

Quantifizierung von Personenschäden als Teilaspekt zur Eisenbahnunfallkostenberechnung mithilfe einer Unfalldatenbank

Prof. Dr. Harald F.O. von Korflesch
Mathias Linden
Manuel Etzkorn

WORKING PAPER 16-003

QUANTIFIZIERUNG VON PERSONENSCHÄDEN ALS TEILASPEKT ZUR EISENBAHNUNFALLKOSTENBERECHNUNG MITHILFE EINER UNFALLDATENBANK

Die Arbeitsberichte aus dem Competence Center for the Assessment of Railway Diagnostic and Monitoring Technologies (CCRDMT) dienen der Darstellung vorläufiger Ergebnisse, die in der Regel noch für spätere Veröffentlichungen überarbeitet werden. Die Autoren sind deshalb für kritische Hinweise dankbar. Alle Rechte sind vorbehalten, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdruckes, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen – auch bei nur auszugsweiser Verwertung.

The Working Papers of the Competence Center for the Assessment of Railway Diagnostic and Monitoring Technologies (CCRDMT) are in draft form and will usually be revised for subsequent publication. Critical comments are appreciated by the authors. All rights reserved. No part of this report may be reproduced by any means or translated.

Arbeitsberichte des Competence Center for the Assessment of Railway Diagnostic and Monitoring Technologies (CCRDMT) - CCRDMT Working Paper Series 16 Volume 3

ISSN 2700-6506

Kontaktdaten der Verfasser

Manuel Etzkorn
Mathias Linden
Prof. Dr. Harald F.O. von Korflesch

CCRDMT
am Zentralen Institut für Scientific Entrepreneurship & International Transfer (ZIFET)
Universität Koblenz-Landau
Universitätsstraße 1
D-56070 Koblenz
E-Mail: ccrdmt@uni-koblenz.de

Dezember 2016

Zusammenfassung

Das Ziel dieser Bachelorarbeit ist es, Modelle zur Kalkulation von Personenschäden für die Eisenbahnunfallkostenberechnung zu ermitteln und diese auf die Eignung zur Anwendung auf eine Eisenbahnunfalldatenbank auszuwerten.

Die in dieser Arbeit betrachteten Kalkulationsmodelle für verletzte Unfallopfer wurden im Rahmen einer Literaturrecherche ermittelt und mithilfe von Durchschnitts- und Beispielwerten auf ihre Anwendbarkeit im Kontext der Eisenbahnunfalldatenbank überprüft. Für die Untersuchung zu getöteten Unfallopfern wurden Werte aus zwei bestehenden Literaturrecherchen kombiniert und mit den Werten aus der Eisenbahnunfalldatenbank verglichen.

Dabei wurde festgestellt, dass für die Kategorie der schwerverletzten Unfallopfer eine Kalkulation durchgeführt werden kann, welche mit spezifischeren Daten über die Unfallopfer exaktere Ergebnisse als die in der Unfalldatenbank verwendete Kalkulation liefert. Die Kalkulation von leichtverletzten Unfallopfern kann dagegen nicht durch reine Personenschadenskalkulation erfolgen, da der Anteil dieser an der durch den Verursacher zu tragenden Summe einen zu kleinen Anteil aufweist. Bei der Kalkulation zu getöteten Unfallopfern kam es zu Problemen durch die Methodik der meisten Studien.

Abstract

This thesis aims to find models to calculate damages to persons in the context of railway accidents. These models were tested for their applicability for a railway accident database.

The reviewed models for injured casualties were identified by a research of literature. Their applicability for the accident database was tested with the aid of average values and sample values. The analysis of fatalities was executed via the combination of collected values of two literature researches. These values were compared to the values of the database.

It was stated that there is a calculation for seriously injured, which may serve more exact values than the calculation of the database, especially when there is more detailed data about the casualties. The calculation of slightly injured couldn't be realized by just beholding the pure damages to persons, because it's only a small part of the costs the responsible company has to pay. For the calculation of fatalities appeared problems with the methodology of the most studies.

Inhaltsverzeichnis

Erklärung.....	ii
1 Einleitung	1
1.1 Hintergrund	1
1.2 Motivation und Vorgehen	3
2 Theorie.....	5
2.1 Übersicht über theoretische Begriffe und Auswahl	5
2.2 QALY.....	10
2.2.1 Hintergrund	10
2.2.2 Kalkulation von QALYs.....	11
2.3 DALY.....	13
2.3.1 Hintergrund	13
2.3.2 Kalkulation von DALYs.....	17
2.4 Vergleich von QALY und DALY	19
2.5 VSL	20
2.5.1 Hintergrund	20
2.5.2 Kalkulation des VSL	21
2.6 Vergleichbarkeit von QALY/DALY und VSL	22
2.7 Datenbank	23
2.7.1 Hintergrund	23
2.7.2 Beschreibung.....	24
2.7.2.1 Übersicht über die Variablen.....	24
2.7.2.2 Deskriptive Statistik	26
3 Evaluation von Modellen für die Datenbank.....	31
3.1 Aktuell in der Datenbank ausgewähltes Kalkulationsmodell	31
3.2 Überprüfung der Anwendbarkeit der Modelle aus Kapitel 2.....	31
3.2.1 Für Verletzte (QALY/DALY).....	31
3.2.1.1 QALY für Schwerverletzte	31
3.2.1.2 QALY für Leichtverletzte	35
3.2.1.3 DALY für Schwerverletzte	37
3.2.1.4 DALY für Leichtverletzte	40
3.2.2 Für Getötete (VSL).....	42
3.3 Einordnung der Ergebnisse.....	45

4 Fazit und Ausblick.....	48
5 Literaturverzeichnis	51
5.1 Literatur	51
5.2 Online-Quellen.....	59
6 Anhang.....	61
Danksagung.....	75

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Grundaufbau und Ausprägungen von HALYs (eigene Darstellung)	7
Abbildung 2: Übersicht über die benötigten Größen zur Kalkulation von DALYs (eigene Darstellung)	17
Abbildung 3: Verteilung aller in der Datenbank erfassten Unfälle nach Staaten auf einer logarithmischen Skala (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an die CCRDMT-Datenbank)	26
Abbildung 4: Value of Human Life nach Staaten (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an die CCRDMT-Datenbank)	29
Abbildung 5: Altersgewichtungsfunktion der GBD-Studie (Quelle: Lopez und Murray 1996, S.9)	61

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der für diese Arbeit relevanten Variablen der Eisenbahnunfalldatenbank (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an die CCRDMT-Datenbank)	25
Tabelle 2: Wertebereich der für diese Arbeit relevanten nominalen und ordinalen Variablen (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an die CCRDMT-Datenbank)	25
Tabelle 3: Anzahl der absoluten Vorkommen von Leichtverletzten, Schwerverletzten und Toten und den daraus entstandenen Kosten (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an die CCRDMT-Datenbank)	28
Tabelle 4: Kombination von KSK- und PSK-Wert für die Zeiträume T1, T2 und T3 im Vergleich zum Normwert (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Bauer et al. 2012, S. 89)	32
Tabelle 5: Einschätzung innerhalb des EQ-5D für ein Unfallopfer mit verstauchtem Handgelenk (eigene Darstellung)	36
Tabelle 6: In Studien ermittelte VSL-Werte für das Vereinigte Königreich und die USA (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an De Blaeij et al. 2003, S. 31; Andersson und Treich 2011, S. 36)	43
Tabelle 7: Vergleich des Verlustanteils an der Gesamtsumme des VHL (in der CCRDMT-Datenbank) und an der gesamten gesundheitsbereinigten Lebenszeit (QALY/DALY) nach einer schweren Verletzung bei unveränderter und veränderter Lebenserwartung (eigene Darstellung)	46
Tabelle 8: Vergleich des Verlustanteils an der Gesamtsumme des VHL (in der CCRDMT-Datenbank) und der gesamten gesundheitsbereinigten Lebenszeit (QALY/DALY) nach einer Verstauchung des Handgelenkes als Beispiel für eine leichte Verletzung (eigene Darstellung)	46
Tabelle 9: Vergleich des in der CCRDMT-Datenbank ermittelten VHL-Wertes für die USA und das Vereinigte Königreich mit den in dieser Arbeit ermittelten VSL-Werten (eigene Darstellung).	47

Tabelle 10: Übersicht aller Variablen der Eisenbahnunfalldatenbank (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an die CCRDMT-Datenbank)	64
Tabelle 11: Wertebereich aller nominalen und ordinalen Variablen der Unfalldatenbank (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an die CCRDMT-Datenbank)	70
Tabelle 12: In der Unfalldatenbank verwendete Werte für Personenschäden nach Staaten (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an die CCRDMT-Datenbank)	70
Tabelle 13: Ergebnisse der t-Tests für unabhängige Stichproben: Vergleich mit der Normstichprobe (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Bauer et al. 2012, S. 89)	71
Tabelle 14: In Studien ermittelte VSL-Werte (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an De Blaeij et al. 2003, S. 31; Andersson und Treich 2011, S. 36)	74

Abkürzungsverzeichnis

BoD	burden of disease
DALE	disability-adjusted life expectancy
DALY	disability-adjusted life year
DW	disability weight
GBD	global burden of disease
gP	geäußerte Präferenzen
HALY	health adjusted life year
HRQL	health related quality of life
HUI	health utility index
KSK	körperliche Summenskala
oP	offenbarte Präferenzen
PSK	psychische Summenskala
PTO	person trade off
PYLL	potential years of life lost
QALY	quality adjusted life year
RP	revealed preferences
SP	stated preferences
VHL	value of human life
VSL	value of a statistical life
WHO	world health organization
WTA	willingness to accept
WTP	willingness to pay
YHL	years of healthy life
YLD	years lived with disability
YLL	years of life lost

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

Im Jahr 2015 kam es im deutschen Straßenverkehr zu 397.219 Fällen von Personenschäden, von denen 3.475 tödlich endeten. Die Anzahl der Fälle von Personenschäden stieg dabei im Vergleich zum Vorjahr um 1,1% an, die Anzahl der Getöteten um 2,9%. Als Begründung für den Anstieg dieser Zahlen nennt das statistische Bundesamt die milden Wintermonate und den sehr warmen, trockenen Frühling. Bei guten Wetterbedingungen wird häufiger und schneller gefahren und es kommt zu größerem Vorkommen von Zweiradfahrern und Fußgängern im Straßenverkehr. Dadurch steigt die Anzahl und Schwere der Unfälle (Statistisches Bundesamt 2016, S. 1-2). Als Unfall mit Personenschaden gilt dabei jeder Unfall, bei dem Personen verletzt oder getötet wurden. Die Höhe des Sachschadens ist für diese Definition unerheblich (Statistisches Bundesamt 2015, S. 11).

Zwei bekannte Verkehrsunfälle aus der jüngeren Vergangenheit fanden jedoch nicht im Straßenverkehr statt. Im März 2015 kamen beim Absturz eines Flugzeuges der Lufthansa-Tochter Germanwings auf dem Weg von Barcelona nach Düsseldorf alle 150 Passagiere ums Leben. Nachdem die Ursache des Absturzes, ein erweiterter Suizid des Co-Piloten, längst geklärt ist, dauert der Streit um die Entschädigung für die Hinterbliebenen der Opfer weiter an. Die Lufthansa zahlte nach eigenen Angaben eine Soforthilfe von 50.000€ pro Opfer. Zudem sind 25.000€ Schmerzensgeld pro Opfer geplant und die nächsten Angehörigen sollen ohne weitere Prüfung jeweils 10.000€ erhalten. Daraus entstand eine öffentliche Diskussion, welche Summe in diesem Fall angemessen ist. Nach der Auffassung von 34 Opferfamilien ist die von der Lufthansa angebotene Entschädigung nicht ausreichend. Diese beauftragten eine US-Anwaltskanzlei, um eine Zivilklage in den USA vorzulegen (Handelsblatt 2016; Witte, Spiegel 2016). In den USA werden, im Vergleich zu europäischen Staaten, durchschnittlich deutlich höhere Entschädigungssummen ausgezahlt.

Ein weiterer medial diskutierter Unfall mit Personenschäden ereignete sich im Februar 2016 auf der eingleisigen Bahnstrecke zwischen Holzkirchen und Rosenheim in der Nähe

des oberbayerischen Bad Aibling. Dem während des Unglücks verantwortlichen Fahrdienstleiter wird vorgeworfen, dass er sich während des Unglückshergangs mit einem Spiel auf seinem Smartphone beschäftigte und dementsprechend abgelenkt gewesen sein soll. Angeblich habe er, trotz Warnung eines Sicherheitssystems, die falschen Signale an die Züge abgegeben und später beim Absenden des Notrufs die falsche Tastenkombination eingegeben. Durch die frontale Kollision zweier Züge wurden zwölf Menschen getötet und etwa 85 Menschen teils schwer verletzt (Maxwill, Spiegel 2016; Probst, Merkur 2016). Die genaue Höhe des Schadensersatzes für die Geschädigten und Hinterbliebenen wurde noch nicht ermittelt. Geschätzt wird eine Summe im einstelligen Millionenbereich (Krohn, FAZ 2016).

Kommt es in Deutschland zu einem Personenschaden, der fahrlässig oder vorsätzlich verursacht wurde, ist der Schädiger verpflichtet, dem Betroffenen eine Entschädigung zu zahlen. Im deutschen Rechtswesen setzt sich diese Entschädigung aus Schadensersatz und Schmerzensgeld zusammen. Der Schadensersatz umfasst dabei alle materiellen Schäden und dient zum Ausgleich der finanziellen Verluste. Der Schädiger hat nach § 249 BGB den Zustand herzustellen, der bestehen würde, wenn er den Schaden nicht verursacht hätte (Frings 2004, S. 9). Das Schmerzensgeld deckt dagegen die immateriellen Schäden ab, für die auch eine geldliche Entschädigung gefordert werden kann. Als immaterielle Schäden zählen laut § 253 BGB die Verletzung des Körpers, der Gesundheit, der Freiheit oder der sexuellen Selbstbestimmung.

Wenn der Geschädigte durch den Schadensfall ums Leben kommt, stehen dem Getöteten selbst keine Ersatzansprüche zu, da seine Rechtsfähigkeit mit dem Tod endet. Die Erben können jedoch Ansprüche auf Beerdigungskosten (§ 844 I BGB), Unterhaltungskosten (§ 844 II BGB) und entgangene Dienste (§ 845 BGB) geltend machen. Unterhaltersatzansprüche benötigen dabei zwingend eine gesetzliche Grundlage, wie sie beispielsweise bei Ehegatten und Kindern vorliegt. Vertragliche Unterhaltspflichten, wie sie zum Beispiel bei Stiefkindern möglich sind, fallen nicht unter diese Regelung. Als entgangene Dienste gelten unentgeltliche Arbeitsleistungen, die der Getötete verrichtet hätte. Der Ersatzanspruch auf entgangene Dienste findet vor allem dann Relevanz, wenn ein Ehepartner getötet wird, der Hausfrau oder Hausmann war (Zhang 2013, S. 26-27). Laut einer Studie des Rückversicherungsunternehmens *Gen Re* ergibt sich der maßgebliche

Teil der Schadensersatzsumme für Getötete aus dem Einkommen des Unfallopfers (Vismara 2013, S. 9).

1.2 Motivation und Vorgehen

Menschenleben und ein guter Gesundheitszustand werden aus ethischer Sicht oft als unbezahlbar bewertet. In der Ökonomie und der Rechtsprechung lässt sich diese Betrachtungsweise jedoch nicht umsetzen. Wenn zum Beispiel die *Deutsche Bahn AG* als Folge aus dem Unfall bei Bad Aibling über die Erweiterung der Sicherheitssysteme für eingleisige Bahnstrecken diskutiert, stehen sich wie in jeder wirtschaftlichen Entscheidungsfindung zunächst Kosten und Nutzen gegenüber. Während die Kosten für die Erweiterung von Sicherheitstechnologien verhältnismäßig leicht zu ermitteln sind, gestaltet sich die Ermittlung des Nutzens schwieriger. Denn neben der Verhinderung von Schäden an Material und Infrastruktur zählt in diesem Beispiel auch die Vermeidung von Verletzten und Toten als Nutzen. Würde man eine Bewertung von Leben und Gesundheit verweigern, wäre eine Kosten-Nutzen-Analyse nicht durchführbar. Betrachtet man Leben und Gesundheit als unbezahlbar, wäre der Nutzen unendlich. Aufgrund der Begrenztheit der Ressourcen, welche auch für die *Deutsche Bahn AG* gilt, lassen sich aber nicht alle verfügbaren Sicherheitssysteme implementieren. Dementsprechend ist eine monetäre Bewertung von Gesundheit und Leben in diesem Kontext nicht vermeidbar.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit folgenden Forschungsfragen:

F 1: Welche Modellarten sind am besten für die Kalkulation von Personenschäden innerhalb der Eisenbahnunfalldatenbank anwendbar?

F 1.1: Welche Modellarten zur Kalkulation von Personenschäden gibt es?

F 1.2: Welche Modellarten zur Kalkulation von Personenschäden sind für die Eisenbahnunfalldatenbank anwendbar?

F 1.3: Welche Unterschiede ergibt die Anwendung der ermittelten Modellarten zur aktuellen Kalkulation?

Die Zielsetzung dieser Arbeit ist es, die Quantifizierung von Personenschäden in der Eisenbahnunfalldatenbank anhand vorhandener wissenschaftlicher Erkenntnisse zu überprüfen und bei Möglichkeit zu verbessern.

Im Folgenden wird die Vorgehensweise dieser Arbeit erläutert. Die theoretischen Grundlagen werden im zweiten Kapitel aufgegriffen. Zunächst werden theoretische Begriffe und Methoden zur Ermittlung von Personenschäden beschrieben, miteinander verglichen und für diese Arbeit ausgewählt. Daran anschließend wird die Vergleichbarkeit der ausgewählten Begriffe überprüft. Zusätzlich werden der Hintergrund, die Struktur und Einschränkungen der Eisenbahnunfalldatenbank vorgestellt.

In Kapitel 3 findet die Evaluation der Modelle für die Anwendung auf die Eisenbahnunfalldatenbank statt. Zuerst wird das aktuell verwendete Kalkulationsmodell für Personenschäden überprüft. Danach wird evaluiert, welche Methoden auf die Datenbank übertragbar sind und welche Unterschiede sich zur aktuellen Kalkulation ergeben würden. Darauf folgend wird diskutiert, ob sich aus den Erkenntnissen dieser Arbeit die Kalkulation von Personenschäden für die Eisenbahnunfalldatenbank verbessern lässt. Abschließend werden die Ergebnisse in einem Fazit zusammengefasst.

2 Theorie

2.1 Übersicht über theoretische Begriffe und Auswahl

Dieses Unterkapitel befasst sich mit theoretischen Begriffen und Konzepten zur Berechnung des Wertes von Menschenleben oder geretteten Lebensjahren. Der Hintergrund der Art und Weise für die Berechnung von Personenschäden hängt vom jeweiligen Sektor ab, in dem Personenschäden entstehen oder behandelt werden (Nilsson 2014, S.5). Viele Begriffe und Konzepte haben dabei ihren Ursprung in der Gesundheitswirtschaft. Die Gesundheitswirtschaft gliedert sich in drei Bereiche. Der „Kernbereich der ambulanten und stationären Gesundheitsversorgung“ umfasst Krankenhäuser, Arztpraxen, Apotheken und Pflegeeinrichtungen. Zum Bereich der „Vorleistungs- und Zulieferindustrien“ werden zum Beispiel Medizintechnik, das Gesundheitshandwerk und Handelsbetriebe für medizinische und orthopädische Produkte gelistet. In den „Randbereichen und Nachbarbranchen des Gesundheitswesens“ werden Gesundheitstourismus, Wellness und gesundheitsbezogene Sport- und Freizeitangebote zusammengefasst (Hilbert et al. 2002, S. 4-5).

In dieser Arbeit wird angenommen, dass diese Begriffe auf das Transportwesen und auch speziell auf Eisenbahnunfälle übertragbar sind. Diese Übertragbarkeit ergibt sich durch die Vergleichbarkeit der Ergebnisse von Sicherheitstechnologien im Transportwesen und medizinischen Eingriffen, da durch beide Menschenleben gerettet werden können.

Ein Beispiel aus der Gesundheitswirtschaft ist das Konzept der „gewonnenen Lebensjahre“ (life years gained, LY gained), bei dem die verbleibende Lebenserwartung bei einem verhinderten Todesfall als Nutzen gezählt wird. Gewonnene Lebensjahre gelten als einfache und transparente Methode, welche jedoch Schwächen aufweist. So findet vor allem keine Bewertung des Gesundheitszustandes statt. Beispielsweise wird der Verhinderung eines Getöteten, welcher jedoch eine Querschnittslähmung erleidet, der gleiche Effekt zugesprochen, wie der Rettung eines später unversehrten Menschen. Des Weiteren führen gewonnene Lebensjahre zu einer bevorzugten Betrachtung von jungen Menschen, da deren Rettung durch ihre höhere verbleibende Lebenserwartung im Vergleich zu älteren Menschen einen höheren Nutzen erzielt (Robberstad 2005, S. 183-184).

Komplexer und aktueller als das Konzept der gewonnenen Lebensjahre ist die Kalkulation mithilfe von „gesundheitskorrigierten Lebensjahren“ (health adjusted life years, HALYs). Im Bereich der HALYs gibt es verschiedene theoretische Modelle. Generell umfasst die Kalkulation eines HALY drei Schritte. Zunächst wird Gesundheit als Status oder durch eine Krankheit definiert. Diesem Status oder dieser Krankheit wird anschließend eine Wertigkeit zugeordnet. Diese Wertigkeit wird in der Literatur als „gesundheitsabhängige Lebensqualität“ (health related quality of life, HRQL oder HRQoL) bezeichnet. Abschließend wird die Wertigkeit des Gesundheitszustandes mit der verbleibenden Lebenserwartung kombiniert (Gold et al. 2002, S. 118). HALY dient als Oberbegriff (siehe Abbildung 1) und enthält als konkrete Ausprägungen „qualitätskorrigierte Lebensjahre“ (quality adjusted life years, QALYs), „behinderungsbereinigte Lebensjahre“ (disability adjusted life years, DALYs) und „Jahre bei guter Gesundheit“ (years of healthy life, YHL) (Gold und Muennig 2002, S. 261).

Zapf definierte Lebensqualität im Jahr 1976 als neues soziales Gleichgewicht, die unter anderem aus der Verbesserung der öffentlichen Dienste, Humanisierung der Arbeit, gesicherten Arbeitsplätze und gerechter Einkommens- und Vermögensverteilung besteht (Noll 2000, S. 6). Die gesundheitsabhängige Lebensqualität kann in drei Bereiche aufgeteilt werden: Körperliche Gesundheit (generelle Gesundheit, selbstständiges Bestreiten des Alltags, Symptome wie Schmerz und körperliche Einschränkungen), geistige Gesundheit (Wohlbefinden, Selbstvertrauen) und soziale Gesundheit (zwischenmenschliche Aktivitäten und Beziehungen) (Lehrner et al. 1999, S. 88; Erickson et al. 1995, S. 1-2).

QALY als Begriff wurde 1976 von Zeckhauser und Shepard geprägt. Ein qualitätskorrigiertes Lebensjahr ist das arithmetische Produkt von Qualität und Quantität des Lebens. Für die gesundheitsabhängige Lebensqualität wird ein Faktor zwischen 0 und 1 ermittelt, wobei 1 einen perfekten Gesundheitszustand repräsentiert. Dieser Qualitätsfaktor wird mit der verbleibenden Lebenserwartung als Faktor für die Quantität multipliziert (Sassi 2006, S. 402; Alberini et al. 2004, S. 770; Philipps und Thompson 2001, S. 1-3).

DALYs beziehen sich auf die Anzahl an Jahre, die durch eine bestimmte Behinderung, Krankheit oder Verletzung verloren gehen. Zusätzlich zur dadurch veränderten Lebensqualität betrachtet das DALY-Modell auch mögliche Änderungen in der Lebenserwartung. DALYs gelten als Inversion des QALY-Modelles (Donev et al. 2010, S. 3-7; Murray 1994, S. 429).

YHL sind ein ganzheitlicher Ansatz des „U.S. Department of Health and Human Services“ zur Anwendung auf die Gesamtbevölkerung der USA in einem jeweils bestimmten Jahr. Die Berechnung von YHL verhält sich analog zu der von QALYs: ein HRQL-Faktor wird mit der verbleibenden Lebenserwartung multipliziert (Erickson et al. 1995, S. 2).

Die besondere Relevanz von HALY-Modellen für die Gesundheitswirtschaft ergibt sich dadurch, dass durch verschiedene medizinische Behandlungen zwar Leben verlängert werden können, aber der Gesundheitszustand nicht auf dem Ausgangsniveau erhalten werden kann. Ein Beispiel dafür ist eine lebensverlängernde Chemotherapie bei nicht mehr heilbaren Krebserkrankungen. Die genaue Festsetzung des verbleibenden Gesundheitszustands und der Lebensqualität auf einen bestimmten Wert führt dabei oft zu Problemen, da Lebensqualität objektiv schwer zu bewerten ist und vom jeweiligen Individuum abhängt (Ashenfelter 2006, S. 10).

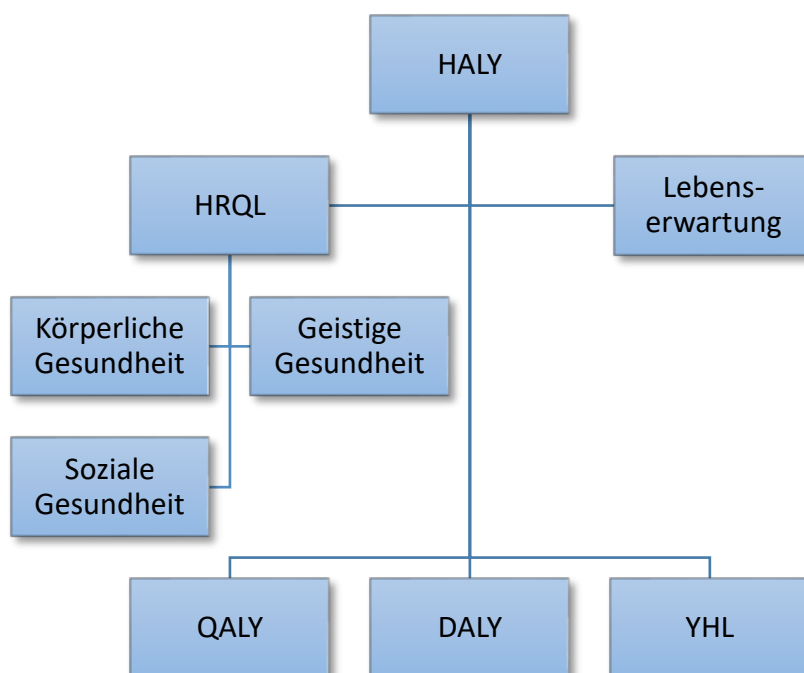


Abbildung 1: Grundaufbau und Ausprägungen von HALYs (eigene Darstellung)

Abbildung 1 zeigt eine Zusammenfassung der Begriffe aus dem Bereich der HALY, die hauptsächlich in der Gesundheitswirtschaft entstanden sind und in dieser verwendet werden. HALY bildet den Überbegriff, der sich grundlegend aus HRQL und der Lebenserwartung zusammensetzt. Konkrete Ausprägungen von HALY sind QALY, DALY und YHL.

In den Anfängen der systematischen Bewertung eines Menschenlebens findet man häufig den VHL (value of human life). Zur Festsetzung der Höhe des VHL gibt es mehrere Ansätze. Rice et al. diskutierten 1967 konkrete VHL-Werte anhand der Höhe der Verdienste, die ein Mensch in seinem Leben erwirtschaftet. Card und Mooney verglichen zusätzlich noch Werte aus der Praxis und individuelle Werte, die aus Umfragen zur Zahlungsbereitschaft für Risikominimierung bei Flugreisen entstanden (Card und Mooney 1977, S. 1629).

Heute findet man im Transportwesen dagegen häufiger den „Wert eines statistischen Lebens“ (value of statistical life, VSL oder VoSL) bei der Berechnung von Personenschäden oder deren Vermeidung. Die Kalkulation des VSL basiert dabei auf dem geschätzten monetären Nutzen, welcher durch die Verhinderung eines angenommenen Todesfalles erzielt wird. Viscusi und Aldy ermittelten im Rahmen einer Studie, dass es Unterschiede in der Höhe des VSL in Abhängigkeit von der Nationalität des Todesopfers gibt (Viscusi und Aldy 2003, S. 67-68). Dies ist einerseits durch den offensichtlicheren Fall des Unterschiedes bei den durchschnittlichen Einkommen innerhalb verschiedener Nationen bedingt, aber auch durch kulturelle Hintergründe (Miller 2000, S. 171). Das Alter des Getöteten spielt ebenso eine Rolle für die Höhe des VSL (Aldy und Viscusi 2007, S. 257; Johansson 2002, S. 21).

Eine verbreitete Methode, mit welcher die Höhe der bisher erläuterten Modellwerte bestimmt werden können, ist die Zahlungsbereitschaft einer Gesellschaft oder eines Individuums, um Risiken für die Gesundheit eines Menschen zu verändern (willingness to pay, WTP). Dieser Ansatz dient zur Schätzung des Geldwertes von Gesundheitsrisiken im Rahmen von Kosten-Nutzen-Analysen (Kenkel 2006, S. 419). Alternativ dient als Umkehrung des WTP die Methode der Akzeptanzbereitschaft (willingness to accept, WTA) von finanziellen Kompensationen, um ein höheres Gesundheits- oder Todesrisiko in Kauf zu nehmen. WTP- und WTA-Werte sind maßgeblich dazu konzipiert, um verschiedene Präferenzen und Einstellungen zu Risiken abzubilden (De Blaeij et al. 2003, S. 5-6). Probanden von Umfragen zur Ermittlung eines WTP-Wertes werden nach der Zahlungsbereitschaft zur Risikominimierung für die allgemeine Bevölkerung befragt. Eine Umfrage nach der Zahlungsbereitschaft um das eigene Leben, oder das eines Verwandten oder Freundes mit einer Wahrscheinlichkeit von 100% zu retten, hätte in den meisten Fällen einen

Anstieg der Zahlungsbereitschaft auf das komplette Vermögen des Befragten zur Folge (Landefeld und Seskin 1982, S. 557).

Weitere Methoden mit Relevanz für diese Arbeit sind die *Humankapitalmethode*, die *person-trade-off-Methode (PTO)*, *EuroQol – 5 Dimensions (EQ-5D)* und *visual analogue scale (VAS)*. Diese werden im Zusammenhang mit den zugehörigen Modellen, für deren Entwicklung und Anwendung sie benötigt werden, zu einem späteren Zeitpunkt erläutert.

Für alle bisher genannten Ansätze, mit Ausnahme der gewonnenen Lebensjahre, ist eine Diskontierung (Abzinsung) von Gesundheit und Lebensjahren sowohl möglich als auch verbreitet. Als Begründung dient die „Kalkulation von zukünftigen Risiken“ (Cutler und Richardson 1997, S. 233-234). In dieser wird festgestellt, dass ein perfekter Gesundheitszustand in der Gegenwart keine Immunität vor Erkrankungen oder Unfällen in der Zukunft garantiert. Als weitere Begründung gilt die Annahme, dass die volkswirtschaftliche Zeitpräferenz (oder Gegenwartspräferenz) auch für die Gesundheit gilt. So werden beispielsweise der gegenwärtige Genuss des Essens oder Rauchens stärker bewertet, als die negativen Effekte von Übergewicht und Langzeitfolgen des Rauchens (Lawless et al. 2013, S.15). Im allgemeinen Prinzip der Zeitpräferenz ziehen Konsumenten einen gegenwärtigen Genuss einem zukünftigen Genuss vor (Gabler Wirtschaftslexikon, 2016). Trotz der hohen Verbreitung der Diskontierung von Gesundheit und Lebensjahren gibt es Kritik, dass die meisten Begründungen schwach und lediglich attraktiv erscheinende Annahmen sind (Murray et al. 2002, S. 110-111).

Der letzte Abschnitt dieses Unterkapitels begründet die Auswahl der theoretischen Begriffe, die für den weiteren Verlauf dieser Arbeit verwendet werden. Dabei wird jeweils mindestens ein theoretischer Begriff für die Kalkulation von Verletzten und für die Kalkulation von Getöteten benötigt.

Für die Kalkulation von Verletzten bietet sich die Verwendung eines Begriffes aus der Gesundheitswirtschaft an, da diese durch die Einbeziehung der gesundheitsabhängigen Lebensqualität den Verlauf von Verletzungen und mögliche Folgeschäden abbilden können. Die Ausnahme sind gewonnene Lebensjahre, die nur das Überleben bewerten und

den Grad einer Verletzung nicht abbilden können. Diese sind somit für diese Betrachtung ungeeignet. YHL werden aufgrund ihrer geringeren Verbreitung im Vergleich zu QALY und DALY nicht weiter verwendet. Die genauen Funktionsweisen der einander ähnlichen QALY- und DALY-Modelle werden im Verlauf dieser Arbeit weiter untersucht und voneinander abgegrenzt.

Für die Kalkulation von Todesfällen wird das VSL-Modell verwendet werden, da es eine höhere Aktualität als das VHL-Modell aufweist.

2.2 QALY

2.2.1 Hintergrund

Als Ausgangswerte zur Kalkulation von QALYs werden die verbleibende Lebenserwartung und die gesundheitsabhängige Lebensqualität eines Menschen benötigt. Die Lebenserwartung kann beispielsweise aus Berichten der Weltgesundheitsorganisation (WHO) für verschiedene Länder und Geschlechter ohne großen Aufwand recherchiert werden. Da Gesundheitszustände vom subjektiven Empfinden der jeweiligen Personen abhängig sind, gestaltet sich deren Bewertung schwieriger.

Eine verbreitete Methode zur Ermittlung der gesundheitsabhängigen Lebensqualität zur Berechnung von QALYs ist die Messung mithilfe des *EQ-5D (EuroQol – 5 Dimensions)*. Dieser wurde von der *EuroQol Group* entwickelt. Die *EuroQol Group* ist ein internationales Netzwerk von Wissenschaftlern mit Sitz in Rotterdam. Der EQ-5D besteht aus einem Fragebogen und dem *EQ VAS*. Der *EQ-5D*-Fragebogen enthält fünf Dimensionen zur Selbsteinschätzung des Gesundheitszustandes eines Patienten: Mobilität, Schmerzen, die Fähigkeit zur Selbstversorgung, Angst und alltägliche Tätigkeiten. (Szende und Williams 2004, S.4, 10 und 12).

Diese fünf Dimensionen sind je nach *EQ-5D*-Version auf einer drei- oder fünfstufigen Skala zu bewerten. Die Skala innerhalb der ursprünglichen dreistufigen Version umfasst in verallgemeinert Form die Antwortmöglichkeiten „keine Probleme“, „einige Probleme“ und „extreme Probleme beziehungsweise Unfähigkeit“. Damit sind 245 (3^5+2) verschiedene Gesundheitszustände möglich, wenn man die Zustände „tot“ und „bewusstlos“ noch hinzuzählt (Philipps und Thompson 2001, S. 2).

Im Jahr 2005 wurde eine Arbeitsgruppe innerhalb der *EuroQol Group* zur Verbesserung des *EQ-5D* gebildet. Die fünf Dimensionen wurden weiterhin als zeitgemäß und exakt bewertet. Dagegen sah die Arbeitsgruppe Probleme bei der Bewertung von kleinen und mittleren Änderungen eines Gesundheitszustandes, was zu einer Erweiterung der Bewertungsskala von drei zu fünf Stufen führte. Die neue Version wurde als *EQ-5D-5L (EuroQol – 5 Dimensions – 5 Levels)* veröffentlicht, während die ursprüngliche Version nachträglich in *EQ-5D-3L* umbenannt wurde (Herdman et al. 2011, S. 1728-1729). Der *EQ-5D-5L* kann insgesamt, mit Einbeziehung von „tot“ und „bewusstlos“, 3.127 (5^5+2) verschiedene Gesundheitszustände abbilden.

Zusätzlich dient eine 20 cm lange vertikale Skala, der *EQ VAS (EuroQol - visual analogue scale)*, der Selbsteinschätzung der allgemeinen gesundheitsabhängigen Lebensqualität eines Patienten. Die Enden der Skala sind mit „bester vorstellbarer Gesundheitszustand“ und „schlechtester vorstellbarer Gesundheitszustand“ beschriftet (Szende und Williams 2004, S.4 und 10).

Eine Alternative zum *EQ-5D* bietet der *Health Utility Index (HUI)* der US-amerikanischen Organisation *Health Utilities Inc.* Dieser misst sieben Attribute: Sinne, Mobilität, Emotionen, kognitive Fähigkeiten, die Fähigkeit zur Selbstversorgung, Schmerzen und Zeugungsfähigkeit. Diese Attribute werden durch einen standardisierten Fragebogen mit 15 Fragen abgedeckt. Der Fragebogen wird durch einen Algorithmus ausgewertet und liefert einen Gesundheitszustand zwischen dem Optimalwert „perfekte Gesundheit“ und dem schlechtesten Wert „tot“ (Health Utilities Inc 2014; Nichol et al. 2001, S. 106). Weitere Messinstrumente zur Ermittlung von Gesundheitsstadien sind der *QWB (Quality of Well-Being Scale)* (Kaplan und Anderson 1988, S. 203) und der *HALex (Health and Activity Limitation Index)* (Gold et al. 2002, S. 119).

2.2.2 Kalkulation von QALYs

Da QALYs als Messinstrument für den Nutzen von medizinischen Eingriffen entwickelt wurden, kann im einfachsten Fall, nachdem die verbleibende Lebenserwartung und die Lebensqualität ermittelt wurden, die Anzahl an gewonnenen QALYs ($QALY_G$) durch einen medizinischen Eingriff folgendermaßen errechnet werden:

$$QALY_G = T_1 Q_1 - T_0 Q_0,$$

wobei T die verbleibende Lebenserwartung und Q die gesundheitsabhängige Lebensqualität ist. Der Index 1 steht dabei für die QALYs mit dem Eingriff und 0 für die QALYs ohne den Eingriff. Es gelten die Annahmen von keiner Inflation und einer Schätzung des durchschnittlichen Gesundheitszustandes (Dolan et al. 2005, S. 3; Tsuchiya und Dolan 2005, S.4).

Da es bei Eisenbahnunfällen für die Betroffenen nicht zum Gewinn von Lebensqualität kommt, muss die Formel für den Kontext dieser Arbeit auf verlorene QALYs ($QALY_V$) umgestellt werden. Es gelten die gleichen Annahmen wie zuvor:

$$QALY_V = T_0 Q_0 - T_1 Q_1,$$

wobei T die verbleibende Lebenserwartung und Q die gesundheitsabhängige Lebensqualität ist. Der Index 1 steht dabei die QALYs nach dem Unfall und 0 für die Gesundheit vor dem Unfall.

Da Verletzungen sich in ihrem Verlauf nicht immer gleich auf die Lebensqualität auswirken, wird eine Formel benötigt, mit der sich verschiedene Verletzungsstadien modellieren lassen. Beispielsweise würde die verminderte Lebensqualität durch einen Beinbruch nach der Entlassung aus dem Krankenhaus, nach der Abnahme des Gipses und nach der Wiedergewinnung der vollen Belastbarkeit des Beines wieder schrittweise ansteigen. Unter zusätzlicher Berücksichtigung von Diskontierung und Ungewissheit, können gewonnene QALYs folgendermaßen kalkuliert werden:

$$QALY_G = \sum h \sum t * p_{1ht} * \frac{Q_h^i}{(1+r)^t} - \sum h \sum t * p_{0ht} * \frac{Q_h}{(1+r)^t},$$

wobei h ein Gesundheitszustand ist und t eine bestimmte Zeitspanne. p_{1ht} und p_{0ht} sind die Wahrscheinlichkeiten mit Behandlung (Index 1) oder ohne (Index 0) Behandlung, dass sich ein Mensch in einem Gesundheitszustand zu einer gewissen Zeit zu befindet. Q_h und Q_h^i sind die gesundheitsabhängigen Lebensqualitäten ohne Behandlung und mit der Behandlung. r steht für den Diskontierungsfaktor (Dolan et al. 2005, S. 3; Tsuchiya und Dolan 2005, S.4).

Für die Umwandlung auf verlorene QALYs im Kontext von Unfällen müssen Minuend und Subtrahend getauscht werden:

$$QALY_V = \sum h \sum t * p_{0ht} * \frac{Q_h}{(1+r)^t} - \sum h \sum t * p_{1ht} * \frac{Q_h^i}{(1+r)^t},$$

wobei Index 0 nach der Umwandlung für die Situation ohne Unfall und Index 1 für die Situation mit dem Unfall steht. Q_h und Q_h^i stehen für die gesundheitsabhängigen Lebensqualitäten ohne Einfluss eines Unfalls und nach dem Einfluss eines Unfalls.

Eine ähnliche Möglichkeit zu Kalkulation von QALYs, welche aufgrund der Index-Definitionen der Summenformeln jedoch leichter rechenbar ist, liefert Sassi:

$$QALY_G = \sum_{t=a}^{a+L^i} \frac{Q_t^i}{(1+r)^{t-a}} - \sum_{t=a}^{a+L} \frac{Q_t}{(1+r)^{t-a}},$$

wobei a das Alter des Patienten und L^i ein Gesundheitszustand ist. Q_t^i ist die Lebensqualität in einem Zeitraum mit medizinischer Behandlung im Zeitraum t . Der Diskontfaktor ist mit r angegeben (Sassi 2006, S. 403).

Auch diese Formel muss für den Kontext des Unfalles umgestellt werden:

$$QALY_V = \sum_{t=a}^{a+L} \frac{Q_t}{(1+r)^{t-a}} - \sum_{t=a}^{a+L^i} \frac{Q_t^i}{(1+r)^{t-a}},$$

wobei der Minuend die Gegebenheiten ohne Unfall abbildet und der Subtrahend für den Verlauf nach dem Unfall steht.

2.3 DALY

2.3.1 Hintergrund

DALYs wurden vom Projekt *Global Burden of Disease* (GBD) der Weltgesundheitsorganisation als Messwerkzeug für die Krankheitslast (burden of disease, BoD) einer Bevölkerung eingeführt. Die erste GBD-Studie erfolgte im Jahr 1990. Im Rahmen dieser Studie wurden, neben der Einführung von DALYs, die Gesundheitseffekte von über 100 Krankheiten und Verletzungen für acht verschiedene Regionen der Welt ermittelt. Die Studie umfasste Untersuchungen von Sterbewahrscheinlichkeiten und Erkrankungshäufigkeiten für diese Regionen, verschiedene Altersklassen und Geschlechter (Mathers et al. 2008, S. 2).

Die Berechnung findet auf oberster Ebene durch Summierung von zwei Dimensionen statt. Die erste Dimension bilden die „verlorenen Lebensjahre“ (years of life lost, YLL). YLL beschreibt die durchschnittliche Anzahl der Lebensjahre, um welche die Lebenserwartung bei einer bestimmten Krankheit oder Behinderung sinkt. Als Ausgangspunkt wird eine Lebenserwartung von 82,5 Jahren für Frauen und von 80 Jahren für Männer gewählt. Diese Werte werden immer aus dem Land mit der weltweit höchsten Lebenserwartung übernommen, welche seit mehreren Jahrzehnten in Japan vorliegt (Donev et al. 2010, S.3-4).

Die zweite Dimension, die „mit Krankheit oder Behinderung gelebten Lebensjahre“ (years lived with disability, YLD), werden durch Multiplikation der voraussichtlichen Dauer der Behinderung oder Krankheit mit einer Gewichtung zwischen 0 und 1 gebildet (Donev et al. 2010, S.4-5). Im Gegensatz zur Berechnung von QALYs steht „0“ für den Status der perfekten Gesundheit und „1“ für den Tod (Reidpath et al. 2003, S. 351).

Zur Ermittlung von Gewichtungen einer Behinderung, Verletzung oder Krankheit (disability weights, DW) zur Berechnung von YLD existieren Studien für verschiedene Regionen der Welt. Als Beispiel wird eine Studie für die Niederlande und den westeuropäischen Raum von Stouthart et al. skizziert. Diese wurde im Jahr 2000 veröffentlicht.

Als Ausgangspunkt der Studie wurden 52 Krankheitskategorien in 175 Krankheitszustände aufgeteilt. Zu jedem Krankheitszustand wurde eine standardisierte Beschreibung des zugehörigen Gesundheitszustandes hinzugefügt. Als Basis dazu diente der *EQ5D+C*. Beim *EQ5D+C* handelt es sich um den *EQ-5D-3L*, der um die sechste Dimension „kognitive Fähigkeiten erweitert wurde. Diese Dimension wurde zur Beschreibung neuropsychologischer Zustände benötigt. An der Studie nahmen 15 niederländische Mediziner teil.

Die Auswertung der Krankheitszustände fand in zwei Schritten statt. Zunächst wurde in einem eintägigen Workshop mithilfe von drei Panels die Gewichtung von 16 ausgewählten Krankheitszuständen ermittelt. Die Ergebnisse dieser Panels wurden auf eine Skala von 0 (keine Einschränkungen) bis 1 (extreme Einschränkungen) kalibriert. Im zweiten Schritt ordnete jeder Studienteilnehmer 30 zufällig ausgewählte Krankheitszustände in diese Skala ein.

Für die Panels wurde die person-trade-off-Methode (PTO) von Murray verwendet (Lopez und Murray 1996, S. 11-12). Diese wurde in zwei verschiedenen Formen implementiert, um die Bewertung aus verschiedenen Standpunkten hervorzurufen. Die erste Form (PTO1) umfasst den Austausch zwischen der Verlängerung des Lebens von 1.000 gesunden Menschen um jeweils ein Jahr gegen die Verlängerung des Lebens von N Menschen, die sich in einem festgelegten Krankheitszustand befinden, um jeweils ein Jahr. PTO2 fragt nach der Abwägung zwischen der Verlängerung des Lebens von 1.000 gesunden Menschen um jeweils ein Jahr und der sofortigen und kompletten Heilung von N Menschen in einem festgelegten Krankheitszustand, deren Leben auch um jeweils ein Jahr bei perfekter Gesundheit verlängert wird.

Als Ergebnis der Studie wurden die 175 Krankheitsstadien für 52 Krankheitskategorien mit einer Gewichtung versehen. Die wenigen Unterschiede zu weltweiten Ansätzen, wie zum Beispiel zum GBD-Projekt, sind durch verschiedene Gegebenheiten in verschiedenen Staaten zu erklären. So ist beispielsweise Blindheit in den Niederlanden durch Hilfestellungen im öffentlichen Bereich leichter zu gewichten als in einem zentralafrikanischen Land.

Um die verlorenen Lebensjahre zu kalkulieren, wird neben dem konkreten Todesalter ein Wert für die statistisch mögliche Lebenserwartung benötigt. Im Rahmen der GBD-Studie wurde der Begriff der „behinderungsbereinigten Lebenserwartung“ (disability-adjusted life expectancy, DALE) eingeführt. Diese basiert auf den Gewichtungen, die bei der Errechnung von YLD verwendet werden, und dient der Beschreibung von Unterschieden der Lebenserwartung innerhalb verschiedener Regionen (Murray und Lopez 1997, S. 1347). Dadurch, dass die GBD-Studie ein weltweiter, ganzheitlicher Ansatz ist, ist DALE zur Schätzung der Lebenserwartung von verschiedenen Geschlechtern und Bevölkerungsgruppen innerhalb Staaten geeignet, nicht aber für den Einzelfall mit einer bestimmten Krankheit oder Verletzung.

Auf den Einzelfall übertragbar sind „potenziell verlorene Lebensjahre“ (potential years of life lost, PYLL). Das Grundkonzept von PYLL ist die Schätzung, wie lange ein Mensch gelebt hätte, wenn er nicht frühzeitig durch eine Krankheit, Behinderung oder Verletzung gestorben wäre. Um die Lebenserwartung genauer zu gestalten, kann statt der

durchschnittlichen Lebenserwartung des jeweiligen Staates die bedingte Lebenserwartung für die Kalkulation von PYLL verwendet werden. Auch für die bedingte Lebenserwartung wird der japanische Standard angewendet, um eine bessere Vergleichbarkeit zwischen Staaten zu ermöglichen (Gmel und Rehm 2006, S. 147). Als Beispiel betrug im Jahr 2014 in der Bundesrepublik Deutschland die durchschnittliche Lebenserwartung für Neugeborene 78 Jahre. Für Menschen, die im Jahr 2014 bereits das Alter von 60 Jahren erreicht haben, betrug die bedingte Lebenserwartung weitere 22 Jahre, also in Summe 82 Jahre (Statistisches Bundesamt 2016 II).

Weitere Variationen von PYLL beinhalten eine Diskontierung von 3% für jeweils jedes weiter entfernte Lebensjahr und Altersgewichtungen, bei denen Lebensjahre in verschiedenen Lebensphasen verschieden stark berücksichtigt werden. Durch Altersgewichtung sollen gesellschaftliche Präferenzen abgebildet werden, wie zum Beispiel, dass ein Lebensjahr im Erwachsenenalter meist einem Lebensjahr im hohen Alter vorgezogen wird (Gmel und Rehm 2006, S. 147-148).

Die Werte für die Altersgewichtungsfunktion (Anhang: Abbildung 5) entstammen der GBD-Studie. Die Altersgewichtungsfunktion wird mit der PTO-Methode ermittelt. So bevorzugen Befragte beispielsweise häufiger die Rettung des Lebens eines 22-Jährigen im Vergleich zu einem 2-Jährigen. Die Altersgewichtungsfunktion der GBD-Studie hat bei der Geburt einen Wert von null, erreicht ihren Höhepunkt in den frühen Zwanzigern und fällt ab dort stetig mit steigendem Alter (Lopez und Murray 1996, S. 8). Damit passt diese Funktion in das theoretische Modell der „produktiven Altersgewichtung“, welche die höchste Gewichtung in den Jahren aufweist, in denen für einen Mensch der höchste gesellschaftliche Nutzen für die Zukunft prognostiziert wird. Ein Gegenbeispiel ist die „utilitaristische Altersgewichtung“, nach der alle Menschen jeden Alters gleichbehandelt werden. Diese wird im QALY-Modell verwendet und führt folglich dazu, dass keine kalkulatorische Altersgewichtung durchgeführt werden muss (Robberstad 2005, S. 187).

2.3.2 Kalkulation von DALYs

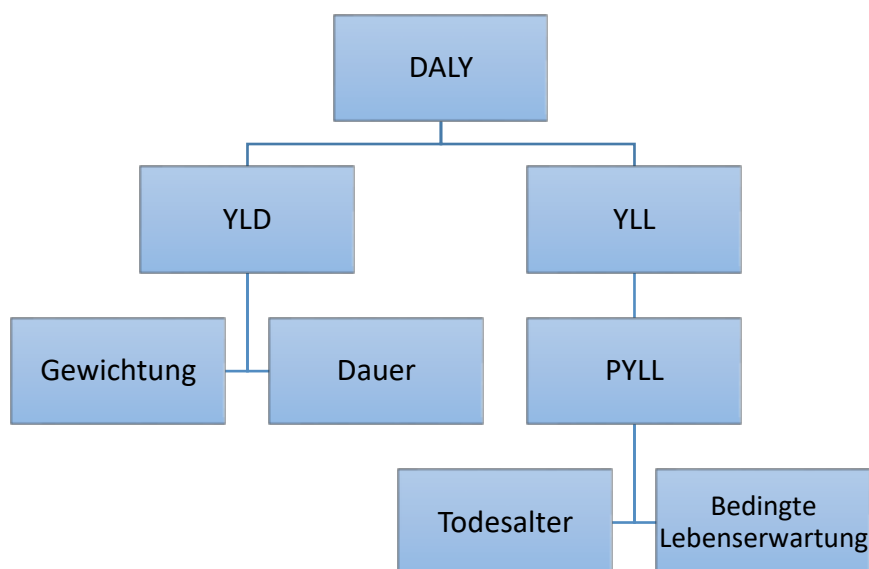


Abbildung 2: Übersicht über die benötigten Größen zur Kalkulation von DALYs (eigene Darstellung)

Abbildung 2 zeigt eine Übersicht über die benötigten Größen zur Kalkulation von DALYs und aus welchen Komponenten sich diese zusammensetzen. Zunächst werden Kalkulationen ohne Diskontierung und Altersgewichtung vorgestellt, welche in den komplexeren Kalkulationen noch hinzugezogen werden. Im Bedarfsfall sind die hier aufgeführten Kalkulationen so verändert, dass sich diese nicht mehr auf den ganzheitlichen Ansatz der GBD-Studie für Bevölkerungen beziehen, sondern für Einzelfälle anwendbar sind.

Auf oberster Ebene lassen sich DALYs folgendermaßen kalkulieren:

$$DALY = YLL + YLD$$

Die YLL entsprechen bei Nichtberücksichtigung von Diskontierung und Altersgewichtung den PYLL:

$$YLL = B(a),$$

wobei B die bedingte Lebenserwartung ist, welche vom Todesalter a abhängt. Für den ursprünglichen, ganzheitlichen Ansatz würde noch die Anzahl der Fälle hinzumultipliziert werden.

Nach Ermittlung der Gewichtung der jeweiligen Krankheit, Behinderung oder Verletzung lassen sich die YLD folgendermaßen errechnen:

$$YLD = G \times L,$$

wobei G die Gewichtung der Verletzung oder Behinderung ist und L deren durchschnittliche Länge. Für den ganzheitlichen Ansatz müsste auch hier die Anzahl der Fälle hinmultipliziert werden (Donev et al. 2010, S.13).

Auch bei der Errechnung von DALYs ist die Diskontierung von Lebensjahren üblich. Zusätzlich findet eine Altersgewichtung statt, die gesellschaftliche Präferenzen für bestimmte Lebensphasen abbilden soll. Im Folgenden werden die Formeln für YLL und YLD nach Rushby und Hanson aus dem Jahr 2001 vorgestellt.

YLL werden folgendermaßen kalkuliert:

$$YLL = \frac{KCe^{ra}}{(\beta+r)^2} \left[e^{-(r+\beta)(L+a)} [-(r+\beta)(L+a) - 1] - e^{-(r+\beta)a} [-(r+\beta)a - 1] \right] + \frac{1-K}{r} (1 - e^{-rL}).$$

Hierbei ist K die Konstante für die Modulation der Altersgewichtung und C deren Ausgleichskonstante. r ist der Diskontierungsfaktor, a das Todesalter, β die Konstante für die Altersgewichtung und L die verbleibende Lebenserwartung in Abhängigkeit vom Todesalter.

Da diese Berechnung ausgehend vom Todesalter zeitlich vorgreift, wird noch eine Diskontierung der YLL vom Ausgangspunkt der Krankheit, Behinderung oder Verletzung benötigt:

$$DALY \text{ im Alter } x = DALY(y)e^{-rs},$$

wobei x ein beliebiges Alter (im Normalfall das Alter zum Krankheitsbeginn), y das Todesalter, r die Diskontrate und s die Anzahl der Jahre der Diskontierung ist (Rushby und Hanson 2001, S. 328).

Bei der Kalkulation für YLD wird die Gewichtung der Behinderung, Verletzung oder Krankheit mit einbezogen:

$$YLD = DW \left\{ \left[e^{-(r+\beta)(L+a)} [-(r+\beta)(L+a) - 1] - e^{-(r+\beta)a} [-(r+\beta)a - 1] \right] + \frac{1-K}{r} (1 - e^{-rL}) \right\},$$

wobei DW der Gewichtung entspricht. Für a wird statt dem Todesalter das Alter am Zeitpunkt der Erkrankung oder Verletzung eingesetzt, von welchem die verbleibende Lebenserwartung (L) abhängig ist. Alle weiteren Variablen behalten ihre Bedeutung aus der Formel für YLL (Donev et al. 2010, S.16; King und Bertino 2008, S. 2; Rushby und Hanson 2001, S.327).

2.4 Vergleich von QALY und DALY

QALYs und DALYs unterliegen beide dem Grundkonzept der HALYs. Beide dienen der Kalkulation von Lebensqualität. Im QALY-Modell werden individuelle Gesundheitszustände betrachtet, während bei DALYs Gewichtungen für spezielle Krankheiten, Verletzungen oder Behinderungen vorliegen. Die Gewichtungen, die in beiden Modellen für den gleichen Gesundheitszustand erzielt werden, sind meist gleich oder sehr ähnlich. Dennoch kann es zu kleinen Unterschieden in beide Richtungen kommen (Sassi 2006, S. 407).

In beiden Modellen ist es zudem üblich, dass Lebensjahre diskontiert werden. Der erheblichste Unterschied ist, dass im DALY-Modell Gewichtungen für verschiedene Altersgruppen verwendet werden, welche im QALY-Modell nicht vorkommen. Dies führt zu größeren Unterschieden bei der Kalkulation, welche hauptsächlich von der Festsetzung der verwendeten Altersgewichtungsfunktion bei der DALY-Kalkulation abhängen (Sassi 2006, S. 407; Robberstad 2005, S. 189).

Ein weiterer Unterschied ergibt sich aus den Ursprüngen der beiden Modelle. Während DALYs für die Dokumentation und den Vergleich der Gesundheit von Bevölkerungen verschiedener Staaten und Regionen der Welt konzipiert wurden, wurden QALYs zur Bewertung von medizinischen Eingriffen entwickelt. Dies hat zur Folge, dass die Reaktionsfähigkeit auf kleine Unterschiede in der Gesundheit im DALY-Modell keine bedeutende Rolle spielt. Das QALY-Modell ist daher für Einzelfälle exakter, da in seiner Entwicklung Aspekte wie Reaktionsfähigkeit, Sensitivität und Zuverlässigkeit im Fokus standen (Gold et al. 2002, S. 129-139).

2.5 VSL

2.5.1 Hintergrund

In der Entstehung des VSL wurde zu dessen Bestimmung meist der Humankapitalansatz verwendet, welche von der Produktivität des jeweiligen Menschen abhing. Diese Produktivität ergibt sich aus den erwarteten zukünftigen Verdiensten eines Menschen. In der aktuellen Literatur scheint der Humankapitalansatz weitestgehend von der WTP-Methode abgelöst. Der Hauptgrund dafür ist, dass der Humankapitalansatz nicht die individuelle Präferenz für Sicherheit betrachtet. Des Weiteren wird Produktivität, welche nicht am Markt stattfindet, nicht einkalkuliert. Dazu zählen zum Beispiel Hausarbeit und Nachbarschaftshilfe. So hätten nicht Erwerbstätige, wie Hausfrauen, Arbeitslose und Rentner einen Wert von null (Andersson und Treich 2011, S.2-3, 8). Zusammenfassend führt der Humankapitalansatz zu einer systematischen Bevorzugung von jungen und erwerbstätigen Menschen (Leiter et al. 2011, S. 3-4).

Neben Ansätzen, welche Produktivität auf individueller Basis oder persönliche Präferenzen betrachten, gibt es auch nutzenbasierte Annäherungen, mit welchen der VSL für politische Entscheidungen geschätzt wird. Ein Beispiel dafür ist die in der europäischen Union genutzte „eine-Million-Euro-Regel“. Diese basiert auf eine Schätzung des möglichen Verlustes der Bruttoleistung eines Todesfalls, welche in dieser Schätzung als einziges Kriterium ausreicht. Zudem wird dabei angenommen, dass die Verhinderung eines Todesfalles statistisch auch zur Vermeidung von acht Schwerverletzten¹, 26 Leichtverletzten und 211 Unfällen ohne Personenschaden führt (De Blaeij et al. 2003, S. 3).

Ein einfaches Rechenbeispiel für eine WTP-abhängige Berechnung des VSL liefern Andersson und Treich: In einer 100.000 Einwohner zählenden Stadt, in der ausschließlich identische Menschen leben, wird eine Befragung für eine Projekt zur Verbesserung der Straßensicherheit durchgeführt. Dieses Projekt verringert die Zahl der Verkehrstoten von jährlich fünf auf zwei Fälle. Für den Fall, dass im Durchschnitt jeder Bürger bereit ist

¹ Laut dem Straßenverkehrsunfallstatistikgesetz gilt als Getöteter, wer innerhalb von 30 Tagen an den Unfallfolgen stirbt. Als Verletzte gelten alle Personen, welche bei dem Unfall körperliche Schäden erlitten haben. Als Schwerverletzte gelten Personen, welche nach dem Unfall länger als 24 Stunden stationär behandelt werden (Peters et al. 2013, S. 49-50; §2 Abs. 3-4 StVUnfStatG).

150€ für dieses Projekt zu zahlen, würde die Summe zur Rettung von drei Leben 15.000.000€ betragen (150€ * 100.000). Somit würde der VSL 5.000.000€ betragen (Andersson und Treich 2011, S. 3).

2.5.2 Kalkulation des VSL

Das Standardmodell nach Andersson und Treich dient als Beispiel für eine nutzenorientierte Kalkulation des VSL. Der Nutzen (V) eines Menschen innerhalb eines festgelegten Zeitraums ergibt sich durch folgende Gleichung:

$$V = pu(w) + (1 - p)v(w),$$

wobei p die Wahrscheinlichkeit des Überlebens in diesem Zeitraum ist, $u(w)$ der Nutzen seines Vermögens im Überlebensfall und $v(w)$ der Nutzen seines Vermögens im Sterbefall, welcher dem Nutzen des entstehenden Erbes entspricht.

Für diese Formel gelten die Annahmen, dass die Funktionen u und v jeweils zweifach ableitbar sind und dass Folgendes gilt:

$$u > v, \quad u' > v' \geq 0, \quad u'' \leq 0, \quad v'' \leq 0.$$

Dies hat zu Folge, dass der Nutzen und der Grenznutzen im Überlebensfall immer höher als im Todesfall sind.

Für die Berechnung des VSL gilt, dass der WTP-/WTA-Wert nicht zur sicheren Vermeidung oder Akzeptanz des Todes ermittelt wird, sondern der WTP-/WTA-Wert nur für eine kleine Veränderung des Risikos gilt. Das bedeutet, dass der VSL ein Ausdruck für die Austauschrate zwischen monetärem Reichtum und der Überlebenswahrscheinlichkeit steht:

$$VSL = \frac{u(w) - v(w)}{pu'(w) + (1 - p)v'(w)}.$$

Diese Formel gilt für nur eine Periode und kann demnach nur einen Zustand abbilden. Eine Diskontierung ist hier auch nicht inbegriffen (Andersson und Treich 2011, S. 4-5).

Des Weiteren liefern Andersson und Treich ein realistischeres Zwei-Perioden-Modell mit Diskontierung. Dabei gilt die Annahme, dass der Vermögenswert im Sterbefall null beträgt:

$$VSL = \frac{u(r(w - c^*))}{p r u'(r(w - c^*))}$$

Dabei ist p die Überlebenswahrscheinlichkeit von Periode 1 zu Periode 2, r der Diskontierungsfaktor und c^* der optimale Konsum.

2.6 Vergleichbarkeit von QALY/DALY und VSL

Auf den ersten Blick ist die Umrechnung und Vergleichbarkeit von HALY-Werten und VSL und umgekehrt leicht möglich. Wenn ein 40-Jähriger stirbt, bei dem man von einer Lebenserwartung von 80 Jahren ausgeht, gehen 40 Lebensjahre verloren. Errechnet man für dieses Beispiel den VSL, der bei 4 Millionen Euro liegt, wäre ein Lebensjahr 100.000€ wert (Ashenfelter 2006, S. 9). Bei einer Schätzung von einer durchschnittlichen Lebensqualität von 0,8 wäre auch ein zugehöriger QALY-Wert ermittelbar. Somit würden sich aus den 40 verlorenen Lebensjahren 32 verlorene QALYs ergeben ($40 \cdot 0,8$) und der Geldwert eines QALY würde 125.000€ betragen.

Insgesamt ist die Möglichkeit und Sinnhaftigkeit der Vergleichbarkeit der beiden Konzepte jedoch stark fallabhängig. Zu verschiedenen Ausgangspositionen kommt es dabei zunächst durch den Umstand, ob Einzelfälle oder Durchschnittswerte wie im Beispiel des vorangegangenen Abschnitts betrachtet werden. Bei Einzelfällen kommt es zudem zu Unterschieden in Abhängigkeit von der Methode, mit welcher Werte ermittelt wurden.

Nicht vergleichbare Fälle ergeben sich aus Forschungen, in welcher WTP-basierte QALY-Werte untersucht werden. Problematisch wird dabei auch, dass der WTP pro QALY bei steigendem Einkommen ebenfalls steigt (Hammit 2002, S. 16). Ein Patient im Krankenhaus hat in vielen Fällen die Wahl, welche Behandlung er wählt. Dabei ist bei den meisten Behandlungen abschätzbar, zu welchen Kosten mit welcher Wahrscheinlichkeit welches Ergebnis erzielt wird. Dagegen hat ein Unfallopfer keine Möglichkeit finanzielle Abwägungen zu treffen oder Gesundheitszustände nach seiner eigenen Präferenz zu wählen. Zudem beschreibt Kenkel, dass die Messung von QALYs Inkonsistenzen zum WTP-Ansatz aufweist, da QALYs nicht zur monetären Bewertung von konkreten Krankheitsrisiken entwickelt wurden (Kenkel 2006, S. 420).

Demnach lässt sich zusammenfassen, dass eine Umrechnung von HALYs und VSL nicht für den allgemeinen Fall als untereinander austauschbar angesehen werden können.

HALYs wurden für die Gesundheitswirtschaft entworfen, während VSL im Transportsektor entstanden sind. Aus diesen Gründen werden beide Ansätze im Verlauf dieser Arbeit weiter voneinander getrennt betrachtet.

2.7 Datenbank

2.7.1 Hintergrund

Die in dieser Arbeit betrachtete Datenbank wurde vom *CCRDMT („Competence Center for the Assessment of Railway Diagnostic and Monitoring Technologies“)* der Universität Koblenz-Landau entwickelt. Das CCRDMT erforscht Verbesserungspotenziale für die Organisation von Bahnbetrieben mithilfe von Informations- und Kommunikationstechnologien und betrachtet dabei insbesondere den Einsatz von Diagnose- und Monitoring-Systemen. Dazu dient eine strategische Zusammenarbeit mit Bahngesellschaften und Unternehmen aus der Eisenbahnbranche.

Zur Zielsetzung des CCRDMT gehört, Implikationen und Empfehlungen für eine Verbesserung des Bahnbetriebes zu entwickeln und einheitliche Prozesse für die Bahngesellschaften und deren Zulieferer zu formen. Das CCRDMT wurde im Juni 2014 eröffnet. Im Rahmen des Projektes werden Studenten zu Forschungsthemen im Zusammenhang mit Abschlussarbeiten, Projekt- und Forschungspraktika betreut (CCRDMT, Universität Koblenz-Landau 2016).

Im Mai 2015 begann das CCRDMT innerhalb eines Projektpraktikums eine Eisenbahnunfalldatenbank zu erstellen. Diese soll zur Untersuchung der Effizienz von Sicherheitstechnologien dienen. Dazu wurden Daten zu Eisenbahnunfällen und deren Ursachen ermittelt, um Unfallkosten und Unfallrisiken zu kalkulieren. Das Ziel der Datenbank ist, durch Erstellung und Bereitstellung von Unfallursachen, -kosten und anderen sicherheitsrelevanten Variablen, die Vermeidung von Unfällen zu quantifizieren und Investitionsentscheidungen von Sicherheitstechnologien zu begründen.

Die erste Version der Datenbank wurde im März 2016 durch die Studenten des Projektpraktikums fertiggestellt. Im April 2016 wurde die Weiterentwicklung mit einem For-

schungspraktikum fortgeführt. Zudem befassen sich aktuell mehrere laufende Abschluss- und Projektarbeiten mit der Eisenbahnunfalldatenbank des CCRDMT (CCRDMT, Universität Koblenz-Landau 2016; Interview mit Lurgenstein und Linden 2016).

2.7.2 Beschreibung

2.7.2.1 Übersicht über die Variablen

Tabelle 1 bietet eine Variablenübersicht der Datenbank. Diese Übersicht beinhaltet nur Variablen, welche für den Kontext dieser Arbeit relevant sind. In der Datenbank sind die Personenschadenssummen nach den Kategorien „leichtverletzt“, „schwerverletzt“ und „getötet“ voneinander getrennt. Zudem wird betrachtet, welcher Personengruppe die jeweiligen Unfallopfer angehören. Die Gesamtschäden und VHL-Werte der jeweiligen Unfallopfergruppen werden für die Kalkulationen im nächsten Kapitel verwendet. Eine vollständige Variablenübersicht und der Wertebereich der nominalen und ordinalen Variablen befinden sich im Anhang (Tabellen 10 und 11).

Variablenname	Beschriftung	Skalenniveau
Land	Land	Nominal
PssFahrgastLeicht	Leichtverletzte Fahrgäste	Ratio
PssFahrgastSchwer	Schwerverletzte Fahrgäste	Ratio
PssFahrgastGetötet	Getötete Fahrgäste	Ratio
PssBediensteteLeicht	Leichtverletzte Bedienstete	Ratio
PssBediensteteSchwer	Schwerverletzte Bedienstete	Ratio
PssBediensteteGetötet	Getötete Bedienstete	Ratio
PssSonstLeicht	Leichtverletzte sonstige Personen	Ratio
PssSonstSchwer	Schwerverletzte sonstige Personen	Ratio
PssSonstGetötet	Getötete sonstige Personen	Ratio
PssGesamtLeicht	Alle Leichtverletzten	Ratio
PssGesamtSchwer	Alle Schwerverletzten	Ratio
PssGesamtGetötet	Alle Getöteten	Ratio
MindestGesamtSchadenBereinigt	MindestGesamtSchadenBereinigt = MindestGesamtSachUndFolgeschäden * Währungskurs (Mindest, weil es vorkommen kann, dass auch hier wieder Werte nicht vorhanden sind)	Ratio
MindestGesamtSchadenBereinigt_Gruppe	Gruppierung des Gesamtschadens (Gesamtsachschäden und Folgeschäden)	Ordinal
VHL_Leicht	Value of Human Life - Leicht	Ratio

Variablenname	Beschriftung	Skalenniveau
VHL_Schwer	Value of Human Life - Schwer	Ratio
VHL_Getötet	Value of Human Life - Getötet	Ratio
PssLeichtKosten	$PssLeichtKosten = PssGesamtLeicht * VHL_Leicht$	Ratio
PssSchwerKosten	$PssSchwerKosten = PssGesamtSchwer * VHL_Schwer$	Ratio
PssGetötetKosten	$PssGetötetKosten = PssGesamtGetötet * VHL_Getötet$	Ratio
PssGesamtKosten	$PssGesamtKosten = PssLeichtKosten + PssSchwerKosten + PssGetötetKosten$	Ratio
PssGesamtKosten_Gruppe	Gruppierung der Personenschadenskosten	Ordinal
Gesamtkosten	$Gesamtkosten = GesamtSachschaden + PssGesamtKosten$	Ratio
Gesamtkosten_Gruppe	Gruppierung der Gesamtkosten	Ordinal

Tabelle 1: Übersicht der für diese Arbeit relevanten Variablen der Eisenbahnunfalldatenbank (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an die CCRDMT-Datenbank)

Informationen über den Wertebereich der nominalen und ordinalen Variablen aus Tabelle 1 folgen in Tabelle 2:

Variablenname	Wertebereich
Land	Ärmelkanal / Australien / Belgien / Bulgarien / Deutschland / Estland / Frankreich / Großbritannien / Irland / Italien / Kanada / Luxemburg / Österreich / Rumänien / Schweiz / Spanien / Südafrika / Ungarn / USA
MindestGesamtSchadenBereinigt_Gruppe	5 Mio. € und höher / 500.000 € - 5 Mio. € / 75.000€ - 500.000 € / 1 € - 75.000€ / keine Kosten
PssGesamtKosten_Gruppe	5 Mio. € und höher / 500.000 € - 5 Mio. € / 75.000 € - 500.000 € / 1 € - 75.000 € / keine Kosten
Gesamtkosten_Gruppe	10 Mio. € und höher / 1 Mio. € - 10 Mio. € / 150.000 € - 1 Mio. € / 1 € - 150.000€ / keine Kosten

Tabelle 2: Wertebereich der für diese Arbeit relevanten nominalen und ordinalen Variablen (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an die CCRDMT-Datenbank)

2.7.2.2 Deskriptive Statistik

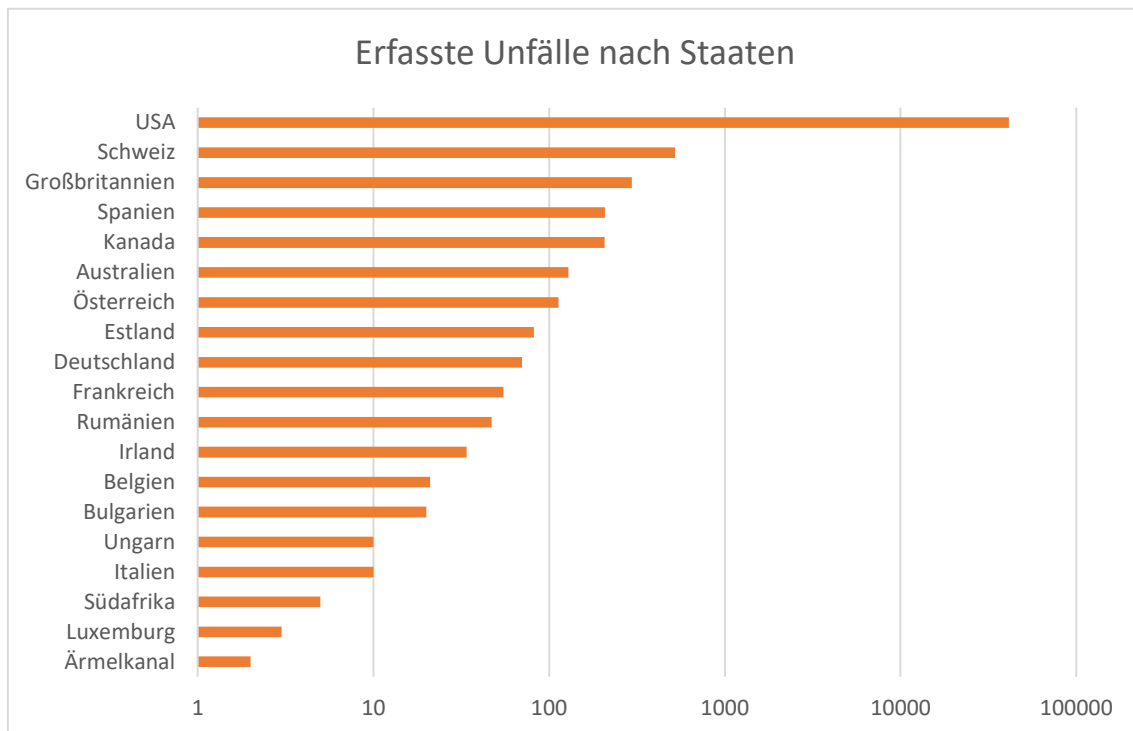


Abbildung 3: Verteilung aller in der Datenbank erfassten Unfälle nach Staaten auf einer logarithmischen Skala (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an die CCRDMT-Datenbank)

Wie in Abbildung 3 zu sehen ist, fällt der Großteil (95,8%) der in der Datenbank erfassten Unfälle auf die USA. Aus der Schweiz stammen 1,2% der Datensätze. Die Anzahl an Unfällen aus allen anderen aufgeführten Staaten liegt jeweils unter einem Prozent des gesamten Datenbestandes.

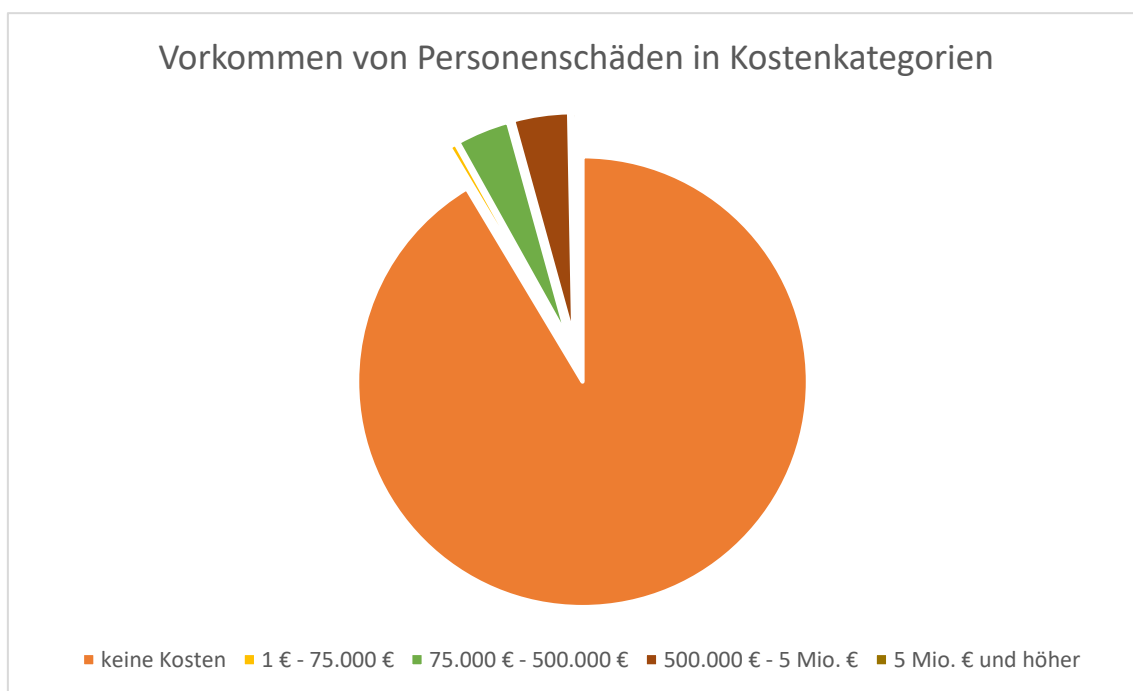


Abbildung 4: Vorkommen von Personenschäden in Kostenkategorien (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an die CCRDMT-Datenbank)

In Abbildung 4 ist zu sehen, in welche Kostenkategorien sich Personenschäden auf die in der Datenbank erfassten Unfälle verteilen. In 91,4% der Fälle kommt es zu keinen Personenschäden. Die verbleibenden 8,6% teilen sich auf folgende Kostenkategorien auf: 5,8% der Eisenbahnunfälle mit Personenschäden liegen zwischen 1€ bis 75.000€; 44,3% zwischen 75.000€ bis 500.000€; 46,6% zwischen 500.000€ bis 5.000.000€ und 3,5% in einem Bereich über 5 Millionen €.

Alle entstandenen Unfallkosten, die in der Datenbank erfasst sind, summieren sich auf 9,28 Mrd. €. Davon entfallen 5,02 Mrd. € auf Personenschäden. So fallen für Personenschäden, obwohl in über 90% der Eisenbahnunfälle keine solchen entstehen, über die Hälfte der Kosten an (54,15%).

	Leicht- verletzte	Schwer- verletzte	Tote
Anzahl	3071	9863	1526
Anzahl (in %)	21,2%	68,2%	10,6%
Kosten (in Mio. €)	42	2424	2559
Kosten (in %)	0,8%	48,2%	50,9%

Tabelle 3: Anzahl der absoluten Vorkommen von Leichtverletzten, Schwerverletzten und Toten und den daraus entstandenen Kosten (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an die CCRDMT-Datenbank)

Tabelle 3 zeigt die Aufteilung der Arten von Personenschäden über die gesamte Datenbank. Der Großteil der erfassten Anzahl der Personenschäden entsteht mit 68,2% durch Schwerverletzte. Der Anteil der Leichtverletzten beträgt 21,2% und 10,6% der erfassten Fälle kommt zu Tode.

Während die Leichtverletzten nur einen minimalen Teil der Gesamtkosten für Personenschäden verursachen (0,8%), teilt sich der Großteil der Kosten fast gleichmäßig auf Schwerverletzte und Tote auf: Für Schwerverletzte fallen 48,2%, für Tote 50,9% der Kosten an.

So kostet jeder Leichtverletzte im Durchschnitt 13.676€ und jeder Schwerverletzte 245.767€. Pro Getötetem wurden durchschnittlich 1,68 Millionen Euro kalkuliert.

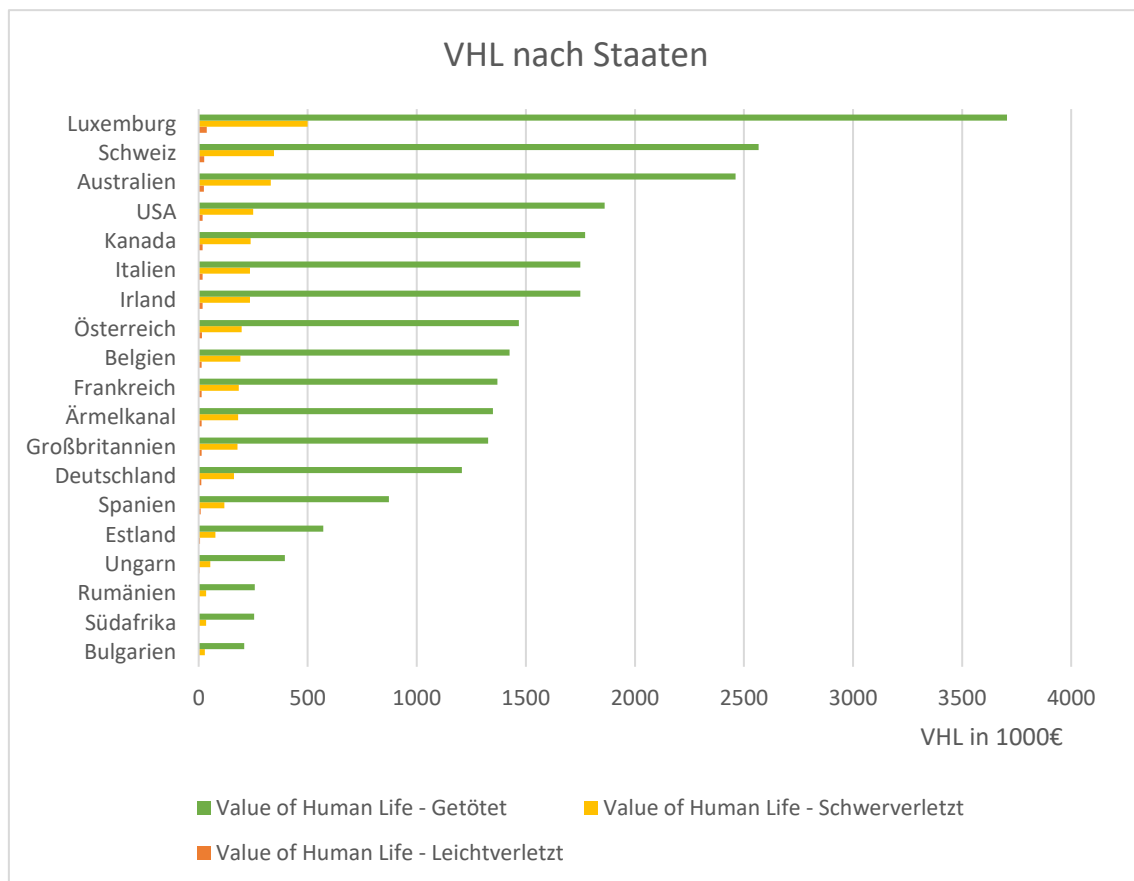


Abbildung 4: Value of Human Life nach Staaten (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an die CCRDMT-Datenbank)

In Abbildung 4 sind die in der Datenbank verwendeten Werte für den VHL nach Staaten gruppiert. Die höchsten Werte weist Luxemburg auf. Dort werden für einen Leichtverletzten 36.767€, für einen Schwerverletzten 498.761€ und für einen Getöteten 3,71 Millionen Euro kalkuliert. Die veranschlagten Werte für die USA betragen mit 18.472€ für einen Leichtverletzten, 250.576€ für einen Schwerverletzten und 1,86 Millionen Euro für einen Getöteten nur etwa die Hälfte des luxemburgischen Niveaus. Die niedrigsten VHL-Werte der Datenbank betragen dagegen nur einen Bruchteil des Wertes für die USA, aus welchen der Großteil der Daten stammt.

Für die Anwendung der in Kapitel 2 vorgestellten Modelle und Kalkulationen liegen Einschränkungen vor, welche den Umfang der vorhandenen Informationen über die jeweiligen Personenschäden betreffen. Die Datenbank umfasst lediglich den Staat, in dem der Unfall stattfand, und nicht die Nationalitäten der jeweiligen Unfallopfer. Zudem werden

die Anzahl (von Leichtverletzten, Schwerverletzten und Getöteten), deren Kosten und aus welchen Personengruppen (Fahrgäste, Bedienstete, sonstige Personen) diese stammen aufgeführt. Dabei ist in der Tabelle nicht ersichtlich, aus welchen Anteilen (Entschädigungen, Schmerzensgeld, Krankentransporte, Behandlungskosten) sich die entstandenen Personenschäden zusammensetzen.

Zur bestmöglichen Anwendung von HALY- und VSL-Kalkulationen fehlen dagegen noch das Alter der Personen, deren Lebenserwartung, der Gesundheitszustand vor dem Unfall, das jeweilige Einkommen oder Vermögen und die konkreten Unfallfolgen (Verletzungen, psychische Auswirkungen). Dementsprechend wird im folgenden Kapitel, soweit möglich, mit den Durchschnittswerten aus der Unfalldatenbank operiert. Wenn nötige Informationen nicht aus der Datenbank ermittelbar sind, werden dazu Durchschnittswerte aus vorhandenen Studien ermittelt.

3 Evaluation von Modellen für die Datenbank

3.1 Aktuell in der Datenbank ausgewähltes Kalkulationsmodell

Der Value of Human Life (VHL), welcher in der Datenbank für einen Getöteten verwendet wird, ist in der CCRDMT-Datenbank folgendermaßen kalkuliert:

$$VHL = (DE * (RA - DA)) + (a * DE) * (LE - DA).$$

Dabei sind DE das Durchschnittseinkommen, RA das Renteneintrittsalter und DA das Durchschnittsalter der Bevölkerung des jeweiligen Staates. LE ist die durchschnittliche Lebenserwartung in Jahren, welche für beide Geschlechter gilt. Der Wert der Rente, anteilig gemessen am Durchschnittseinkommen, wird mit a angegeben.

In der Kalkulation für die Datenbank wurde für das Renteneintrittsalter eine Konstante von 65 Jahren angenommen und der anteilige Wert der Rente am Durchschnittseinkommen wurde auf 0,509 gesetzt. Dies gilt für alle in der Datenbank gelisteten Staaten.

Die Werte der Lebenserwartung und des durchschnittlichen Einkommens stammen aus Quellen der World Bank und das durchschnittliche Alter der Bevölkerung aus einem Bericht der WHO. Da die Werte des durchschnittlichen Einkommens aus dem Jahr 2014 stammen und ursprünglich in US-Dollar angegeben sind, sind diese mit dem durchschnittlichen Euro/USD-Währungskurs aus dem Jahr 2014 in Euro umgerechnet.

Für die Kalkulation für einen Schwerverletzten wird die oben aufgeführte VHL-Formel verwendet und deren Ergebnis anschließend durch 7,43 dividiert. Zur Kalkulation von Leichtverletzten wird durch 100,79 geteilt. Die verwendeten Werte für die in der Datenbank betrachteten Staaten sind im Anhang in Tabelle 12 aufgeführt.

3.2 Überprüfung der Anwendbarkeit der Modelle aus Kapitel 2

3.2.1 Für Verletzte (QALY/DALY)

3.2.1.1 QALY für Schwerverletzte

Für die Kalkulation von QALYs werden folgende Größen benötigt: die Lebensqualität vor dem Unfall, die Lebensqualität nach dem Unfall, die Dauer der verminderten Lebensqualität durch den Unfall, das Alter des Unfallopfers und der Diskontierungsfaktor. Aus der Betrachtung der Unfalldatenbank geht hervor, dass weder genaue Daten für die

Schwere der Personenschäden noch das Alter der jeweiligen Personen vorliegen. Aus der Datenbank sind lediglich das Durchschnittsalter der jeweiligen Staaten und die Klassifizierung von Leicht- oder Schwerverletzten zu entnehmen. Demnach können in diesem Kapitel lediglich Durchschnittswerte für Leicht- und Schwerverletzte ermittelt und verwendet werden.

Bauer et al. führten 2012 eine Studie zur Bestimmung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität von schwerverletzten Unfallopfern durch. Dazu wurden bis zu 108 Betroffene mithilfe des *SF-36-Fragebogens* befragt, von denen 39 Probanden übrig blieben, bei welchen Ergebnisse zu drei verschiedenen Messzeitpunkten vorliegen. Der SF-36 besteht aus 36 Fragen, welche acht Dimensionen von Lebensqualität abbilden. Im Gegensatz zum EQ-5D behält der SF-36 eine Trennung von körperlicher und psychischer Gesundheit auch nach der Verrechnung der Dimensionen bei. Das Endergebnis wird in Form einer körperlichen Summenskala (KSK) und einer psychischen Summenskala (PSK) angegeben. Der SF-36 wird international am häufigsten eingesetzt, um krankheitsübergreifend die gesundheitsbezogene Lebensqualität zu erheben und gilt als eines der methodisch bestuntersuchten Messinstrumente (Bauer et al. 2012, S. 86-87).

Die Forschung Bauers et al. liefert KSK- und PSK-Werte für die Zeitpunkte T1, T2 und T3. Als Vergleich dient eine Normstichprobe (Anhang: Tabelle 13). Da der QALY-Ansatz keine Unterscheidung von körperlicher und psychischer Gesundheit im Resultat vorsieht, müssen die KSK- und PSK-Werte kombiniert werden. In dieser Arbeit wird dabei eine Gleichwertigkeit von körperlicher und psychischer Gesundheit angenommen.

Dadurch lassen sich folgende Werte der Lebensqualität für die spätere QALY-Kalkulation ermitteln:

Zeitpunkt	Dauer	KSK	PSK	$0,5 \cdot (KSK + PSK)$	Anteil am Normwert
Normwert	-	49,19	50,97	50,08	100,0%
T1	1 Jahr	31,07	42,76	36,92	73,7%
T2	5 Jahre	35,91	40,74	38,33	76,5%
T3	Bis zum Lebensende	36,70	40,53	38,62	77,1%

Tabelle 4: Kombination von KSK- und PSK-Wert für die Zeiträume T1, T2 und T3 im Vergleich zum Normwert (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Bauer et al. 2012, S. 89)

Tabelle 4 zeigt die Kombination von KSK- und PSK-Werten im Vergleich zum Normwert. T1 war dadurch definiert, dass die Betreuung des Patienten durch einen Reintegrationsdienst² begann. Die Dauer der Zeiträume ergibt sich durch die Ermessungsperioden der Studie. Die Werte zu T1 wurden in den Jahren 2003 und 2004 erhoben, die Werte zu T2 in 2004 und 2005 und die Werte zu T3 in 2009 und 2010 (Bauer et al. 2012, S. 87). Unter der Annahme, dass die Werte bis zur nächsten Erhebung gültig sind und sich die Erhebungen der Werte in den jeweiligen Jahren gleich verteilen, ergeben sich die in Tabelle 4 angegebenen Zeitraumlängen.

Zur Berechnung von QALYs wird noch die durchschnittliche gesundheitsabhängige Lebensqualität benötigt. Diese ist dem Normwert des SF-36 zuzuordnen. In einer Studie zur Unterscheidung der Lebensqualität von verschiedenen Geschlechtern, Altersgruppen und Rassen in den USA wurde für die Gesamtbevölkerung ein durchschnittlicher HRQL-Wert von 0,87 ermittelt (Asada 2005, S. 9). Aus dem Grund, dass über 95% der Datensätze der CCRDMT-Datenbank aus den USA stammen, ist eine Studie für die USA für die nachfolgenden Untersuchungen geeignet.

Durch Multiplikation mit dem Faktor 0,87 ergeben sich folgende HRQL-Werte (auf drei Nachkommastellen gerundet):

T1: $0,87 \cdot 73,1\% = \mathbf{0,636}$;

T2: $0,87 \cdot 76,5\% = \mathbf{0,666}$;

T3: $0,87 \cdot 77,1\% = \mathbf{0,671}$.

Somit liegen alle benötigten Größen vor, um eine Rechnung über verlorene QALYs mithilfe der modifizierten Formel nach Sassi durchzuführen:

$$QALY_V = \sum_{t=a}^{a+L} \frac{Q_t}{(1+r)^{t-a}} - \sum_{t=a}^{a+L^i} \frac{Q_t^i}{(1+r)^{t-a}} ,$$

² Ein Reintegrationsdienst wird durch Erstversicherer (z.B. Unfallversicherung oder Pflegeversicherung) zur Betreuung von Patienten beauftragt, bei welchen die soziale oder berufliche Reintegration als gefährdet eingeschätzt wird (Bauer et al. 2012, S. 87).

wobei das Durchschnittsalter (a) eines US-Amerikaners 38 Jahre ist. Es gelten die HRQL-Werte $Q_t=0,87$, $Q_t^1=0,636$, $Q_t^2=0,666$, $Q_t^3=0,671$ und aus der durchschnittlichen verbleibenden Lebenserwartung 41 Jahren die (aufgrund der Summenformel um jeweils ein Jahr verminderten und auf ganze Jahre gerundeten) Zeiträume $L=40$, $L^1=0$, $L^2=4$ und $L^3=34$. Als Diskontierungsfaktor (r) wird der in der GBD-Studie (Sassi 2006, S. 405) und in der Literatur übliche (zum Beispiel bei Reidpath et al. 2003, S. 352; Cutler und Richardson 1997, S. 219) Wert von 3% verwendet. Nach Einsetzen der Werte ergibt sich folgende Rechnung:

$$QALY_V = \sum_{t=38}^{38+40} \frac{0,87}{(1+0,03)^{t-38}} - \left(\sum_{t=38}^{38+0} \frac{0,636}{(1+0,03)^{t-38}} + \sum_{t=38}^{38+4} \frac{0,666}{(1+0,03)^{t-38}} + \sum_{t=38}^{38+34} \frac{0,671}{(1+0,03)^{t-38}} \right)$$

$$QALY_V \approx 20,98 - (0,636 + 3,142 + 14,85)$$

$$QALY_V \approx 2,352$$

Somit verliert ein schwerverletzter US-Amerikaner laut dieser Rechnung durchschnittlich 2,352 von 20,98 qualitätskorrigierten Lebensjahren. Das entspricht einem Prozentsatz von 11,2%. In der CCRDMT-Datenbank wird für Schwerverletzte der VHL für Getötete, also der Gesamt-VHL, durch 7,43 geteilt. Daraus ergibt sich ein Anteil des VHL für Schwerverletzte von 13,5% am Gesamt-VHL. Folglich liefert die Kalkulation mit dem QALY-Modell einen noch vergleichbaren, aber niedrigeren Wert als die Kalkulation des VHL für die Datenbank.

Dies ist durch Einschränkungen des QALY-Modells zu begründen. Das QALY-Modell misst nur den entstandenen Schaden durch den Verlust von Lebensqualität und fokussiert somit den Patienten oder das Unfallopfer. Hingegen kommen in der Realität für den Verursacher noch weitere Kosten hinzu. Dazu zählen beispielsweise der Transport in ein Krankenhaus, Bergung und die Betreuung vor Ort.

Zusätzlich entscheidend für den niedrigeren Wert im Vergleich zur Eisenbahnunfalldatenbank ist, dass im QALY-Modell keine Anpassung der Lebenserwartung vorgesehen

ist, wie es beispielsweise bei DALYs durch YLL realisiert ist. Um jedoch eine Vergleichbarkeit mit der später folgenden DALY-Kalkulation für Schwerverletzte zu ermöglichen, wird an dieser Stelle mithilfe eines Beispiels die Auswirkung einer Verminderung der Lebenserwartung untersucht. Während in der Medizin Studien und Erfahrungswerte zur Veränderung der Lebenserwartung durch bestimmte Krankheiten oder Eingriffe vorliegen, waren diese für den Allgemeinfall des durchschnittlichen schwerverletzten US-Amerikaners nicht ermittelbar. Als Beispielwert wird für die nachfolgende Kalkulation eine Verringerung der Lebenserwartung um zwei Jahre festgelegt. Dies entspricht etwa 4,9% der verbleibenden Lebenserwartung und führt zu einer erheblichen Veränderung des Ergebnisses. Durch die Minderung der Lebenserwartung um zwei Jahre verringern sich die QALYs im Zeitraum L^3 von 14,85 auf 14,352. Dies hätte zur Folge, dass der Wert der im Gesamten verlorenen QALYs von 2,352 auf 2,85 steigen würde. Damit läge der Prozentsatz der durch den Unfall verlorenen QALYs bei 13,6% und entspräche fast dem VHL-Wert für Schwerverletzte aus der CCRDMT-Datenbank.

Insgesamt kann das QALY-Modell als geeignet für die Kalkulation von Schwerverletzten angesehen werden. Dennoch gilt es, die in diesem Kapitel beschriebenen Einschränkungen zu beachten.

3.2.1.2 QALY für Leichtverletzte

Zur Verringerung von Lebensqualität durch leichte Verletzungen liegen keine Studien vor, da durch diese im Normalfall weder schwere noch dauerhafte Einschränkungen der Lebensqualität stattfinden. Zur Kalkulation des QALY-Verlustes von Leichtverletzten wird ein Fallbeispiel verwendet: Der durchschnittliche US-Amerikaner aus der CCRDMT-Datenbank erleidet bei einem Eisenbahnunfall eine Handgelenksverstauchung. Die Lebensqualität wird mithilfe des *EQ-5D-5L Crosswalk Index Value Calculator* (van Hout et al. 2012, S.708-715) ermittelt. Innerhalb dieses Excel-Tools sind die gesundheitsabhängigen Lebensqualitäten aller 3125 möglichen Gesundheitszustände des EQ-5D-5L für zehn verschiedene Staaten aufgeführt. Dafür wird im Folgenden ein mögliches Ergebnis des EQ-5D-5L angegeben:

Dimension	Mobilität	Selbstver- sorgung	alltägliche Tätigkeiten	Schmerzen	Angst
T1	1	3	3	2	1
T2	1	2	2	1	1

Tabelle 5: Einschätzung innerhalb des EQ-5D für ein Unfallopfer mit verstauchtem Handgelenk (eigene Darstellung)

Im Beispiel in Tabelle 5 wird davon ausgegangen, dass die Genesungszeit in die zwei Stadien T1 und T2 aufgeteilt ist, welche jeweils einen Zeitraum von zwei Wochen andauern. Ausgangssubjekt ist der aus dem vorangegangenen Beispiel kalkulierte Durchschnitts-US-Amerikaner. Der *EQ-5D-5L Crosswalk Index Value Calculator* liefert einen HRQL-Wert von 0,761 für T1 und 0,828 für T2. Somit ist dieses Beispiel folgendermaßen kalkulierbar:

$$QALY_V = 0,87 - \left(0,761 * \frac{2}{52} + 0,828 * \frac{2}{52} + 0,87 * \frac{48}{52} \right)$$

$$QALY_V \approx 0,006.$$

Dabei ist 0,87 die durchschnittliche Lebensqualität. Es wird lediglich ein Jahr, welches in 52 Wochen aufgeteilt ist, betrachtet. Die Rechnung konnte auf diese Art vereinfacht werden, da bei einer Gesamtdauer von vier Wochen das erste Jahr nicht überschritten wird und das erste Jahr nicht diskontiert wird.

Nach dieser Rechnung gehen bei der Beispielverletzung eines verstauchten Handgelenkes 0,006 QALYs verloren. Dies sind 0,03% der durchschnittlichen 20,98 QALYs. Im Vergleich dazu werden in der CCRDMT-Datenbank im Verhältnis zum Gesamt-VHL ca. 0,99% für einen Leichtverletzten kalkuliert.

Der erhebliche Unterschied ist dadurch zu begründen, dass bei leichten Verletzungen die Einschränkungen der Lebensqualität einen geringeren Anteil am gesamten Personenschaden haben. Somit wiegen die in der CCRDMT-Datenbank die Anteile von zusätzlichen Kosten wie Krankentransporten, Bergung und Betreuung vor Ort erheblicher

schwerer. Da dies im QALY-Modell nicht berücksichtigt ist, können QALYs für die Quantifizierung von Personenschäden bei Leichtverletzten nicht als geeignet angesehen werden.

3.2.1.3 DALY für Schwerverletzte

Für die Kalkulation von DALYs werden folgende Größen benötigt: der Diskontierungsfaktor, das Alter, die standardisierte verbleibende Lebenserwartung, die Konstante für die Modulation der Altersgewichtung, deren Ausgleichskonstante, die Konstante für die Altersgewichtung und die Gewichtung der Verletzung. Für den Diskontierungsfaktor, das Alter und die standardisierte verbleibende Lebenserwartung werden die Werte aus dem QALY-Beispiel verwendet. Die Werte für die Altersgewichtung werden aus dem Beispiel von Rushby und Hanson (2001, S. 328) übernommen.

Im Grundkonzept sind DALYs ein ganzheitlicher Ansatz zur Nachbetrachtung von vorhandenen Daten. Dabei wird davon ausgegangen, dass zur Berechnung der verlorenen Lebensjahre (YLL) das Todesalter des Betroffenen bereits bekannt ist. Aus diesem Grund und zur Wahrung der Vergleichbarkeit zum QALY-Modell, werden YLL im folgenden Rechenbeispiel vernachlässigt und davon ausgegangen, dass die Lebenserwartung durch die Verletzung nicht sinkt.

Somit gelten folgende Werte zur Kalkulation von YLD:

$$r = 0,03; a = 38; L = 41;$$

$$K = 1; C = 0,1658; \beta = 0,04; e \approx 2,72$$

Der DW-Wert kann für die Kalkulation von Schwerverletzten nicht aus der Literatur entnommen werden, da einem schwerverletzten Durchschnitts-US-Amerikaner keine konkrete Verletzung zuzuordnen ist. Von daher kann zur Erhaltung der Vergleichbarkeit der Beispiele für die QALY- und DALY-Kalkulation ein Durchschnittswert aus den Lebensqualitäten des QALY-Beispiels für Schwerverletzte gebildet werden. Der Durchschnittswert wird benötigt, da das DALY-Modell keine unterschiedlichen Perioden vorsieht. Die Werte der Lebensqualität für die drei Stadien des Krankheitsverlaufes waren $Q_t^1=0,636$, $Q_t^2=0,666$ und $Q_t^3=0,671$ mit den Zeitraumlängen $t_1=1$, $t_2=5$ und $t_3=35$. Die durchschnittliche Lebensqualität errechnet sich folgendermaßen:

$$Q_d = Q_t^1 * \frac{t_1}{L} + Q_t^2 * \frac{t_2}{L} + Q_t^3 * \frac{t_3}{L}$$

$$Q_d = 0,636 * \frac{1}{41} + 0,666 * \frac{5}{41} + 0,671 * \frac{35}{41}$$

$$Q_d \approx 0,670$$

Da die Gewichtungen von DALYs umgekehrt im Vergleich zu HRQL-Werten funktionieren (von 0 = keine Einschränkungen bis 1 = tot) muss hier der Kehrwert gebildet werden. Somit ist $DW = 0,33$ und die YLD-Dimension kann für den schwerverletzten Durchschnitts-US-Amerikaner mit der Formel nach Rushby und Hanson³ kalkuliert werden:

$$YLD = DW \left\{ \left[e^{-(r+\beta)(L+a)} [-(r+\beta)(L+a) - 1] - e^{-(r+\beta)a} [-(r+\beta)a - 1] \right] + \frac{1-K}{r} (1 - e^{-rL}) \right\}$$

$$YLD = 0,33 \left\{ \frac{1 * 0,1658 * 2,72^{0,03 * 38}}{(0,04 + 0,03)^2} \left[2,72^{-(0,03 * 38)(41 + 38)} [-(0,03 + 0,04)(38 + 41) - 1] \right] - 2,72^{-(0,03 + 0,04)38} [-(0,03 + 0,04)38 - 1] \right\} + \frac{1-1}{0,03} (1 - 2,72^{(0,03 * 41)})$$

$$YLD \approx 8,03$$

Somit verliert der Durchschnitts-US-Amerikaner nach einer schweren Verletzung 8,03 DALYS (in diesem Beispiel ohne Verwendung der YLL-Dimension entsprechen YLD den DALYS).

Ohne diese Verletzung wäre $DW=0,13$. Dies ergibt sich aus dem Kehrwert der durchschnittlichen Lebensqualität von 0,87. Für den Fall ohne Verletzung lässt sich damit ein Wert von 3,16 DALYS kalkulieren. Diese sind von den 8,03 DALYS aus der Kalkulation für den Fall der schweren Verletzung zu subtrahieren. Somit bleibt ein Verlust von 4,87 DALYS, welcher ausschließlich durch die schwere Verletzung bedingt ist. Das entspricht bei der angenommenen verbleibenden Lebenserwartung von 41 Jahren einem Verlust von

³ Zur Kalkulation der YLD wurde folgende Excel-Formel (in Anlehnung an Rushby und Hanson 2001, S. 329) verwendet:

$$=0,33*(1*0,1658*EXP(0,03*38)/(0,03+0,04)^2)*(EXP(-1*(0,03+0,04)*(41+38))*(-(0,03+0,04)*(41+38)-1)-EXP(-1*(0,03+0,04)*38)*(-(0,03+0,04)*38-1)+((1-1)/0,03)*(1-EXP(-1*0,03*41)))$$

11,9%. Dieser Wert ist etwas höher, aber vergleichbar mit dem Ergebnis der QALY-Kalkulation ohne Anpassung der Lebenserwartung, welcher bei einem Verlust von 11,2% der verbleibenden QALYs liegt.

Zur Vergleichbarkeit mit dem QALY-Rechenbeispiel zu einer durch eine schwere Verletzung bedingten Verringerung der Lebenserwartung um zwei Jahre, wird in der folgenden Kalkulation für DALYs ebenso von dieser Lebenserwartungsverringerung ausgegangen. Dadurch ist es möglich, wenn auch nur anhand dieser Schätzung, die YLL-Dimension zu berücksichtigen. Aus der vorangegangenen Kalkulation und der Verringerung der Lebenserwartung ergeben sich folgende Werte, zunächst für die YLD-Dimension:

$$r = 0,03; a = 38; L = 39; DW = 0,33;$$

$$K = 1; C = 0,1658; \beta = 0,04; e \approx 2,72$$

$$YLD \approx 7,92$$

Die Kalkulation von YLL begrenzt sich auf den Zeitraum zwischen dem Todesalter und dem Alter, welches die betrachtete Person ohne die Verletzung erreicht hätte. Somit ändern sich für die Kalkulation das Alter und die verbleibende Lebenserwartung, während die anderen Variablen ihre Werte behalten:

$$r = 0,03; a = 77; L = 2;$$

$$K = 1; C = 0,1658; \beta = 0,04; e \approx 2,72$$

$$YLL = \frac{KCe^{ra}}{(\beta + r)^2} \left[e^{-(r+\beta)(L+a)} [-(r + \beta)(L + a) - 1] - e^{-(r+\beta)a} [-(r + \beta)a - 1] \right] + \frac{1 - K}{r} (1 - e^{-rL})$$

$$YLL \approx 1,11$$

Dieser YLL-Wert muss noch vom Ausgangszeitpunkt der schweren Verletzung diskontiert werden. Dabei ist x das Alter von 38 Jahren, y das Todesalter von 77 Jahren, r die Diskontrate von 3% und die Anzahl der zu diskontierenden Jahre s beträgt 39 Jahre ($s = y - x = 77 \text{ Jahre} - 38 \text{ Jahre}$):

$$DALY \text{ im Alter } x = DALY(y)e^{-rs},$$

$$DALY \text{ im Alter } 38 = 1,11 * 2,72^{(-0,03*(77-38))}$$

DALY im Alter 38 \approx **0,34**

Somit verringern sich die DALYs aus den YLL auf 0,34. Addiert man die YLD hinzu, erhält man folgendes Ergebnis:

$$DALY = YLL + YLD = 0,34 + 7,92 = \mathbf{8,26}$$

Von diesen 8,26 DALYs sind zunächst die 3,16 DALYs für den Fall ohne die schwere Verletzung zu subtrahieren. Dadurch kommt es zu einem Wert von 5,1 DALYs, wodurch in diesem Fall 12,4% der ohne den Unfall verbleibenden Lebenserwartung von 41 Jahren verloren gehen. Diese Verlustrate ist niedriger als die Werte von 13,5% aus der CCRDMT-Datenbank und 13,6% aus der QALY-Kalkulation unter Berücksichtigung einer Verringerung der Lebenserwartung.

Vergleicht man den Anstieg bei der DALY- und QALY-Beispiel-Kalkulation durch die Einbeziehung der Verringerung der Lebenserwartung um zwei Jahre, liegt dieser für DALYs bei etwa 4% ($1 - (11,9\%/12,4\%)$). Für QALYs ist dieser Anstieg mit etwa 17,6% ($1 - (11,2\%/13,6\%)$) um ein Vielfaches höher. Die Begründung für diesen großen Unterschied ist die Altersgewichtungsfunktion im DALY-Modell. Durch die Altersgewichtungsfunktion werden die beiden verlorenen Jahre im Alter von 78 und 79 Jahren, zusätzlich zur in beiden Modellen durchgeführten Diskontierung, erheblich abgewertet.

3.2.1.4 DALY für Leichtverletzte

DALYs wurden als Werkzeug zur Messung der weltweiten Krankheitslast entwickelt und basieren auf der Kombination der Messungen von Morbidität (Häufigkeit von Krankheiten in einer Bevölkerung in der YLD-Dimension) und Mortalität (Sterblichkeit in der YLL-Dimension). Im Regelfall entstehen aus leichten Verletzungen, wie auch im Beispiel aus Kapitel 3.2.1.2, keine dauerhafte Senkung der Lebensqualität und keine Verringerung der Lebenserwartung. Dementsprechend sind geringe Verletzung wie die Verstauchung des Handgelenkes nicht in den *disability weights* des GBD-Projektes gelistet. Als ähnlichste, wenn auch noch erheblich schwerere Verletzung, ist ein „Handbruch, kurzzeitig, mit oder ohne Behandlung“ gelistet. Dieser Verletzung wird ein durchschnittlicher DW-Wert von 0,01 in einem Gesamterahmen zwischen 0,005 und 0,019 zugeordnet (Salomon et al. 2015, S. e719). Um der Beispielverletzung des verstauchten Handgelenks

am nächsten zu kommen, wird für die nachfolgende Kalkulation die Minimalgewichtung von 0,005 gewählt.

Da bei einer Verstauchung keine Verringerung der Lebenserwartung anzunehmen ist, wird für die nachfolgende Kalkulation lediglich die YLD-Dimension benötigt. Als Beispiel dient wieder der Durchschnitts-US-Amerikaner. Daraus ergibt sich die folgende Kalkulation mit den vorher angegebenen Werten:

$$r = 0,03; a = 38; L = 41; DW = 0,005;$$

$$K = 1; C = 0,1658; \beta = 0,04; e \approx 2,72$$

$$DALY = YLD = 0,005 \left\{ \frac{KC e^{ra}}{(\beta + r)^2} \left[e^{-(r+\beta)(L+a)} [-(r + \beta)(L + a) - 1] - e^{-(r+\beta)a} [-(r + \beta)a - 1] \right] + \frac{1 - K}{r} (1 - e^{-rL}) \right\}$$

$$DALY \approx 0,12$$

Somit würde die Verstauchung des Handgelenks für den US-Amerikaner einen Verlust von 0,12 DALYs bedeuten, was prozentual an der Lebenserwartung von 79 Jahren einen Verlust von 0,15% bedeutet. Dieser Wert ist etwa fünfmal so hoch wie der QALY-Verlust bei der gleichen Verletzung aber auch nur ein Bruchteil der 0,99% für Leichtverletzte am Gesamt-VHL in der CCRDMT-Datenbank.

Dass der Wert höher als im QALY-Beispiel ist, ist dadurch zu erklären, dass die Gewichtung der Verstauchung mit 0,005 deutlich zu hoch angesetzt ist. Die angenommene Dauer von vier Wochen bis zur vollständigen Genesung ist nicht mit 0,12 DALYs zu vereinbaren, welche einen Verlust von über sechs Wochen behinderungsbereinigter Lebenszeit bedeuten würden. Da die Gewichtungen im DALY-Modell immer auf die gesamte verbleibende Lebenszeit bezogen sind, ist die Sinnhaftigkeit der Anwendung für vollständig verheilende Verletzungen ohnehin zweifelhaft.

Der dennoch vorhandene, große Abstand zum Wert aus der CCRDMT-Datenbank ist analog zum Leichtverletzten-Fall im QALY-Modell damit zu begründen, dass der Anteil des eigentlichen Personenschadens an den Kosten für einen Leichtverletzten verhältnismäßig gering ist.

3.2.2 Für Getötete (VSL)

Während bei den HALY-Konzepten zunächst im Vordergrund steht, wie viel qualitätskorrigierte Lebenszeit durch ein Ereignis im Verhältnis zum Fall ohne dieses Ereignis gewonnen oder verloren wird, ist das VSL-Modell darauf ausgerichtet, mithilfe von empirischen Daten bestimmte Geldsummen zu ermitteln.

Da für diese Arbeit keine Daten erhoben wurden und im Rahmen vorhandener Studien die zugehörigen Kalkulationen durchgeführt wurden, wird es an dieser Stelle keine eigene Kalkulation von VSL-Werten geben. Stattdessen werden Werte aus verschiedenen Studien miteinander verglichen.

Die in diesem Kapitel betrachteten Studien wurden von De Blaeij et al. (2003, S. 31) und Andersson und Treich (2011, S. 36) recherchiert. Die Werte aus De Blaeij et al. waren in US-Dollar für das Jahr 1996, die Werte bei Andersson und Treich in US-Dollar für das Jahr 2005 angegeben.

Autor(en)	Staat	Veröffentlichung	Jahr der Datenerhebung	Typ der Studie	Anzahl der Messungen	in 1000 € in 2014			
						Einzelwert	Minimalwert	Maximalwert	Durchschnittswert
Beattie et al.	UK	1998	1996	SP	4		1379	15581	8480
Carthy et al.	UK	1999	1997	SP	4		4135	5382	4759
Ghosh et al.	UK	1975	1973	RP	1	1736			1736
Jones-Lee et al.	UK	1985	1982	SP	1	4549			4549
Melinek	UK	1974	1974	RP	1	805			805
Atkinson und Halvorsen	US	1990	1986	RP	1	5042			5042
Baker	US	1973	1973	RP	4		970	14552	7761
Blomquist	US	1979	1972	RP	1	1673			1673
Blomquist und Miller	US	1992	1987	RP	3		1684	6516	4100
Blomquist et al.	US	1996	1991	RP	4		1310	6548	3929
Cohen	US	1980	1974	RP	1	446			446
Corso et al.	US	2001	1999	SP	2		3212	4283	3748
Dreyfus und Viscusi	US	1995	1987	RP	1	4507			4507
Hakes und Viscusi	US	2007	1998	SP	5		2188	5849	4019
Hakes und Viscusi	US	2007	1998	RP	6		2090	9147	5619
Jenkins et al.	US	2001	1997	RP	9		1233	4445	2839
Jondrow et al.	US	1983	1983	RP	1	3007			3007
Jones-Lee et al.	US	1983	1982	SP	8		665	11369	6017
McDaniels	US	1992	1986	SP	3		9253	33261	21257

Autor(en)	Staat	Veröffentlichung	Jahr der Datenerhebung	Typ der Studie	Anzahl der Messungen	in 1000 € in 2014			
						Einzelwert	Minimalwert	Maximalwert	Durchschnittswert
Morrall	US	1986	1984	RP	4		167	2180	1174
Viscusi et al.	US	1990	1991	SP	1	10129			10129
Viscusi et al.	US	1991	1991	SP	1	10541			10541
Winston und Mannering	US	1984	1980	RP	1	2114			2114

Tabelle 6: In Studien ermittelte VSL-Werte für das Vereinigte Königreich und die USA (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an De Blaeij et al. 2003, S. 31; Andersson und Treich 2011, S. 36)

Tabelle 6 zeigt eine Übersicht von Studienergebnissen für die USA und das Vereinigte Königreich. Für den Vergleich mit weiteren in der CCRDMT-Datenbank betrachteten Staaten lagen entweder keine oder zu wenige Daten vor (siehe Anhang: Tabelle 14). Aufgeführt sind Studien, welche mit Methoden offenbarer Präferenzen⁴ (RP, revealed preferences) und geäußerter Präferenzen (SP, stated preferences) durchgeführt wurden. Im Rahmen einiger Studien fanden mehrere Datenerhebungen statt, für die das Minimal- und Maximalergebnis angegeben sind. Für die zunächst vorhandenen US-Dollarwerte wurde mithilfe eines Online-Tools (<http://www.usinflationcalculator.com>) eine Inflationsrechnung durchgeführt, um die Dollar-Werte für das Jahr 2014 zu kalkulieren. Anschließend wurden diese, um die bestmögliche Vergleichbarkeit mit der CCRDMT-Datenbank zu ermöglichen, mit dem durchschnittlichen Dollar-Euro-Wechselkurs von 2014 (0,75354) in Euro umgerechnet. Der Durchschnittswert für Studien mit einem Einzelwert

⁴ Methoden der offenbaren Präferenzen leiten Werte aus tatsächlichem Handeln ab, wie in der Vergangenheit getätigte Einkäufe oder, als Beispiel für diesen Sachverhalt, Maßnahmen zur Erhöhung von Sicherheit. Methoden der geäußerten Präferenzen kommen ohne Marktdaten aus und werden im Regelfall mithilfe standardisierter Umfragen angewendet (Hansjürgens 2012, S.17-18).

ergibt sich aus dem Einzelwert selbst und der Durchschnittswert für Studien mit mehreren Werten ergibt sich aus dem arithmetischen Mittel zwischen Minimal- und Maximalwert.

Für die Kalkulation des gesamten Durchschnittes für die beiden Staaten wurde folgende Rechnung verwendet:

$$D_{\text{Staat}} = \frac{\sum(\text{Durchschnittswert} * \text{Anzahl der Messungen})}{\sum \text{Anzahl der Messungen}}$$

Für die USA ergibt sich mit dieser Kalkulation ein durchschnittlicher VSL von 5.356.750€. Dies bedeutet im Verhältnis zum VHL von 1.989.434€ in der CCRDMT-Datenbank einen um 169,3% höheren Wert.

Der VSL für das Vereinigte Königreich, welcher aus den oben aufgeführten Studien ermittelt wurde, beträgt 5.458.730€. Damit liegt dieser Wert um 264,1% über dem VHL aus der Unfalldatenbank, welcher auf 1.499.181€ festgelegt wurde.

Die großen Unterschiede zur CCRDMT-Datenbank entstehen durch zwei Einflussfaktoren, wovon der stärkere Faktor die Grundlage der Ermittlung der Werte ist. Die VHL-Werte in der Datenbank bestehen aus durchschnittlichen demographischen Daten und folgenden (Arbeits-)Marktdaten: Einkommen, Renteneintrittsalter, Anteil der Rente am Einkommen, Alter und Lebenserwartung. Dagegen basieren die VSL-Werte der in diesem Unterkapitel betrachteten Studien auf offenbarten und geäußerten Präferenzen der Befragten. Der schwächere Einflussfaktor, der zu einer Verfälschung führen kann, ist der Umstand, dass nur die Minimal- und Maximalwerte angegeben sind, durch die sich kein echter Durchschnitt der Messungen der Studien mit mehr als einer Messung kalkulieren lässt.

Aus Tabelle 6 lässt sich erahnen, dass die Werte bei den Studien mit offenbarten Präferenzen tendenziell niedriger sind als bei Studien mit geäußerten Präferenzen. Um einen besser mit der CCRDMT-Datenbank vergleichbaren Wert zu erhalten, wird die obige Rechnung an dieser Stelle nur für die Studien mit offenbarten Präferenzen durchgeführt und die Studien mit geäußerten Präferenzen herausgefiltert. Dies hat zur Folge, dass für das Vereinigte Königreich nur noch zwei von elf Messungen übrig bleiben. Deswegen,

und aufgrund dessen, dass die beiden übrigen Messungen in den 1970er-Jahren durchgeführt wurden, kann der im folgenden Abschnitt ermittelte Wert für das Vereinigte Königreich als nicht aussagekräftig gewertet werden. Für die USA bleibt dagegen mit 36 von ursprünglich 56 Messungen die Mehrheit der Daten in der Betrachtung.

Für die USA ergibt sich somit ein VSL von 3.883.610€. Dieser Wert liegt immer noch um 95,2% höher als der VHL in der Unfalldatenbank. Für das Vereinigte Königreich liegt der Wert bei 1.275.000€ und beträgt damit etwa 85% des Niveaus des VHL-Wertes der CCRDMT-Datenbank. Die Begründung des Unterschiedes des VSL für die USA zum VHL der Unfalldatenbank ist analog zur Begründung für den Wert, der inklusive der Studien mit Methoden offener Präferenzen ermittelt wurde. Dass der Wert niedriger als der Wert inklusive der Studien mit Methoden geäußerter Präferenzen ist, ergibt sich durch die geringere Subjektivität von Studien mit Methoden offener Präferenzen. Der Wert für Großbritannien wird aufgrund der niedrigen Anzahl der Messungen im Verlauf dieser Arbeit nicht weiter betrachtet.

3.3 Einordnung der Ergebnisse

In diesem Unterkapitel werden die in diesem Kapitel ermittelten Ergebnisse und deren Zustandekommen zusammenfassend aufgeführt. Aufgrund der Beschaffenheit des Datenbestandes der CCRDMT-Datenbank wurden die HALY-Kalkulationen aus Sicht eines durchschnittlichen US-Amerikaners durchgeführt und in der VSL-Kalkulation auf eine Sammlung von Studien aufgebaut, welche größtenteils aus den USA stammen.

In 3.2.1.1 *QALY für Schwerverletzte* und 3.2.1.3 *DALY für Schwerverletzte* wurde ermittelt, welcher Verlust an „Lebenswert“ durchschnittlich durch eine schwere Verletzung entsteht. Dafür wurden jeweils die Lebensqualitäten für Schwerverletzte aus der Studie nach Bauer et al. (2012) für das QALY- und DALY-Modell angepasst. Mithilfe der durchschnittlichen Lebensqualität nach Asada (2005) konnten anschließend die jeweiligen Kalkulationen durchgeführt werden.

In Tabelle 7 sind die errechneten Verlustanteile für Schwerverletzte aufgeführt. In der CCRDMT-Datenbank wird ein Wert von 13,5% des Gesamt-VHL verwendet. Die QALY- und DALY-Verlustwerte ohne und mit Verminderung der Lebenserwartung liegen nah an

diesem Wert. Die Verminderung der Lebenserwartung hat bei der DALY-Kalkulation, aufgrund der dort angewendeten Altersgewichtungsfunktion, einen erheblich geringeren Einfluss im Vergleich zur QALY-Kalkulation.

	CCRDMT	QALY	DALY
Volle Lebenserwartung	13,5%	11,2%	11,9%
Um zwei Jahre verminderte Lebenserwartung		13,6%	12,4%

Tabelle 7: Vergleich des Verlustanteils an der Gesamtsumme des VHL (in der CCRDMT-Datenbank) und an der gesamten gesundheitsbereinigten Lebenszeit (QALY/DALY) nach einer schweren Verletzung bei unveränderter und veränderter Lebenserwartung (eigene Darstellung)

In 3.2.1.2 QALY für Leichtverletzte und 3.2.1.4 DALY für Leichtverletzte wurde ermittelt, welcher Verlust an „Lebenswert“ durchschnittlich durch eine leichte Verletzung entsteht. Da bei leichten Verletzungen weder von einer Verminderung der Lebenserwartung noch von einer auf die gesamte Lebenszeit gewichtige Senkung der Lebensqualität ausgegangen werden kann, liegen dementsprechend keine passenden empirischen Daten für diesen Fall vor. Aus diesen Grund wurde in dieser Arbeit eine Handgelenksverstauchung als Beispiel für die Kalkulationen verwendet.

In Tabelle 8 sind die errechneten Verlustanteile für Leichtverletzte aufgeführt. In der CCRDMT-Datenbank wird ein Wert von 0,99% des Gesamt-VHL verwendet. Die errechneten QALY und DALY-Werte liegen deutlich unter diesem Wert. Begründend dafür war, dass bei HALY-Kalkulationen nur der Schaden, welcher der betroffenen Person im Sinne von geminderter Lebensqualität oder gesenkter Lebenserwartung zugefügt wurde, einkalkuliert wird. Dagegen sind in der CCRDMT-Datenbank weitere Kosten, für die der Verursacher des Schadens aufkommen muss, mit einbezogen. Beispiele dafür sind Krankentransporte, Bergung und Betreuung vor Ort.

	CCRDMT	QALY	DALY
Anteil am Gesamtwert	0,99%	0,03%	0,15%

Tabelle 8: Vergleich des Verlustanteils an der Gesamtsumme des VHL (in der CCRDMT-Datenbank) und der gesamten gesundheitsbereinigten Lebenszeit (QALY/DALY) nach einer Verstauchung des Handgelenkes als Beispiel für eine leichte Verletzung (eigene Darstellung)

Bei der Kalkulation der Personenschäden für Getötete wurden die VHL-Werte der CCRDMT-Daten mit VSL-Werten aus De Blaeij et al. (2003, S. 31) und Andersson & Treich (2011, S. 36) gesammelten Studien verglichen. Die Werte der Studien waren dabei erheblich höher als die in der CCRDMT-Datenbank ermittelten Studien. Nach dem Herausfiltern von Studien, welche mit Methoden geäußerter Präferenzen (gP) durchgeführt wurden, und der ausschließlichen Betrachtung von Studien mit offenbarten Präferenzen (oP) konnte der Wert für die USA gesenkt werden. Dennoch blieb dieser deutlich über dem Niveau des in der CCRDMT-Datenbank verwendeten Wertes. Die Ursache für die erheblich höheren Werte ergibt sich aus den unterschiedlichen methodischen Ansätzen der jeweiligen Wertermittlungen. Eine Übersicht dieser Ergebnisse ist in Tabelle 9 aufgeführt.

	CCRDMT	gP & oP	oP
USA	1.989.434€	5.356.750€	3.883.610€
Ver. Königreich	1.499.181€	5.458.730€	-

Tabelle 9: Vergleich des in der CCRDMT-Datenbank ermittelten VHL-Wertes für die USA und das Vereinigte Königreich mit den in dieser Arbeit ermittelten VSL-Werten (eigene Darstellung).

4 Fazit und Ausblick

Da der Einstieg in den Theorieteil dieser Arbeit durch die in der Gesundheitswirtschaft entstandenen und verwendeten HALY-Modelle erfolgt ist, ergab sich eine besondere Fokussierung auf Personenschäden im eigentlichen Sinne. Es wurden maßgeblich die Schäden betrachtet, welche den jeweiligen Personen zugefügt wurden und nach §249 BGB zur Wiederherstellung des Zustandes vor dem Unfall verpflichten. Weitere Notwendigkeiten, wie Krankentransporte, Bergung, und Betreuung vor Ort sind in den HALY-Konzepten nicht mit einbegriffen, müssen jedoch vom Verursacher als Kosten einkalkuliert werden. Die Höhe dieser Kosten an den Gesamtkosten war maßgeblich entscheidend für den Vergleich der Ergebnisse der HALY-Kalkulationen mit der Kalkulation innerhalb der CCRDMT-Datenbank. Da bei Schwerverletzten die zuvor genannten Nebenkosten bei Personenschäden verhältnismäßig gering ausfallen, liefert die HALY-Kalkulation für Schwerverletzte ähnliche Werte, wie sie in der CCRDMT-Datenbank verwendet werden. Bei Leichtverletzten weichen die HALY-Werte dagegen deutlich ab, da die Nebenkosten einen erheblich höheren Anteil ausmachen. Als Fazit für die Anwendung von HALY-Kalkulationen für die CCRDMT-Datenbank bleibt somit, dass HALYs für die Kalkulation von Schwerverletzten geeignet, für die Kalkulation von Leichtverletzten jedoch ungeeignet sind.

Da in der Literatur eine Vielzahl an Werten für die Berechnung des VSL für Getötete ermittelt wurde, wurde die in Kapitel 2.5.2 vorgestellte VSL-Kalkulation nicht selbst durchgeführt, sondern die in zahlreichen Studien ermittelten Werte miteinander verglichen. Dabei konnten für die USA und das Vereinigte Königreich genügend Werte gesammelt werden, um einen Vergleich mit den VHL-Werten aus der CCRDMT-Datenbank anzustellen. Dieser Vergleich fand zunächst mithilfe aller in dieser Arbeit betrachteten Studien statt, später nur unter Berücksichtigung der Studien, die mit Methoden offener Präferenzen durchgeführt wurden. Auch wenn mit dieser Maßnahme der ermittelte VSL-Wert für die USA gesenkt werden konnten, war dieser Wert weiterhin noch fast doppelt so hoch wie der VHL-Wert der CCRDMT-Datenbank. Dies liegt an den WTP-basierten Methoden zu Durchführung der untersuchten Studien. Folglich kann angenommen werden, dass nach Ansicht der Befragten der Wert eines menschlichen Lebens höher ist, als er in der CCRDMT-Datenbank stellvertretend für Betriebe aus der Eisenbahnbranche kalkuliert wird. Von daher ist das VSL-Modell nur eingeschränkt geeignet. Für

Betriebe, bei denen Kosten für Todesopfer anfallen können, sind Erfahrungswerte über tatsächliche Entschädigungssummen und juristische Rahmenbedingungen von höherer Relevanz als Summen, welche in gesellschaftlichen Studien ermittelt wurden.

Abschließend werden die Ergebnisse dieser Arbeit in Bezug auf die Forschungsfragen aus Kapitel 1.2 zusammengefasst. Zur Beantwortung von „**F 1.1:** Welche Modellarten zur Kalkulation von Personenschäden gibt es?“ wurde in Kapitel 2.1 eine Vielzahl an Alternativen für die Kalkulation von Personenschäden in der CCRDMT-Datenbank ermittelt. Diese Alternativen wurden kurz erläutert und anhand ihrer Merkmale verworfen oder für die weitere Untersuchung ausgewählt.

Die Fragen „**F 1.2:** Welche Modellarten zur Kalkulation von Personenschäden sind für die Eisenbahnunfalldatenbank anwendbar?“ und „**F 1.3:** Welche Unterschiede ergibt die Anwendung der ermittelten Modellarten zur aktuellen Kalkulation?“ wurden inhaltlich verknüpft in den Kapiteln 2.2 bis 2.6 bearbeitet. Eine nicht zu große Abweichung der in dieser Arbeit kalkulierten Ergebnisse zu den in der CCRDMT-Datenbank vorhandenen Werte (F 1.3) war Voraussetzung für eine Vergleichbarkeit, mit welcher sich die grundsätzliche Anwendbarkeit (F 1.2) erst überprüfen ließ. Im Einzelnen ist dafür zusammenzufassen, dass HALY-Modelle für die Kalkulation von Leicht- und Schwerletzten nur den Teilaspekt der Personenschäden im eigentlichen Sinne abdecken. Da dieser Teilaspekt bei Leichtverletzten nur einen Bruchteil der Kosten ausmacht, sind HALY-Modelle für die Kalkulation von Leichtverletzten im Kontext der Datenbank als alleiniges Werkzeug nicht geeignet.

Zur Beantwortung von „**F 1:** Welche Modellarten sind am besten für die Kalkulation von Personenschäden innerhalb der Eisenbahnunfalldatenbank anwendbar?“ können im Gegensatz dazu HALY-Werte für die Kalkulation von Schwerverletzten verwendet werden, da dort die Personenschäden im eigentlichen Sinne den mit Abstand größten Faktor darstellen. Bei VSL- und VHL-Werten für die Kalkulation von Getöteten lagen zu große Unterschiede in der methodischen Art und Weise der jeweiligen Ermittlung, welche zu nicht vergleichbaren Ergebnissen führten.

Mit der Überprüfung der Quantifizierung von Personenschäden innerhalb der Eisenbahnunfalldatenbank und der Ermittlung einer anwendbaren Alternative für die Kalkulation von Schwerverletzten wurde das Forschungsziel dieser Arbeit erreicht. Durch genauere Angaben zu Personenschäden könnten HALY-Kalkulationen für Schwerverletzte individuell exaktere Werte liefern, als es mit der aktuell angewandten Kalkulation möglich ist. Durch Recherchen zu Schmerzensgeld und Nebenkosten von Personenschäden könnte zukünftig auch die Kalkulation von Leichtverletzten mit Unterstützung von HALY-Kalkulationen erfolgen.

5 Literaturverzeichnis

5.1 Literatur

- Alberini, A., Cropper, M., Krupnick, A., & Simon, N. B. (2004). Does the value of a statistical life vary with age and health status? Evidence from the US and Canada. *Journal of Environmental Economics and Management*, 48(1), 769-792.
- Aldy, J. E., & Viscusi, W. K. (2007). Age differences in the value of statistical life: revealed preference evidence. *Review of Environmental Economics and Policy*, 1(2), 241-260.
- Andersson, H. (2005). The value of safety as revealed in the Swedish car market: an application of the hedonic pricing approach. *Journal of Risk and Uncertainty*, 30(3), 211-239.
- Andersson, H. (2007). Willingness to pay for road safety and estimates of the risk of death: Evidence from a Swedish contingent valuation study. *Accident Analysis & Prevention*, 39(4), 853-865.
- Andersson, H., & Treich, N. (2011). 17 The value of a statistical life. *A handbook of transport economics*, 396.
- Asada, Y. (2005). Assessment of the health of Americans: the average health-related quality of life and its inequality across individuals and groups. *Population Health Metrics*, 3(1), 1.
- Ashenfelter, O. (2006). Measuring the Value of a Statistical Life: Problems and Prospects*. *The Economic Journal*, 116(510), C10-C23.
- Atkinson, S. E., & Halvorsen, R. (1990). The valuation of risks to life: evidence from the market for automobiles. *The Review of Economics and Statistics*, 133-136.
- Baker, R. F. (1973). A critical analysis of federal highway safety policy. *Accident Analysis & Prevention*, 5(4), 295-319.
- Bauer, J., Beck, B., Wandl, U. (2012). Gesundheitsbezogene Lebensqualität schwerverletzter Unfallopfer: Eine Längsschnittstudie mit dem SF-36. *Zeitschrift Versicherungsmedizin* 65 Heft 2

- Beattie, J., Covey, J., Dolan, P., Hopkins, L., Jones-Lee, M., Loomes, G., ... & Spencer, A. (1998). On the contingent valuation of safety and the safety of contingent valuation: part 1-caveat investigator. *Journal of Risk and Uncertainty*, 17(1), 5-26.
- Bhattacharya, S., Alberini, A., & Cropper, M. L. (2007). The value of mortality risk reductions in Delhi, India. *Journal of Risk and Uncertainty*, 34(1), 21-47.
- Blomquist, G. (1979). Value of life saving: implications of consumption activity. *The journal of political economy*, 540-558.
- Blomquist, G. C., Miller, T. R., & Levy, D. T. (1996). Values of risk reduction implied by motorist use of protection equipment: new evidence from different populations. *Journal of Transport Economics and Policy*, 55-66.
- Blomquist, G., & Miller, T. (1992). Values of life and time implied by motorist use of protection equipment.
- Card, W. I., & Mooney, G. H. (1977). What is the monetary value of a human life?. *Br Med J*, 2(6103), 1627-1629.
- Carthy, T., Chilton, S., Covey, J., Hopkins, L., Jones-Lee, M., Loomes, G., ... & Spencer, A. (1998). On the contingent valuation of safety and the safety of contingent valuation: Part 2-The CV/SG" chained" approach. *Journal of risk and uncertainty*, 17(3), 187-214.
- Christe, N. G. S. (1995). The valuation of human costs by the contingent method: the Swiss experience. In *Contingent valuation, transport safety and the value of life* (pp. 19-43). Springer Netherlands.
- Cohen, B. L. (1980). Society's valuation of life saving in radiation protection and other contexts. *Health Physics*, 38(1), 35-51.
- Corso, P. S., Hammitt, J. K., & Graham, J. D. (2001). Valuing mortality-risk reduction: using visual aids to improve the validity of contingent valuation. *Journal of risk and Uncertainty*, 23(2), 165-184.
- Cutler, D. M., Richardson, E., Keeler, T. E., & Staiger, D. (1997). Measuring the health of the US population. *Brookings papers on economic activity. Microeconomics*, 1997, 217-282.

- De Blaeij, A., Florax, R. J., Rietveld, P., & Verhoef, E. (2003). The value of statistical life in road safety: a meta-analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 35(6), 973-986.
- Desaigues, B., & Rabl, A. (1995). Reference values for human life: an econometric analysis of a contingent valuation in France. In *Contingent valuation, transport safety and the value of life* (pp. 85-112). Springer Netherlands.
- Dolan, P., Shaw, R., Tsuchiya, A., & Williams, A. (2005). QALY maximisation and people's preferences: a methodological review of the literature. *Health economics*, 14(2), 197-208.
- Donev, D., Zaletel-Kragelj, L., Bjegovic, V., & Burazeri, G. (2010). Measuring the burden of disease: disability adjusted life year (DALY). *METHODS AND TOOLS IN PUBLIC HEALTH*, 30, 715.
- Dreyfus, M. K., & Viscusi, W. K. (1995). Rates of time preference and consumer valuations of automobile safety and fuel efficiency. *Journal of Law and Economics*, 79-105.
- Erickson, Pennifer, Ronald Wilson, and Ildy I. Shannon. "Years of healthy life." (1995): 1-14.
- Frings, S. (2004). Die Zumessung von Schadensersatz und Schmerzensgeld: ein Vergleich von Laien und Experten.
- Ghosh, D., Lees, D., & Seal, W. (1975). Optimal motorway speed and some valuations of time and life. *The Manchester School*, 43(2), 134-143.
- Gmel, G., & Rehm, J. (2006). Zusammenfassende Gesundheitsmaße von Sterblichkeit und Krankheit: Der steinige Weg zwischen PYLL, YLD, DALY and HALE. *Suchttherapie*, 7(04), 143-153.
- Gold, M. R., & Muennig, P. (2002). Measure-dependent variation in burden of disease estimates: implications for policy. *Medical care*, 40(3), 260-266.
- Gold, M. R., Stevenson, D., & Fryback, D. G. (2002). HALYS and QALYS and DALYS, Oh My: similarities and differences in summary measures of population Health. *Annual Review of Public Health*, 23(1), 115-134.

- Hakes, J. K., & Viscusi, W. K. (2007). Automobile seatbelt usage and the value of statistical life. *Southern Economic Journal*, 659-676.
- Hammitt, J. K. (2002). How much is a QALY worth? Admissible utility functions for health and wealth. Harvard Center for Risk Analysis.
- Hansen, P., & Scuffham, P. A. (1995). The cost-effectiveness of compulsory bicycle helmets in New Zealand. *Australian Journal of Public Health*, 19(5), 450-454.
- Hansjürgens, B. (2012). 1.1 Werte der Natur und ökonomische Bewertung—eine Einführung. Der Nutzen von Ökonomie und Ökosystemleistungen für die Naturschutzpraxis, 8.
- Herdman, M., Gudex, C., Lloyd, A., Janssen, M. F., Kind, P., Parkin, D., ... & Badia, X. (2011). Development and preliminary testing of the new five-level version of EQ-5D (EQ-5D-5L). *Quality of life research*, 20(10), 1727-1736.
- Hilbert, J., Fretschner, R., & Dülberg, A. (2002). Rahmenbedingungen und Herausforderungen der Gesundheitswirtschaft. Manuskript. Institut Arbeit und Technik. Gelsenkirchen.
- Hojman, P., de Dios Ortuzar, J., & Rizzi, L. I. (2005). On the joint valuation of averting fatal and severe injuries in highway accidents. *Journal of Safety Research*, 36(4), 377-386.
- Hultkrantz, L., Lindberg, G., & Andersson, C. (2006). The value of improved road safety. *Journal of risk and uncertainty*, 32(2), 151-170.
- Iragüen, P., & de Dios Ortúzar, J. (2004). Willingness-to-pay for reducing fatal accident risk in urban areas: an Internet-based Web page stated preference survey. *Accident Analysis & Prevention*, 36(4), 513-524.
- Jara-Díaz, S. R., Gálvez, T., & Vergara, C. (2000). Social valuation of road accident reductions using subjective perceptions. *Journal of Transport Economics and Policy*, 215-232.
- Jenkins, R. R., Owens, N., & Wiggins, L. B. (2001). Valuing reduced risks to children: the case of bicycle safety helmets. *Contemporary Economic Policy*, 19(4), 397-408.

- Johannesson, M., Johansson, P. O., & O'Connor, R. M. (1996). The value of private safety versus the value of public safety. *Journal of Risk and Uncertainty*, 13(3), 263-275.
- Johansson, P. O. (2002). On the definition and age-dependency of the value of a statistical life. *Journal of Risk and Uncertainty*, 25(3), 251-263.
- Jondrow, J., Bowes, M., & Levy, R. (1983). The optimal speed limit. *Economic Inquiry*, 21(3), 325-336.
- Jones-Lee, M. W., Hammerton, M., & Philips, P. R. (1985). The value of safety: results of a national sample survey. *The Economic Journal*, 95(377), 49-72.
- Jones-Lee, M., Hammerton, M., & Abbott, V. (1987). The value of transport safety: results of a national sample survey.
- Kaplan, R. M., & Anderson, J. P. (1988). A general health policy model: update and applications. *Health services research*, 23(2), 203.
- Kenkel, D. (2006). WTP-and QALY-based approaches to valuing health for policy: common ground and disputed territory. *Environmental & Resource Economics*, 34(3), 419-437.
- Kidholm, K. (1995). Assessing the value of traffic safety using the contingent valuation technique: the Danish survey. In *Contingent valuation, transport safety and the value of life* (pp. 45-61). Springer Netherlands.
- King, C. H., & Bertino, A. M. (2008). Asymmetries of poverty: why global burden of disease valuations underestimate the burden of neglected tropical diseases. *PLoS Negl Trop Dis*, 2(3), e209.
- Landefeld, J. S., & Seskin, E. P. (1982). The economic value of life: linking theory to practice. *American Journal of Public Health*, 72(6), 555-566.
- Lanoie, P., Pedro, C., & Latour, R. (1995). The value of a statistical life: a comparison of two approaches. *Journal of Risk and Uncertainty*, 10(3), 235-257.
- Lawless, L., Drichoutis, A. C., & Nayga Jr, R. M. (2013). Time preferences and health behaviour: a review. *Agricultural and Food Economics*, 1(1), 1-19.

- Lehrner, J., Kalchmayr, R., Serles, W., Olbrich, A., Patarraia, E., Aull, S., ... & Baumgartner, C. (1999). Health-related quality of life (HRQOL), activity of daily living (ADL) and depressive mood disorder in temporal lobe epilepsy patients. *Seizure*, 8(2), 88-92.
- Leiter, A. M., Thöni, M., & Winner, H. (2011). Der „Wert“ des Menschen—eine Ökonomische Betrachtung. na.
- Lopez, A. D., & Murray, C. J. (Eds.). (1996). The global burden of disease: a comprehensive assessment of mortality and disability from diseases, injuries, and risk factors in 1990 and projected to 2020. Harvard School of Public Health.
- Maier, G., Gerking, S., & Weiss, P. (1989). The economics of traffic accidents on Austrian roads: Risk lovers or policy deficit?. *Empirica*, 16(2), 177-192.
- Mathers, C., Fat, D. M., & Boerma, J. T. (2008). The global burden of disease: 2004 update. World Health Organization.
- McDaniels, T. L. (1992). Reference points, loss aversion, and contingent values for auto safety. *Journal of Risk and Uncertainty*, 5(2), 187-200.
- Melinek, S. J. (1974). A method of evaluating human life for economic purposes. *Accident Analysis & Prevention*, 6(2), 103-114.
- Millar, T., & Guria, J. (1991). The value of statistical life in New Zealand; market research on road safety.
- Miller, T. R. (2000). Variations between countries in values of statistical life. *Journal of transport economics and policy*, 169-188.
- Morrall, J.F. III (1986). A Review of the Record. *Regulation* November/December, 25-34.
- Murray, C. J. (1994). Quantifying the burden of disease: the technical basis for disability-adjusted life years. *Bulletin of the World health Organization*, 72(3), 429.
- Murray, C. J., & Lopez, A. D. (1997). Regional patterns of disability-free life expectancy and disability-adjusted life expectancy: Global Burden of Disease Study. *The Lancet*, 349(9062), 1347-1352.

- Murray, C. J., Mathers, C. D., Salomon, J. A., & Lopez, A. D. (2002). Health gaps: an overview and critical appraisal. Summary measures of population health-concepts, ethics, measurement and applications, 233-244.
- Nichol, M. B., Sengupta, N., & Globe, D. R. (2001). Evaluating quality-adjusted life years estimation of the Health Utility Index (HUI2) from the SF-36. *Medical Decision Making*, 21(2), 105-112.
- Nilsson, A. (2014). *The Monetary Value of Human Life*
- Noll, H. H. (2000). Konzepte der Wohlfahrtsentwicklung: Lebensqualität und "neue" Wohlfahrtskonzepte (No. P 00-505). WZB Discussion Paper.
- Persson, U., & Cederwall, M. (1991). The value of risk reduction: results of a swedish sample survey. 3075/3000.
- Persson, U., Norinder, A. L., & Svensson, M. (1995). Valuing the benefits of reducing the risk of non-fatal road injuries: the Swedish experience. In *Contingent valuation, transport safety and the value of life* (pp. 63-83). Springer Netherlands.
- Persson, U., Norinder, A., Hjalte, K., & Gralén, K. (2001). The value of a statistical life in transport: findings from a new contingent valuation study in Sweden. *Journal of Risk and Uncertainty*, 23(2), 121-134.
- Peters, J., Pape, H. C., & Rosch, R. (2013). Eine optimierte Bewertung „Schwerverletzter“ nach Verkehrsunfällen zur Dokumentation von Unfallschwerpunkten (No. RWTH-CONV-143505). Lehrstuhl für Orthopädie und Unfallchirurgie-Schwerpunkt Unfallchirurgie.
- Philipps, C., & Thompson, G. (2001). What is a QALY?
- Reidpath, D. D., Allotey, P. A., Kouame, A., & Cummins, R. A. (2003). Measuring health in a vacuum: examining the disability weight of the DALY. *Health Policy and Planning*, 18(4), 351-356.
- Rice, D. P., & Cooper, B. S. (1967). The economic value of human life. *American Journal of Public Health and the Nations Health*, 57(11), 1954-1966.

- Rizzi, L. I., & de Dios Ortúzar, J. (2003). Stated preference in the valuation of interurban road safety. *Accident Analysis & Prevention*, 35(1), 9-22.
- Robberstad, B. (2005). QALYs vs DALYs vs LYs gained: What are the differences, and what difference do they make for health care priority setting?. *Norsk epidemiologi*, 15(2).
- Rushby, J. F., & Hanson, K. (2001). Calculating and presenting disability adjusted life years (DALYs) in cost-effectiveness analysis. *Health policy and planning*, 16(3), 326-331.
- Salomon, J. A., Haagsma, J. A., Davis, A., de Noordhout, C. M., Polinder, S., Havelaar, A. H., ... & Murray, C. J. (2015). Disability weights for the Global Burden of Disease 2013 study. *The Lancet Global Health*, 3(11), e712-e723.
- Sassi, F. (2006). Calculating QALYs, comparing QALY and DALY calculations. *Health policy and planning*, 21(5), 402-408.
- Schwab Christe, N. G. (1995). *Contingent Valuation, Transport Safety and the Value of Life*
- Statistisches Bundesamt (2015) Verkehrsunfälle. Fachserie 8 Reihe 7
- Statistisches Bundesamt (2016) Zahl der Verkehrstoten 2015 um 2,9 % gestiegen. Pressemitteilung vom 25. Februar 2016 – 060/16
- Stouthard, M. E., Essink-Bot, M. L., & Bonsel, G. J. (2000). Disability weights for diseases. *The European Journal of Public Health*, 10(1), 24-30.
- Szende, A., & Williams, A. (Eds.). (2004). *Measuring self-reported population health: an international perspective based on EQ-5D*. SpringMed publishing.
- Tsuchiya, A., & Dolan, P. (2005). The QALY model and individual preferences for health states and health profiles over time: a systematic review of the literature. *Medical Decision Making*, 25(4), 460-467.
- Van Hout, B., Janssen, M., et al. (2012). Interim scoring for the EQ-5D-5L: Mapping the EQ-5D-5L to EQ-5D-3L value sets. *Value in Health*, 708-715.

- Vassanadumrongdee, S., & Matsuoka, S. (2005). Risk perceptions and value of a statistical life for air pollution and traffic accidents: evidence from Bangkok, Thailand. *Journal of Risk and Uncertainty*, 30(3), 261-287.
- Viscusi, W. K., & Aldy, J. E. (2003). The value of a statistical life: a critical review of market estimates throughout the world. *Journal of risk and uncertainty*, 27(1), 5-76.
- Viscusi, W. K., Magat, W. A., & Huber, J. (1990). 'Pricing environmental risks: survey assessment of risk-risk and risk-dollar trade-offs for chronic bronchitis'. *Journal of Environmental Economics and Management* 21.
- Viscusi, W. K., Magat, W. A., & Huber, J. (1991). Pricing environmental health risks: survey assessments of risk-risk and risk-dollar trade-offs for chronic bronchitis. *Journal of Environmental economics and management*, 21(1), 32-51.
- Vismara, L. (2013). Ersatzleistung für Personenschäden in Europa im Vergleich. *Claims Focus*, Januar 2014.
- Winston, C., & Mannering, F. (1984). Consumer demand for automobile safety. *The American Economic Review*, 74(2), 316-319.
- Zeckhauser, R., & Shepard, D. (1976). Where now for saving lives?. *Law and contemporary problems*, 40(4), 5-45.
- Zhang, H. (2013). Schadensersatz bei Tötung, Körper-und Gesundheitsverletzung im deutschen und chinesischen Recht. Kovac.

5.2 Online-Quellen

- CCRDMT. (06.09.2016). CCRDMT. Universität Koblenz-Landau. URL: <https://www.uni-koblenz-landau.de/de/zifet/kompetenzzentren/ccrdmt>. Abgerufen am: 06.09.2016
- Gabler Wirtschaftslexikon. (05.09.2016). Zeitpräferenz. URL: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/73976/zeitpraeferenz-v7.html>. Abgerufen am: 05.09.2016
- Handelsblatt. (24.03.2016). Gedenken an das Unfassbare. *Handelsblatt*. URL: <http://www.handelsblatt.com/panorama/aus-aller-welt/jahrestag->

germanwings-katastrophe-gedenken-an-das-unfassbare/13364554.html.

Abgerufen am: 26.04.2016

Health Utilities Inc. (01.12.2014). Multi-Attribute Health Status Classification System:

Health Utilities Index Mark 2 (HUI2). Health Utilities Inc. URL:

<http://www.healthutilities.com/hui2.htm>. Abgerufen am: 09.08.2016

Krohn, P. (11.02.2016). Juristen prüfen Schadensersatzansprüche. FAZ. URL:

<http://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/unternehmen/zugunglueck-von-bad-aibling-14064990.html>. Abgerufen am: 26.04.2016

Maxwill, P. (13.04.2016). Zuganglück von Bad Aibling: Weiteres Opfer erliegt schweren

Verletzungen. Spiegel. URL: <http://www.spiegel.de/panorama/bad-aibling-nach-zugunglueck-stirbt-weiteres-opfer-a-1086985.html>. Abgerufen am:

26.04.2016

Probst, N. (19.02.2016). Zuganglück: Die Ursache ist bekannt - dennoch bleiben Fragen

offen. Merkur. URL: <http://www.merkur.de/bayern/zugunglueck-bad-aibling-rosenheim-meridian-offene-fragen-fakten-antworten-6108306.html>. Abgerufen

am: 26.04.2016

Statistisches Bundesamt II. (16.08.2016). Durchschnittliche fernere Lebenserwartung in

den Bundesländern bei Geburt und im Alter von 60 Jahren. Statistisches

Bundesamt. URL:

<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Bevoelkerung/Steuerbefaelle/Tabellen/LebenserwartungBundeslaenderZeitreiheMaennlich.html>.

Abgerufen am: 16.08.2016

Witte, J. (23.03.2016). Germanwings-Katastrophe: Trauerfeier für Angehörige der

Absturzopfer in Marseille. Spiegel. URL:

<http://www.spiegel.de/panorama/germanwings-katastrophe-angehoerige-von-opfern-trauern-in-marseille-a-1083907.html>. Abgerufen am: 26.04.2016

Danksagung

Ich bedanke mich herzlich bei Prof. Dr. von Korflesch für die Möglichkeit meine Bachelorarbeit in seiner Arbeitsgruppe schreiben zu dürfen.

Mathias Linden danke ich für die intensive Betreuung und lehrreiche Gespräche über das wissenschaftliche Arbeiten.

Zudem danke ich den Kommilitonen in der ED-School, die stets bereit waren, meine Fragen zur Unfalldatenbank zu beantworten und mir benötigte Daten zur Verfügung zu stellen.

Besonderer Dank gilt meinen Eltern, die mir die Möglichkeit gegeben haben, die Arbeit in einer ruhigen Atmosphäre verfassen zu können und mich während meines gesamten Studiums unterstützt haben.

Meiner Freundin Kathy danke ich für die Unterstützung in der Zeit der Entstehung dieser Arbeit und das Lektorat.