücktenraten angestellt werden. Es muss aber angemerkt werden, dass der gesundheitliche Nutzen von Radfahren sich im HEAT Tool auf die Lebenszeit und nicht auf die Lebensqualität bezieht. Eine Berechnung, die die Verunglücktenraten berücksichtigt, führt zu konservativen Ergebnissen zugunsten der Radhelmpflicht, weil die Änderung der Morbidität, also eine Verbesserung des physischen und psychischen gesundheitlichen Zustandes von Radfahrerinnen, nicht berücksichtigt wird.

In der Nutzen-Kosten-Rechnung, werden neun verschiedene Szenarien berechnet, die von den Variablen Helmtragequote (Φ) unter vormals nicht Helmträgerinnen nach der HP und der Schutzwirkung des Helmes, ausgedrückt als Kopfverletzungswahrscheinlichkeit mit Helm (π' und π'_g), bestimmt werden. Die Szenarien S1 bis S3 gehen von einer hohen Schutzwirkung von Helmen aus, die Szenarien S4 bis S6 von einer mittleren und die Szenarien S7 bis S9 von einer geringen. Das Ergebnis der Berechnung liefert den Wert p . Das ist der Anteil an Radkilometern, der von Nichthelmträgerinnen nicht mehr gefahren wird, ab dem es zu negativen Effekten einer Radhelmpflicht kommt. Der SiN Effekt wird in der Berechnung berücksichtigt, dieser ist von der Änderung der Radverkehrsleistung und somit auch von p abhängig. Da p das Ergebnis der Berechnung ist, handelt es sich bei der NKA um einen iterativen Vorgang, der mittels Zielwertsuche in Excel erfolgt.

Der Nutzen der Radhelmpflicht lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- (1) Änderung der Kosten von Kopfverletzungen durch Helme.
- (2) Eingesparte Unfallkosten von Rad fahren, wenn weniger Radkilometer zurückgelegt werden

- (3) Gesundheitlicher Nutzen, der entsteht, wenn Radkilometer durch Zufußgehen ersetzt werden

Die Kosten lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- (1) Entgangener gesundheitlicher Nutzen von Radfahren
- (2) Neue Unfallkosten durch Änderung des Verkehrsmittels
- (3) Umweltkosten durch neue Pkw-Kilometer
- (4) Zusätzliche Unfallkosten von verunglückten Radfahrerinnen durch Safety-in-Numbers-Effekt

In Anlehnung an de Jong (2012) und (Sieg 2014) werden in dieser Arbeit die Nettoauswirkungen der Radhelmpflicht in Tabelle 8-1 beschrieben. Die Formeln für den jeweiligen Nutzen und Kosten aus Tabelle 8-1 werden in den Kapiteln 8.1 bis 8.8 erklärt. Die Bedeutungen der einzelnen Ausdrücke aus Tabelle 8-1 sind Tabelle 8-2 zu entnehmen, ihre Ermittlung erfolgt in den Kapiteln 8.10 bis 8.17.4. Anschließend erfolgt die Berechnung der Nutzen-Kosten-Analyse in Kapitel 8.18:

Tabelle 8-1 Angesetzte Nutzen und Kosten für die N-K-Analyse

Bezeichnung	Art	Formel			
<u>Änderung der KV-Kosten (unter der Berücksichtigung von Safety in Numbers)</u>	N	V	$\Phi \times (1-p) \times m \times 0,75 \times \overline{UK}_r \times (\lambda \times \pi - \lambda_h \times \pi')$		
		G	$\Phi \times (1-p) \times m \times \overline{UKG} \times (\lambda_g \times \pi_g - \lambda_{gh} \times \pi'_g)$		
<u>Entgangener gesundheitlicher Nutzen von Radfahren</u>	K	$-m \times p \times v$			
<u>Eingesparte Unfallkosten von Radfahren</u>	N	V	$m \times p \times \lambda \times \overline{UK}_r$		
		G	$m \times p \times \lambda_g \times \overline{UKG}$		
<u>Neue Unfallkosten durch Substitution des Verkehrsmittels</u>	K	V	MIV-Lenkerin	$-m \times p \times x_1 \times \lambda_1 \times \overline{UK}_1$	
			MIV-Mitfahrerin	$-m \times p \times \frac{x_{1,2}}{10} \times \lambda_1 \times \overline{UK}_1 - m \times p \times x_{1,2} \times \lambda_{1,2} \times \overline{UK}_{1,2}$	
			Fuß	$-m \times p \times x_2 \times \lambda_2 \times \overline{UK}_2$	
			ÖV	$-m \times p \times x_3 \times \lambda_3 \times \overline{UK}_3$	
	G	V	MIV-Lenkerin	$-m \times p \times x_1 \times \lambda_{g1} \times \overline{UKG}$	
			MIV-Mitfahrerin	$-m \times p \times \frac{x_{1,2}}{10} \times \lambda_{g1} \times \overline{UKG} - m \times p \times x_{1,2} \times \lambda_{g1,2} \times \overline{UKG}$	
			Fuß	$-m \times p \times x_2 \times \lambda_{g2} \times \overline{UKG}$	
		ÖV	$-m \times p \times x_3 \times \lambda_{g3} \times \overline{UKG}$		
<u>Zusätzlicher gesundheitlicher Nutzen von Zuzußgehen</u>	N	$m \times p \times x_2 \times v_2$			
<u>Umweltkosten durch neue Pkw-Kilometer</u>	K	$-m \times p \times (x_1 + \frac{x_{1,2}}{10}) \times \overline{EK}_1$			
<u>Zusätzliche Unfallkosten durch Safety in Numbers</u>	K	V	Helm vor HP	$-(1-m) \times \overline{UK}_r \times (\lambda_h - \lambda)$	
			Kein Helm vor HP	Helm nach HP	Hätte KV erlitten $-\Phi \times (1-p) \times m \times 0,25 \times \overline{UK}_r \times \pi \times (\lambda_h - \lambda)$
					Hätte keine KV erlitten $-\Phi \times (1-p) \times m \times (1-\pi) \times \overline{UK}_r \times (\lambda_h - \lambda)$
				Kein Helm nach HP	$-(1-\Phi) \times (1-p) \times m \times \overline{UK}_r \times (\lambda_h - \lambda)$
			Helm vor HP	$-(1-m) \times \overline{UKG} \times (\lambda_{gh} - \lambda)$	
	G	V	Kein Helm vor HP	Helm nach HP	Wäre an KV gestorben $-\Phi \times (1-p) \times m \times \pi_g \times k_s \times (\lambda_{gh} - \lambda_g)$
					Wäre nicht an KV gestorben $-\Phi \times (1-p) \times m \times (1-\pi_g) \times \overline{UKG} \times (\lambda_{gh} - \lambda_g)$
			Kein Helm nach HP		$-(1-\Phi) \times (1-p) \times m \times \overline{UKG} \times (\lambda_{gh} - \lambda)$

N = Nutzen, K = Kosten, V = Verunglückte, G = Getötete

Tabelle 8-2 Glossar der Symbole, die in der Nutzen-Kosten-Rechnung verwendet werden

Φ	Helmtragequote unter vormals nicht Helmträgerinnen nach Einführung der HP. $0 < \Phi < 1$
p	Behavioural Response Parameter: Anteil nicht mehr gefahrener Radkilometer, wenn HP eingeführt wird. $0 < p < 1$
m	Anteil ohne Helm gefahrener Kilometer vor HP. $0 < m < 1$
\overline{UK}_r	Kosten einer durchschnittlich verletzten Radfahrerinnen ohne Gemeinkosten [€]
\overline{UKG}	Kosten einer Getöteten ohne Gemeinkosten [€]
UK_r	Kosten einer durchschnittlich verletzten Radfahrerinnen [€]
λ	Verunglücktenrate [Verunglückte / Mio. Radkilometer]
π	Wahrscheinlichkeit einer Kopfverletzung ohne Helm $0 < \pi < 1$
λ_h	Verunglücktenrate nach Einführung der HP aufgrund von SiN [Verunglückte / Mio. Radkilometer]
π'	Wahrscheinlichkeit einer Kopfverletzung mit Helm $\pi' = f(OR, \pi)$; $0 < \pi' < 1$
λ_g	Getötetenrate von Radfahren [Getötete / Mio. Radkilometer]
λ_{gh}	Getötetenrate von Radfahren nach Einführung der HP aufgrund von SiN [Getötete / Mio. Radkilometer]
π_g	Wahrscheinlichkeit einer tödlichen Kopfverletzung ohne Helm. $0 < \pi_g < 1$
π'_g	Wahrscheinlichkeit einer tödlichen Kopfverletzung mit Helm. $0 < \pi'_g < 1$
$(1 - p)$	Anteil, weiterhin gefahrener Radkilometer.
v	Gesundheitlicher Nutzen pro Radkilometer [€/km]
x_1	Anteil Radkilometer, die durch MIV (Lenkerinnen) ersetzt werden. $0 < x_1 < 1$
$x_{1,2}$	Anteil Radkilometer, die durch MIV (Mitfahrerinnen) ersetzt werden $0 < x_{1,2} < 1$
x_2	Anteil Radkilometer, die durch Zufußgehen ersetzt werden. $0 < x_2 < 1$
x_3	Anteil Radkilometer, die durch den ÖPNV ersetzt werden. $0 < x_3 < 1$
λ_1	Verunglücktenrate für MIV-Lenkerinnen [Verunglückte/Mio km]
$\lambda_{1,2}$	Verunglücktenrate für MIV-Mitfahrerinnen [Verunglückte/Mio km]
λ_2	Verunglücktenrate für Fußgängerinnen [Verunglückte/Mio km]
λ_3	Verunglücktenrate für ÖPNV-Fahrgäste [Verunglückte/Mio km]
UK_1	Unfallkosten pro MIV-Kilometer (Lenkerinnen) [€]
$UK_{1,2}$	Unfallkosten pro MIV-Kilometer (Mitfahrerinnen) [€]
UK_2	Unfallkosten pro Kilometer Zufußgehen [€]
UK_3	Unfallkosten pro ÖPNV-Kilometer [€]
λ_{gi}	Getötetenrate für das jeweilige Verkehrsmittel (Getötete/Mio km)
UKG	Kosten einer Getöteten [€]
EK_1	Umweltkosten des MIV [€/km]
v_2	Gesundheitlicher Nutzen von Zufußgehen [€/km]
k_s	Kosten einer schwer Verletzten [€]

8.1 Änderung der Kosten von Kopfverletzungen durch Helme

Formel 8-1⁵

$$\Phi \times (1 - p) \times m \times 0,75 \times \overline{UK}_r \times (\lambda \times \pi - \lambda_h \times \pi')$$

Es handelt sich hierbei um die Differenz zwischen den Kosten von Kopfverletzungen vor der HP und nach der HP, welche als Nutzen gerechnet wird. Die Differenz durch die Schutzwirkung von Helmen tritt nur für den Anteil der Radfahrerinnen ein, die vor der HP ohne Helm gefahren sind (m) und weiterhin mit dem Rad fahren ($1-p$) und zwar

⁵ Für die Bedeutung der Ausdrücke siehe Tabelle 8-2 auf Seite 65

nur für jenen Anteil, der nun mit Helm fährt (Φ). Außerdem werden nicht die gesamten Kosten eingespart, sondern nur der Anteil an Unfallkosten ohne Gemeinkosten, die der KV zugerechnet werden ($0,75 \times \overline{UK}_r$) (siehe Kapitel 8.15). Die Verunglücktenrate erhöht sich von λ auf λ_h , da nun weniger Radfahrerinnen unterwegs sind (SiN, siehe Kapitel 7.2.8). Die Wahrscheinlichkeit eine KV zu erleiden verringert sich von π (ohne Helm) zu π' (mit Helm).

Die Berechnung mit den Getötetenzahlen wird analog zu den Verunglückten durchgeführt, allerdings wird mit den gesamten Kosten einer Getöteten ohne Gemeinkosten (\overline{UKG}) gerechnet, da die Todesursache zu 100 % einer Kopfverletzung zugerechnet wird.

8.2 Entgangener gesundheitlicher Nutzen von Radfahren

Formel 8-2⁶

$$- m \times p \times v$$

Die Kosten, die durch den entgangenen gesundheitlichen Nutzen pro nicht mehr mit dem Rad zurückgelegten Kilometer entstehen, werden mit v (Kapitel 8.16) angegeben. Dieser entfällt für jenen Anteil an Radfahrerinnen, die vorher ohne Helm gefahren sind (m) und nach der HP nicht mehr Rad fahren (p).

8.3 Eingesparte Unfallkosten von Radfahren

Formel 8-3

$$m \times p \times \lambda \times UK_r$$

Radfahrerinnen, die früher ohne Helm gefahren sind (m) und nicht mehr mit dem Fahrrad unterwegs sind (p), können auch nicht in einen Unfall mit diesem Verkehrsmittel verwickelt werden. Aus diesem Grund entfallen die Unfallkosten pro km ($\lambda \times UK_r$) hier gänzlich.

Das gilt auch für getötete Radfahrerinnen:

⁶ Für die Bedeutung der Ausdrücke siehe Tabelle 8-2 auf Seite 65

Formel 8-4⁷

$$m \times p \times \lambda_g \times UKG$$

8.4 Neue Unfallkosten durch Änderung der Verkehrsmittelwahl

Formel 8-5

$$-m \times p \times x_i \times \lambda_i \times UK_i$$

Radfahrerinnen, die früher ohne Helm gefahren sind (m) und nicht mehr mit dem Rad fahren (p), legen diese Radkilometer nun mit anderen Verkehrsmitteln zurück. Diese Kilometer werden nicht alle mit dem gleichen Verkehrsmittel zurückgelegt, sondern es erfolgt eine Aufteilung (x_i) gemäß dem Modal Split. Auch mit diesem Verkehrsmittel können Radfahrerinnen verunglücken. Die Wahrscheinlichkeit hierfür ergibt sich aus der Verunglücktenrate des jeweiligen Verkehrsmittels (λ_i). Die Durchschnittlichen Kosten eines Unfalls (UK_i) sind nicht für alle Verkehrsmittel gleich. Die Unterschiede ergeben sich aus der unterschiedlichen Verteilung von schweren und leichten Unfällen je nach Verkehrsmittel.

Radfahrerinnen substituieren einen Anteil $x_{1,2}$ an Radkilometern als MIV-Mitfahrerinnen und verursachen dadurch sowohl zusätzliche Unfallkosten für sich selber als Mitfahrerinnen ($\lambda_{1,2} \times UK_{1,2}$) als auch für die Fahrerinnen ($\lambda_1 \times UK_1$), die für sie extra MIV-Kilometer zurücklegen. Es wird angenommen, dass ca. ein Zehntel der Kilometer, die die Radfahrerinnen nun als MIV-Mitfahrerinnen zurücklegen, neue MIV-Kilometer verursachen ($\frac{x_{1,2}}{10}$):

Formel 8-6

$$-m \times p \times \frac{x_{1,2}}{10} \times \lambda_1 \times UK_1 - m \times p \times x_{1,2} \times \lambda_{1,2} \times UK_{1,2}$$

8.5 Zusätzlicher gesundheitlicher Nutzen von Zuzußgehen

Formel 8-7

$$m \times p \times x_2 \times v_2$$

⁷ Für die Bedeutung der Ausdrücke siehe Tabelle 8-2 auf Seite 65

Zwar entfällt für die Radfahrerinnen, die früher ohne Helm gefahren sind (m) und nicht mehr Rad fahren (p) der gesundheitliche Nutzen von Rad fahren, sie legen jedoch einen Anteil (x_2) der Kilometer nun zu Fuß zurück. Für diesen Anteil ergibt sich auch ein gesundheitlicher Nutzen (v_2) pro km Zufußgehen.

8.6 Umweltkosten durch neue Pkw-Kilometer

Formel 8-8⁸

$$-m \times p \times \left(x_1 + \frac{x_{1,2}}{10}\right) \times EK_1$$

Manche Radfahrerinnen, die früher ohne Helm gefahren sind (m) und nicht mehr mit dem Rad fahren (p), werden einen Teil ihrer Wege entweder selbst mit dem Pkw fahren (x_1) oder als Mitfahrerinnen ($x_{1,2}$) zurücklegen. Für diese neuen Pkw-Kilometer entstehen neue Umweltkosten (EK_1). Auch hier gilt die Annahme, dass ein Zehntel ($\frac{x_{1,2}}{10}$) der Kilometer, die Radfahrerinnen nun als MIV-Mitfahrerinnen zurücklegen, neue MIV-Kilometer verursachen.

8.7 Zusätzliche Unfallkosten von verunglückten Radfahrerinnen durch Safety-in-Numbers-Effekt

Das Risiko in einen Verkehrsunfall verwickelt zu sein, steigt für alle Radfahrerinnen unabhängig davon, ob sie vor der HP mit oder ohne Helm gefahren sind. Die Auswirkungen sind unterschiedlich, je nachdem ob sie früher einen Helm getragen haben oder nicht und ob sie nach Einführung der HP mit Helm fahren oder ohne. Es werden die Auswirkungen für folgende Gruppen getrennt betrachtet:

- (1) Radfahrerinnen, die vor HP bereits mit Helm gefahren sind
- (2) Radfahrerinnen, die vor der HP ohne und danach mit Helm gefahren sind.
 - a) Radfahrerinnen, die eine KV ohne Helm erlitten hätten
 - b) Radfahrerinnen, die keine KV ohne Helm erlitten hätten
- (3) Radfahrerinnen, die vor und nach der HP ohne Helm fahren

⁸ Für die Bedeutung der Ausdrücke siehe Tabelle 8-2 auf Seite 65

8.7.1 Radfahrerinnen, die vor HP bereits mit Helm gefahren sind

Für Radfahrerinnen, die vor der HP mit Helm gefahren sind (1-m) ändert sich die Verunglücktenrate von λ auf λ_h . Das hat Auswirkungen auf die gesamten Unfallkosten UK_r

Formel 8-9⁹

$$-(1 - m) \times UK_r \times (\lambda_h - \lambda)$$

8.7.2 Radfahrerinnen, die vor der HP ohne und danach mit Helm gefahren sind

Für Radfahrerinnen, die vor der HP ohne Helm gefahren sind (m) und weiterhin Rad fahren (1-p), allerdings mit Helm (Φ), ändert sich die Verunglücktenrate von λ auf λ_h . Wenn sie vor der HP zu der Gruppe gehörten, die ohne Helm eine KV erlitten hätte (π), so steigt das Risiko für sie, eine Nicht-KV zu erleiden. Die Änderung der KV-Kosten wurden bereits in Kapitel 8.1 berücksichtigt. Die Kosten für Nicht-KV werden mit $0,25 \times UK_r$ angesetzt.

Formel 8-10

$$-\Phi \times (1 - p) \times m \times 0,25 \times UK_r \times \pi \times (\lambda_h - \lambda)$$

Wenn die Radfahrerinnen zu der Gruppe gehörten, die ohne Helm keine KV erlitten hätte (1- π), so ändern sich die gesamten Unfallkosten wie folgt:

Formel 8-11

$$-\Phi \times (1 - p) \times m \times (1 - \pi) \times UK_r \times (\lambda_h - \lambda)$$

8.7.3 Radfahrerinnen, die vor und nach der HP ohne Helm fahren

Für Radfahrerinnen, die vor der HP ohne Helm gefahren sind (m) und nach der HP weiterhin fahren (1-p) und zwar ohne Helm (1- Φ), ändern sich die gesamten Unfallkosten wie folgt:

Formel 8-12

$$-(1 - \Phi) \times (1 - p) \times m \times UK_r \times (\lambda_h - \lambda)$$

⁹ Für die Bedeutung der Ausdrücke siehe Tabelle 8-2 auf Seite 65

8.8 Zusätzliche Unfallkosten von getöteten Radfahrerinnen durch Safety-in-Numbers-Effekt

Diese Berechnung erfolgt analog zu der von den zusätzlichen Kosten von verunglückten Radfahrerinnen, es werden lediglich die Getötetenraten (λ_g), die Wahrscheinlichkeit an einer KV zu sterben (π_g) und die Kosten von Getöteten (UKG) angesetzt.

Eine Ausnahme stellt die Gruppe der Radfahrerinnen dar, die früher ohne Helm gefahren ist (m), nun mit Helm fährt ($\Phi \times (1 - p)$) und an einer KV gestorben wäre (π_g). Hier wird davon ausgegangen, dass die Radfahrerinnen in einen sehr schweren Unfall (mit der Wahrscheinlichkeit λ_{gh} nach der HP) verwickelt sind, aber nicht an einer KV sterben. Sie erleiden dafür schwere Verletzungen anderer Körperteile. Die Einsparungen an KV-Kosten werden in Kapitel 8.1 berücksichtigt. Für die Berechnung der Kosten für zusätzliche Verletzungen anderer Körperteile werden die Kosten einer Schwerverletzten (k_s) angesetzt:

Formel 8-13¹⁰

$$-\Phi \times (1 - p) \times m \times \pi_g \times k_s \times (\lambda_{gh} - \lambda_g)$$

8.9 Berechnung der neuen Getötetenrate (λ_{gh}) und Verunglücktenrate (λ_h) durch Safety in Numbers

Die Getötetenrate nach der HP (λ_{gh}) ist eine Funktion von der Getötetenrate vor der HP (λ_g), von der Änderung der Radverkehrsleistung (p) und von der Radverkehrsleistung pro Person und Tag ($E(0)$) (Pfaffenbichler et al. 2011):

Formel 8-14 Getötetenrate nach der Radhelmpflicht durch Safety in Numbers (nach Pfaffenbichler et al. 2011)

$$\lambda_{gh} = \lambda_g \times e^{-\beta(E_R(s) - E_R(0))}$$

λ_{gh} Getötetenrate für Rad fahren für das Szenario S (nach HP)
[Verunglückte/1 Mio km]

λ_g Getötetenrate für Rad fahren für das Basisszenario 0 (vor HP)
[Verunglückte/1 Mio km]

¹⁰ Für die Bedeutung der Ausdrücke siehe Tabelle 8-2 auf Seite 65

- $E_R(S)$ Radverkehrsleistung für das Szenario S (nach HP) [km pro Person und Tag]
- $E_R(0)$ Radverkehrsleistung für das Basisszenario 0 (vor HP) [km pro Person und Tag]
- β Parameter -0,4954 (empirisch ermittelt)

wobei $E(S) = E(0) \times (1 - m \times p)$ gilt.

Analog zur der Getötetenrate nach der HP wird die Änderung der Verunglücktenrate λ berechnet. Die Werte für die Radverkehrsleistung pro Person und Tag $E(0)$ für die Berechnung von λ_{gh} entstammen der Mobilitätserhebung von Herry Consult (2013) und sind Tabelle 8-3 zu entnehmen.

Tabelle 8-3 Radverkehrsleistung $E(0)$ für das Basisszenario 0 zur Berechnung der Verunglücktenrate λ_h nach Einführung der Radhelmpflicht (km pro Person und Tag) (Daten Herry Consult 2013)

Altersklasse	$E(0)$ [km/Tag und Person]
25-34	0,55
35-49	0,68
50-64	0,71

8.10 Variable Ausdrücke der Nutzen-Kosten-Rechnung

Die Helmtragequote (Φ) unter vormals nicht Helmträgerinnen und die Wahrscheinlichkeit einer KV mit Helm (π') sind Größen, die als Variablen die unterschiedlichen Szenarien der Nutzen-Kosten-Rechnung bestimmen. π' ist eine Funktion der Wahrscheinlichkeit einer Kopfverletzung ohne Helm (π) und der Schutzwirkung von Helmen, die als Odds Ratio (OR) angegeben wird (Kap. 5.1.1).

Φ hängt von der angenommenen Gesamthelmtragequote (Φ_{ges}) nach der HP Formel 8-15 ab. Es werden drei verschiedene Φ_{ges} angenommen, nämlich 1; 0,85 und 0,75. Das sind hohe Werte (vergl. Kap. 7.1 Auswirkungen auf Helmtragequote und Radverkehrsanteil), die zu einer konservativen Schätzung zugunsten der Radhelmpflicht führen. Tabelle 8-4 liefert einen Überblick über die verwendeten Werte für Φ in den unterschiedlichen Szenarien der Nutzen-Kosten-Rechnung.

Formel 8-15 Helmtragequote unter vormals nicht Helmträgerinnen in Abhängigkeit von der erwarteten Gesamthelmtragequote nach Einführung der Radhelmpflicht

$$\phi = \frac{\Phi_{ges} - (1 - m)}{m}$$

Tabelle 8-4 Helmtragequoten für vormals nicht Helmträgerinnen in Abhängigkeit von der erwarteten Gesamthelmtragequote nach Einführung der Helmpflicht für unterschiedliche Szenarien

Szenario	Φ_{ges}	Φ
S1,S4,S7	1,00	1,00
S2,S5,S8	0,85	0,79
S3,S6,S9	0,75	0,65

Bei π' bzw. π handelt es sich um Wahrscheinlichkeiten, wohingegen die OR ein Quotenverhältnis ist, deswegen muss zunächst eine Umrechnung erfolgen um eine direkte Beziehung zwischen den Ausdrücken herzustellen (Formel 8-16).

Hier sei nochmal die Definition der OR (Kap. 5.1.1) festgehalten:

$$O = \frac{c}{d}; O' = \frac{a}{b}; OR = \frac{O'}{O} = \frac{a \times d}{b \times c}$$

- a Anzahl der verunglückten Radfahrerinnen mit Helm, die eine KV erleiden
- b Anzahl der verunglückten Radfahrerinnen mit Helm, die keine KV erleiden
- c Anzahl der Radfahrerinnen ohne Helm, die eine KV erleiden
- d Anzahl der Radfahrerinnen ohne Helm, die keine KV erleiden
- O Quote für KV ohne Helm
- O' Quote für KV mit Helm
- OR Quotenverhältnis

Die Wahrscheinlichkeit, eine KV mit Helm zu erleiden ist:

$$\pi' = \frac{a}{a+b} \quad \text{es gilt} \quad \pi' + \frac{b}{a+b} = 1$$

Die Wahrscheinlichkeit, eine KV ohne Helm zu erleiden ist:

$$\pi = \frac{c}{c+d} \quad \text{es gilt} \quad \pi + \frac{d}{c+d} = 1$$

Die Umrechnung wird wie folgt berechnet:

$$O' \times x = \pi' \rightarrow \frac{a}{b} \times x = \frac{a}{a+b} \rightarrow x = \frac{a \times b}{a \times (a+b)} = \frac{b}{a+b} = 1 - \pi'$$

$$O' = \frac{\pi'}{x} \rightarrow O' = \frac{\pi'}{(1 - \pi')}$$

Analog zu O' wird O berechnet: $O = \frac{\pi}{(1-\pi)}$

Somit kann OR als Funktion von π und π' angegeben werden:

$$OR = \frac{\pi' \times (1 - \pi)}{\pi \times (1 - \pi')}$$

Schließlich kann nach Umformung der Gleichung π' mit vorgegebener OR und π berechnet werden (Tabelle 8-5):

Formel 8-16

$$\pi' = \frac{OR \times \pi}{1 - \pi + OR \times \pi}$$

Die Wahrscheinlichkeit π im Falle eines nicht-tödlichen Radunfalls ohne Helm eine Kopfverletzung zu erleiden wird mit 23 % angesetzt, das ist der Wert aus der Hochrechnung der Freizeitunfallstatistik (Kap. 3.1) und er ist konsistent mit Werten aus der Literatur (de Jong 2012). Etwa die Hälfte aller getöteten Radfahrerinnen starb an den Folgen von Kopfverletzungen (Kap. 3.1). Es war nicht möglich, Daten zur Helmtragequote unter den getöteten Radfahrerinnen, die an Kopfverletzungen starben, zu bekommen, daher wird für die Berechnung der Kosten mit einer Wahrscheinlichkeit π_g von 52 % gerechnet.

Tabelle 8-5 Berechnung der Wahrscheinlichkeit einer Kopfverletzung und einer tödlichen Kopfverletzung mit Helm in Abhängigkeit der Odds Ratio für unterschiedliche Szenarien und bekannter Wahrscheinlichkeit einer Kopfverletzung ohne Helm (eigene Berechnung)

Szenario	S1-S3	S4-S6	S7-S8
OR_v	0,39	0,50	0,65
π	0,23	0,23	0,23
π'	0,10	0,13	0,16
OR_g	0,15	0,37	0,90
π_g	0,52	0,52	0,52
π_g'	0,14	0,29	0,49

8.11 Radverkehrsleistung ohne Helm vor der Radhempflcht

Eine Einschätzung der Kilometer, die ohne Helm gefahren werden (m), erfolgt durch eine Näherung über die in Österreich beobachteten Helmtragequoten (Kap. 6.1). Die Tragequoten in Österreich sind anderen Altersklassen zugeordnet als die Radverkehrsleistung, dies erfordert eine Neuordnung der jeweiligen Altersgruppen. Es wird jeweils die niedrigere Tragequote gewählt, das heißt, es wird mit den maximal

einzusparenden Kosten gerechnet. Die m-Werte für die jeweiligen Altersklassen sind Tabelle 8-6 zu entnehmen.

Tabelle 8-6 Schätzung des Anteils der Radverkehrsleistung ohne Helm in Österreich nach Altersklassen (Eigene Schätzung, Daten: Pfaffenbichler et al. 2011))

Altersklasse _{teq}	Tragequote		Altersklasse _{rvl}	Tragequote gemittelt	Anteil Radverkehrsleistung ohne Helm m
	weiblich	männlich			
≤ 6	87%	87%	6-14	41%	59%
7-15	45%	41%	15-24	30%	70%
16-30	30%	35%	25-34	30%	70%
31-60	29%	36%	35-49	29%	71%
> 60	19%	25%	50-64	29%	71%
			≥65	19%	81%

Für die Berechnung wird eine durchschnittliche Radverkehrsleistung ohne Helm für die Altersklassen 25-64 von 71 % herangezogen.

8.12 Verunglücktenrate λ und Getötetenrate λ_g

Für die Nutzen-Kosten-Rechnung wird ein gewichteter Durchschnittswert der Verunglückten- und Getötetenraten (Kapitel 2.4) über die Altersklassen 25-64 Jahre herangezogen. Es wird die Summe der Verunglückten bzw. Getöteten der drei Altersklassen durch die Summe der zurückgelegten Kilometer dividiert. Das Ergebnis liefert einen Wert von 2,87 für λ und 0,02 für λ_g pro Mio. km (Tabelle 8-7)

Tabelle 8-7 Durchschnittliche Verunglückten- und Getötetenrate (λ ; λ_g) von Radfahrerinnen für die Altersklasse 25-64 Jahre (eigene Berechnung, Daten: Pfaffenbichler et al. 2011)

Altersklasse	Radverkehrsleistung [km/Jahr]	Verunglückte [Durchschnitt 2005-2009]	λ [pro 1 Mio km]	λ
25-34	218.183.541	712	3,26	2,87
35-49	506.792.781	1.342	2,65	
50-64	384.428.949	1.128	2,93	
Summe	1.109.405.271	3.182		
Altersklasse	Radverkehrsleistung [km/Jahr]	Getötete [Durchschnitt 2005-2009]	λ_g [pro 1 Mio km]	λ_g
25-34	218.183.541	3	0,01	0,02
35-49	506.792.781	8	0,02	
50-64	384.428.949	12	0,03	
Summe	1.109.405.271	23		

8.13 Unfallkosten

Herry et al. (2008) haben im Auftrag des BMVIT eine Unfallkostenrechnung für Verkehrsunfälle durchgeführt, die folgende Kosten berücksichtigt:

- (1) Medizinische Behandlungskosten
- (2) Verlust an Leistungspotential
- (3) Wert des menschlichen Leids bezüglich Sicherheit im Verkehr abzüglich nicht getätigter Konsumtion
- (4) Sachschäden
- (5) Gemeinkosten
 - Polizeikosten
 - Rettungskosten
 - Feuerwehrkosten
 - Verwaltungskosten Versicherungen
 - Rechtskosten (Rechtsschutz und Schadensabwehr)
 - Zeitverluste durch Stauungen und Umwegfahrten
 - Sonstige Kosten

Für die Nutzen-Kosten-Analyse der Radhempflcht werden Sachschäden, Verwaltungskosten der Versicherungen und Rechtskosten nicht berücksichtigt, da es sich hierbei um interne Kosten handelt. Alle angegebenen Kosten beziehen sich auf das Jahr 2004, eine Indexanpassung erfolgt in Kapitel 8.13.5.

8.13.1 Medizinische Behandlungskosten

Aus Daten der Unfallkrankenhäuser der Allgemeinen Unfallversicherungsanstalt (AUVA) haben Herry et al. (2008) die durchschnittlichen Behandlungstage und Behandlungskosten für Verletzte von Verkehrsunfällen berechnet.

Es wird nach stationärer Behandlung, ambulanter Behandlung nach stationärer Behandlung, ambulanter Behandlung und Rehabilitation unterschieden. Die Statistik Austria liefert die Daten zu Toten, Schwer- und Leichtverletzten und Verletzten nicht erkennbaren Grades im Straßenverkehr in Österreich für das Jahr 2004.

8.13.1.1 Medizinische Behandlungskosten für Getötete

Als Verkehrstote gelten alle Personen, die entweder am Unfallort oder innerhalb von 30 Tagen, gerechnet ab dem Unfallereignis, an den Unfallfolgen verstarben (Statistik Austria, 2010). Behandlungskosten entstehen nur für jene Getötete, die nicht direkt an der Unfallstelle versterben, 2004 traf dies auf 31 % der Getöteten zu. 9 % überleben im Durchschnitt 15 Tage, diese Gruppe verursacht den größten Anteil der medizinischen Behandlungskosten. Die durchschnittlichen Behandlungskosten pro getötete Person betragen 3.207 €

8.13.1.2 Medizinische Behandlungskosten für Schwerverletzte

Von den Schwerverletzten benötigen etwa 10 % eine Intensivbehandlung von durchschnittlich 5 Tagen und 15 % eine Rehabilitation von 40 Tagen (Herry et al. 2008). Im Durchschnitt kostete die medizinische Behandlung einer schwerverletzten Person 7.792 €.

8.13.1.3 Medizinische Behandlungskosten von Leichtverletzten

Leichtverletzte wurden 2004 im Durchschnitt an 2,1 Tagen ambulant behandelt, dies verursachte durchschnittlich 130 € Behandlungskosten pro Verletzten.

8.13.2 Verlust an Leistungspotential

Der Verlust an Leistungspotential¹¹ ergibt sich aus dem Ausfall an Arbeitstagen von Unfallopfern. Für im Verkehr getötete Unfallopfer wird die Restarbeitslebenszeit altersgruppenspezifisch berechnet und der Verlust an Leistungspotential ermittelt. Die Restarbeitslebenszeit gibt an, wie viele Jahre im Durchschnitt eine Erwerbstätige Person unter Berücksichtigung ihres Alters noch arbeiten wird. Beispielsweise ist für die Gruppe der 15-19-Jährigen damit zu rechnen, dass sie durchschnittlich noch 43 Jahre arbeiten werden, für die Gruppe der 60-64-Jährigen ist hingegen nur noch mit sieben Jahren zu rechnen. Der Produktionsausfall in Jahren wird anschließend mit dem durchschnittlich verfügbaren Einkommen für Erwerbstätige multipliziert (56.960 € pro Jahr, Stand 2004). Für Schwerverletzte setzt sich dieser Wert im Unfalljahr aus der Dauer der medizinischen Behandlung und der Rehabilitation zusammen. Für die Folgejahre werden die Kapitalwerte der Versehrtenrenten herangezogen unter der Annahme, dass 25 % der Schwerverletzten in ihrer Erwerbsfähigkeit vermindert sind. Für Leichtverletzte werden 40 % der durchschnittlichen Behandlungsdauer (das ist die Dauer vom ersten bis zum letzten Tag der ambulanten Behandlung) herangezogen (Herry et al. 2008). Eine Aufstellung der Werte für den Verlust an Leistungspotential findet sich in Tabelle 8-8.

8.13.3 Wert des menschlichen Leids

Nicht alle Kosten von Unfällen sind materieller Natur, so können körperliche und seelische Schmerzen, Angst, Schock, Verminderung der Lebensqualität etc. nicht monetär bewertet werden. Um diese Kosten dennoch in Nutzen-Kosten-Analysen berücksichtigen zu können, müssen sie in die gleiche Einheit (Euro) gebracht werden. Im Falle des menschlichen Leids geschieht dies mit dem Ansatz der Zahlungsbereitschaft (Willingness to pay – WTP), die beschreibt, wie viel ein Individuum bereit ist zu zahlen, um die Wahrscheinlichkeit bei einem Unfall getötet oder verletzt zu werden zu reduzieren. Herry et al. (2008) verwenden für die Berechnung des Werts des menschlichen Leids für Österreich den von HEATCO (2006) angegebenen durchschnittlichen WTP-Wert pro Verunglückten. Dieser Wert des menschlichen Leids bezüglich der Sicherheit im Verkehr beinhaltet auch den Wert

¹¹ Die Altersklassen 10-14 Jahre und > 80 Jahre werden bei der Ermittlung des Verlustes an Leistungspotential im Unfalljahr ausgenommen (Herry et al. 2008).

der nicht durchgeführten Konsumtion, welcher bereits im ermittelten Verlust des Leistungspotentials von Herry et al. (2008) berücksichtigt wird. Nach Abzug der nicht durchgeführten Konsumtion ergeben sich die Werte in Tabelle 8-8.

8.13.4 Gemeinkosten

Eine Unterscheidung der Kosten nach Schweregrad erfolgt auch für die Gemeinkosten, da es je nach Schweregrad zu einem Unterschiedlichen Aufwand kommt. Kosten von Notarzthubschraubereinsätzen ergeben sich beispielsweise nur für schwere Unfälle (Getötete, die am Unfallort noch leben, werden vernachlässigt) (Herry et al. 2008). Feuerwehrkosten sind pro Unfallereignis mit Sachschaden angegeben und werden in dieser Arbeit vernachlässigt genauso wie alle internen Kosten (Tabelle 8-8).

8.13.5 Zusammenfassung Unfallkosten und Fortschreibung für das Preisniveau 2015

Eine Zusammenfassung aller Unfallkosten auf dem Preisniveau von 2015 erfolgt auf Tabelle 8-8. Die Gemeinkosten werden bei den Einsparungen durch die Schutzwirkung von Helmen nicht berücksichtigt. Es wird davon ausgegangen, dass es bei einem Radverkehrsunfall trotzdem zu einem Polizei- bzw. Rettungseinsatz sowie zu Zeitverlusten kommen kann, da auch andere Körperteile von Verletzungen betroffen sein können (Kapitel 8.15).

Die Indexanpassung für das Untersuchungsjahr 2015 (Basisjahr 2000) wurde mit dem Online Tool der Statistik Austria¹² durchgeführt.

¹² <http://www.statistik.at/Indexrechner/>

Tabelle 8-8 Durchschnittliche externe Unfallkosten [€] pro Verletzte nach Schweregrad (eigene Berechnung, Daten: Herry et al. 2008, Indexangepasst auf Stand 2015).

Kostenart	Getötete (2004)	Getötete (2015)	Schwer-verletzte (2004)	Schwer-verletzte (2015)	Leicht-verletzte (2004)	Leicht-verletzte (2015)
Medizinische Behandlungskosten	3.207	4.038	7.792	9.810	130	164
Verlust Leistungspotential	1.281.688	1.613.645	45.738	57.584	1.124	1.415
Wert des menschlichen Leids	1.174.341	1.478.495	235.350	296.206	18.104	22.793
Zwischensumme ohne Gemeinkosten		UKG		\bar{k}_s	\bar{k}_l	
	2.459.236	3.096.178	288.880	363.600	19.358	24.372
Gemeinkosten						
Polizeikosten	695	875	695	875	124	156
Rettungskosten	248	312	248	312	248	312
Notarzhubschrauber			286	360		
Zeitverluste	174	219	174	219	174	219
Summe		UKG		k_s	k_s	
	2.460.353	3.097.584	290.283	365.366	19.904	25.059

8.14 Kosten einer durchschnittlich verletzten Radfahrerin

Die Kosten von Verkehrsunfällen unterscheiden sich nach Verletzungsgrad und die Verteilung der Verletzungsgrade variiert zwischen den Altersklassen (Kap. 2.1). Um die Kosten einer durchschnittlich verletzten Radfahrerin (für die gewählten Altersklassen) zu ermitteln, werden die Gesamtunfallkosten pro Altersklasse ermittelt und durch die Summe aller Verletzten der gewählten Altersklassen dividiert. Die Berechnung erfolgt nach Formel 8-17 und liefert ein Ergebnis von 131.400 Euro (Tabelle 8-9)

Formel 8-17

$$UK_r = \frac{\sum_i V_i \times (k_s \times x_{s,i} + k_l \times x_{l,i})}{\sum_i V_i}$$

V_i Verunglückte in der jeweiligen Altersklasse

UK_r Kosten einer durchschnittlich verletzten Radfahrerin [€/Unfall]

$x_{s,i}$ Anteil Schwerverletzte in der jeweiligen Altersklasse[%]

k_s Kosten einer Schwerverletzten [€]

$x_{l,i}$ Anteil Leichtverletzte in der jeweiligen Altersklasse [%]

k_l Kosten einer Leichtverletzten [€]

Die Kosten einer getöteten Radfahrerin betragen 3,1 Mio. Euro (Tabelle 8-8)

Tabelle 8-9 Kosten einer durchschnittlich verletzten Radfahrerin (eigene Berechnung, Daten: Herry et al. 2008).

Altersklasse	k _s [€]		365.366		
	k _l [€]		25.059		
	x _s	x _l	Verunglückte	Kosten gesamt [€]	UK _r [€]
25-34	0,22	0,78	712	71.389.995	131.400
35-49	0,31	0,69	1.342	175.660.388	
50-64	0,37	0,63	1.128	171.064.814	
Summe			3.182	418.115.197	

8.15 Vermeidbare Kosten einer durchschnittlichen Kopfverletzung

In dieser Arbeit wird davon ausgegangen, dass die Gemeinkosten im Fall eines Unfalles mit Personenschaden nicht durch das Tragen eines Helmes variieren, da ein Unfall trotzdem stattfindet. Auch wenn ein Helm getragen wird, können vermutlich andere Körperteile verletzt werden und es kommt somit zu einem Unfall mit Personenschaden, für den ein Polizei- bzw. Rettungseinsatz notwendig ist. Da es darum geht, die vermeidbaren Kosten zu berücksichtigen, werden hier nur die Medizinischen Behandlungskosten, der Verlust an Leistungspotential und der Wert des menschlichen Leids berücksichtigt, die durch Kopfverletzungen entstehen. Es lässt sich aus den vorhandenen österreichischen Daten keine Aussage über den Anteil einer Kopfverletzung an den gesamten Behandlungskosten eines Unfalls treffen. Bei Unfällen gibt es in der Regel Mehrfachverletzungen, so kann es sein, dass es eine leichte Kopfverletzung mit einem Knochenbruch eines anderen Körperteils gibt oder leichte Schürfwunden in Kombination mit einer schweren Kopfverletzung vorkommen. In dieser Arbeit wird nach de Jong (2012) ein Anteil von 75 % der oben genannten Kosten den Kopfverletzungen zugerechnet.

Für die Berechnung der vermeidbaren Kosten von Kopfverletzungen (KK) wird die Annahme getroffen, dass die Verteilung von schweren und leichten Kopfverletzungen gleich ist wie für andere Verletzungen (Abbildung 2-1). Die Berechnung erfolgt nach Formel 8-18 und

Formel 8-19 und liefert die Ergebnisse aus Tabelle 8-10.

Formel 8-18

$$\overline{UK}_r = \frac{\sum_i V_i \times (\overline{k}_s \times x_{s,i} + \overline{k}_l \times x_{l,i})}{\sum_i V_i}$$

Formel 8-19

$$KK = 0,75 \times \overline{UK}_r$$

\overline{UK}_r Kosten einer durchschnittlichen verletzten Radfaherin ohne Gemeinkosten

\overline{k}_s Kosten einer Schwerverletzten ohne Gemeinkosten

\overline{k}_l Kosten einer Leichtverletzten ohne Gemeinkosten

KK vermeidbare Kosten einer durchschnittlichen Kopfverletzung

Tabelle 8-10 Vermeidbare Kosten einer durchschnittlichen Kopfverletzung (eigene Berechnung, Daten: Herry et al. 2008)

Altersklasse	\overline{k}_s [€]	363.600					
	\overline{k}_l [€]	24.372					
	x_s	x_l	Verunglückte	\overline{UK}_{gesamt}	\overline{UK}_r	%	KK [€]
25-34	0,22	0,78	712	70.731.068	130.376	75%	97.782
35-49	0,31	0,69	1342	174.288.101			
50-64	0,37	0,63	1128	169.837.112			
Summe			3182	414.856.281			

Die Vermeidbaren Kosten einer tödlichen Kopfverletzung sind die Unfallkosten einer Getöteten ohne Gemeinkosten ($\overline{UKG} = 3.096.178$).

8.16 Gesundheitlicher Nutzen von Radfahren

Zwischen körperlicher Aktivität und Gesundheit besteht ein positiver Zusammenhang. Radfahren ist eine Form der körperlichen Aktivität, die effektiv die Herz-Kreislauf- und Stoffwechsel-Funktion belastet. Ein vom Fonds Gesundes Österreich in Auftrag gegebener Bericht überprüfte wissenschaftliche Literatur zum Thema Radfahren und Gesundheit (Oja et al. 2011). Für Kinder stellen Oja et al. (2011) einen positiven Zusammenhang zwischen Radfahren und kardiorespiratorischer Fitness fest; für Erwachsene und ältere Personen eine Reduktion der Gesamtsterblichkeit, Krebssterblichkeit und -häufigkeit. Die regelmäßige Benützung des Fahrrades als Transportmittel unter Erwachsenen ermöglicht eine Verbesserung der Herz-Kreislauf-Leistung und verringert kardiovaskuläre Risikofaktoren. Jacks et al. (2009) erwähnen in diesem Zusammenhang noch Fettleibigkeit und Typ-2-Diabetes.

Das WHO Regionalbüro für Europa (2014) erstellte ein gesundheitsökonomisches Bewertungssystem für Rad fahren, das seit 2011 als Onlinetool zur Verfügung steht. Das Health Economic Assessment Tool (HEAT) dient zur Berücksichtigung gesundheitlicher Auswirkungen in wirtschaftlichen Analysen von Verkehrsinfrastruktur und Strategien. Es ist das Ergebnis eines Projektes, das von der WHO koordiniert und in Zusammenarbeit mit dem europäischen Netzwerk für gesundheitsförderliche Bewegung (HEPA Europa) und dem Paneuropäischen Programm Verkehr, Gesundheit und Umwelt (THE PEP) durchgeführt wurde. An diesem Projekt beteiligten sich internationale Expertinnen aus den Bereichen Gesundheit und Epidemiologie, Gesundheitsökonomie und Verkehrsökonomie (Kahlmeier et al. 2013).

Für HEAT wurde eine Metaanalyse von Studien zum relativen Risiko der Gesamtmortalität aufgrund von Radfahren und Gehen durchgeführt. HEAT verwendet die durch die Nutzerin eingegebenen Mobilitätsdaten und Daten zur Sterblichkeit auf Populationsebene und berechnet eine Reduktion an zu erwartenden Todesfällen in der Rad fahrenden Population. Mit dem WTP-Ansatz (Kap. 8.13.3) werden die Einsparungen aufgrund der sinkenden Gesamtmortalität berechnet. Zwar ist der Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und einer geringeren Krankheitshäufigkeit (Morbidität) belegt, allerdings gibt es nicht genügend Daten, die ausschließlich die Auswirkungen von Radfahren berücksichtigen. In HEAT wird daher nur die Änderung der Gesamtmortalität in diesem Modell berechnet, dies führt zu einer Unterschätzung der positiven Auswirkungen von Radfahren, zumal nur gewonnene bzw. verlorene Lebensjahre miteinander verglichen werden, aber ein besserer physischer oder psychischer gesundheitlicher Zustand durch Rad fahren nicht berücksichtigt wird. Es ist geplant, dass die Morbidität in einer zukünftigen Version des HEAT-Tools Einklang findet (Kahlmeier et al. 2014).

Die meisten Studien zu den gesundheitlichen Auswirkungen von Radfahren wurden mit Erwachsenen durchgeführt. Es ist zu wenig darüber bekannt, ob körperliche Aktivität bei Kindern spätere Aktivitätsmuster bei Erwachsenen beeinflusst, daher würde die Berücksichtigung von Kindern im HEAT Modell auf zu vielen Annahmen basieren. Aus diesem Grund wurde HEAT für Personen zwischen 20 und 64 Jahren konzipiert (BMLFUW 2009) und es werden nur die Altersklassen zwischen 25 und 64 Jahren für die Kosten-Nutzen-Analyse in dieser Arbeit verwendet. Als Eingangsparameter für das Tool werden die Mobilitätsparameter aus den

Auswertungen der Mobilitätsbefragungen für das Jahr 2008 von Herry et al. (2010) verwendet, der Wert des statistischen Lebens wird mit 3.104.421 € angesetzt. Es handelt sich hierbei um die Summe aus dem Verlust an Leistungspotential und dem Wert des menschlichen Leids: Tabelle 8-11 liefert einen Überblick über die verwendeten Parameter sowie der Ergebnisse der Berechnung. Im Durchschnitt ergibt sich ein Nutzen von 1,01 Euro pro gefahrenem Radkilometer. Das ist der über die Radkilometer pro Personengruppe gewichtete Mittelwert. In einer älter werdenden Gesellschaft sind die positiven Auswirkungen von Rad fahren von Bedeutung und sollten forciert werden.

Tabelle 8-11 Gesundheitlicher Nutzen von Radfahren: Parameter zur Berechnung mittels HEAT-Tool und Ergebnisse

Eingangsparameter	Altersklasse		
	25 - 34	35 - 49	50- 64
Personenanzahl	1.088.746	2.032.514	1.483.872
Radverkehrsleistung pro Tag/Person [km/d* Person]	0,55	0,68	0,71
Anzahl Tage pro Jahr, an denen Rad gefahren wird [d]	365	365	365
Value of a statistical life (VSL) [€]	3.092.140	3.092.140	3.092.140
Ergebnisse			
Reduktion der Mortalität um x [%]	2	2	2
Mortalität in Österreich für die Altersgruppe [Todesfälle/ Jahr und 100.000 Personen]	71	248	773
Verhinderte Todesfälle pro Jahr	13	103	245
Einsparungen pro Jahr [€]	39.431.000	318.526.000	757.139.000
gefahrte Radkilometer pro Jahr gesamt [km]	218.183.541	506.792.781	384.428.949
Ersparnis pro Radkilometer [€/km]	0,18	0,63	1,97
Mittelwert über alle Altersklassen [€/km]	1,01		

Grundsätzlich stellt sich die Frage, ob ein niedriger Radverkehrsanteil automatisch bedeutet, dass Personen, die nicht mehr oder weniger mit dem Rad unterwegs sind, weniger körperlich aktiv sind oder ob eine Substitution durch andere körperlichen Aktivitäten stattfindet. Es ist jedenfalls ein Vorteil, wenn körperliche Betätigung im Alltag integriert wird und keinen extra Aufwand oder Kosten verursacht.

8.17 Auswirkungen durch Verkehrsmittelwechsel

Das Mobilitätszeitbudget pro Tag, also jene Zeit, die wir durchschnittlich täglich im Verkehr verbringen, ist annähernd konstant (um die 80 Minuten). Wenn Radfahrerinnen durch die Radhelmpflicht weniger Rad fahren, werden die Kilometer, die nicht mehr mit dem Fahrrad gefahren werden, mit anderen Verkehrsmitteln zurückgelegt. Diese Substitution geht mit einer Änderung der Verunglückten- bzw. Getötetenraten einher, außerdem entstehen durch eine Substitution durch den MIV Umweltkosten. Für die Berechnung der Änderung der Unfall- bzw. Umweltkosten durch die Wahl anderer Verkehrsmittel muss zunächst eine Aufteilung der nicht mehr gefahrenen Radkilometer erfolgen. Anschließend werden die Verunglückten- und Getötetenraten der jeweiligen Verkehrsmittel berechnet bzw. angeführt.

8.17.1 Aufteilung der substituierten Radkilometer auf andere Verkehrsmittel

In dieser Arbeit wird davon ausgegangen, dass die eine Aufteilung gemäß dem Modal-Split in Österreich stattfindet. Hierfür werden die Zahlen in Tabelle 8-12 aus Pfaffenbichler et al. (2011) herangezogen.

Der Faktor x_i für die Substitution für das jeweilige Verkehrsmittel wird mit Formel 8-20 berechnet, Tabelle 8-12 liefert die Ergebnisse.

Formel 8-20

$$x_i = \frac{ms_i}{ms_{miv} + ms_{fuss} + ms_{öpnv}}$$

ms_i Modal-Split-Anteil des jeweiligen Verkehrsmittels

Tabelle 8-12 Prozentuelle Aufteilung der substituierten Radkilometer auf andere Verkehrsmittel (Eigene Berechnung, Daten für Modal Split: Pfaffenbichler et al. 2011)

Modal-Split (ms_i)	Alterklasse			
	25-34	35-49	50-64	Ø
Fußgängerin (ms_{rad})	0,2	0,17	0,24	0,2
MIV-Lenkerin (ms_{mivl})	0,56	0,59	0,48	0,54
MIV-Mitfaherin (ms_{mivf})	0,08	0,08	0,11	0,09
ÖV-Fahrgast ($ms_{öpnv}$)	0,09	0,1	0,09	0,09
Faktor x_i				
Fußgängerin (x_{rad})	0,22	0,18	0,26	0,22
MIV-Lenkerin (x_{mivl})	0,60	0,63	0,52	0,58
MIV-Mitfaherin (x_{mivf})	0,09	0,09	0,12	0,10
ÖV-Fahrgast ($x_{öpnv}$)	0,10	0,11	0,10	0,10

8.17.2 Unfallkosten anderer Verkehrsmittel

Um die Unfallkosten anderer Verkehrsmittel zu berechnen, müssen zunächst die Verunglückten- und Getötetenraten ermittelt werden und anschließend erfolgt eine Gewichtung nach Unfallschwere und Altersgruppe. Für die Unfallkosten des MIV erfolgt eine andere Berechnung der Verunglückten- bzw. Getötetenraten als in Pfaffenbichler et al. (2011), da diese Daten zu einer Verzerrung zugunsten des MIV führen würden: Die Verunglückten- und Getötetenraten auf Autobahnen und Schnellstraßen sind um ein Vielfaches kleiner als auf Landesstraßen und sonstigen Straßen. Da auf Autobahnen und Schnellstraßen kein Radverkehr stattfindet, werden nur die Unfalldaten der Landesstraßen und sonstiger Straßen herangezogen.

Für die Unfallkosten des öffentlichen Verkehrs müsste eine ähnliche Aufteilung beispielsweise nach Regionalzügen, Schnellbahnen etc. erfolgen. Aufgrund fehlender Daten und da die Verunglücktenraten (0,02 Verunglückte pro 1 Mio. km) und Verunglücktenzeitraten (0,05 Verunglückte pro 100.000 Stunden Verkehrsbeteiligungsdauer) sehr klein sind, wird mit der Verunglückten- und Getötetenrate von Pfaffenbichler et al. (2011) aus Tabelle 2-3 und Tabelle 2-4 gerechnet. Auch eine Unterscheidung nach Altersklassen sowohl hinsichtlich der Verunglücktenraten als auch der Unfallschweren ist nicht möglich.

Für die Verunglückten- und Getötetenraten von Fußgängerinnen werden ebenfalls die Werte aus diesen Tabellen gewählt, der Wert für die Gruppe der 24-65-Jährigen wird

in Kap. 8.17.2.2 gemittelt. Für die Berechnung der durchschnittlichen Kosten einer Verletzten kann eine Unterscheidung nach Altersklassen hinsichtlich der Unfallschwere mangels Daten nicht getroffen werden.

8.17.2.1 Verunglückten- und Getötetenraten des MIV auf Landesstraßen und sonstigen Straßen

Im Folgenden werden die Verunglücktenraten auf Landesstraßen und sonstigen Straßen berechnet. Hierfür werden die von Herry Consult (2015) berechneten Verkehrsleistungen für den MIV für das Jahr 2008 sowie Daten der ASFINAG (2009) über die im Jahr 2008 auf Autobahnen und Schnellstraßen zurück gelegten Kilometer herangezogen. Weiters werden die Verunglücktenzahlen der Statistik Austria für MIV-Lenkerinnen und Mitfahrerinnen aufgeschlüsselt nach Alter und Straßenart zwischen 2007 und 2009 verwendet. Die Verunglücktenzahlen wurden für diese Arbeit von der Statistik Austria zur Verfügung gestellt (Dietl 2015).

Verkehrsleistung von MIV-Lenkerinnen und Mitfahrerinnen auf Landesstraßen und sonstigen Straßen

Für die Berechnung der Verkehrsleistung von MIV-Lenkerinnen auf Landesstraßen und sonstigen Straßen ($VL_{MIV,L}$) wird die Kfz-Leistung auf Autobahnen und Schnellstraßen ($VL_{MIV,A,S}$) von der Gesamtverkehrsleistung von MIV-Lenkerinnen abgezogen ($\sum u_i$). Eine Aufteilung nach Altersklassen (y_i) erfolgt prozentuell (w_i), es wird angenommen, dass diese sich auf allen Straßenarten gleich verhält.

Die Berechnung erfolgt nach der folgenden Formel, zum besseren Verständnis siehe Tabelle 8-13 und Tabelle 8-14.

Formel 8-21

$$y_i = w_i \times VL_{MIV,L}$$

Tabelle 8-13 Parameter zur Berechnung der Verkehrsleistung von MIV-Lenkerinnen auf Landesstraßen und sonstigen Straßen

Alter	6-14	15-24	25-34	35-49	50-64	>64	Gesamtverkehrsleistung MIV Lenkerinnen
Verkehrsleistung MIV-Lenkerinnen alle Straßen	u ₁	u ₂	u ₃	u ₄	u ₅	u ₆	Σu _i
Anteil Altersklasse (w _i =u _i /Σu _i)	w ₁	w ₂	w ₃	w ₄	w ₅	w ₆	Verkehrsleistung Autobahnen und Schnellstraßen alle Altersklassen
							VL _{MIV,A,S}
Verkehrsleistung MIV-Lenkerinnen auf Landesstraßen und sonstigen Straßen (y _i =w _i *VL _{MIV,L})	y ₁	y ₂	y ₃	y ₄	y ₅	y ₆	Verkehrsleistung Landesstraßen und sonstige Straßen alle Altersklassen
							VL _{MIV,L} = Σu _i - VL _{MIV,A,S}

Für die Berechnung der Verkehrsleistungen von MIV-Mitfahrerinnen muss berücksichtigt werden, dass es sich bei den Daten der ASFINAG (2009) um die jährliche Kfz-Leistung handelt, das entspricht der Verkehrsleistung von MIV-Lenkerinnen. Es wird angenommen, dass der Besetzungsgrad des MIV auf Autobahnen und Schnellstraßen gleich ist wie auf Landesstraßen und sonstigen Straßen. Die Verkehrsleistung von MIV-Mitfahrerinnen kann ebenfalls als Anteil (x_i) der Gesamtverkehrsleistung betrachtet werden.

Die Berechnung der Verkehrsleistung von MIV-Mitfahrerinnen erfolgt analog nach folgender Formel:

Formel 8-22

$$z_i = x_i \times VL_{MIV,L}$$

Außerdem gilt:

Formel 8-23

$$x_i = \frac{v_i}{\sum u_i}$$

Wobei z_i die Verkehrsleistung von Mitfahrerinnen auf Landesstraßen und sonstigen Straßen der jeweiligen Altersklasse ist und v_i die Verkehrsleistung auf allen Straßen.

Tabelle 8-14 Parameter zur Berechnung der Verkehrsleistung von MIV-Mitfahrerinnen auf Landesstraßen und sonstigen Straßen

Alter	6-14	15-24	25-34	35-49	50-64	>64	Gesamtverkehrsleistung MIV Lenkerinnen
Verkehrsleistung MIV-Mitfahrerinnen alle Straßen	v ₁	v ₂	v ₃	v ₄	v ₅	v ₆	Σu _i
Anteil Altersklasse (x _i =v _i /Σu _i)	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	Verkehrsleistung Autobahnen und Schnellstraßen alle Altersklassen
							VL _{MIV,A,S}
Verkehrsleistung MIV-Mitfahrerinnen auf Landesstraßen und sonstigen Straßen (z _i =x _i *VL _{MIV,L})	z ₁	z ₂	z ₃	z ₄	z ₅	z ₆	Verkehrsleistung Landesstraßen und sonstige Straßen alle Altersklassen
							VL _{MIV,L} = Σu _i -VL _{MIV,A,S}

Ergebnisse der Berechnung sind Tabelle 8-15 zu entnehmen.

Tabelle 8-15 Verkehrsleistung von MIV-Lenkerinnen (y_i) und Mitfahrerinnen (z_i) auf Landesstraßen und sonstigen Straßen im Jahr 2008 (eigene Berechnung, Daten: Herry Consult 2015 und ASFINAG 2009)

Alter	6-14	15-24	25-34	35-49	50-64	>64
u _i ^a [km]	0	3.981.892.351	9.358.966.631	16.849.364.241	10.119.468.521	3.899.882.279
w _i	0,00	0,09	0,21	0,38	0,23	0,09
y _i [km]	0	1.901.218.713	4.468.589.537	8.045.000.662	4.831.703.427	1.862.061.682
Σu _i	44.209.574.021	VL _{MIV,A,S} ^b	23.101.000.000		VL _{MIV,L}	21.108.574.021
v _i ^a [km]	2.143.733.676	2.449.075.499	1.146.489.838	3.332.652.437	2.677.151.565	2.547.198.631
x _i	0,05	0,06	0,03	0,08	0,06	0,06
z _i [km]	1.023.560.212	1.169.350.590	547.410.061	1.591.228.647	1.278.249.185	1.216.201.062

^a Herry Consult (2015); ^b ASFINAG (2009)

Verunglücktenzahlen von MIV-Lenkerinnen (λ₁) und Mitfahrerinnen (λ_{1,2}) auf Landesstraßen und sonstigen Straßen

Eine Auswertung der Verunglücktenzahlen auf Landesstraßen und sonstigen Straßen der Statistik Austria nach Altersklasse und Verletzungsgrad liefert das Ergebnis auf Tabelle 8-16. Die Verunglückten- und Getötetenraten nach Altersklassen sowie die über die Verkehrsleistung gewichteten Mittelwerte für die Gruppe der 25-64-Jährigen sind Tabelle 8-17 zu entnehmen.

Tabelle 8-16 Verunglückte MIV-Lenkerinnen und Mitfahrerinnen auf Landesstraßen und sonstigen Straßen (eigene Berechnung, Daten: Dietl 2015)

Landesstraßen und sonstige Straßen (2007-2009)						
MIV-Lenkerinnen	6-14	15-24	25-34	35-49	50-64	>64
Getötete	1	101	55	93	72	79
Leichtverletzte	573	8.638	4.842	6.565	3.251	1.701
Schwerverletzte	139	1.816	949	1.643	1.055	692
MIV-Mitfahrerinnen	6-14	15-24	25-34	35-49	50-64	>64
Getötete	4	26	13	12	7	19
Leichtverletzte	1.055	2.818	1.061	1.175	790	691
Schwerverletzte	152	508	164	222	182	209

Tabelle 8-17 Verunglückten- und Getötetenraten pro 1 Mio. km auf Landesstraßen und sonstigen Straßen für den MIV nach Altersklassen, Jahresdurchschnitt 2007-2009 (eigene Berechnung)

Verunglückten- und Getötetenraten Landesstraßen und sonstige Straßen (2007-2009)						
MIV-Lenkerinnen	6-14	15-24	25-34	35-49	50-64	>64
Getötetenrate [Getötete/Mio km] ($\lambda_{g,1}$)	0	0,05	0,01	0,01	0,01	0,04
Verunglücktenrate [Verunglückte/Mio km] (λ_1)	0	5,50	1,30	1,02	0,89	1,28
		\emptyset 25-64 λ_1	1,06	\emptyset 25-64 λ_{g1}	0,01	
MIV-Mitfahrerinnen	6-14	15-24	25-34	35-49	50-64	>64
Getötetenrate [Getötete/Mio km] ($\lambda_{g,1,2}$)	0	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02
Verunglücktenrate [Verunglückte/Mio km] ($\lambda_{1,2}$)	1,18	2,84	2,24	0,88	0,76	0,74
		\emptyset 25-64 $\lambda_{1,2}$	1,05	\emptyset 25-64 $\lambda_{g1,2}$	0,01	

8.17.2.2 Verunglückten- und Getötetenraten des Fußverkehrs

Die Verunglückten- und Getötetenraten des Fußverkehrs sind in Tabelle 2-3 und Tabelle 2-4 angegeben. Es muss noch eine Gewichtung nach Verkehrsleistung für die Gruppe der 24-65-Jährigen erfolgen. Die Berechnung der Verkehrsleistung des Fußverkehrs erfolgt nach Formel 8-24 über eine Umrechnung der Verunglücktenraten, das Ergebnis ist Tabelle 8-18 zu entnehmen. Die gemittelte Verunglückten- und Getötetenrate finden sich in

Formel 8-24

$$VL = \frac{V \times 10^6}{VR}$$

VL Verkehrsleistung

V Verunglückte

VR Verunglücktenrate

Tabelle 8-18 Verkehrsleistung des Fußverkehrs nach Altersklassen (eigene Berechnung, Daten: Pfaffenbichler et al 2011)

Altersklasse	6-14	15-24	25-34	35-49	50-64	>64
Verunglückte	694	692	418	681	617	945
Verunglücktenrate [Verunglückte/ Mio km]	1,84	2,58	1,01	1,06	0,92	1,34
Verkehrsleistung [km/Jahr]	377.173.913	268.217.054	413.861.386	642.452.830	670.652.174	705.223.881

Tabelle 8-19 gemittelte Verunglückten- und Getötetenrate für den Fußverkehr (eigene Berechnung, Daten: Pfaffenbichler et al 2011)

Alterksklasse	25-34	35-49	50-64
Getötete	6	13	15
Verunglückte	418	681	617
Verkehrsleistung [km]	413.861.386	642.452.830	670.652.174
Gemittelte Werte			
Getötetenrate (λ_{g2}) [Getötete/Mio km]	0,02		
Verunglücktenrate (λ_2) [Verunglückte/Mio km]	0,99		

8.17.2.3 Durchschnittliche Verletzungskosten nach Verkehrsmittel

Die Unfallkosten pro durchschnittlich Verletzten für die jeweiligen Verkehrsmittel werden analog zu Kapitel 8.14 berechnet.

Für MIV-Lenkerinnen und Mitfahrerinnen erfolgt die Berechnung nach Altersklassen, für Fußgängerinnen und ÖPNV wird mangels Daten keine Unterscheidung nach Altersklassen getroffen. Ergebnisse sind in Tabelle 8-20 und Tabelle 8-21 zusammengefasst.

Tabelle 8-20 Kosten eines durchschnittlichen Unfalls von MIV-Lenkerinnen (UK₁) und Mitfahrerinnen (UK_{1,2}) auf Landesstraßen und sonstigen Straßen. Jahresdurchschnitt Verletzte: 2007-2009, indexangepasst auf Stand 2015 (eigene Berechnung, Daten: Dietl 2013))

MIV-Lenkerinnen	6-14	15-24	25-34	35-49	50-64	>64
Leichtverletzte	573	8.638	4.842	6.565	3.251	1.701
Schwerverletzte	139	1.816	949	1.643	1.055	692
UK ₁ gesamt [€]	65.274.823	879.842.509	467.937.870	764.808.673	466.806.150	295.328.489
Ø UK ₁ (25-64) [€]			92.851			
MIV-Mitfahrerinnen	6-14	15-24	25-34	35-49	50-64	>64
Leichtverletzte	1.055	2.818	1.061	1.175	790	691
Schwerverletzte	152	508	164	222	182	209
UK _{1,2} gesamt [€]	82.094.666	256.352.332	86.385.834	110.425.435	86.423.364	93.677.263
Ø UK _{1,2} (25-64) [€]			78.815			

Tabelle 8-21 Kosten einer durchschnittlich Verunglückten Fußgängerin und Fahrgast (eigene Berechnung, Daten: Pfaffenbichler et al. 2011)

Verkehrsmittel	Leichtverletzte	Schwerverletzte	x _l	x _s	UK [€]
Fußgängerinnen (UK ₂)	2895	1354	0,68	0,32	133.502
ÖPNV (UK ₃)	462	61	0,88	0,12	64.751

8.17.3 Umweltkosten des MIV

Als Umweltkosten werden in dieser Arbeit folgende Kosten zusammengefasst:

- (1) Lärmkosten
- (2) Schadstoffkosten
- (3) Klimakosten

8.17.3.1 Lärm

Lärmkosten bestehen aus den Belästigungskosten und den Gesundheitskosten. Erstere bestehen in unerwünschte gesellschaftliche Störungen, die in Kosten durch Belästigungen bis hin zu Schmerzen resultieren. Durch Lärm erzeugte Gesundheitskosten werden durch Gehörschäden, Stressreaktionen, Änderungen der Herzschlagfrequenz, Bluthochdruck oder hormonellen Änderungen verursacht (Maibach et al. 2008).

Lärmgrenzkosten werden definiert als zusätzliche Lärmkosten, die entstehen, wenn ein Fahrzeug zum bestehenden Verkehr dazu gefügt wird. Für die Schätzung der Kosten ist auch wichtig, wie viele Personen und in welcher Form sie vom Lärm

betroffen sind. Daher spielen die Faktoren Landnutzung (Stadt, Vorstadt, Land), Zeitperioden (Tag, Nacht) und Verkehrszustände (locker, dicht) eine Rolle. Maibach et al. (2008) berechneten für verschiedene Szenarien und Verkehrsmittel Lärmgrenzkosten. Diese ergaben für den MIV im Jahr 2008 die Werte in Tabelle 8-22.

Tabelle 8-22 Lärmgrenzkosten [ct/km] für den MIV für verschiedene Landnutzungstypen und Tageszeiten. (nach Maibach et al. 2008)

Tageszeit	Stadt	Stadttrand	Land
Tag	0,76	0,12	0,01
Nacht	1,39	0,22	0,03

Da ein Gesamtwert benötigt wird, der die Lärmkosten über 24 Stunden abdeckt, hat Trunk (2010) eine typische Tagesganglinie für Wien ausgewertet, um einen gewichteten Mittelwert aus dem Tag- und Nachtwert zu errechnen. Die Berechnungen von Trunk (2010) ergeben einen Wert von 1,02 ct/km (Preisniveau 2009). Dieser Wert wird in der vorliegenden Arbeit verwendet.

8.17.3.2 Schadstoffe

Zu den Schadstoffen zählen Stickoxide, Kohlenwasserstoffe und partikulare Schadstoffe (Feinstaub). Stickoxide schädigen die Atmungsorgane und tragen zur Bildung von bodennahem Ozon bei. Zu den Kohlenwasserstoffverbindungen zählt beispielsweise Benzol, das durch Abgase von Benzinmotoren emittiert wird und karzinogen wirkt (Trunk 2010).

Feinstaub entsteht durch Verbrennung von Kraftstoffen, Abrieb von Reifen, Bremsen und Straßenbelägen (Trunk 2010). Unter Feinstaub wird sowohl PM10 als auch PM2,5 verstanden. PM10 ist ein Gemisch aus festen und flüssigen Teilchen unterschiedlichster Eigenschaften. Eine als PM10 bezeichnete Staubfraktion enthält 50 % Teilchen mit einem Durchmesser von 10 µm. PM2,5 enthält 50 % Teilchen mit dem Durchmesser 2,5 µm (Pfaffenbichler et al. 2011).

Das gesundheitliche Risiko durch Feinstaub wurde von der WHO dargestellt. Die WHO (2006) unterscheidet zwischen Kurzzeit-Effekten und Langzeit-Effekten der Feinstaubbelastung:

Mögliche Kurzzeit-Effekte der Feinstaubbelastung

- Entzündungsreaktionen der Atemwege und Lunge

- Beeinträchtigung der Atmung
- negative Effekte auf das Herz-Kreislauf-System
- Steigerung des Medikamentenverbrauchs
- Erhöhung der Krankenhausaufenthalte und Erhöhung der Sterblichkeit

Langzeit-Wirkungen der Feinstaubbelastung

- Ansteigen der Symptome der unteren Atemwege
- Beeinträchtigung der Lungenfunktion von Kindern
- Ansteigen der Häufigkeit von COPD (Chronisch Obstruktiver Bronchitis)
- Beeinträchtigung der Lungenfunktion von Erwachsenen
- Verringerung der Lebenserwartung durch Herz-Kreislauf-Erkrankungen und infolge von Lungenkrebs.

Trunk (2010) errechnete für die Schadstoffkosten einen Wert von 0,63 ct/km (Preisniveau 2009).

8.17.3.3 Klimakosten

Die Schäden des Klimawandels treten zum Teil erst in ferner Zukunft und global auf und ihr Ausmaß ist unsicher. Trunk (2010) errechnete für den Pkw-Verkehr Klimakosten von 0,85 ct/km. Seine Berechnungen basierten auf Mengenansätze des HBEFA (Handbuch der Emissionsfaktoren Version 2.1 von 2004) von 169,75 g/km CO₂-Emissionen und auf die Preisansätze der RVS RL 02.01.22. von 50 €/t CO₂.

8.17.3.4 Zusammenfassung Umweltkosten und Fortschreibung auf das Preisniveau 2015

Die Lärmkosten, Schadstoffkosten und Klimakosten sind die in dieser Arbeit angesetzten Umweltkosten des MIV. Ihre Summe ergibt einen Wert von 2,5 ct/km (Preisniveau 2009). Für das Jahr 2015 sind das 2,84 ct/km. Nicht berücksichtigt werden andere Umweltkosten wie Bodenversiegelung.

8.17.4 Gesundheitlicher Nutzen von Zufußgehen

Der gesundheitliche Nutzen geht nur für die Radkilometer verloren, die durch MIV oder öffentlichen Verkehr substituiert werden. Für Kilometer, die nun zu Fuß zurückgelegt

werden, gibt es ebenfalls einen gesundheitlichen Nutzen, der in der Nutzen-Kosten-Analyse berücksichtigt werden muss. Tabelle 8-23 zeigt die Parameter zur Berechnung des gesundheitlichen Nutzens von Zufußgehen mittels HEAT-Tool sowie die Ergebnisse der Berechnung.

Tabelle 8-23 Gesundheitlicher Nutzen von Zufußgehen: Parameter zur Berechnung mittels HEAT-Tool und Ergebnisse

Eingangsparameter	Altersklasse		
	25-34	35-49	50-64
Personenanzahl	1.088.746	2.032.514	1.483.872
Verkehrsleistung pro Tag/Person [km/d* Person]	1,04	0,87	1,24
Anzahl Tage pro Jahr, an denen zu Fuß gegangen wird [d]	365	365	365
Value of a statistical life (VSL) [€]	3.092.140	3.092.140	3.092.140
Ergebnisse			
Verhinderte Todesfälle pro Jahr	46	161	794
Einsparungen pro Jahr [€]	109.647.000	384.702.000	1.896.360.000
Einsparungen pro Kilometer zu Fuß [€/km]	0,26	0,60	2,83
Mittelwert über die Altersklassen 25-64 [€/km]	1,38		

8.18 Ergebnisse Nutzen-Kosten-Analyse für Österreich

In der Nutzen-Kosten-Analyse werden insgesamt neun Szenarien berücksichtigt, die auf den Daten der Verkehrsunfallstatistik basieren. Die Szenarien unterscheiden sich hinsichtlich der Schutzwirkung von Helmen und angenommener Tragequoten nach der Radhelfpflicht (Tabelle 8-24). Die Schutzwirkung von Helmen wird als OR angegeben und es wird eine Unterscheidung getroffen nach der Schutzwirkung für tödliche (OR_g) und nicht-tödliche (OR_v) Kopfverletzungen. Ein $OR_v = 0,39$ bedeutet zum Beispiel, dass 61 % der nicht-tödlichen Kopfverletzungen verhindert werden können, wenn ein Helm getragen wird. In jedem Szenario wird berechnet, ab welcher von der Radhelfpflicht verursachten Abnahme (p) des Radverkehrs sich ein negativer Effekt (ökonomischer Schaden) einstellen würde. Die Abnahme des Radverkehrs (p) bezieht sich auf die Kilometer, die vor der Radhelfpflicht von Nicht-Helmträgerinnen mit dem Rad zurückgelegt wurden. Bezogen auf die gesamte Radverkehrsleistung ist der Anteil, der nicht mehr mit dem Rad zurückgelegt wird P , wobei $P = m \times p$ gilt.

Tabelle 8-24 Szenarien der Nutzen-Kosten-Analyse. Unterscheidung nach Helmtragequote und Schutzwirkung von Helmen

Szenario	S1	S2	S3
Schutzwirkung	hoch: Orv = 0,39; Org = 0,15		
Tragequote	100%	85%	75%
Szenario	S4	S5	S6
Schutzwirkung	mittel: Orv = 0,5; Org = 0,37		
Tragequote	100%	85%	75%
Szenario	S7	S8	S9
Schutzwirkung	niedrig: Orv = 0,65; Org = 0,9		
Tragequote	100%	85%	75%

Die Werte für den Nutzen der Radhelmpflicht sind in den Tabellen grün hinterlegt, die Kosten rot.

8.18.1 Szenarienrechnung

8.18.1.1 Szenario 1

Dieses Szenario (Tabelle 8-25) geht von einer hohen Schutzwirkung von Helmen ($OR_v = 0,39$ und $OR_g = 0,15$) und einer Helmtragequote von 100 % aus. Es ist das optimistischste Szenario, was die Helmtragequote nach Einführung der Radhelmpflicht und die Schutzwirkung von Helmen betrifft. In diesem Szenario würde die Radhelmpflicht zu negativen Auswirkungen (höhere Kosten als Nutzen) führen, wenn Radfahrerinnen, die früher ohne Helm gefahren sind, jährlich über 10 % (p) weniger Radkilometer zurücklegen als vor Einführung der Radhelmpflicht. Das entspricht einem Rückgang der Gesamtradverkehrsleistung von 7,1 % (P).

Tabelle 8-25 Ergebnisse Nutzen-Kosten-Analyse Szenario 1

Radverkehrsleistung [km/Jahr]				OR _v	OR _g	Φ _{ges}	Φ	p	P
1.109.405.271				0,39	0,15	1,00	1,00	0,100	0,071
Kosten/Nutzen		Pro Kilometer [ct/km]					Gesamt [€]		
Änderung der KV-Kosten durch Helme unter Berücksichtigung der Risikoänderung durch Safety in Numbers		V	2,21	G	1,55	V + G	3,75	41.648.087	
Entgangener gesundheitlicher Nutzen durch Radfahren		-7,13					-79.101.458		
Eingesparte Unfallkosten für Radfahren durch Substitution des Verkehrsmittels		V	2,67	G	0,46	V + G	3,13	34.713.657	
Neue Unfallkosten durch Substitution des Verkehrsmittels		V	-0,68	G	-0,28	V + G	-0,96	-10.613.658	
Gesundheitlicher Nutzen von Zufußgehen		2,15					23.819.406		
Umweltkosten durch neue PKW-Kilometer		-0,12					-1.327.392		
Auswirkungen durch Änderung der Verunglücktenrate durch Safety in Numbers		V	-0,72	G	-0,10	V + G	-0,8	-9.138.642	
Nutzen-Kosten		0,00					0		

8.18.1.2 Szenario 2

Szenario 2 (Tabelle 8-26) geht von einer geringeren Helmtragequote von 85 % aus bei gleicher Schutzwirkung ($OR_v = 0,39$ und $OR_g = 0,15$) wie in Szenario 1. In diesem Szenario würde die Radhelmpflicht zu negativen Auswirkungen (höhere Kosten als Nutzen) führen, wenn Radfahrerinnen, die früher ohne Helm gefahren sind, jährlich über 8 % (p) weniger Radkilometer zurücklegen als vor Einführung der Radhelmpflicht. Das entspricht einem Rückgang der Gesamtradverkehrsleistung von 5,7 % (P).

Tabelle 8-26 Ergebnisse Nutzen-Kosten-Analyse Szenario 2

Radverkehrsleistung [km/Jahr]				OR_v	OR_g	Φ_{ges}	Φ	p	P
1.109.405.271				0,39	0,15	0,85	0,79	0,080	0,057
Kosten/Nutzen		Pro Kilometer [ct/km]				Gesamt [€]			
Änderung der KV-Kosten durch Helme unter Berücksichtigung der Risikoänderung durch Safety in Numbers		V	1,79	G	1,25	V + G	3,04	33.683.165	
Entgangener gesundheitlicher Nutzen durch Radfahren		-5,70				-63.253.271			
Eingesparte Unfallkosten für Radfahren durch Substitution des Verkehrsmittels		V	2,14	G	0,36	V + G	2,50	27.758.684	
Neue Unfallkosten durch Substitution des Verkehrsmittels		V	-0,54	G	-0,22	V + G	-0,77	-8.487.183	
Gesundheitlicher Nutzen von Zufußgehen		1,72				19.047.124			
Umweltkosten durch neue PKW-Kilometer		-0,10				-1.061.445			
Auswirkungen durch Änderung der Verunglücktenrate durch Safety in Numbers		V	-0,60	G	-0,09	V + G	-0,7	-7.687.074	
Nutzen-Kosten		0,00				0			

8.18.1.3 Szenario 3

In Szenario 3 (Tabelle 8-27) wird eine kleinere, realistischere Tragequote von 75 % angesetzt bei gleicher Schutzwirkung wie in Szenario 1 und 2 ($OR_v = 0,39$ und $OR_g = 0,15$). In diesem Szenario würde die Radhelmpflicht zu negativen Auswirkungen (höhere Kosten als Nutzen) führen, wenn Radfahrerinnen, die früher ohne Helm gefahren sind, jährlich über 6,6 % (p) weniger Radkilometer zurücklegen als vor Einführung der Radhelmpflicht. Das entspricht einem Rückgang der Gesamtradverkehrsleistung von 4,7 % (P).

Tabelle 8-27 Ergebnisse Nutzen-Kosten-Analyse Szenario 3

Radverkehrsleistung [km/Jahr]				OR _v	OR _g	Φ _{ges}	Φ	p	P	
1.109.405.271				0,39	0,15	0,75	0,65	0,066	0,047	
Kosten/Nutzen				Pro Kilometer [ct/km]			Gesamt [€]			
Änderung der KV-Kosten durch Helme unter Berücksichtigung der Risikoänderung durch Safety in Numbers				V	1,49	G	1,04	V + G	2,54	28.138.382
Entgangener gesundheitlicher Nutzen durch Radfahren				-4,73			-52.422.440			
Eingesparte Unfallkosten für Radfahren durch Substitution des Verkehrsmittels				V	1,77	G	0,30	V + G	2,07	23.005.576
Neue Unfallkosten durch Substitution des Verkehrsmittels				V	-0,45	G	-0,19	V + G	-0,63	-7.033.926
Gesundheitlicher Nutzen von Zufußgehen				1,42			15.785.693			
Umweltkosten durch neue PKW-Kilometer				-0,08			-879.694			
Auswirkungen durch Änderung der Verunglücktenrate durch Safety in Numbers				V	-0,52	G	-0,08	V + G	-0,6	-6.593.590
Nutzen-Kosten				0,00			0			

8.18.1.4 Szenario 4

In Szenario 4 (Tabelle 8-28) wird mit einer mittleren Schutzwirkung von Helmen (OR_v = 0,5 OR_g = 0,37) von Helmen und einer Tragequote von 100 % gerechnet. In diesem Szenario würde die Radhelmpflicht zu negativen Auswirkungen (höhere Kosten als Nutzen) führen, wenn Radfahrerinnen, die früher ohne Helm gefahren sind, jährlich über 7,3 % (p) weniger Radkilometer zurücklegen als vor Einführung der Radhelmpflicht. Das entspricht einem Rückgang der Gesamtradverkehrsleistung von 5,2 % (P).

Tabelle 8-28 Ergebnisse Nutzen-Kosten-Analyse Szenario 4

Radverkehrsleistung [km/Jahr]				OR _v	OR _g	Φ _{ges}	Φ	p	P	
1.109.405.271				0,50	0,37	1,00	1,00	0,073	0,052	
Kosten/Nutzen				Pro Kilometer [ct/km]			Gesamt [€]			
Änderung der KV-Kosten durch Helme unter Berücksichtigung der Risikoänderung durch Safety in Numbers				V	1,80	G	0,97	V + G	2,77	30.737.460
Entgangener gesundheitlicher Nutzen durch Radfahren				-5,24			-58.133.334			
Eingesparte Unfallkosten für Radfahren durch Substitution des Verkehrsmittels				V	1,96	G	0,33	V + G	2,30	25.511.801
Neue Unfallkosten durch Substitution des Verkehrsmittels				V	-0,50	G	-0,21	V + G	-0,70	-7.800.201
Gesundheitlicher Nutzen von Zufußgehen				1,58			17.505.385			
Umweltkosten durch neue PKW-Kilometer				-0,09			-975.528			
Auswirkungen durch Änderung der Verunglücktenrate durch Safety in Numbers				V	-0,54	G	-0,07	V + G	-0,6	-6.845.582
Nutzen-Kosten				0,00			0			

8.18.1.5 Szenario 5

Die Schutzwirkung von Helmen ist in Szenario 5 (Tabelle 8-29) gleich groß wie in Szenario 4 (OR_v = 0,5 OR_g = 0,37). Die Tragequote wird mit 85 % angesetzt. In diesem Szenario würde die Radhelmpflicht zu negativen Auswirkungen (höhere Kosten als

Nutzen) führen, wenn Radfahrerinnen, die früher ohne Helm gefahren sind, jährlich über 5,8 % (p) weniger Radkilometer zurücklegen als vor Einführung der Radhelmpflicht. Das entspricht einem Rückgang der Gesamtradverkehrsleistung von 4,2 % (P).

Tabelle 8-29 Ergebnisse Nutzen-Kosten-Analyse Szenario 5

Radverkehrsleistung [km/Jahr]		OR _v	OR _g	Φ _{ges}	Φ	p	P
1.109.405.271		0,50	0,37	0,85	0,79	0,058	0,042
Kosten/Nutzen		Pro Kilometer [ct/km]				Gesamt [€]	
Änderung der KV-Kosten durch Helme unter Berücksichtigung der Risikoänderung durch Safety in Numbers	V	1,45	G	0,78	V + G	2,23	24.748.048
Entgangener gesundheitlicher Nutzen durch Radfahren		-4,17					-46.290.163
Eingesparte Unfallkosten für Radfahren durch Substitution des Verkehrsmittels	V	1,56	G	0,27	V + G	1,83	20.314.428
Neue Unfallkosten durch Substitution des Verkehrsmittels	V	-0,40	G	-0,16	V + G	-0,56	-6.211.111
Gesundheitlicher Nutzen von Zufußgehen		1,26					13.939.113
Umweltkosten durch neue PKW-Kilometer		-0,07					-776.789
Auswirkungen durch Änderung der Verunglücktenrate durch Safety in Numbers	V	-0,45	G	-0,07	V + G	-0,5	-5.723.525
Nutzen-Kosten		0,00					0

8.18.1.6 Szenario 6

Szenario 6 (Tabelle 8-30) hat die gleiche Schutzwirkung wie die Szenarien 4 und 5 (OR_v = 0,5 OR_g = 0,37), die Helmtragequote beträgt 75 %. Das ist das realistischste Szenario was die Schutzwirkung von Helmen und die Helmtragequote nach Einführung der Radhelmpflicht betrifft. In diesem Szenario würde die Radhelmpflicht zu negativen Auswirkungen (höhere Kosten als Nutzen) führen, wenn Radfahrerinnen, die früher ohne Helm gefahren sind, jährlich über 4,8 % (p) weniger Radkilometer zurücklegen als vor Einführung der Radhelmpflicht. Das entspricht einem Rückgang der Gesamtradverkehrsleistung von 3,4 % (P).

Tabelle 8-30 Ergebnisse Nutzen-Kosten-Analyse Szenario 6

Radverkehrsleistung [km/Jahr]		OR _v	OR _g	Φ _{ges}	Φ	p	P
1.109.405.271		0,50	0,37	0,75	0,65	0,048	0,034
Kosten/Nutzen		Pro Kilometer [ct/km]				Gesamt [€]	
Änderung der KV-Kosten durch Helme unter Berücksichtigung der Risikoänderung durch Safety in Numbers	V	1,21	G	0,65	V + G	1,86	20.611.452
Entgangener gesundheitlicher Nutzen durch Radfahren		-3,45					-38.252.580
Eingesparte Unfallkosten für Radfahren durch Substitution des Verkehrsmittels	V	1,29	G	0,22	V + G	1,51	16.787.136
Neue Unfallkosten durch Substitution des Verkehrsmittels	V	-0,33	G	-0,14	V + G	-0,46	-5.132.646
Gesundheitlicher Nutzen von Zufußgehen		1,04					11.518.798
Umweltkosten durch neue PKW-Kilometer		-0,06					-641.912
Auswirkungen durch Änderung der Verunglücktenrate durch Safety in Numbers	V	-0,38	G	-0,06	V + G	-0,4	-4.890.248
Nutzen-Kosten		0,00					0

8.18.1.7 Szenario 7

Die letzten drei Szenarien zeichnen sich durch die geringste Schutzwirkung von Helmen aus. Es wird ein $OR_v = 0,65$ und ein $OR_g = 0,9$ angesetzt. In Szenario 7 (Tabelle 8-31) wird wieder eine Tragequote von 100 % angesetzt. In diesem Szenario würde die Radhelfpflicht zu negativen Auswirkungen (höhere Kosten als Nutzen) führen, wenn Radfahrerinnen, die früher ohne Helm gefahren sind, jährlich über 3,6 % (p) weniger Radkilometer zurücklegen als vor Einführung der Radhelfpflicht. Das entspricht einem Rückgang der Gesamtradverkehrsleistung von 2,5 % (P).

Tabelle 8-31 Ergebnisse Nutzen-Kosten-Analyse Szenario 7

Radverkehrsleistung [km/Jahr]				OR_v	OR_g	Φ_{ges}	Φ	p	P
1.109.405.271				0,65	0,90	1,00	1,00	0,036	0,025
Kosten/Nutzen		Pro Kilometer [ct/km]				Gesamt [€]			
Änderung der KV-Kosten durch Helme unter Berücksichtigung der Risikoänderung durch Safety in Numbers	V	1,27	G	0,10	V + G	1,36	15.132.180		
Entgangener gesundheitlicher Nutzen durch Radfahren	-2,56				-28.389.776				
Eingesparte Unfallkosten für Radfahren durch Substitution des Verkehrsmittels	V	0,96	G	0,16	V + G	1,12	12.458.847		
Neue Unfallkosten durch Substitution des Verkehrsmittels	V	-0,24	G	-0,10	V + G	-0,34	-3.809.277		
Gesundheitlicher Nutzen von Zufußgehen	0,77				8.548.864				
Umweltkosten durch neue PKW-Kilometer	-0,04				-476.405				
Auswirkungen durch Änderung der Verunglücktenrate durch Safety in Numbers	V	-0,27	G	-0,04	V + G	-0,3	-3.464.433		

8.18.1.8 Szenario 8

Szenario 8 (Tabelle 8-32) hat die gleiche Schutzwirkung wie Szenario 7 ($OR_v = 0,65$ und ein $OR_g = 0,9$) und eine Helmtragequote von 85 %. In diesem Szenario würde die Radhelfpflicht zu negativen Auswirkungen (höhere Kosten als Nutzen) führen, wenn Radfahrerinnen, die früher ohne Helm gefahren sind, jährlich über 2,8 % (p) weniger Radkilometer zurücklegen als vor Einführung der Radhelfpflicht. Das entspricht einem Rückgang der Gesamtradverkehrsleistung von 2 % (P).

Tabelle 8-32 Ergebnisse Nutzen-Kosten-Analyse Szenario 8

Radverkehrsleistung [km/Jahr]				OR _v	OR _g	Φ _{ges}	Φ	p	P
1.109.405.271				0,65	0,90	0,85	0,79	0,028	0,020
Kosten/Nutzen		Pro Kilometer [ct/km]				Gesamt [€]			
Änderung der KV-Kosten durch Helme unter Berücksichtigung der Risikoänderung durch Safety in Numbers		V	1,01	G	0,08	V + G	1,09	12.109.738	
Entgangener gesundheitlicher Nutzen durch Radfahren		-2,02				-22.462.586			
Eingesparte Unfallkosten für Radfahren durch Substitution des Verkehrsmittels		V	0,76	G	0,13	V + G	0,89	9.857.701	
Neue Unfallkosten durch Substitution des Verkehrsmittels		V	-0,19	G	-0,08	V + G	-0,27	-3.013.980	
Gesundheitlicher Nutzen von Zufußgehen		0,61				6.764.040			
Umweltkosten durch neue PKW-Kilometer		-0,03				-376.942			
Auswirkungen durch Änderung der Verunglücktenrate durch Safety in Numbers		V	-0,23	G	-0,03	V + G	-0,3	-2.877.971	
Nutzen-Kosten		0,00				0			

8.18.1.9 Szenario 9

Szenario 9 (Tabelle 8-33) stellt das Worst-Case-Szenario für die Schutzwirkung von Helmen und die Helmtragequote nach Einführung der Radhelfpflicht dar. Es wird hier mit der gleichen Schutzwirkung wie in Szenario 7 und 8 gerechnet (OR_v = 0,65 und OR_g = 0,9) und mit einer Helmtragequote von 75 %. In diesem Szenario würde die Radhelfpflicht zu negativen Auswirkungen (höhere Kosten als Nutzen) führen, wenn Radfahrerinnen, die früher ohne Helm gefahren sind, jährlich über 2,3 % (p) weniger Radkilometer zurücklegen als vor Einführung der Radhelfpflicht. Das entspricht einem Rückgang der Gesamtradverkehrsleistung von 1,7 % (P)

Tabelle 8-33 Ergebnisse Nutzen-Kosten-Analyse Szenario 9

Radverkehrsleistung [km/Jahr]				OR _v	OR _g	Φ _{ges}	Φ	p	P
1.109.405.271				0,65	0,90	0,75	0,65	0,023	0,017
Kosten/Nutzen		Pro Kilometer [ct/km]				Gesamt [€]			
Änderung der KV-Kosten durch Helme unter Berücksichtigung der Risikoänderung durch Safety in Numbers		V	0,84	G	0,07	V + G	0,91	10.044.189	
Entgangener gesundheitlicher Nutzen durch Radfahren		-1,67				-18.476.790			
Eingesparte Unfallkosten für Radfahren durch Substitution des Verkehrsmittels		V	0,62	G	0,11	V + G	0,73	8.108.535	
Neue Unfallkosten durch Substitution des Verkehrsmittels		V	-0,16	G	-0,07	V + G	-0,22	-2.479.175	
Gesundheitlicher Nutzen von Zufußgehen		0,50				5.563.819			
Umweltkosten durch neue PKW-Kilometer		-0,03				-310.057			
Auswirkungen durch Änderung der Verunglücktenrate durch Safety in Numbers		V	-0,19	G	-0,03	V + G	-0,2	-2.450.522	
Nutzen-Kosten		0,00				0			

8.18.1.10 Zusammenfassung Ergebnisse der Nutzen-Kosten-Rechnung

Wenn die Verunglücktenraten der Verkehrsunfallstatistik für die Nutzen-Kosten-Analyse herangezogen werden, kann auf jeden Fall mit negativen Effekten einer

Radhelmpflicht gerechnet werden, wenn Radfahrerinnen, die vor Einführung der Radhelmpflicht ohne Helm gefahren sind, jährlich über 10 % weniger Kilometer mit dem Rad zurücklegen. Das entspricht einer Reduktion der Gesamtradverkehrsleistung von 7,1 %. Das ist das Ergebnis, das Szenario 1 liefert, jenes mit der optimistischsten Annahme der Schutzwirkung von Helmen und der Helmtragequote nach Einführung der Radhelmpflicht.

Wenn die Reduktion des Radverkehrs sich auf 1,7 % der Gesamtradverkehrsleistung (2,3 % der heute von Radfahrerinnen ohne Helm zurückgelegten Kilometer) beschränkt, so hat die Radhelmpflicht keine negativen Auswirkungen. Das heißt, dass der Nutzen größer oder zumindest gleich groß ist wie die Kosten. Das ergibt sich aus dem Szenario mit der geringsten Schutzwirkung von Helmen und der niedrigsten Helmtragequote nach Einführung der Radhelmpflicht (Szenario 9).

Im realistischsten Szenario (Szenario 6) hinsichtlich der Helmtragequoten nach Einführung der Radhelmpflicht und der Schutzwirkung von Helmen übertreffen die Kosten der Helmpflicht ihren Nutzen ab einer Reduktion des Radverkehrs um 4,8 % der Radverkehrsleistung von Radfahrerinnen, die vor der Radhelmpflicht ohne Helm gefahren sind. Bezogen auf die Gesamtradverkehrsleistung sind das 3,4 %. Das ist ein durchaus realistischer Wert, wenn internationale Beispiele betrachtet werden. Außerdem muss angemerkt werden, dass sich die in dieser Arbeit angesetzten Helmtragequoten im oberen Bereich der international beobachteten Tragequoten nach Einführung einer Radhelmpflicht bewegen, was zugunsten der Radhelmpflicht ausfällt (vergleiche Kapitel 7.1 Auswirkungen auf Helmtragequote und Radverkehrsanteil).

In allen Szenarien werden die höchsten Kosten durch den entgangenen gesundheitlichen Nutzen verursacht, gefolgt von den erhöhten Verunglückten- und Getötetenraten durch den Effekt Safety-in-Numbers. Die Umweltkosten sind vergleichsweise klein. Der größte Nutzen entsteht durch die Änderung der Verunglückten- und Getötetenraten durch die Substitution von Radfahren durch andere Verkehrsmittel und nicht durch die Schutzwirkung von Helmen, darauf wird Kapitel 8.18.2 näher eingegangen.

Tabelle 8-34 fasst die passenden p-Werte der Szenarien zusammen.

Tabelle 8-34 Übersicht der Ergebnisse der NKA für alle Szenarien

Szenario	S1	S2	S3
Schutzwirkung	hoch: OR _v = 0,39; OR _g = 0,15		
Tragequote	100%	85%	75%
p	10,0%	8,0%	6,6%
P	7,1%	5,7%	4,7%
Szenario	S4	S5	S6
Schutzwirkung	mittel: OR _v = 0,5; OR _g = 0,37		
Tragequote	100%	85%	75%
p	7,3%	5,8%	4,8%
P	5,2%	4,2%	3,4%
Szenario	S7	S8	S9
Schutzwirkung	niedrig: OR _v = 0,65; OR _g = 0,9		
Tragequote	100%	85%	75%
p	3,6%	2,8%	2,3%
P	2,5%	2,0%	1,7%

8.18.2 Einfluss der Verunglücktenrate und Nicht-Kopfverletzungen auf das Ergebnis der Nutzen-Kosten-Analyse

Eine der Schwächen dieser Nutzen-Kosten-Rechnung liegt darin, dass die Dunkelziffer von Radunfällen, die sich im Verkehr ereignen, nicht berücksichtigt werden konnte, da auch die Dunkelziffer von anderen Verkehrsmitteln, insbesondere von zu Fuß gehen, berücksichtigt werden müsste und diese nicht bekannt ist.

In diesem Kapitel wird diskutiert, wie sich das Ergebnis einer Nutzen-Kosten-Rechnung in Abhängigkeit der Verunglücktenrate (Verunglückte pro Mio. Radkilometer) verhält. Das ist ein Versuch, dem Anspruch gerecht zu werden, die Dunkelziffer von Radfahren zu berücksichtigen, aber es muss angemerkt werden, dass es sich nur um eine grobe Näherung handelt, zumal nur die Dunkelziffer von Radfahren berücksichtigt wird und dadurch die Änderung des Unfallrisikos durch die Substitution von Radfahren durch andere Verkehrsmittel, insbesondere durch Zufußgehen, wo auch eine hohe Dunkelziffer vermutet wird, unterschätzt wird. Außerdem handelt es sich bei der Dunkelziffer von Radunfällen zum Großteil um Alleinunfälle, die in der Regel leichter ausfallen als Unfälle mit Beteiligung von Kraftfahrzeugen, das heißt die durchschnittlichen Unfallkosten eines Radunfalls müssten geringer sein.

Je höher die Verunglücktenrate λ ist, umso positiver wirkt sich eine Radhelmpflicht aus. Das bedeutet, dass mehr Radfahrerinnen mit dem Rad fahren aufhören bzw. weniger Radkilometer zurücklegen dürften, bevor ein negativer Effekt der

Radhelmpflicht eintritt. Dieser Umstand wird anhand des Szenario 1 erläutert, welches das optimistischste Szenario hinsichtlich die Schutzwirkung von Helmen und die Helmtragequote nach Einführung der Radhelmpflicht ist. Für alle übrigen Szenarien gelten die gleichen Erkenntnisse, sie werden daher nicht getrennt behandelt.

Abbildung 8-1 zeigt, wie sich das Ergebnis der Nutzen-Kosten-Rechnung ändert, wenn sich die Verunglücktenrate ändert. Wenn davon ausgegangen wird, dass Radfahrerinnen, die vor der Radhelmpflicht ohne Helm gefahren sind, $p = 10\%$ weniger Radkilometer zurücklegen, so verursacht das mehr Kosten als Nutzen für eine Verunglücktenrate $\lambda < 2,87$ Verunglückte/Mio. km (das ist der Wert aus der Verkehrsunfallstatistik). Für höhere Verunglücktenraten ($\lambda > 2,87$) hat die Radhelmpflicht für die gleiche Reduktion des Radverkehrs (p) positive Auswirkungen.

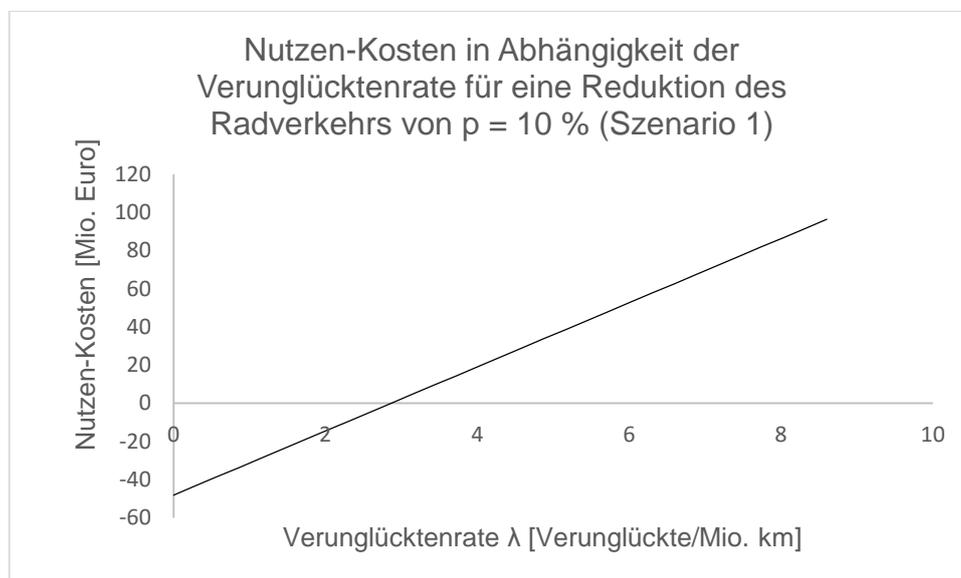


Abbildung 8-1 Nutzen-Kosten der Radhelmpflicht als Funktion der Verunglücktenrate

Abbildung 8-2 zeigt, wie sich das Ergebnis der Nutzen-Kosten-Rechnung für unterschiedliche Verunglücktenraten (λ) in Abhängigkeit von der Reduktion des Radverkehrs (p) ändert. Für $\lambda = 2,87$ Verunglückte pro Mio km übersteigen die Kosten den Nutzen einer Radhelmpflicht ab einer Reduktion des Radverkehrs von $p > 10\%$. Je höher die Verunglücktenrate ist, umso mehr rückt der Nullpunkt der Funktion nach rechts. Das heißt umso größer darf die Reduktion des Radverkehrs sein, bevor die HP einen negativen Effekt hat. Abbildung 8-3 zeigt, wie sich der Wert für die Reduktion des Radverkehrs (p) in Abhängigkeit der Verunglücktenrate ($0 \leq \lambda \leq 6$) ändert, ab der ein negativer Effekt der HP eintritt.

$\lambda = 7,16$ ist die Verunglücktenrate, für die die Unfallkosten pro Kilometer Rad fahren gleich groß sind wie der gesundheitliche Nutzen von einem km Rad fahren. Auch hier ist zu erkennen, dass die Radhempflcht immer einen Nutzen hat, unabhängig davon, wie hoch die Reduktion des Radverkehrs ist. Das Gleiche gilt auf jeden Fall für größere Verunglücktenraten und man sieht, dass der Nutzen umso größer wird, je größer die Reduktion des Radverkehrs ist.

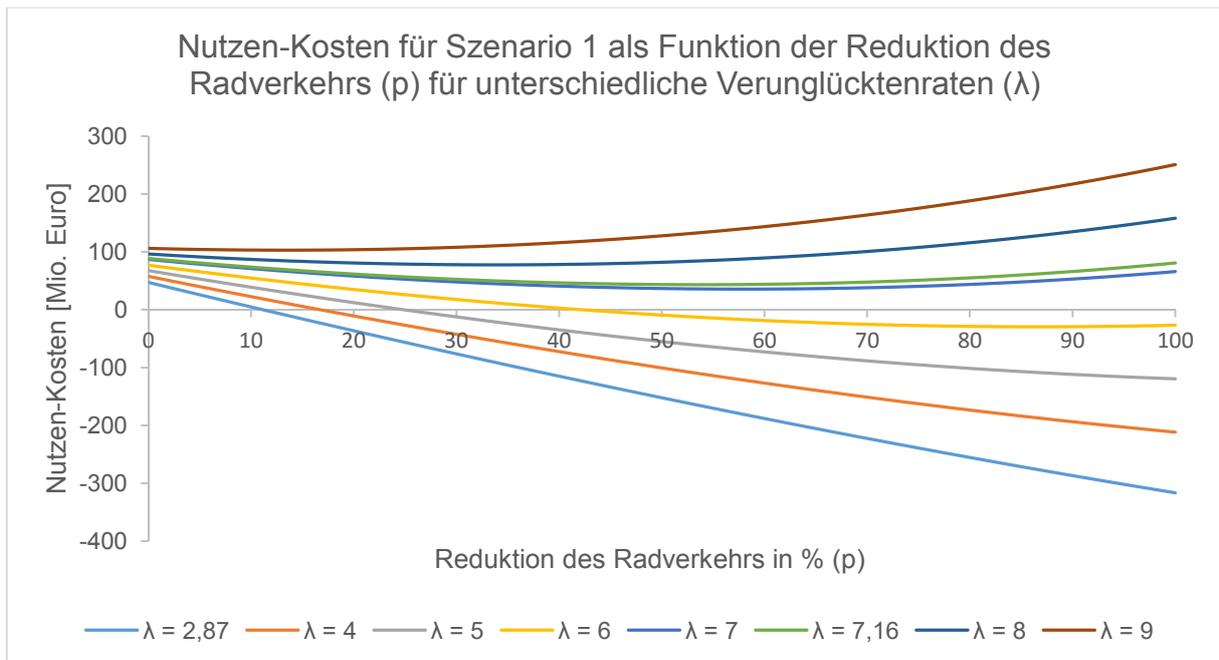


Abbildung 8-2 Nutzen-Kosten der Radhempflcht als Funktion der Reduktion des Radverkehrs (p) für unterschiedliche Verunglücktenraten (λ)

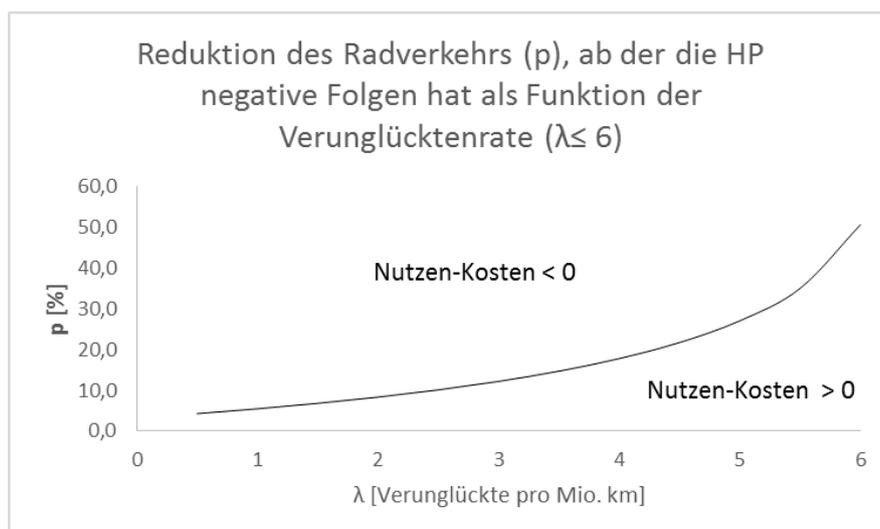


Abbildung 8-3 Grenzwert für die Reduktion des Radverkehrs (p), ab der die HP einen negativen Effekt hat als Funktion der Verunglücktenrate (λ)

Bemerkenswert ist, dass das Ergebnis nicht maßgeblich durch die eingesparten Kopfverletzungen aufgrund der Schutzwirkung der nun getragenen Helme beeinflusst

wird, sondern durch die Risikoreduktion im Allgemeinen, die durch eine Substitution des Verkehrsmittels zustande kommt, da Radfahren die höchste Verunglücktenrate (λ) aufweist. So wäre in Szenario 1 (hohe Schutzwirkung und hohe Tragequote) für ein hohes λ (beispielsweise $\lambda = 9$) immer mit einem Nutzen zu rechnen, selbst wenn es keinen zusätzlichen Schutz durch Helme gibt, wenn alle mit dem Radfahren aufhören, die früher ohne Helm gefahren sind ($p = 1$). In Abbildung 8-4 werden für $\lambda = 9$ die Beträge der Einsparungen an Unfallkosten sowie des entgangenen gesundheitlichen Nutzens von Rad fahren als Funktion von p (Reduktion des Radverkehrs) dargestellt. Für $p = 0$ (wenn also gleich viel Rad gefahren wird wie vor der Radhelmpflicht) ergeben sich die Einsparungen an Unfallkosten ausschließlich aus der Schutzwirkung von Helmen. Man sieht auch, dass die Einsparungen an Unfallkosten immer größer sind als der entgangene gesundheitliche Nutzen und dass der Anteil an Einsparungen von Unfallkosten durch Helme umso kleiner wird, je größer die Reduktion des Radverkehrs ist. Der entgangene gesundheitliche Nutzen ist ab einer Reduktion des Radverkehrs von ca. 10 % immer größer als die Einsparungen durch Helme oder die Unfallkosten von Kopfverletzungen, die sich nicht ereignen, weil Radfahrerinnen weniger Rad fahren. Für $p = 1$ (alle Radfahrerinnen, die vor der HP ohne Helm gefahren sind, hören mit dem Rad Fahren auf) ist der entgangene gesundheitliche Nutzen am Größten, gleichzeitig sind auch die eingesparten Unfallkosten am Größten. Es ist ersichtlich, dass die meisten Einsparungen durch Substitution von Radfahren entstehen und dass der größte Anteil davon auf Nicht-KV entfällt. Das sollte die Debatte mehr auf die Sicherheit von Rad fahren im Allgemeinen fokussieren und nicht auf die Frage ob Radhelmpflicht oder nicht reduzieren.

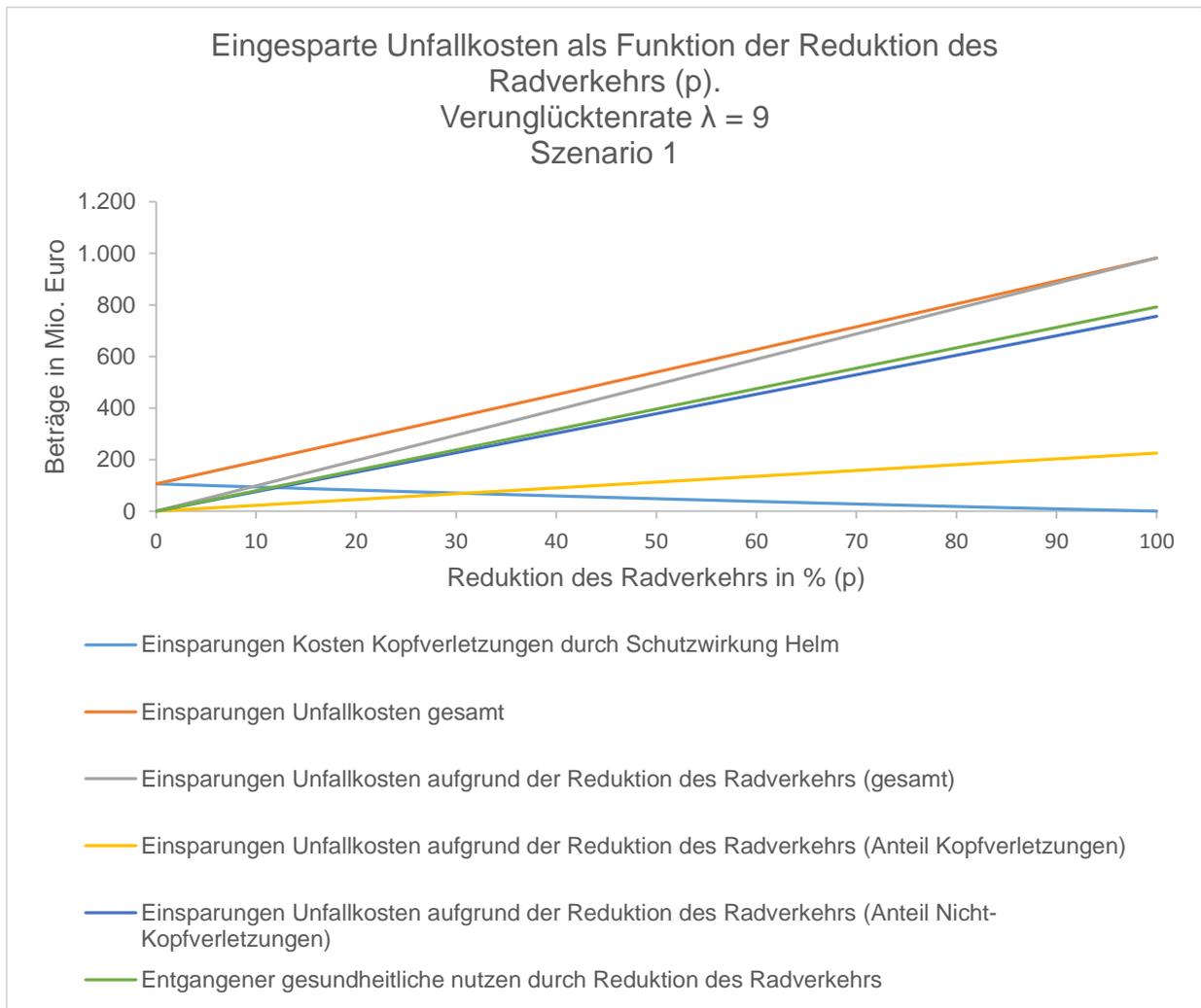


Abbildung 8-4 Einsparungen von Unfallkosten durch Schutzwirkung von Helmen und durch Reduktion des Radverkehrs sowie entgangener gesundheitlichen Nutzen als Funktion der Reduktion des Radverkehrs (p). Verunglücktenrate $\lambda = 9$.

9 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Internationale Beispiele haben gezeigt, dass die Einführung einer Helmpflicht immer zu höheren Helmtragequoten führt, selbst wenn diese nicht rigoros geahndet wird. Gleichzeitig hat es Abnahmen im Radverkehr gegeben. Obwohl nicht alle Fallbeispiele für alle Altersklassen Abnahmen im Radverkehr gezeigt haben und diese auch unterschiedlich waren, so sind sie nicht auszuschließen. Eine Erhöhung des Risikos für Radfahrerinnen konnte auch festgestellt werden, sodass die Einsparungen an Kopfverletzungen unter den Erwartungen lagen und sich auch mehr Unfälle pro gefahrenen Radkilometer ereignet haben. Dass Risikokompensation zu einer Erhöhung des Risikos geführt hat, konnte auf Basis der Literatur nicht bestätigt werden. Der Effekt „Safety in Numbers“, also ein erhöhtes Unfallrisiko pro Radkilometer, wenn weniger Rad gefahren wird, wurde in dieser Arbeit berücksichtigt, da die empirische Grundlage gegeben ist.

Die Arbeitshypothese *„Die Einführung einer Radhelmpflicht ist mit volkswirtschaftlichen Kosten verbunden, die die Einsparungen bei den Unfallkosten durch Kopfverletzungen übersteigen“* kann also für die gewählten Szenarien ab einer gewissen Abnahme des Radverkehrs bestätigt werden: Die Nutzen-Kosten-Analysen, die in dieser Arbeit durchgeführt wurden, haben realistische Werte für die Reduktion des Radverkehrsanteils geliefert, ab denen in Österreich mit negativen Folgen einer Radhelmpflicht gerechnet werden kann. Negative Folgen treten auf jeden Fall ein, wenn Radfahrerinnen, die vor Einführung der Radhelmpflicht ohne Helm gefahren sind, jährlich über 10 % weniger Kilometer mit dem Rad zurücklegen. Das entspricht einer Reduktion der Gesamtradverkehrsleistung von 7,1 % und es ist das Ergebnis aus dem optimistischsten Szenario hinsichtlich der Schutzwirkung von Helmen und den erwarteten Tragequoten nach Einführung der Radhelmpflicht (vorausgesetzt Helme werden richtig getragen). Dieser Wert liegt im Bereich der festgestellten Reduktionen des Radverkehrs aus internationalen Beispielen. Ob diese Reduktionen auch in Österreich tatsächlich eintreten würden, müsste genauer untersucht werden.

Wenn die Reduktion der Radverkehrsleistung unter 1,7 % bleibt, hat die Radhelmpflicht keine negativen Auswirkungen, das ist das Ergebnis aus dem pessimistischsten Szenario hinsichtlich der Schutzwirkung von Helmen und der angenommenen Helmtragequote nach der Helmpflicht.

Eine große Schwäche in dieser Arbeit ist, dass die Dunkelziffer von Radunfällen nicht berücksichtigt werden konnte, es aber einen großen Unterschied im Ergebnis macht, wie hoch die Verunglücktenraten (Verunglückte pro Radkilometer) sind, da sich die Unfallkosten aus der Multiplikation der Kosten einer durchschnittlich im Verkehr verletzten Radfahrerin mit der Verunglücktenrate ergeben. Für ein aussagekräftigeres Ergebnis braucht es bessere Daten zu den Verunglücktenraten im Radverkehr, aber es braucht auch Daten zu der Dunkelziffer von Unfällen von anderen Verkehrsmittel, insbesondere vom Fußverkehr, da diese auch das Ergebnis der Analyse beeinflussen.

Weitere Schwächen in der Datenlage betreffen die Kopfverletzungen und damit die positiven Auswirkungen der Radhelmpflicht. So werden alle Verletzungen im Bereich des Kopfes vom Kuratorium für Verkehrssicherheit (KfV) gezählt, obwohl die Schutzwirkung von Helmen nicht für alle betroffenen Kopfbereiche gleich ist. Außerdem werden betroffene Körperteile nicht in der Verkehrsunfallstatistik erfasst und die Unfallschwere nicht in der Freizeitunfallstatistik. Das machte es notwendig, mit den Kopfverletzungsraten der Freizeitunfallstatistik zu rechnen und mit den Unfallschweren der Verkehrsunfallstatistik. Eine Harmonisierung der Daten wäre wünschenswert. Eine Hürde, die für den Radverkehr grundsätzlich gilt, ist die Ermittlung der Radverkehrsleistung. In dieser Arbeit wurde mit Daten aus 2008 gerechnet, da es keine aktuelleren Zahlen gibt.

Eine weitere Einschränkung in der Beurteilung betrifft die gesundheitlichen Auswirkungen von Radfahren. HEAT erlaubt nur die Berücksichtigung der Altersgruppe der 25 bis 64-Jährigen. Aus den internationalen Beispielen ist bekannt, dass die größten Abnahmen im Radverkehr unter Jugendlichen stattgefunden haben, allerdings sind die positiven Auswirkungen für jüngere Radfahrerinnen als eher gering einzuschätzen, da diese sich aus der Änderung der Mortalitätsraten (verhinderte Todesfälle) ergibt und diese in dieser Altersgruppe von Haus aus geringer sind. Ein großes Manko des HEAT-Tools ist, dass ausschließlich mit den Änderungen der Mortalitätsraten gerechnet wird, was zu einer Unterschätzung des gesundheitlichen Nutzens von Radfahren führt, zumal ein besserer physischer und psychischer gesundheitlicher Zustand von Radfahrerinnen nicht berücksichtigt wird. Leider gibt es hier noch keine Möglichkeit die Morbidität zu berücksichtigen, aber es ist angedacht, die neue Version des HEAT Tools dahingehend zu erweitern.

In dieser Arbeit wurden auch keine Verwaltungskosten berücksichtigt, die durch eine Radhelmpflicht verursacht werden würden, beispielsweise für Strafmandate, auch deren Einnahmen nicht. Weitere Kosten der Bewerbung und Bewusstseinsbildung wurden ebenfalls außer Acht gelassen.

Auf Basis der Ergebnisse und der bekannten Daten, kann davon ausgegangen werden, dass eine Radhelmpflicht in Österreich eher zu negativen Auswirkungen führen wird. Aus diesem Grund wird vorerst von einer Einführung abgeraten. Mit einer besseren Datenlage könnte es zu einem unterschiedlichen Ausgang der Nutzen-Kosten-Analyse kommen, sodass die Radhelmpflicht empfohlen werden kann. Für eine bessere Evaluierung wird eine Verbesserung der Datenlage bzw. bessere Dokumentation für folgende Bereiche empfohlen:

- (1) Radverkehrsleistung
- (2) Dunkelziffer von Verkehrsunfällen (insbesondere für den Rad- und Fußverkehr)
- (3) Unfallschwere von Radunfällen
- (4) Schweregrad von Kopfverletzungen mit und ohne Helm
- (5) Anteil der Unfallkosten von Kopfverletzungen an den gesamten Unfallkosten
- (6) Unterschiedliche Dokumentation von Kopfverletzungen (Gesichtsverletzungen, Ohren etc.)

Wenn die Radhelmpflicht eingeführt wird, dann sollte eine bessere Untersuchung der Radverkehrsleistung und Radverkehrsunfälle vor und nach der Einführung eingeleitet werden (beispielsweise drei Jahre vorher und nachher) um die Auswirkungen evaluieren zu können.

Grundsätzlich muss berücksichtigt werden, dass ein Großteil der Einsparungen an Unfallkosten in der Nutzen-Kosten-Analyse nicht durch die Einsparung an Kopfverletzungen zu verzeichnen sind, sondern durch den Entfall von Nicht-Kopfverletzungen, wenn weniger Rad gefahren wird, das heißt, dass diese Verletzungen den größten Anteil an Kosten ausmachen. Unfälle werden nicht verhindert, weil ein Helm getragen wird, es werden lediglich die Unfallfolgen reduziert. Außerdem muss bedacht werden, dass schwere Kopfverletzungen sich nicht im gleichen Maße reduzieren werden wie leichte Kopfverletzungen. Wenn sich die Debatte der Sicherheit von Rad fahren auf die Radhelmpflicht beschränkt, wird die Verantwortung für die Verkehrssicherheit auf die Unfallopfer übertragen, vor allem in

Anbetracht dessen, dass sich die schwersten Unfälle mit Beteiligung von Kraftfahrzeugen ereignen und zwar sind diese umso schwerer, je schneller ein Kfz unterwegs ist. Es müssen daher verkehrsplanerische Maßnahmen gesetzt werden, die Rad fahren generell sicherer machen, sodass die Verunglücktenraten und Unfallfolgen möglichst gering sind. So können Unfallkosten eingespart werden, ohne den Radverkehr zu reduzieren. Grundsätzlich gilt, je mehr Rad gefahren wird, umso sicherer wird es für die einzelne Radfahlerin. Wie die Verunglücktenraten gesenkt werden können und welche Kosten das verursachen würde, sollte in Zukunft untersucht werden.

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1 Verletzte und getötete Radfahrerinnen in Österreich nach Altersklassen. Jahresdurchschnitt 2005-2009 (eigene Darstellung, Daten: Pfaffenbichler et al. 2011)	4
Tabelle 2-2 Mobilitätskennzahlen für den Radverkehr in Österreich für das Jahr 2008 (Herry Consult, 2013)	9
Tabelle 2-3 Verunglücktenrate pro 1 Mio. Kilometer Verkehrsleistung nach Verkehrsbeteiligung und Altersklasse, Jahresdurchschnitt 2005 – 2009 (Pfaffenbichler et al., 2011).....	10
Tabelle 2-4 Getötetenrate nach Verkehrsmittel und Altersklassen pro 100 Mio. Kilometer Verkehrsbeteiligung, Jahresdurchschnitt 2005-2009 (Pfaffenbichler et al. 2011).	12
Tabelle 3-1 Ungleichheits-Faktor für schwere Unfälle mit zwei beteiligten Verkehrsmitteln in den Niederlanden. Jahresdurchschnitt 2004-2008 (SWOV 2009)	13
Tabelle 3-2 Zulässige Höchstgeschwindigkeiten und Getötetenraten von Radfahrerinnen (Stone & Broughton 2003)	15
Tabelle 5-1 Definition der Odds Ratio (Quotenverhältnis) (Attewell et al. 2001).....	20
Tabelle 5-2 Schutzwirkung von Helmen nach verletztem Körperteil als OR. 95 % Konfidenzintervall in Klammer. Anzahl der untersuchten Studien in eckiger Klammer (Eigene Darstellung, Daten Elvik, 2013).....	22
Tabelle 6-1 Altersspezifische Unterschiede in den Helmtragequoten in New South Wales. Zählungen September 1990 (Walker 1990).....	24
Tabelle 6-2 Helmtragequote nach Art des Radfahrens in Australien 1991 und 1992 %N = Anteil der Gruppe von Radfahrerinnen (serious, commuter, recreational) an allen Radfahrerinnen; %H = Helmtragequote (Walker 1992)	25
Tabelle 7-1 Änderung der Helmtragequote nach Einführung der Radhelmpflicht nach untersuchten Studien (Karkhaneh et al. 2006)	27
Tabelle 7-2 Helmtragequote von Kindern unter 16 Jahren in NSW 1991, 1992 und 1993 (Smith und Milthorpe 1993)	28
Tabelle 7-3 Best Case und Worst Case Änderung der Helmtragequote von Kindern unter 16 Jahren in NSW zwischen 1991 und 1992 (Eigene Darstellung, Daten: Walker, 1992)	28

Tabelle 7-4 Helmtragequote von Schulkindern in Sydney (Walker 1992).....	29
Tabelle 7-5 Gezählte Radfahrerinnen unter 16 Jahren in NSW zwischen 1991 und 1993 (Robinson 1996)	29
Tabelle 7-6 Überblick über Provinzen mit und ohne Radhelmpflicht in Kanada	34
Tabelle 7-7 Helmtragequoten nach Altersklassen für die Jahre 2000, 2004 und 2006 in Alberta, Kanada (Nach Hagel et al. 2006 und Karkhaneh et al. 2011)	35
Tabelle 7-8 Radfahrerinnen pro Stunde in Alberta in den Jahren 2000 und 2006 nach Altersklassen. V = Verhältnis 2006 zu 2000; S = statistisch signifikant (Nach Karkhaneh 2011)	35
Tabelle 7-9 Helmtragequoten in British Columbia nach Altersklassen vor (1995) und nach (1999) Einführung der Radhelmpflicht (nach Foss und Beirness, 2000).....	37
Tabelle 7-10 Helmtragequote in Halifax (Nova Scotia) zwischen 1995 und 1999 (LeBlanc et al. 2002)	37
Tabelle 7-11 Nicht-Kopfverletzungsraten in Kanada (5-19-Jährige) in den Jahren 1994-1998 (Macpherson et al. 2002).....	39
Tabelle 7-12 Reduktion des KV-Risikos (1-(H/N)) für verschiedene Altersgruppen durch Radhelmpflicht in Victoria und NSW, Australien (nach Robinson 1996).....	45
Tabelle 7-13 Verletzte Radfahrerinnen unter 16 Jahren in NSW zwischen 1989 und 1993 (Robinson 1996)	46
Tabelle 7-14 Definition der AIS-Codes (Trauma.org n.d.).....	48
Tabelle 7-15 Anzahl Kopfverletzungen von Radfahrerinnen nach Verletzungsgrad vor und nach Einführung der Radhelmpflicht in Victoria, Australien (Carr et al. 1995) ...	48
Tabelle 7-16 Änderung des Verhältnisses (V) Kopfverletzung/Nicht-Kopfverletzung (KV/N) vor und nach Einführung der Radhelmpflicht nach Altersgruppen für Radfahrerinnen und Fußgängerinnen in Alberta, Kanada. S = statistisch signifikant. (Nach Karkhaneh, 2011).....	50
Tabelle 7-17 Vergleich zwischen Änderungen in der Anzahl an Kopfverletzungen und Anzahl an gezählten Radfahrerinnen pro Stunde vor und nach Einführung der Radhelmpflicht in Alberta (Eigene Darstellung nach BHRF 2014 und Karkhaneh 2011)	52
Tabelle 7-18 Vergleich schwerverletzter und getöteter RadfahrerInnen und FußgängerInnen in New South Wales unter 16 Jahren zwischen 1989 und 1993 (Robinson 1996).....	54

Tabelle 7-19 Vergleich zwischen geschätzter Anzahl an Rad fahrenden Kindern und Verletzungen in Melbourne 1990-1993 (Robinson 1996)	54
Tabelle 8-1 Angesezte Nutzen und Kosten für die N-K-Analyse	64
Tabelle 8-2 Glossar der Symbole, die in der Nutzen-Kosten-Rechnung verwendet werden.....	65
Tabelle 8-3 Radverkehrsleistung $E(0)$ für das Basisszenario 0 zur Berechnung der Verunglücktenrate λ_h nach Einführung der Radhelmpflicht (km pro Person und Tag) (Daten Herry Consult 2013).....	71
Tabelle 8-4 Helmtragequoten für vormals nicht Helmträgerinnen in Abhängigkeit von der erwarteten Gesamthelmtragequote nach Einführung der Helmpflicht für unterschiedliche Szenarien.....	72
Tabelle 8-5 Berechnung der Wahrscheinlichkeit einer Kopfverletzung und einer tödlichen Kopfverletzung mit Helm in Abhängigkeit der Odds Ratio für unterschiedliche Szenarien und bekannter Wahrscheinlichkeit einer Kopfverletzung ohne Helm (eigene Berechnung)	73
Tabelle 8-6 Schätzung des Anteils der Radverkehrsleistung ohne Helm in Österreich nach Altersklassen (Eigene Schätzung, Daten: Pfaffenbichler et al. 2011)).....	74
Tabelle 8-7 Durchschnittliche Verunglückten- und Getötetenrate (λ ; λ_g) von Radfahrerinnen für die Altersklasse 25-64 Jahre (eigene Berechnung, Daten: Pfaffenbichler et al. 2011).....	75
Tabelle 8-8 Durchschnittliche externe Unfallkosten [€] pro Verletzte nach Schweregrad (eigene Berechnung, Daten: Herry et al. 2008, Indexangepasst auf Stand 2015)....	79
Tabelle 8-9 Kosten einer durchschnittlich verletzten Radfahrerinnen (eigene Berechnung, Daten: Herry et al. 2008).	80
Tabelle 8-10 Vermeidbare Kosten einer durchschnittlichen Kopfverletzung (eigene Berechnung, Daten: Herry et al. 2008)	81
Tabelle 8-11 Gesundheitlicher Nutzen von Radfahren: Parameter zur Berechnung mittels HEAT-Tool und Ergebnisse.....	83
Tabelle 8-12 Prozentuelle Aufteilung der substituierten Radkilometer auf andere Verkehrsmittel (Eigene Berechnung, Daten für Modal Split: Pfaffenbichler et al. 2011)	85
Tabelle 8-13 Parameter zur Berechnung der Verkehrsleistung von MIV-Lenkerinnen auf Landesstraßen und sonstigen Straßen.....	87

Tabelle 8-14 Parameter zur Berechnung der Verkehrsleistung von MIV-Mitfahrerinnen auf Landesstraßen und sonstigen Straßen.....	88
Tabelle 8-15 Verkehrsleistung von MIV-Lenkerinnen (y_i) und Mitfahrerinnen (z_i) auf Landesstraßen und sonstigen Straßen im Jahr 2008 (eigene Berechnung, Daten: Herry Consult 2015 und ASFINAG 2009).....	88
Tabelle 8-16 Verunglückte MIV-Lenkerinnen und Mitfahrerinnen auf Landesstraßen und sonstigen Straßen (eigene Berechnung, Daten: Dietl 2015).....	89
Tabelle 8-17 Verunglückten- und Getötetenraten pro 1 Mio. km auf Landesstraßen und sonstigen Straßen für den MIV nach Altersklassen, Jahresdurchschnitt 2007-2009 (eigene Berechnung).....	89
Tabelle 8-18 Verkehrsleistung des Fußverkehrs nach Altersklassen (eigene Berechnung, Daten: Pfaffenbichler et al 2011).....	90
Tabelle 8-19 gemittelte Verunglückten- und Getötetenrate für den Fußverkehr (eigene Berechnung, Daten: Pfaffenbichler et al 2011).....	90
Tabelle 8-20 Kosten eines durchschnittlichen Unfalls von MIV-Lenkerinnen (UK_1) und Mitfahrerinnen ($UK_{1,2}$) auf Landesstraßen und sonstigen Straßen. Jahresdurchschnitt Verletzte: 2007-2009, indexangepasst auf Stand 2015 (eigene Berechnung, Daten: Dietl 2013)).....	91
Tabelle 8-21 Kosten einer durchschnittlich Verunglückten Fußgängerin und Fahrgast (eigene Berechnung, Daten: Pfaffenbichler et al. 2011).....	91
Tabelle 8-22 Lärmgrenzkosten [ct/km] für den MIV für verschiedene Landnutzungstypen und Tageszeiten. (nach Maibach et al. 2008).....	92
Tabelle 8-23 Gesundheitlicher Nutzen von Zuzußgehen: Parameter zur Berechnung mittels HEAT-Tool und Ergebnisse.....	94
Tabelle 8-24 Szenarien der Nutzen-Kosten-Analyse. Unterscheidung nach Helmtragequote und Schutzwirkung von Helmen.....	95
Tabelle 8-25 Ergebnisse Nutzen-Kosten-Analyse Szenario 1.....	95
Tabelle 8-26 Ergebnisse Nutzen-Kosten-Analyse Szenario 2.....	96
Tabelle 8-27 Ergebnisse Nutzen-Kosten-Analyse Szenario 3.....	97
Tabelle 8-28 Ergebnisse Nutzen-Kosten-Analyse Szenario 4.....	97
Tabelle 8-29 Ergebnisse Nutzen-Kosten-Analyse Szenario 5.....	98
Tabelle 8-30 Ergebnisse Nutzen-Kosten-Analyse Szenario 6.....	98
Tabelle 8-31 Ergebnisse Nutzen-Kosten-Analyse Szenario 7.....	99
Tabelle 8-32 Ergebnisse Nutzen-Kosten-Analyse Szenario 8.....	100

Tabelle 8-33 Ergebnisse Nutzen-Kosten-Analyse Szenario 9	100
Tabelle 8-34 Übersicht der Ergebnisse der NKA für alle Szenarien	102

11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1 Verletzungsgrad verunglückter Radfahrerinnen nach Altersklassen in der Verkehrsunfallstatistik, Jahresdurchschnitt 2000 – 2009, in % (Pfaffenbichler et al. 2011)	4
Abbildung 2-2 Verletzte Radfahrerinnen bei Alleinunfällen und Unfällen mit mehr als einer Unfallbeteiligten in der Verkehrsunfallstatistik und Freizeitunfallstatistik (nicht polizeilich erfasst) (Pfaffenbichler et al. 2011)	6
Abbildung 2-3 Verunglücktenzeirtrate pro 100.000 Stunden Verkehrsbeteiligungsdauer nach Verkehrsmittel, Jahresdurchschnitt 2005 – 2009 (Pfaffenbichler et al. 2011) ..	11
Abbildung 2-4 Getötetenzeirtrate nach Verkehrsmittel pro 10 Mio. Stunden Verkehrsbeteiligung, Jahresdurchschnitt 2005-2009 (Pfaffenbichler et al. 2011)	12
Abbildung 4-1 Anteil an Kopfverletzungen unter verunglückten Radfahrerinnen mit und ohne Helm in Österreich (Pfaffenbichler et al. 2011)	18
Abbildung 4-2 Verletzungsarten bei tödlich verunglückten Radfahrerinnen (Pfaffenbichler et al. 2011).....	18
Abbildung 6-1 Radhelmtragequoten in Österreich nach Altersklassen und Geschlecht im Jahr 2009 (Pfaffenbichler et al. 2011)	23
Abbildung 7-1 Helmtragequote von Radfahrerinnen älter als 16 Jahre zwischen 1990 und 1992 in NSW (Walker 1992)	29
Abbildung 7-2 Helmtragequoten für verschiedene Altersklassen zwischen 1990 und 1992 in Victoria (Eigene Darstellung, Daten: Finch et al. 1993)	31
Abbildung 7-3 Beobachtete Radfahrerinnen in Melbourne zwischen 1987 und 1992 (Finch et al. 1993).....	31
Abbildung 7-4 Zusammenhang zwischen Schadensersatzansprüchen für Unfälle ohne Kopfverletzung für Radfahrerinnen (Bikes) und Fußgängerinnen (Peds) in Victoria und Helmtragequote (%Helmet). Die Anzahl der Ansprüche wird in % im Vergleich zum Jahr 1987 angegebenen (Robinson 1996)	32
Abbildung 7-5 Änderungen im Radsport zwischen 2001 und 2007 unter Jugendlichen (A,B) und Erwachsenen (C,D) in Alberta (AB), Prinz Edward Island (PEI) und anderen kanadischen Provinzen. Links: Anteil an Personen, die Radsport betreiben. Rechts: Häufigkeit der Nutzung (Dennis et al. 2010)	36
Abbildung 7-6 Beobachtete Rad fahrende Kinder pro Stunde in Ontario zwischen 1993 und 1999 (Macpherson, Parin und To, 2001)	38

Abbildung 7-7 Helmtragequoten in Neuseeland 1988-1996 nach Altersklassen (Scuffham et al. 2000)	39
Abbildung 7-8 Tragequalität von Radhelmen für RadfahrerInnen unter 16 Jahre in New South Wales 1993 (Smith & Milthorpe 1993).....	40
Abbildung 7-9 Verletzungsraten (Kopf- und Armverletzungen) pro 100.000 EW in NSW zwischen 1990 und 2010 (Olivier et al. 2013).....	47
Abbildung 7-10 Verhältnis Kopfverletzungen/Armverletzungen in NSW zwischen 1990 und 2010 (Eigene Darstellung, Daten: Olivier et al. 2013)	47
Abbildung 7-11 Vergleich von Verletzungen von Radfahrerinnen nach Altersgruppen vor und nach Einführung der Helmpflicht in Alberta, Kanada. Behandlungen in der Notaufnahme (Nach Karkhaneh 2011)	50
Abbildung 7-12 Verhältnis Kopfverletzung/Nicht-Kopfverletzungen zwischen 1999 und 2006 für Radfahrerinnen und Fußgängerinnen nach Altersgruppen in Alberta, Kanada. Behandlungen in der Notaufnahme (Eigene Darstellung nach Karkhaneh 2011).....	51
Abbildung 7-13 Entwicklung aller Verletzungen von Radfahrerinnen und Fußgängerinnen pro 100.000 EW und Jahr nach Altersgruppen vor und nach Radhelmpflicht. (Eigene Darstellung nach Karkhaneh 2011)	51
Abbildung 7-14 Helmtragequoten in Neuseeland (Erwachsene und Grundschulkinder) und Kopfverletzungsrate nach Unfällen ohne Kfz Beteiligung (Robinson 2001).....	53
Abbildung 7-15 Gegenüberstellung der Verunglücktenrate und der zurückgelegten Fahrradkilometer je Einwohnerin in Wien, 2002 – 2008 (Pfaffenbichler et al. 2011)	59
Abbildung 7-16 Gegenüberstellung der Getötetenrate und der zurückgelegten Fahrradkilometer je Einwohnerin in Europa (Pfaffenbichler et al.2011).....	59
Abbildung 8-1 Nutzen-Kosten der Radhelmpflicht als Funktion der Verunglücktenrate	103
Abbildung 8-2 Nutzen-Kosten der Radhelmpflicht als Funktion der Reduktion des Radverkehrs (p) für unterschiedliche Verunglücktenraten (λ).....	104
Abbildung 8-3 Grenzwert für die Reduktion des Radverkehrs (p), ab der die HP einen negativen Effekt hat als Funktion der Verunglücktenrate (λ)	104
Abbildung 8-4 Einsparungen von Unfallkosten durch Schutzwirkung von Helmen und durch Reduktion des Radverkehrs sowie entgangener gesundheitlichen Nutzen als Funktion der Reduktion des Radverkehrs (p). Verunglücktenrate $\lambda = 9$	106

12 Literaturverzeichnis

- Acton, C.H.C. et al., 1995. Children and bicycles : what is really happening ? Studies of fatal and non-fatal bicycle injury. *Injury Prevention*, 1, pp.86–91.
- Adams, J. & Hillman, M., 2001. The risk compensation theory and bicycle helmets. *Injury prevention : journal of the International Society for Child and Adolescent Injury Prevention*, 7(4), p.343.
- Aertsens, J. et al., 2010. Commuting by bike in Belgium, the costs of minor accidents. *Accident; analysis and prevention*, 42(6), pp.2149–57.
- ASFINAG, 2009. *Geschäftsbericht 2008*,
- Attewell, R.G., Glase, K. & McFadden, M., 2001. Bicycle helmet efficacy: a meta-analysis. *Accident; analysis and prevention*, 33(3), pp.345–52.
- Basford, L. et al., 2002. *Drivers ' perceptions of cyclists*. *TRLReport 549*, Wokingham.
- BHRF, 2014a. Helmet laws: British Columbia. *Bicycle Helmet Research Foundation*. Available at: <http://www.cyclehelmets.org/1103.html#10284>.
- BHRF, 2014b. Helmet laws: Northern Territory. *Bicycle Helmet Research Foundation*. Available at: <http://www.cyclehelmets.org/1114.html#255>.
- Bíl, M., Bílová, M. & Müller, I., 2010. Critical factors in fatal collisions of adult cyclists with automobiles. *Accident; analysis and prevention*, 42(6), pp.1632–6.
- BMLFUW, 2009. *Wirtschaftliche Evaluierung von Verkehrsinfrastruktur und Strategien - Methodische Leitlinie zur wirtschaftlichen Beurteilung der gesundheitlichen Auswirkungen von Gehen und Radfahren*,
- Cameron, M., Helman, L. & Nelger, D., 1992. *Evaluation of the bicycle helmet wearing law in Victoria during its first 12 months*. Report No. 32. Monash University. Accident Research Centre.
- Carr, D., Skalova, M. & Cameron, M., 1995. *Evaluation of the bicycle helmet wearing law in victoria during its first four years*. Report No. 76. Monash University. Accident Research Centre.
- Curnow, W.J., 2005. The Cochrane Collaboration and bicycle helmets. *Accident; analysis and prevention*, 37(3), pp.569–73.
- Cycling Promotion Fund & National Heart Foundation 2011. *Riding a Bike for Transport - 2011 Survey Findings*, Canberra.
- Dennis, J. et al., 2010. The effects of provincial bicycle helmet legislation on helmet use and bicycle ridership in Canada. *Injury prevention : journal of the International Society for Child and Adolescent Injury Prevention*, 16(4), pp.219–24.
- Dietl, E., 2013. Schriftliche Auskunft der Statistik Austria. Mailverkehr 5.11.2013.
- Dietl, E., 2015. Verunglückte Lenker und Mitfahrer nach Verletzungsgrad, Altersklassen und Straßenart. Mailverkehr 20.08.2015
- 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, pp.245–253.

- Elvik, R., 2011. Publication bias and time-trend bias in meta-analysis of bicycle helmet efficacy: a re-analysis of Attewell, Glase and McFadden, 2001. *Accident; analysis and prevention*, 43(3), pp.1245–51.
- Elvik, R., 2010. Why some road safety problems are more difficult to solve than others. *Accident Analysis and Prevention*, 42(4), pp.1089–1096.
- Fahlquist, J.N., 2006. Responsibility ascriptions and Vision Zero. *Accident analysis and prevention*, 38(6), pp.1113–1118.
- Farris, C. et al., 1997. Observational evaluation of compliance with traffic regulations among helmeted and non-helmeted bicyclists. *Ann. Emerg. Med.*, 29(5), pp.625–629. Zitiert in Lardelli–Claret et al. 2003.
- Finch, C. et al., 1994. *Teenagers' attitudes towards helmets. Report No. 64*. Monash University. Accident Research Centre.
- Finch, C., Neiger, D. & Heiman, L., 1993. *Bicycle use and helmet wearing rates in Melbourne, 1987 to 1992: the influence of the helmet wearing law. Report No. 45*. Monash University. Accident Research Centre.
- Finch, C.F., 1996. Teenagers' attitudes towards bicycle helmets three years after the introduction of mandatory wearing. *Injury prevention : journal of the International Society for Child and Adolescent Injury Prevention*, 2(2), pp.126–30.
- Finnoff, J.T. et al., 2001. Barriers to Bicycle Helmet Use. *Pediatrics*, 108(1), pp.e4–e4.
- Foss, R.D. & Beirness, D.J., 2000. *Bicycle Helmet Use in British Columbia : Effects of the Helmet Use Law*. University of North Carolina. Traffic Injury Research Foundation.
- Frank, E. et al., 1995. Injuries Resulting from Bicycle Collisions. *Academic Emergency Medicine*, 2(3), pp.200–203.
- Furian, G. & Gruber, M., 1999. *Die österreichische Radhelminitiative 1992-1998*. Kuratorium für Verkehrssicherheit. Institut "Sicher Leben".
- Fyhri, A. & Phillips, R.O., 2013. Emotional reactions to cycle helmet use. *Accident; analysis and prevention*, 50, pp.59–63.
- Gillham, C., 2014. Bike numbers in Western Australia: government surveys. Available at: http://www.cycle-helmets.com/bicycle_numbers.html. [Accessed 25.07.2016]
- Gillham, C. & Rissel, C., 2012. Australian per capita cycling participation in 1985/86 and 2011. *World Transport Policy and Practice Vol. 18.3*, 18(May), pp.5–13.
- Hagel, B.E. et al., 2006. Bicycle helmet prevalence two years after the introduction of mandatory use legislation for under 18 year olds in Alberta, Canada. *Injury prevention : journal of the International Society for Child and Adolescent Injury Prevention*, 12(4), pp.262–5.
- Haileyesus, T., Annet, J.L. & Dellinger, A.M., 2007. Cyclists injured while sharing the road with motor vehicles. *Injury prevention : journal of the International Society for Child and Adolescent Injury Prevention*, 13(3), pp.202–6.
- Haworth, N. et al., 2010. *Bicycle helmet research. (CARRS-Q Monograph 5)*, Brisbane, Australia:
- HEATCO, 2006. *Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment*.
- Hendrie, D. et al., 1999. *An economic evaluation of the mandatory bicycle helmet*

- legislation in Western Australia. The University of Western Australia. Department of Public Health. Paper presented at the Conference on Road Safety. Insurance Commission of Western Australia Nedlands WA 6907.*
- Herry Consult, 2013. Radverkehrsleistung im Jahr 2008 in Österreich. Mailverkehr: 04.12.2013
- Herry Consult, 2015. Verkehrsleistung des MIV für das Jahr 2008. Mailverkehr 20.08.2015
- Herry, M. et al., 2008. *Unfallkostenrechnung Straße 2007 unter Berücksichtigung des menschlichen Leids (Willingness to Pay)*, Im Auftrag des BMVIT.
- Horton, D., 2007. Fear of Cycling. In D. Horton, P. Rosen, & P. Cox, eds. *Cycling and Society*. Aldershot Hampshire: Ashgate Publishing Limited, pp. 133–152.
- International Transport Forum/OECD, 2012. *Road Safety Annual Report 2011*, Paris.
- Jacobsen, P.L., 2003. Safety in numbers: more walkers and bicyclists, safer walking and bicycling. *Injury prevention : journal of the International Society for Child and Adolescent Injury Prevention*, 9(3), pp.205–9.
- Jacobsen, P.L. & Rutter, H., 2012. Cycling Safety. In J. Pucher & R. Buehler, eds. *City Cycling*. Cambridge: MID Press, pp. 141–156.
- Janssen, E.G. & Wismans, J., 1985. *Experimental and mathematical simulation of pedestrian-vehicle and cyclist-vehicle accidents. Proceedings of the 10th International Technical Conference on Experimental Safety Vehicles*, Oxford.
- de Jong, P., 2012. The health impact of mandatory bicycle helmet laws. *Risk analysis : an official publication of the Society for Risk Analysis*, 32(5), pp.782–90.
- Kahlmeier, S. et al., 2013. *Gesundheitsökonomische Bewertungsinstrumente (HEAT) für Gehen und für Radfahren. Methodik und Benutzerhandbuch. Ökonomische Bewertung von Verkehrsinfrastruktur und Verkehrspolitik.*, Kopenhagen.
- Kahlmeier, S. et al., 2014. *Health economic assessment tools (HEAT) for walking and for cycling. Methodology and user guide. ECONOMIC ASSESSMENT OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE AND POLICIES*, Kopenhagen.
- Karkhaneh, M., 2011. *Bicycle helmet use and bicyclists head injuries before and after helmet legislation in Alberta Canada*. University of Alberta.
- Karkhaneh, M. et al., 2011. Bicycle helmet use four years after the introduction of helmet legislation in Alberta, Canada. *Accident; analysis and prevention*, 43(3), pp.788–96.
- Karkhaneh, M. et al., 2006. Effectiveness of bicycle helmet legislation to increase helmet use: a systematic review. *Injury prevention : journal of the International Society for Child and Adolescent Injury Prevention*, 12(2), pp.76–82.
- Kennedy, A., 1996. The pattern of injury in fatal pedal cycle accidents and the possible benefits of cycle helmets. *Br J Sports Med*, 30, pp.130–133.
- Kim, J. et al., 2007. Bicyclist injury severities in bicycle – motor vehicle accidents. , 39, pp.238–251.
- Kraus, J.F., Fife, D. & Conroy, C., 1987. Incidence, Severity, and Outcomes of Brain Injuries Involving Bicycles. *American journal of epidemiology*, 77(1), pp.76–78.
- Lardelli-Claret, P. et al., 2003. Risk compensation theory and voluntary helmet use by cyclists in Spain. *Injury prevention : journal of the International Society for Child*

- and *Adolescent Injury Prevention*, 9(2), pp.128–32.
- Leblanc, J.C., Beattie, T.L. & Culligan, C., 2002. Effect of legislation on the use of bicycle helmets. *CMAJ: Canadian Medical Association journal = journal de l'Association medicale canadienne*, 166(5), pp.592–5.
- Lee, B.H.-Y., Schofer, J.L. & Koppelman, F.S., 2005. Bicycle safety helmet legislation and bicycle-related non-fatal injuries in California. *Accident; analysis and prevention*, 37(1), pp.93–102.
- Macpherson, A.K. et al., 2002. Impact of Mandatory Helmet Legislation on Bicycle-Related Head Injuries in Children: A Population-Based Study. *Pediatrics*, 110(5), pp.e60–e60.
- Macpherson, A.K., Parkin, P.C. & To, T.M., 2001. Mandatory helmet legislation and children 's exposure to cycling. *Injury Prevention*, 7, pp.228–230.
- Maibach, M. (Infras) et al., 2008. *Handbook on estimation of external costs in the transport sector*, Delft. Available at: http://www.deutscherfluglrmdienst.de/Downloads/EU_080115_HandbuchExterneKostenVerkehr.pdf.
- McCarthy, M. & Gilbert, K., 1996. CYCLIST ROAD DEATHS IN LONDON 1985-1992 : DRIVERS , VEHICLES , MANOEUVRES AND INJURIES. *Accident analysis and prevention*, 28(2), pp.275–279.
- Nakahara, S. & Yokota, J., 2011. Revision of the International Classification of Diseases to include standardized descriptions of multiple injuries and injury severity. *Bulletin of the World Health Organization*. Available at: <http://www.who.int/bulletin/volumes/89/3/BLT-10-078964-table-T1.html> [Accessed May 20, 2016].
- Nykolyshyn, K. et al., 2003. The Use of Bicycle Helmets in a Western Canadian Province Without Legislation. *Canadian Journal of Public Health*, 94(2), pp.144–48.
- Oja, P. et al., 2011. *Das Rad als Transportmittel – Gesundheitlicher Nutzen und Einflussfaktoren*, Wien.
- Olivier, J., Walter, S.R. & Grzebieta, R.H., 2013. Long term bicycle related head injury trends for New South Wales, Australia following mandatory helmet legislation. *Accident; analysis and prevention*, 50, pp.1128–34.
- Pfaffenbichler, P. et al., 2011. *BikeRisk Risiken des Radfahrens im Alltag*. Forschungsarbeiten des Verkehrssicherheitsfonds. BMLFUW und BMVIT. Wien.
- Povey, L.J., Frith, W.J. & Graham, P.G., 1999. Cycle helmet effectiveness in New Zealand. *Accident; analysis and prevention*, 31(6), pp.763–70.
- Rissel, C. & Ming Wen, L., 2011. The possible effect on frequency of cycling if mandatory bicycle helmet legislation was repealed in Sydney, Australia: a cross sectional survey. *Health Promotion Journal of Australia*, 22(3), pp.178–183.
- Rivara, F.P., Thompson, D.C. & Thompson, R.S., 1997. Epidemiology of bicycle injuries and risk factors for serious injury. *Injury prevention: journal of the International Society for Child and Adolescent Injury Prevention*, 3(2), pp.110–4.
- Robinson, D.L., 2007. Bicycle helmet legislation: can we reach a consensus? *Accident; analysis and prevention*, 39(1), pp.86–93.
- Robinson, D.L., 2001. Changes in head injury with the New Zealand bicycle helmet law. *Accident; analysis and prevention*, 33(5), pp.687–91.

- Robinson, D.L., 1996. Head injuries and bicycle helmet laws. *Accident analysis and prevention*, 28(4), pp.463–475.
- Robinson, D.L., 2006. Public health Do enforced bicycle helmet laws improve public health? No clear evidence from countries that have enforced the wearing of helmets. , 332(March), pp.722–725.
- Rodgers, G.B., 2002. Effects of state helmet laws on bicycle helmet use by children and adolescents. *Injury prevention : journal of the International Society for Child and Adolescent Injury Prevention*, 8(1), pp.42–6.
- Rowe, B.H. et al., 1995. Bicyclist and environmental factors associated with fatal bicycle-related trauma in Ontario. *Canadian Medical Association Journal*, 152(1), pp.45–53.
- Scuffham, P. et al., 2000. Head injuries to bicyclists and the New Zealand bicycle helmet law. *Accident; analysis and prevention*, 32(4), pp.565–73.
- Sieg, G., 2014. Costs and benefits of a bicycle helmet law for Germany by.
- Smith, N.C. & Milthorpe, F.W., 1993. *An Observational Survey of Law Compliance and Helmet Wearing by Bicyclists in New South Wales 1993*,
- Spaite, D. et al., 1991. A Prospective Analysis of Injury Severity Among Helmeted and Nonhelmeted Bicyclists Involved in Collisions with Motor Vehicles. *Journal of Trauma*, 31(11), pp.1510–1516.
- Statistik Austria, 2013. Information zur Statistik der Straßenverkehrsunfälle mit Personenschaden ab dem Berichtsjahr 2012. , pp.2012–2013.
- Statistik Austria, 2010. *Standard-Dokumentation Metainformationen (Definitionen, Erläuterungen, Methode, Qualität) zur Statistik der Straßenverkehrsunfälle*,
- Stone, M. & Broughton, J., 2003. Getting off your bike : cycling accidents in Great Britain in 1990 – 1999. , 35, pp.549–556.
- Stutts, J.C. & Hunter, W.W., 1999. Motor vehicle and roadway factors in pedestrian and bicyclist injuries: an examination based on emergency department data. *Accident analysis and prevention*, 31, pp.505–514.
- SWOV, 2009. SWOV Fact sheet: Vulnerable Road Users. , (July), pp.1–4.
- Thompson, D.C., Rivara, F.P. & Thompson, R.S., 1996. Effectiveness of Bicycle Safety Helmets in Preventing Head Injuries: A Case-Control Study. *Journal of the American Medical Association*, 276(24), pp.1968–1973.
- Todd, K., 1992. PEDESTRIAN REGULATIONS IN THE UNITED STATES: A CRITICAL REVIEW. *Transportation Quarterly*, 46(4), pp.541–559.
- Towner, E. & Towner, J., 2002. UNICEF's child injury league table. An analysis of legislation: more mixed messages. *Injury Prevention*, 8, pp.97–100.
- Trauma.org, Abbreviated Injury Scale. Available at: <http://www.trauma.org/archive/scores/ais.html> [Accessed May 20, 2016].
- Trunk, G., 2010. *Gesamtwirtschaftlicher Vergleich von Pkw- und Radverkehr*. Universität für Bodenkultur Wien.
- VCÖ, 2010. *Den Anstieg des Radverkehrs optimal gestalten Inhalt*,
- Vulcan, P., Cameron, M.H. & Watson, W.L., 1992. Mandatory Bicycle Helmet Use: Experience in Victoria, Australia. *World Journal of Surgery*, 16(3), pp.389–397.
- Walker, I., 2007. Drivers overtaking bicyclists: objective data on the effects of riding

position, helmet use, vehicle type and apparent gender. *Accident; analysis and prevention*, 39(2), pp.417–25.

Walker, M., 1992. *Law compliance among cyclists in New South Wales, April 1992. A third survey.*, New South Wales.

Walker, M.B., 1990. Law compliance and helmet use among cyclists in New South Wales.

WHO, 2006. *Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution*, WHO Regional Office for Europe. Copenhagen

WHO, 2015a. ICD-10 Version:2015. Available at: <http://apps.who.int/classifications/icd10/browse/2015/en#/S00-S09> [Accessed October 14, 2015].

WHO, 2015b. WHO | International Classification of Diseases (ICD). Available at: <http://www.who.int/classifications/icd/en/> [Accessed October 14, 2015].