



Weltgesundheitsorganisation

REGIONALBÜRO FÜR Europa



Gesundheitsökonomisches Bewertungsinstrument (HEAT) für Gehen und für Radfahren

**Methodik und Benutzeranleitung für Bewertungen der Auswirkungen
von körperlicher Betätigung, Luftverschmutzung, Verletzungen und
Kohlenstoffemissionen**





Die Ausgabe von 2017 dieser Veröffentlichung wurde zum Teil durch das Projekt Physical Activity through Sustainable Transport Approaches (PASTA) unterstützt, das vom Siebten Rahmenprogramm der Europäischen Union unter EG-GA Nr. 602624-2 (FP7-HEALTH-2013-INNOVATION-1) finanziert wird. Die in dieser Veröffentlichung zum Ausdruck gebrachten Ansichten dürfen keinesfalls dahingehend interpretiert werden, dass sie die offizielle Meinung der Europäischen Union widerspiegeln.

Für die deutsche Übersetzung dieser Veröffentlichung stellte das Schweizer Bundesamt für Gesundheit freundlicherweise Fördermittel bereit.



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit



MINISTERIUM
FÜR EIN
LEBENSWERTES
ÖSTERREICH



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra



Gesundheitsökonomisches Bewertungsinstrument (HEAT) für Gehen und für Radfahren

Methodik und Benutzeranleitung für Bewertungen der Auswirkungen von körperlicher Betätigung, Luftverschmutzung, Verletzungen und Kohlenstoffemissionen

Sonja Kahlmeier, Universität Zürich, Schweiz

Thomas Götschi, Universität Zürich, Schweiz

Nick Cavill, Cavill Associates, Vereinigtes Königreich

Alberto Castro Fernandez, Universität Zürich, Schweiz

Christian Brand, Universität Oxford, Vereinigtes Königreich

David Rojas Rueda, ISGlobal (Instituto de Salud Global de Barcelona), Spanien

James Woodcock, Institute of Public Health, Cambridge, Vereinigtes Königreich

Paul Kelly, Universität Edinburgh, Vereinigtes Königreich

Christoph Lieb, EcoPlan, Bern, Schweiz

Pekka Oja, UKK-Forschungsinstitut für Gesundheitsförderung, Finnland

Charlie Foster, Universität Bristol, Vereinigtes Königreich

Harry Rutter, London School of Hygiene and Tropical Medicine, Vereinigtes Königreich

Francesca Racioppi, WHO-Regionalbüro für Europa

Schlüsselwörter

BICYCLING
WALKING
TRANSPORTATION METHODS – ECONOMICS
HEALTH ECONOMICS
COST-BENEFIT ANALYSIS – METHODS
DATA COLLECTION – METHODS
EUROPE

ISBN 9789289052931

© Weltgesundheitsorganisation 2018

Alle Rechte vorbehalten. Das Regionalbüro für Europa der Weltgesundheitsorganisation begrüßt Anträge auf Genehmigung zur teilweisen oder vollständigen Reproduktion oder Übersetzung seiner Veröffentlichungen.

Die in dieser Publikation benutzten Bezeichnungen und die Darstellung des Stoffes beinhalten keine Stellungnahme seitens der Weltgesundheitsorganisation bezüglich des rechtlichen Status eines Landes, eines Territoriums, einer Stadt oder eines Gebiets bzw. ihrer Regierungs-/Verwaltungsinstanzen oder bezüglich des Verlaufs ihrer Staats- oder Gebietsgrenzen. Gestrichelte Linien auf Karten bezeichnen einen ungefähren Grenzverlauf, über den möglicherweise noch keine vollständige Einigkeit besteht.

Die Erwähnung bestimmter Firmen oder Erzeugnisse bedeutet nicht, dass diese von der Weltgesundheitsorganisation unterstützt, empfohlen oder gegenüber ähnlichen, nicht erwähnten bevorzugt werden. Soweit nicht ein Fehler oder Versehen vorliegt, sind die Namen von Markenartikeln als solche kenntlich gemacht.

Die Weltgesundheitsorganisation hat alle angemessenen Vorkehrungen getroffen, um die in dieser Publikation enthaltenen Informationen zu überprüfen. Dennoch wird die Veröffentlichung ohne irgendeine explizite oder implizite Gewähr herausgegeben. Die Verantwortung für die Deutung und den Gebrauch des Materials liegt bei der Leserschaft. Die Weltgesundheitsorganisation schließt jegliche Haftung für Schäden aus, die sich aus dem Gebrauch des Materials ergeben. Die von den Autoren, Redakteuren oder Expertengruppen geäußerten Ansichten sind nicht unbedingt Ausdruck der Beschlüsse oder der erklärten Politik der Weltgesundheitsorganisation.

Anfragen zu Veröffentlichungen des WHO-Regionalbüros für Europa richten Sie bitte an:

Publications
WHO Regional Office for Europe
UN City, Marmorvej 51
DK-2100 Kopenhagen Ø, Dänemark

Oder füllen Sie auf der Website des Regionalbüros für Europa ein Online-Formular für Dokumentation/Information bzw. die Genehmigung zum Zitieren/Übersetzen aus (<http://www.euro.who.int/PubRequest?language=German>).

Inhalt

Mitwirkende und Danksagung	vi
HEAT-Module für Straßenverkehrsunfälle und Kohlenstoffemissionen sowie aktualisierte Version von 2017 (HEAT 4.0) (2016–2017)	vii
Entwicklung des HEAT-Moduls für Luftverschmutzung (2014–2015)	viii
1 Einführung	1
1.1 Zusammenfassung der für die Entwicklung von HEAT genutzten Durchsichten des Erkenntnisstandes.	5
2 Anleitung zur ökonomischen Bewertung der Auswirkungen von Gehen und Radfahren auf die Gesundheit und die Kohlenstoffemissionen	11
2.1 Zusammenhang zwischen körperlicher Betätigung und Gesundheit	11
2.2 Zusammenhang zwischen Luftverschmutzung und Gesundheit	12
2.3 Erforderliche Zeit bis zur Messbarkeit der Auswirkungen auf die Gesundheit und die Luftverschmutzung	14
2.4 Auswirkungen von Straßenverkehrsunfällen.	14
2.5 Zusammenhänge zwischen körperlicher Betätigung zur Fortbewegung, Luftverschmutzung und Straßenverkehrsunfällen	16
2.6 Auswirkungen von Veränderungen der Kohlenstoffemissionen	16
2.7 Sterblichkeit oder Morbidität?	18
2.8 Alter und Geschlecht.	19
2.9 Statischer Ansatz oder Sterbetafelansatz	20
2.10 Daten zu Gehen und Radfahren.	20
2.11 Zeitspanne, bis im eingegebenen Umfang Wege zu Fuß oder mit dem Fahrrad zurückgelegt werden	20
2.12 Substitution einer Tätigkeitsform durch eine andere.	20
2.13 Kostenansatz.	21
2.14 Diskontierung	22
2.15 Sensitivitätsanalyse.	22
3 Wie HEAT funktioniert: Einführung	23
3.1 Allgemeine Grundsätze	23
3.2 Zielgruppen	23
3.3 Wofür kann HEAT verwendet werden?	24
3.4 Wofür sollte HEAT nicht verwendet werden?	24
3.5 Wie funktioniert HEAT?	25



3.6	Ansätze zur Gesundheitsfolgenabschätzung und zur vergleichenden Risikobewertung in HEAT	27
3.7	Welche Daten werden benötigt?	31
3.8	Eingabedaten zum Umfang von Radfahren oder Gehen	33
3.9	Bewertung körperlicher Betätigung in HEAT	35
3.10	Bewertung der Luftverschmutzung in HEAT	38
3.11	Bewertung von Straßenverkehrsunfällen in HEAT	42
3.12	Bewertung von Kohlenstoffemissionen in HEAT	46
3.13	Vorgabe- und Hintergrundwerte für Berechnungen mit HEAT	53
3.14	Datenanpassungen innerhalb von HEAT	60
3.15	Ökonomische Bewertung der Resultate	65
3.16	Annahmen	67
4	Schritt-für-Schritt-Benutzeranleitung	71
4.1	Zugriff auf HEAT	71
4.2	Benutzung von HEAT in fünf Schritten	71
	Quellenangaben	79



Mitwirkende und Danksagung

Das gesundheitsökonomische Bewertungsinstrument (HEAT) wurde ausgehend von einer Idee von Harry Rutter, London School of Hygiene and Tropical Medicine (Vereinigtes Königreich), entwickelt. Es basiert auf den Grundsätzen von HEAT für Radfahren, das zuerst 2007 veröffentlicht wurde.

Dieses mehrstufige unbefristete Projekt wird von der WHO koordiniert, von einer Kerngruppe multidisziplinärer Experten geleitet und von ad hoc eingeladenen einschlägigen internationalen Experten aus verschiedenen Disziplinen unterstützt, die freundlicherweise Beiträge zur Entwicklung und Aktualisierung des Instrumentes leisten (siehe auch die Danksagungen für die verschiedenen Projektphasen rechts). Die Zugehörigkeiten einiger der Teilnehmer haben sich während des Projekts geändert; aufgeführt sind die Zugehörigkeiten zum jeweiligen Zeitpunkt der Mitwirkung.

Projektkerngruppe

- Harry Rutter, London School of Hygiene and Tropical Medicine, Vereinigtes Königreich
- Francesca Racioppi, WHO-Regionalbüro für Europa
- Sonja Kahlmeier, Universität Zürich, Schweiz
- Thomas Götschi, Universität Zürich, Schweiz
- Nick Cavill, Cavill Associates, Vereinigtes Königreich
- Paul Kelly, Universität Edinburgh, Vereinigtes Königreich
- Christian Brand, Universität Oxford, Vereinigtes Königreich

- David Rojas Rueda, ISGlobal (Instituto de Salud Global de Barcelona), Spanien
- James Woodcock, Institute of Public Health, Cambridge, Vereinigtes Königreich
- Christoph Lieb und Heini Sommer, Ecoplan, Schweiz
- Pekka Oja, UKK-Forschungsinstitut für Gesundheitsförderung, Finnland
- Charlie Foster, Universität Bristol, Vereinigtes Königreich

Internationale Experten

Karim Abu-Omar, Lars Bo Andersen, Hugh Ross Anderson, Finn Berggren, Olivier Bode, Tegan Boehmer, Nils-Axel Braathen, Hana Bruhova-Foltynova, Fiona Bull, Dushy Clarke, Andy Cope, Baas de Geus, Audrey de Nazelle, Ardine de Wit, Hywell Dinsdale, Rune Elvik, Mark Fenton, Jonas Finger, Francesco Forastiere, Richard Fordham, Virginia Fuse, Eszter Füzeki, Frank George, Regine Gerike, Eva Gleissenberger, George Georgiadis, Anna Goodman, Maria Hagströmer, Mark Hamer, Eva Heinen, Thiago Herick de Sa, Marie-Eve Heroux, Max Herry, Gerard Hoek, Luc Int Panis, Nicole Iroz-Elardo, Meleckidzedek Khayesi, Michal Krzyzanowski, I-Min Lee, Christoph Lieb, Brian Martin, Markus Maybach, Irina Mincheva Kovacheva, Hanns Mooshammer, Marie Murphy, Nanette Mutrie, Bhash Naidoo, Daisy Narayanan, Mark Nieuwenhuijsen, Åse Nossun, Laura Perez, Randy Rzewnicki, David Rojas Rueda, Gabe Rousseau, Candace Rutt, Kjartan Saelensminde, Elin Sandberg, Alexander Santacreu, Lucinda Saunders, Daniel Sauter, Peter Schantz, Tom Schmid, Christoph Schreyer, Christian Schweizer, Peter Schnohr, Nino Sharashidze, Jan Sørensen, Joe Spadaro, Gregor Starc, Dave Stone, Marko Tainio,

Robert Thaler, Miles Tight, Sylvia Titze, Wanda Wendel Vos, Paul Wilkinson, Mulugeta Yilma.

Software-Entwicklung und -Design: Tomasz Szreniawski (Leitung), Ali Abbas, Alberto Castro Fernandez, Vicki Copley, Duy Dao, Hywell Dinsdale.

Eine vollständige Liste der Danksagungen für alle Phasen der Entwicklung des gesundheitsökonomischen Bewertungsinstruments (HEAT) findet sich auf der Website (<http://www.heatwalkingcycling.org>).

HEAT-Module für Straßenverkehrsunfälle und Kohlenstoffemissionen sowie aktualisierte Version von 2017 (HEAT 4.0) (2016–2017)

Hauptautoren

- Thomas Götschi, Universität Zürich, Schweiz
- Alberto Castro Fernandez, Universität Zürich, Schweiz
- Christian Brand, Universität Oxford, Vereinigtes Königreich
- James Woodcock, Universität Cambridge, Vereinigtes Königreich
- Sonja Kahlmeier, Universität Zürich, Schweiz

Software-Entwicklung und -Design: Tomasz Szreniawski (Leitung), Ali Abbas, Alberto Castro Fernandez, Vicki Copley

Fotos:

Titel: JANIFEST/iStock/Thinkstock
Seite v: william87/iStock/Thinkstock
Seite 1: Lanski/iStock/Thinkstock
Seite 6: kasto80/iStock/Thinkstock
Seite 9: WHO/Nicoletta di Tanno
Seite 11: Jupiterimages/Pixland/Thinkstock
Seite 15: chris-mueller/iStock/Thinkstock

Seite 23: Vergani_Fotografia/iStock/Thinkstock
Seite 34: alex742109/iStock/Thinkstock
Seite 39: naumoid/iStock/Thinkstock
Seite 64: Jupiterimages/PHOTOS.com/Thinkstock
Seite 71: Connel_Design/iStock/Thinkstock
Seite 75: oneinchpunch/iStock/Thinkstock

Projektkerngruppe

- Harry Rutter, London School of Hygiene and Tropical Medicine, Vereinigtes Königreich
- Francesca Racioppi, WHO-Regionalbüro für Europa
- Sonja Kahlmeier, Universität Zürich, Schweiz
- Thomas Götschi, Universität Zürich, Schweiz
- Nick Cavill, Cavill Associates, Vereinigtes Königreich
- Alberto Castro Fernandez, Universität Zürich, Schweiz
- James Woodcock, Universität Cambridge, Vereinigtes Königreich
- Paul Kelly, Universität Edinburgh, Vereinigtes Königreich
- Christian Brand, Universität Oxford, Vereinigtes Königreich
- David Rojas Rueda, ISGlobal (Instituto de Salud Global de Barcelona), Spanien
- Christoph Lieb und Heini Sommer, Ecoplan, Schweiz
- Christian Schweizer, WHO-Regionalbüro für Europa
- Pekka Oja, UKK-Forschungsinstitut für Gesundheitsförderung, Finnland

- Charlie Foster, Universität Bristol, Vereinigtes Königreich

Internationale Beratungsgruppe

- Andy Cope, Sustrans, Vereinigtes Königreich
- Bas De Geus, Freie Universität Brüssel, Belgien
- Audrey de Nazelle, Imperial College London, Vereinigtes Königreich
- Rune Elvik, Transportøkonomisk institutt, Norwegen
- Frank George, WHO-Regionalbüro für Europa
- Anna Goodman, London School of Hygiene & Tropical Medicine, Vereinigtes Königreich
- Thiago Herick de Sa, Melekidzedek Khayesi und Pierpaolo Mudu, Weltgesundheitsorganisation
- Eva Heinen, Universität Leeds, Vereinigtes Königreich
- Nicole Iroz-Elardo, Urban Design 4 Health, Rochester, NY, Vereinigte Staaten von Amerika
- Michal Krzyzanowski, Berater, Polen
- Daisy Narayanan, Sustrans, Vereinigtes Königreich
- Randy Rzewnicki, European Cyclists' Federation, Belgien
- Alexandre Santacreu, International Transport Forum, Frankreich
- Lucinda Saunders, Greater London Authority/Transport for London, Vereinigtes Königreich
- Nino Sharashidze, Berater, Georgien

- Jan Sørensen, Royal College of Surgeons, Irland

- Joe Spadaro, Berater, Spanien
- Marko Tainio, Universität Cambridge, Vereinigtes Königreich
- Miles Tight, Universität Birmingham, Vereinigtes Königreich
- George Georgiadis und Virginia Fuse, Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa

Danksagung

Die Aktualisierung von HEAT für Radfahren und Gehen von 2017 wurde zum Teil durch das Projekt Physical Activity through Sustainable Transport Approaches (PASTA) (<http://pastaproject.eu>) unterstützt, das vom Siebten Rahmenprogramm der Europäischen Union unter EG-GA Nr. 602624-2 (FP7-HEALTH-2013-INNOVATION-1) finanziert wird.

Der 5. Konsens-Workshop (28./29. März 2017, Kopenhagen (Dänemark)) wurde von Michal Krzyzanowski, Berater, (Polen) geleitet und von der Universität Zürich (Schweiz) unterstützt.

Entwicklung des HEAT-Moduls für Luftverschmutzung (2014–2015)

Hauptautoren

- David Rojas Rueda, Centre de Recerca en Epidemiologia Ambiental, Spain
- Audrey Nazelle, University College London, Vereinigtes Königreich
- Sonja Kahlmeier, Universität Zürich, Schweiz
- Christian Schweizer, WHO-Regionalbüro für Europa

Projektkerngruppe

- Harry Rutter, London School of Hygiene and Tropical Medicine, Vereinigtes Königreich
- Francesca Racioppi, WHO-Regionalbüro für Europa
- Sonja Kahlmeier, Universität Zürich, Schweiz
- Christian Schweizer, WHO-Regionalbüro für Europa
- Nick Cavill, Cavill Associates, Vereinigtes Königreich
- Hywell Dinsdale, Berater, Vereinigtes Königreich
- Thomas Götschi, Universität Zürich, Schweiz
- James Woodcock, Institute of Public Health, Cambridge, Vereinigtes Königreich
- Paul Kelly, Universität Oxford und Universität Edinburgh, Vereinigtes Königreich
- Christoph Lieb und Heini Sommer, Ecoplan
- Pekka Oja, UKK-Forschungsinstitut für Gesundheitsförderung, Finnland
- Charlie Foster, Universität Oxford, Vereinigtes Königreich
- Tegan Boehmer, Centers for Disease Control and Prevention, Vereinigte Staaten von Amerika
- Francesco Forastiere, Azienda Sanitaria Locale RME, Rom, Italien
- Eszter Füzeki, Johann Wolfgang Goethe-Universität, Deutschland
- Gerard Hoek, Universität Utrecht, Niederlande
- Frank George, WHO-Regionalbüro für Europa
- Marie-Eve Heroux, WHO-Regionalbüro für Europa
- Luc Int Panis, VITO, Belgien
- Michal Krzyzanowski, King's College London, Vereinigtes Königreich
- David Rojas Rueda, Centre de Recerca en Epidemiologia Ambiental, Spanien
- Laura Perez, Schweizerisches Tropen- und Public-Health-Institut, Schweiz
- Marko Tainio, Universität Cambridge, Vereinigtes Königreich

Internationale Beratungsgruppe

- Karim Abu-Omar, Universität Erlangen, Deutschland
- Hugh Ross Anderson, St George's University of London, Vereinigtes Königreich
- Oliver Bode, University College London, Vereinigtes Königreich

Danksagungen

Das deutsche Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit unterstützte die Entwicklung des Luftverschmutzungsmoduls von HEAT und die Ausgabe dieser Veröffentlichung von 2015. Der 4. Konsens-Workshop (11./12. Dezember 2014, Bonn (Deutschland)) wurde von Michal Krzyzanowski, King's College London, geleitet und von der Universität Zürich (Schweiz) unterstützt.



Einführung

Bewegungsmangel ist in den meisten Regionen der Welt ein schwerwiegendes öffentliches Gesundheitsproblem, das sich nur schwerlich ausschließlich über die klassischen Ansatzpunkte zur Gesundheitsförderung wie organisierte Formen von Sport oder Bewegung in der Freizeit lösen lassen. Radfahren und Gehen zu fördern, ist ein vielversprechender Weg zu mehr körperlicher Betätigung, weil sich diese Fortbewegungsarten leichter in den vollgepackten Tagesablauf von Menschen integrieren lassen als beispielsweise zusätzliche Bewegung in der Freizeit. Es ist auch ein Ansatz mit allseitigem Nutzen: Es ist nicht nur gesundheitsfördernd, sondern kann auch positive Auswirkungen auf die Umwelt haben, insbesondere wenn Radfahren und Gehen kurze Autofahrten ersetzen. Diese Formen körperlicher Betätigung sind auch praktischer für Bevölkerungsgruppen, für die Sport entweder aufgrund körperlicher Beeinträchtigungen nicht möglich ist oder aus wirtschaftlichen, sozialen oder kulturellen Gründen keine zugängliche Freizeitaktivität darstellt. Im Stadtverkehr in der Europäischen Region der WHO gibt es ein großes Potenzial für aktive Fortbewegung, weil viele Wege kurz sind und gut zu Fuß oder mit dem Fahrrad zurückgelegt werden können. Dies erfordert jedoch wirksame

Partnerschaften mit den Sektoren für Verkehr und Stadtplanung, deren Maßnahmen wichtige Triebkräfte für die Schaffung geeigneter und sicherer Bedingungen dafür sind, dass solche Verhaltensänderungen stattfinden. Mehrere internationale grundsatzpolitische Rahmenkonzepte haben dies anerkannt, so auch der Aktionsplan zur Prävention und Bekämpfung nichtübertragbarer Krankheiten in der Europäischen Region der WHO (1). Als eine der Maßnahmen zur Bewegungsförderung durch aktive Fortbewegung in allen Altersgruppen schlägt der Aktionsplan eine Fokussierung auf die Planung und Gestaltung geeigneter Mobilitätskonzepte und Verkehrsinfrastruktur vor. Die 2016 angenommene Strategie der Europäischen Region der WHO zur Bewegungsförderung enthält ein konkretes Ziel zur Reduzierung des Autoverkehrs und zur Verbesserung der Fahrrad- und Fußgängerfreundlichkeit (2). In der Erklärung von Paris: „Stadt in Bewegung – zuerst die Menschen!“, die 2014 auf der Vierten Hochrangigen Tagung Verkehr, Gesundheit und Umwelt angenommen wurde, wird die Förderung von Konzepten und Maßnahmen, die gesundheitsförderliche und sichere Verkehrsmittel einschließlich Gehen und Radfahren begünstigen, als ein vorrangiges Ziel genannt.



Fortbewegung ist ein unentbehrlicher Teil des Lebens und eine Grundlage für die Bereitstellung des Zugangs zu Waren und Dienstleistungen. Unterschiedliche Fortbewegungsarten haben bestimmte Auswirkungen auf die Gesellschaft einschließlich Auswirkungen auf die Gesundheit und die Umwelt sowie wirtschaftlicher Auswirkungen. Die umfassende Bewertung dieser Auswirkungen ist eine wichtige Voraussetzung für evidenzbasierte Politikgestaltung. Die ökonomische Bewertung ist etablierte Praxis in der Verkehrsplanung. Techniken zur Ermittlung des ökonomischen Werts des gesundheitlichen Nutzens von Radfahren und Gehen wurden in der Vergangenheit jedoch weniger systematisch angewendet als die Ansätze, die für die Bewertung der anderen Vor- und Nachteile von Verkehrsinterventionen oder neuer Infrastruktur verwendet werden.

Die Bewertung gesundheitlicher Auswirkungen ist ein komplexes Unterfangen, und Verkehrsplaner sind häufig nicht gut dafür gerüstet, den damit zusammenhängenden methodischen Komplexitäten angemessen Rechnung zu tragen. Einige Länder in der Europäischen Region der WHO wie die im Nordischen Rat zusammengeschlossenen (Dänemark, Finnland, Island, Norwegen und Schweden) haben wegweisende Bemühungen zur Bewertung der Gesamtvor- und Nachteile von Verkehrsinfrastruktur unter Berücksichtigung gesundheitlicher Auswirkungen unternommen, und es wurden Leitlinien für die Durchführung solcher Bewertungen entwickelt. Dennoch blieben wichtige Fragen.

Dieses Projekt begann 2005 und zielte auf die Entwicklung von Leitlinien und praktischen Instrumenten für ökonomische Bewertungen der gesundheitlichen Auswirkungen von Radfahren und von Gehen. Es wird von der WHO koordiniert, von einer Kerngruppe multidisziplinärer Experten geleitet und von ad hoc

eingeladenen einschlägigen internationalen Experten unterstützt.¹ Hauptprodukt des Projekts ist das gesundheitsökonomische Bewertungsinstrument (HEAT) für Gehen und Radfahren, eine vereinheitlichte Methodik für die ökonomische Bewertung der gesundheitsförderlichen Wirkung von Radfahren und Gehen auf der Grundlage der besten verfügbaren Erkenntnisse und eines Konsenses internationaler Experten (Abb. 1).

Fünf Projektphasen wurden durchgeführt, die die Entwicklung von Leitlinien und eines praxisorientierten Instruments für die ökonomische Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen (a) von Gehen und (b) von Radfahren zum Ziel hatten. Als Ergebnisse wurden methodische Leitlinien (3) und ein gesundheitsökonomisches Bewertungsinstrument (*Health Economic Assessment Tool* – HEAT) für Radfahren (4) vorgelegt (Erstveröffentlichung 2007, offizielle Einführung 2009). 2011 wurden eine aktualisierte Online-Version von HEAT für Radfahren und HEAT für Gehen (5) veröffentlicht. 2014 wurde HEAT für Gehen und Radfahren ein weiteres Mal aktualisiert (6). 2015 wurde ein optionales Modul zur Bewertung der Auswirkungen von Luftverschmutzung auf Radfahrer und Fußgänger ausgearbeitet (7). 2017 wurde die jüngste Version von HEAT eingeführt, die optionale Module für Luftverschmutzung, Straßenverkehrsunfälle und die Auswirkungen auf Kohlenstoffemissionen sowie eine neue Benutzerschnittstelle umfasst (8).

Eine Projektkerngruppe, die eng mit Beratungsgruppen aus internationalen Experten zusammenarbeitete (siehe die Liste der Mitwirkenden weiter oben), leitete die Durchführung der Projekte. Mit der Intention, auf ein interdisziplinäres Spektrum an Erfahrungen und Fachkompetenz, unter anderem aus den Bereichen Gesundheit und

¹ Die vollständigen Listen können unter www.heatwalkingcycling.org eingesehen werden.



Abb. 1: Übersicht über den Entwicklungsprozess von HEAT



Epidemiologie, Luftverschmutzung, Kohlenstoffemissionen, Straßenverkehrssicherheit, Gesundheitsökonomie, Verkehrsökonomie, Praxis und/oder Förderarbeit sowie Politikgestaltung und -umsetzung zurückgreifen zu können, wurden diese Experten sorgfältig ausgewählt. Mit dem Paneuropäischen Programm Verkehr, Gesundheit und Umwelt (THE PEP) und HEPA Europa (dem europäischen Netzwerk für gesundheitsförderliche Bewegung) wurde ebenfalls eng zusammengearbeitet.

Der Entwicklungsprozess von HEAT folgt den folgenden Hauptschritten:

Auf der Grundlage dieses Ansatzes gab es folgende zentrale Projektschritte.

Die Projektkerngruppe beauftragte systematische Durchsichten (a) von veröffentlichten ökonomischen Bewertungen von Verkehrsprojekten einschließlich einer Bewegungskomponente (2007 (9) und 2010), (b) von epidemiologischer Literatur zur gesundheitsförderlichen Wirkung von Radfahren und Gehen, insbesondere zum Zweck der Fortbewegung, (2010 und 2013) (10) und (c) von der Belastung durch Luftverschmutzung während des Radfahrens oder Gehens (11). Zu Ansätzen für die Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen von Straßenverkehrsunfällen von Radfahrern und Fußgängern und für die Bewertung der Auswirkungen der Substitution motorisierter Fortbewegung auf kurzen Strecken durch Gehen oder Radfahren auf die Kohlenstoffemissionen



wurden zielgerichtete Literaturdurchsichten vorgenommen (12).

Die Kerngruppe erörterte die Resultate dieser Durchsichten und verwendete sie, um Optionen und Leitlinien für stärker vereinheitlichte Methoden vorzuschlagen.

Entwürfe für methodische Leitlinien und vorgeschlagene Optionen für ein praxisbezogenes Instrument für Radfahren und Gehen wurden entwickelt.

Um die Herbeiführung eines wissenschaftlichen Konsenses über die vorgeschlagenen Optionen in den Entwürfen methodischer Leitlinien für die Weiterentwicklung von HEAT zu fördern, fanden 2007, 2010, 2013, 2014 und 2016 internationale Konsenstagungen mit Beratungsgruppen zum jeweiligen Thema statt.

Auf der Basis der auf den Tagungen angenommenen Empfehlungen, weiterer bilateraler Diskussionen mit Mitgliedern der Beratungsgruppe und ausführlicher Erprobung neuer Zwischenversionen von HEAT in Pilotprojekten durch zusätzliche Experten wurden die Produkte für jede Projektphase gebilligt. Zu diesen zählten: ein Leitliniendokument (3), ein Online-Instrument für Gehen und Radfahren (6) (auf der Grundlage einer früheren Excel-basierten Version ausschließlich für Radfahren (4)) und mehrere Versionen dieser Veröffentlichung zur Methodik/der Benutzeranleitung (5,13). Die wissenschaftlichen Veröffentlichungen umfassen eine systematische Durchsicht der ökonomischen Literatur (9), eine Veröffentlichung zu Anwendungen von HEAT für Radfahren (14) und eine Veröffentlichung zur ursprünglichen Methodik von HEAT für Radfahren (15).

Die vorliegende Veröffentlichung stellt eine Zusammenfassung dieser Produkte dar. Die wichtigsten Ergebnisse systematischer Durchsichten

der ökonomischen und gesundheitsbezogenen Literatur sowie ausgewählter Literatur zum Thema Luftverschmutzung werden nachstehend kurz zusammengefasst. Kapitel 1 stellt die wichtigsten Schlussfolgerungen zur Methodik für die ökonomische Bewertung von Verkehrsinfrastruktur und Konzepte zur Berücksichtigung der gesundheitlichen Auswirkungen von Gehen und Radfahren unter Berücksichtigung der Auswirkungen von Luftverschmutzung und Verletzungen sowie der Auswirkungen auf die Kohlenstoffemissionen vor.

Die in den Leitlinien aufgeführten Prinzipien wurden bei einem internetgestützten praxisbezogenen Berechnungsinstrument angewendet, das zeigt, wie die Methodik zur Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen von Gehen beziehungsweise Radfahren genutzt werden kann. Kapitel 2 beschreibt die wichtigsten Prinzipien und Ansätze sowie potenzielle Beschränkungen des Ansatzes. Das Instrument ist online verfügbar (8). Wenn Sie in erster Linie nach Informationen zur Anwendung von HEAT suchen, können Sie unmittelbar zu Kapitel 3 weitergehen und dann Kapitel 4 lesen, das eine kurze Benutzeranleitung mit Anweisungen für HEAT für Gehen und Radfahren enthält. Weitere Informationen, Hinweise und Tipps können online eingesehen werden (www.euro.who.int/HEAT oder unmittelbar unter www.heat-walkingcycling.org).

Das Wissen über die gesundheitsförderliche Wirkung von Radfahren und Gehen wächst rasch. Diese Projekte sind erste wichtige Schritte auf dem Weg zu vereinbarten harmonisierten Methoden. Bei der Entwicklung dieses Instruments trafen die Beratungsgruppen wiederholt Expertenentscheidungen auf der Grundlage der besten verfügbaren Informationen und Erkenntnisse. Die Genauigkeit der Ergebnisse von HEAT-Berechnungen sollte deshalb ähnlich wie viele andere ökonomische Bewertungen



gesundheitlicher Auswirkungen als Schätzungen der Größenordnung betrachtet werden. In dem Maß, in dem neues Wissen verfügbar wird, werden weitere Verbesserungen vorgenommen werden.

Vorschläge zur weiteren Verbesserung des Instruments und zur Maximierung seiner Benutzerfreundlichkeit sind willkommen und können gerichtet werden an: heat@euro.who.int.

1.1 Zusammenfassung der für die Entwicklung von HEAT genutzten Durchsichten des Erkenntnisstandes

1.1.1 Ökonomische Literatur

Als Grundlage für die Entwicklung der ersten Version von HEAT für Radfahren wurden 2007 in Zusammenarbeit mit dem Nationalen Institut für Gesundheit und Klinische Exzellenz (NICE) im Vereinigten Königreich ökonomische Analysen von Projekten zu Radfahren und Gehen systematisch durchgesehen (9,16). Ziele dieser Unternehmung waren:

- durch Fachkonsultationen und maßgeschneiderte Literaturrecherche einschlägige Veröffentlichungen zu ermitteln;
- die Ansätze zur Berücksichtigung von gesundheitlichen Auswirkungen von Verkehrsinterventionen in ökonomischen Analysen und Projekten zu überprüfen; und
- auf der Grundlage der bis dahin entwickelten Ansätze Empfehlungen für die Weiterentwicklung einer harmonisierten Methodik abzugeben.

Insgesamt wurden 16 Veröffentlichungen berücksichtigt. Als Teil der Arbeit an der Entwicklung von HEAT für Gehen und der Aktualisierung von HEAT für Radfahren im Jahr 2010 wurde diese systematische Durchsicht aktualisiert,

und es wurden acht weitere Fachaufsätze zu diesem Thema hinzugenommen, die seit 2006 veröffentlicht wurden (16). Die aktualisierte Durchsicht bestätigte weitgehend die Ergebnisse der ersten Durchsicht: Die Methoden waren uneinheitlich, die Transparenz begrenzt, und sie stützten sich auf zahlreiche Annahmen. Wie schon in Bezug auf die vorherige Durchsicht beschrieben, wurde die gesundheitsförderliche Wirkung von Radfahren und Gehen in den meisten Fällen aus der Literatur über die körperliche Betätigung insgesamt abgeleitet, was Annahmen dahingehend erforderlich machte, dass die gesundheitsförderliche Wirkung von Radfahren und Gehen äquivalent mit anderen Formen körperlicher Betätigung ist und dass keine Substitution von körperlicher Betätigung stattfand (das heißt in Bezug auf die Beziehung zwischen beobachtetem Gehen oder Radfahren und körperlicher Betätigung insgesamt).

Man kam zu dem Schluss, dass die aktualisierte Literaturdurchsicht die Entwicklung von HEAT für Gehen unter Verwendung eines ähnlichen Ansatzes wie bei HEAT für Radfahren unterstützte: auf der Grundlage eines relativen Gesamtsterberisikos bei Radfahrern oder Fußgängern, verglichen mit Personen, die nicht Rad fahren oder zu Fuß gehen, und mit Schätzung des Wertes des verringerten Risikos von Fußgängern und Radfahrern basierend auf dem Wert eines statistischen Lebens (WSL). Auf der Konsenstagung von 2013 wurde dieser allgemeine Ansatz bestätigt (17).

Der von HEAT verwendete WSL basiert auf einer umfassenden Durchsicht von der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) 2012 veröffentlichter WSL-Studien (18) die in Abschnitt 3.15.1 näher beschrieben wird.

1.1.2 Epidemiologische Literatur

Die aussagekräftigste Evidenz zu den Auswirkungen von Radfahren auf die Sterblichkeit





waren zum Zeitpunkt des ersten Projekts die Daten in Bezug auf das relative Risiko aus zwei kombinierten Kohortenstudien aus Kopenhagen (4,5,19). Diese Untersuchung umfasste 7000 20- bis 60-jährige Teilnehmer, die für einen Zeitraum von durchschnittlich 14,5 Jahren beobachtet wurden. Sie ergab ein relatives Gesamtsterberisiko bei Pendlern, die regelmäßig für 180 Minuten wöchentlich das Fahrrad benutzten, von 0,72 (95%-Konfidenzintervall (KI): 0,57 - 0,91), verglichen mit Pendlern, die nicht mit dem Rad fahren.

2013 wurde eine neue systematische Durchsicht zum verringerten relativen Gesamtsterberisiko infolge regelmäßigen Radfahrens oder Gehens durchgeführt (10). Sieben Studien zu Radfahren (aus China, Dänemark, Deutschland und dem Vereinigten Königreich) und 14 Studien zu Gehen (aus China, Dänemark, Deutschland, Japan, dem Vereinigten Königreich und den Vereinigten Staaten) erfüllten die Berücksichtigungskriterien. Eine Metaanalyse wurde durchgeführt, bei der die Resultate dieser Studien zusammengeführt wurden. Auf der Grundlage dieser Metaanalyse verwendet HEAT ein relatives Risiko von 0,90 für Radfahren (entsprechend 100 Minuten Radfahren pro Woche als gemeinsamem Belastungsniveau, was bedeutet, dass der empfohlene Umfang von mindestens 150 Minuten körperlicher Aktivität mäßiger Intensität pro Woche erreicht wird (20)) und von 0,89 für Gehen (entsprechend 170 Minuten Gehen), bei Anwendung einer linearen Dosis-Wirkungskurve und damit einer konstanten absoluten Risikominderung. Nähere Informationen enthält Abschnitt 3.4.

1.1.3 Literatur über Luftverschmutzung

Um die Belastung von Radfahrern oder Fußgängern durch die Luftverschmutzung berechnen zu können, muss die Luftverschmutzung am Untersuchungsort definiert werden. HEAT geht davon aus, dass ein bestimmter Anteil

der Bevölkerung seine Fortbewegungsart von einem (unbekannten) durchschnittlichen (nicht aktiven) Fortbewegungsverhalten zu Gehen oder Radfahren verändert (siehe Abschnitt 3.10). Wie auch in epizootologischen Studien zu den gesundheitlichen Auswirkungen der Luftverschmutzung angenommen wird, sollte dem HEAT-Modell die Annahme zugrunde gelegt werden, dass dieses durchschnittliche Fortbewegungsverhalten mit der städtischen Hintergrundbelastung durch Luftverschmutzung korrespondiert. Um Umrechnungsfaktoren zwischen Hintergrundluftverschmutzung und der daraus resultierenden Belastung beim Gehen oder Radfahren abzuleiten, wurden Studien durchgesehen, in denen Radfahren oder Gehen und Hintergrundkonzentrationen untersucht sowie die Konzentrationen von Feinstaub mit einem aerodynamischen Durchmesser von 2,5 µm oder weniger (PM_{2,5}) geschätzt wurden (7,11).

Zehn Studien, bei denen verschiedene Fortbewegungsarten gemessen wurden, darunter zumindest Gehen oder Radfahren in einem simultanen oder quasi simultanen Design, wurden berücksichtigt. Die Daten aus diesen Studien wurden vereinheitlicht, um quantitative Synthesen der Schätzungen zu ermöglichen. Auf der Grundlage dieser Studie unterstützte die HEAT-Beratungsgruppe für die Hintergrundbelastung einen Umrechnungsfaktor von 2,0 für Radfahren und von 1,6 für Gehen; für Kfz wurde er vereinfachend auf 2,5 festgelegt (siehe Abschnitt 3.10).

Eine Erwägung in Bezug auf die Entwicklung eines separaten Luftverschmutzungsmodell für HEAT betraf die mögliche Doppelzählung der gesundheitlichen Auswirkungen der Luftverschmutzung durch die Verwendung von Schätzungen für das relative Risiko, die aus der Metaanalyse von Studien zu Gehen und Radfahren abgeleitet würden, die bereits Auswirkungen der Luftverschmutzung enthalten, weil



die Sterblichkeit aufgrund irgendeiner Ursache als ein Gesundheitsergebnis verwendet wird (10). Um diesen Aspekt weiter zu untersuchen, wurden die Auswirkungen der Luftverschmutzung auf die relativen Risiken in den in der Metaanalyse berücksichtigten Studien zu Gehen oder Radfahren berechnet (7). Die Veränderung des relativen Gesamtsterberisikos und des relativen Sterberisikos aufgrund körperlicher Betätigung im Zusammenhang mit $PM_{2,5}$ während körperlicher Betätigung in dem von jeder Belastungsgruppe gemeldeten Umfang betrug bei allen berücksichtigten Studien weniger als 5%. Um Schätzungen der unterschiedlichen Auswirkungen von körperlicher Betätigung und Luftverschmutzung in HEAT zu ermöglichen, wird unabhängig davon ein um die Auswirkungen der Luftverschmutzung bereinigtes relatives Risiko für körperliche Betätigung verwendet, wenn die Benutzer die Module für sowohl körperliche Betätigung als auch Luftverschmutzung wählen (siehe Abschnitt 3.9.2).

1.1.4 Literatur zu Straßenverkehrsunfällen

Zur Vorbereitung der Entwicklung des HEAT-Moduls zu Straßenverkehrsunfällen wurde 2016 eine informatorische Literaturdurchsicht mit dem Ziel vorgenommen, die verschiedenen Ansätze zur Bestimmung der gesundheitlichen Auswirkungen von Straßenverkehrsunfällen auf Radfahren auf der Grundlage von Belastungsmessgrößen zu bewerten (12). Die Literaturdurchsicht konzentrierte sich auf Gesundheitsfolgenuntersuchungen, die in neueren Durchsichten (21,22) und Studien aus der Zeit ab 2009 (23–31) ermittelt worden waren, wobei angenommen wurde, dass die gesammelten Veröffentlichungen frühere Literatur ausreichend berücksichtigen.

Als ein Ergebnis der informatorischen Literaturdurchsicht wurden auf einer Tagung der HEAT-Kerngruppe im November 2016 vier Ansätze zur Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen von Radunfällen als mögliche

methodische Ansätze für das HEAT-Modul für Straßenverkehrsunfälle geprüft. Diese werden nachstehend in der Reihenfolge steigender Komplexität beschrieben (12).

- A. Basisansatz.** Gesundheitliche Auswirkungen würden berechnet, indem eine von HEAT vorgegebene allgemeine Risikoschätzung zu Straßenverkehrsunfällen mit einem vom Benutzer eingegebenen Expositionsmaß für den untersuchten Anwendungsfall multipliziert würde. Dieser Ansatz ist mit dem geringsten Berechnungsaufwand verbunden, könnte aber für die Bewertung lokaler Radfahrprojekte zu ungenau sein.
- B. Erweiterter Basisansatz.** Um eine genauere Bewertung lokaler Radfahrprojekte zu ermöglichen, würde dieser Ansatz zusätzlich zum Basisansatz auch Risikoschätzungen für bestimmte Infrastruktur aus der verfügbaren Literatur (32) berücksichtigen. Die größte Schwierigkeit besteht bei diesem Ansatz darin, genug und ausreichend robuste Schätzungen des relativen Risikos von Infrastruktur aus der Literatur zu bekommen.
- C. Nichtlinearer Ansatz.** Dieser Ansatz (der bisweilen auch als Sicherheit-in-der-Masse-Effekt bezeichnet wird) basiert auf dem Basisansatz und/oder dem Erweiterten Basisansatz, sieht jedoch die Möglichkeit vor, eine Risikoänderung im Zeitverlauf anzuwenden (27,33,34). Zu den Gründen für diesen Effekt könnte zählen, dass das Bewusstsein von Autofahrern für Radfahrer zunimmt und sie sich stärker an Letztere gewöhnen, mehr Autofahrer selbst Rad fahren und die Lobbyarbeit für Radfahren größere Wirkung erzielt. Unabhängig davon können Infrastruktur- und andere Sicherheitsverbesserungen eine Rolle spielen. Somit könnten Benutzer von HEAT die von HEAT vorgegebene Risikoschätzung für Straßenverkehrsunfälle





anpassen (verringern), wenn sich die Exposition im Lauf der Zeit ändert: das heißt bei der Bewertung der Vorher/Nachher-Nutzung.

D. Interaktionsansatz. In Studien, die diesen Ansatz anwenden, werden Interaktionseffekte zwischen der Zahl der Radfahrer und der Zahl der Kfz untersucht und Koeffizienten verwendet, um die Modellgleichung entsprechend den örtlichen Umständen zu bestimmen. Dieser Ansatz könnte konzeptionell der sinnvollste sein. Er erfordert jedoch mehr und anspruchsvolle Eingabedaten vom Benutzer (zu Fahrrad- und Kfz-Nutzung) und beträchtlichen Forschungsaufwand zur Ableitung lokaler Parameter als Grundlage für das Modell ähnlich früheren Studien (23,30).

Entsprechend dem Ziel von HEAT, robuste Schätzungen gesundheitlicher Auswirkungen zu liefern und gleichzeitig möglichst geringe Anforderungen an den Benutzer in Bezug auf die Eingabedaten zu stellen, schlug die HEAT-Kerngruppe vor, Ansatz A (den Basisansatz) in Kombination mit Ansatz C (nichtlinearer Ansatz für Vorher/Nachher-Bewertungen) weiterzuverfolgen. Auf der HEAT-Konsenstagung wurde dieser Vorschlag 2017 angenommen (35).

1.1.5 Literatur zu den Auswirkungen auf die Kohlenstoffemissionen

Während der Vorbereitung der Entwicklung eines HEAT-Moduls zu der Frage, wie sich die Substitution motorisierter Fortbewegung durch Gehen oder Radfahren auf die Kohlenstoffemissionen² auswirkt, wurde festgestellt, dass trotz der Verfügbarkeit mehrerer internationaler,

² Der Begriff Kohlenstoffemissionen wird hier als Oberbegriff für vom Menschen verursachte Treibhausgasemissionen mit Bedeutung für den Landverkehr verwendet: Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Distickstoffmonoxid (N₂O). Die zusammengefasste Kennzahl des CO₂-Äquivalents (CO₂e) aggregiert den Treibhauseffekt dieser drei Treibhausgase, gemittelt über einen Zeithorizont von 100 Jahren, zu einer Kennzahl (bei Landverkehr besteht CO₂e aus ~99% CO₂).

nationaler und lokaler Instrumente und Methoden zur Abschätzung der Auswirkungen von Verkehrskonzepten und -plänen auf die Kohlenstoffemissionen (CURB der Weltbank (36); COPERT4 der Europäischen Umweltagentur (37); die WebTAG-Leitlinien zur Bewertung von Verkehrsmaßnahmen des Vereinigten Königreichs (38); das verkehrsbezogene Kohlenstoffmodell des Vereinigten Königreichs (39); EmiTRANS für Spanien (40)), Techniken zur vorrangigen Bestimmung des ökonomischen Werts von Interventionen zur Verringerung der Kohlenstoffemissionen durch Gehen und Radfahren nicht gut entwickelt sind (41,42).

Wegen des Mangels an Literatur zu den Auswirkungen von Gehen und Radfahren auf die Kohlenstoffemissionen wurde keine formelle Durchsicht vorgenommen. Sachdienliche Ansätze wurden jedoch zusammengefasst und im November 2016 der HEAT-Kerngruppe vorgestellt (12). Weil es keinen vereinbarten methodischen Ansatz zur Übernahme in HEAT

gab, wurde angeregt, dem vorgeschlagenen Ansatz die folgenden drei Hauptschritte zugrunde zu legen:

- Bewertung der Änderung der Fortbewegungsart von motorisierter Fortbewegung zu aktiver Fortbewegung (oder umgekehrt);
- Bewertung der Kohlenstoffemissionen von aufgebener motorisierter Fortbewegung und intensiverem Gehen und Radfahren; und
- Bestimmung des ökonomischen Werts der sozialen Auswirkungen von Veränderungen der Kohlenstoffemissionen.

Für jeden der Schritte wurden mögliche Ansätze erörtert. Ein Ansatz zur Weiterentwicklung und Vorstellung auf der HEAT-Konsenstagung im Jahr 2017 (43) wurde angenommen. Die HEAT-Konsenstagung unterstützte den Gesamtansatz (35), und für jeden der Schritte wurde die Methodik vereinbart (siehe Abschnitt 3.7).



2

Anleitung zur ökonomischen Bewertung der Auswirkungen von Gehen und Radfahren auf die Gesundheit und die Kohlenstoffemissionen

Dieses Kapitel fasst die zentralen methodischen Aspekte der ökonomischen Bewertung der Auswirkungen von Gehen und Radfahren auf die Gesundheit und die Kohlenstoffemissionen zusammen. In diesem Rahmen bietet es Optionen und Leitlinien für eine stärker vereinheitlichte Methodik für die ökonomische Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen von Gehen und Radfahren.

2.1 Zusammenhang zwischen körperlicher Betätigung und Gesundheit

In epidemiologischen Studien werden Beziehungen zwischen unterschiedlichen Kategorien oder Graden der Exposition und Gesundheitsergebnissen beschrieben. So kann ein Vergleich zwischen Personen mit Bewegungsmangel und Personen, die über eine bestimmte Schwelle (von beispielsweise 150 Minuten körperlicher Betätigung pro Woche) körperlich aktiv sind, zeigen, dass körperlich aktive Personen gesünder sind. Man ist sich jedoch weitgehend einig, dass zwischen körperlicher Betätigung und den meisten Gesundheitsergebnissen ein kontinuierlicher Dosis-Wirkungs-Zusammenhang besteht, das

heißt, mehr körperliche Betätigung resultiert in zusätzlichem gesundheitlichem Nutzen (20,44). Dies wurde auch in Studien nachgewiesen, die konkret auf Gehen oder Radfahren ausgerichtet waren (10,45,46).

Die Entwicklung einer Methode zur Quantifizierung der gesundheitlichen Auswirkungen aktiver Fortbewegung erfordert die Berücksichtigung eines Dosis-Wirkungs-Zusammenhangs. Für viele gesundheitliche Ergebnisse ist die genaue Form der Kurve noch ungewiss (44). Für die Sterblichkeit kann jedoch aus der Literatur geschlossen werden, dass sie mit großer Wahrscheinlichkeit nichtlinear ist (28,47–49). Als Teil des Prozesses zur Aktualisierung von HEAT in 2013/14 durchgeführte Metaanalysen zum Gesamtsterberisiko sowie zu Gehen und Radfahren (10) unterstützten dieses Ergebnis (siehe Abschnitt 3.9.2). Sie zeigten jedoch auch, dass Unterschiede zwischen verschiedenen Dosis-Wirkungs-Kurven gering waren und eine lineare Funktion die Daten gut darstellen würde.

Bei Verwendung einer linearen Dosis-Wirkungs-Funktion muss der Benutzer nicht den



Ausgangswert der körperlichen Betätigung seiner Probanden kennen, und es kann eine konstante Risikominderung über den Bereich der Exposition angewendet werden, für die eine schrittweise Verringerung des Sterberisikos beobachtet werden kann. Deshalb wurde dieser Ansatz für HEAT übernommen (siehe Abschnitte 3.1. und 3.4). Ein Ansatz auf der Grundlage einer nichtlinearen Beziehung könnte als Teil zukünftiger Aktualisierungen von HEAT angenommen werden, wenn geeignete Daten zur Ausgangsintensität körperlicher Betätigung in unterschiedlichen Untersuchungsgesamtheiten verfügbar sind, sodass Vorgabewerte für HEAT bestimmt werden können.

Idealerweise sollten Bewertungen die Verteilung körperlicher Betätigung in der Untersuchungsgesamtheit berücksichtigen. Insbesondere sollten die Ergebnisse der Modellierung des Nutzens von Gehen oder Radfahren in Gruppen, die überproportional bewegungsarme oder sehr aktive Personen enthalten, behutsam interpretiert werden, weil diese zu einer kleinen Überschätzung des Nutzens bei bereits aktiven Bevölkerungsgruppen und zu einer kleinen Unterschätzung bei weniger aktiven führen könnte.

Einige begrenzte Erkenntnisse lassen darauf schließen, dass ein engerer Zusammenhang zwischen der wahrgenommenen Intensität (Geschwindigkeit) des Gehens und dem gesundheitlichen Nutzen besteht als zwischen der zurückgelegten Weglänge und dem gesundheitlichen Nutzen (46,50). In diesen Studien wurden jedoch keine Korrekturen zur Berücksichtigung der körperlichen Verfassung der Teilnehmer oder der tatsächlich zurückgelegten Weglänge vorgenommen, und die Bewertung ihrer relativen Bedeutung bleibt schwierig. Generell könnte die Berücksichtigung der Geschwindigkeit, mit der zu Fuß gegangen oder Rad gefahren wird, zu einer genaueren Bewertung des gesundheitlichen

Nutzens führen, beispielsweise durch Unterscheidung zwischen den unterschiedlichen Geschwindigkeiten von Gehen und Radfahren in der Freizeit und zum Zweck der Fortbewegung; dies würde jedoch auch in komplizierteren Modellen und zusätzlichen Ungewissheiten resultieren. HEAT berücksichtigt weder Unterschiede der Geschwindigkeit (oder Intensität) von Gehen und Radfahren noch die Möglichkeit, dass der gesundheitliche Nutzen der gleichen zu Fuß oder mit Fahrrad zurückgelegten Weglänge bei weniger gut trainierten Personen größer und bei besser trainierten Personen kleiner sein kann.

2.2 Zusammenhang zwischen Luftverschmutzung und Gesundheit

Für körperliche Betätigung besteht weitgehend Einigkeit über einen kontinuierlichen Dosis-Wirkungs-Zusammenhang zwischen Luftverschmutzung und gesundheitlichen Ergebnissen wie Sterblichkeit aufgrund irgendeiner Ursache. Die Dosis-Wirkungs-Funktion scheint nichtlinear zu sein und am höheren Ende der Dosis-Wirkungs-Kurve – also bei stärkerer Verschmutzung – abzuflachen (51). Für Anwendungen in Kontexten mit seltener Extrembelastung wie in der Europäischen Region beschloss die HEAT-Beratungsgruppe, dass eine lineare Dosis-Wirkungs-Funktion eine akzeptable Vereinfachung darstellt, sodass über das gesamte Belastungsspektrum ein konstantes Risiko angewendet werden kann (7).

Die eingeatmete Dosis wird verwendet, um die Veränderung des relativen Risikos der Nutzung einer aktiven Fortbewegungsart im Vergleich zu einem Referenzszenario (beispielsweise zu Hause zu bleiben) zu schätzen. Um dieses Risiko zu schätzen, werden ein relatives Risiko und eine Dosis-Wirkungs-Funktion aus epidemiologischen Langzeitstudien zur Belastung durch Luftverschmutzung sowie ein gesundheitliches Ergebnis verwendet. Dies basiert auf der Annahme, dass die Untersuchungsgesamtheit

der Wirkungsanalyse zu derjenigen der zugrunde liegenden epidemiologischen Studien passt, die die Dosis-Wirkungs-Funktion liefern, beispielsweise in Bezug auf das Belastungsspektrum sowie auf Demografie, Gesundheitsmerkmale und Anfälligkeit für die Belastung. Diesbezüglich können die folgenden Aussagen getroffen werden:

- Bei jüngeren und gesünderen Personen ist die Wahrscheinlichkeit größer, dass sie aktive Fortbewegungsarten wählen, und sie könnten auch weniger anfällig für die schädlichen Auswirkungen der Luftverschmutzung sein.
- Im Gegensatz dazu können Personen mit bereits bestehenden Herz-Kreislauf- oder Atemwegserkrankungen – die bei körperlicher Aktivität schneller auf Luftverschmutzung reagieren als Personen ohne Symptome (52,53) – weniger motiviert sein, zu Fuß zu gehen oder Rad zu fahren.

Solange jedoch keine konkreten durch Luftverschmutzung bedingten relativen Risiken für solche aktiveren Gruppen (Fußgänger oder Radfahrer) verfügbar sind, scheint es eine sinnvolle Annäherung zu sein, ein relatives Risiko aus Langzeitstudien in der Allgemeinbevölkerung zu verwenden, die schließlich sowohl aktivere als auch weniger aktive Personen umfasst. Bei dieser Annahme kommt es jedoch wahrscheinlich zu einer Überschätzung der erwarteten gesundheitlichen Auswirkungen der Luftverschmutzung.

Gleichzeitig können Partikel aus Kfz toxischer als die allgemeine Hintergrundluftverschmutzung sein (54,55), was zu einer Unterschätzung der Auswirkungen führen würde (24). Außerdem hängt die Luftschadstoffdosis auch von der konkreten gewählten Route und der Entfernung zum Hauptverkehrsstrom ab (56,57). Wenn Daten verfügbar sind, kann dies bei der Analyse der gesundheitlichen Auswirkungen der Luftverschmutzung

berücksichtigt werden. Bei der Analyse auf der Grundlage des durchschnittlichen täglichen Umfangs von Gehen oder Radfahren (beispielsweise für HEAT) ist ein Mix von alltäglichem Radfahr- und Gehverhalten auf unterschiedlichen Routen durch eine Stadt oder ein Land eine sinnvolle Annahme.

Bei der Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen von Luftverschmutzung können die unmittelbaren Auswirkungen auf Radfahrer und Fußgänger und/oder die häufig beträchtlichen Auswirkungen der Verringerung der Luftverschmutzung durch die Substitution von motorisierter Fortbewegung durch Gehen und Radfahren bestimmt werden (21,24). Bei Bewertungen sollte angegeben werden, ob beide Auswirkungen berücksichtigt werden oder ob sie sich nur auf die unmittelbaren Auswirkungen auf Fußgänger oder Radfahrer konzentrieren (wie dies bei HEAT der Fall ist).

Luftverschmutzung ist eine Mischung von Stoffen und Partikeln, denen vielfältige negative gesundheitliche Auswirkungen zugeschrieben werden. Um zu bewerten, wie sich Luftverschmutzung auf Fußgänger und Radfahrer auswirkt, könnten verschiedene Luftschadstoffe untersucht werden. Die Konzentration von $PM_{2,5}$ wird verwendet, um die gesundheitlichen Auswirkungen von Luftverschmutzung abzuschätzen, weil ein großer Bestand an Erkenntnissen, vor allem aus Kohortenstudien, die Quantifizierung der Auswirkungen der Langzeitbelastung auf die Sterblichkeit und die Morbidität unterstützt (58-60).

Bei einem alternativen Ansatz wird die besser verfügbare jährliche durchschnittliche Konzentration von PM_{10} verwendet und ein international anerkannter Umrechnungsfaktor angewendet, um die Konzentration von $PM_{2,5}$ zu schätzen.

Obwohl $PM_{2,5}$ ein etablierter Indikator in Studien zur Luftverschmutzung ist, zeigen Erkenntnisse,

dass Feinstaub in einem weniger direkten Zusammenhang mit Straßenverkehrsemissionen steht als andere Schadstoffe wie elementarer Kohlenstoff, Ruß oder ultrafeine Partikel (61). Letztere können also ebenfalls verwendet werden, um zu bewerten, wie sich die Luftverschmutzung auf Fußgänger und Radfahrer auswirkt. Weil Daten zu diesen Indikatoren weniger leicht verfügbar sind, ist es für internationale Bewertungen häufig praktikabler und im Einklang mit vielen Arten der Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen der Luftverschmutzung, Daten zu Feinstaub zu verwenden (35).

2.3 Erforderliche Zeit bis zur Messbarkeit der Auswirkungen auf die Gesundheit und die Luftverschmutzung

Die epidemiologische Evidenz zur gesundheitsförderlichen Wirkung von körperlicher Betätigung (20,44) impliziert, dass ökonomische Analysen für gewohnheitsmäßiges Verhalten in Bezug auf Gehen und Radfahren durchgeführt werden sollten.

Zwischen einer Intensivierung der körperlichen Betätigung und messbarem gesundheitlichem Nutzen wird es einen zeitlichen Abstand geben. Auf der Grundlage eines Expertenkonsenses wurde als eine sinnvolle Annahme eingestuft, dass es fünf Jahre dauert, bis eine solche „neu angeregte körperliche Betätigung“ volle Wirkung zeitigt, bei einer Zunahme des Nutzens um 20% pro Jahr.

Fünf Jahre wurde auch als sinnvolle und wahrscheinlichste konservative Annahme für die Zeitspanne eingestuft, bis sich die Auswirkungen von Luftverschmutzung auf die Sterblichkeit niederschlagen.

2.4 Auswirkungen von Straßenverkehrsunfällen

Gestützt auf die verfügbare Literatur (12) können die Auswirkungen von Straßenverkehrsunfällen

auf Fußgänger und Radfahrer auf der Grundlage eines der vier folgenden Ansätze oder einer Kombination davon bewertet werden:

- eines Basisansatzes mit Multiplikation einer lokalen (oder allgemeinen) Risikoschätzung für Straßenverkehrsunfälle mit einem Expositionsmaß (Umfang von Gehen oder Radfahren) für den untersuchten Anwendungsfall;
- eines Basisansatzes plus Infrastruktur, bei dem zusätzlich zum Basisansatz Risikoschätzungen für bestimmte Infrastruktur, beispielsweise aus der Literatur oder aus lokalen Daten, berücksichtigt werden;
- eines nichtlinearen Ansatzes zur Berücksichtigung einer Veränderung des Straßenverkehrsunfallrisikos, beispielsweise durch sicherere Infrastruktur oder andere Effekte (auch bezeichnet als Sicherheit-in-der-Masse-Effekt) (34); und
- eines Interaktionsansatzes, bei dem Interaktionseffekte zwischen der Zahl der Fahrräder und der Zahl der Kfz untersucht und Koeffizienten verwendet werden, um die Modellgleichung entsprechend den örtlichen Umständen zu bestimmen.

Jeder Ansatz impliziert einen unterschiedlichen Grad der Komplexität und damit des Aufwands in der Form von vom Benutzer bereitzustellenden Eingabedaten (zu Radfahren und Kfz-Nutzung) sowie des Forschungsaufwands zur Ableitung lokaler Parameter als Grundlage des Modells. Der Basisansatz ist mit den geringsten Anforderungen an die Benutzer verbunden (und wurde deshalb als Grundlage für den HEAT-Ansatz ausgewählt; siehe Abschnitt 3.11). Er gestattet jedoch keine Bewertungen auf der Projektebene (subkommunale oder bestimmte Arten von Infrastruktur), die in hohem Maß kontextspezifische Daten erfordern.



Straßenverkehrsunfälle, in die Fußgänger und Radfahrer verwickelt sind, können zu Verletzungen und zu Sterblichkeit führen. Bei lokalen Bewertungen sollten idealerweise beide Auswirkungen berücksichtigt werden, weil Verletzungen beträchtliche gesundheitliche Folgen (und Kosten) nach sich ziehen können. Meldelücken, insbesondere betreffend kleinere Verletzungen, beeinträchtigen jedoch die Genauigkeit solcher Bewertungen; es sollte erwogen werden, diesem Effekt Rechnung zu tragen. Auswirkungen von Verletzungen zu berücksichtigen, ist besonders angebracht, wenn die positiven gesundheitlichen Auswirkungen von Gehen und Radfahren auf Krankheiten und Verletzungen in die Bewertung einbezogen werden, um die Überschätzung des gesundheitlichen Nutzens von Gehen und Radfahren zu vermeiden.

In Bezug auf die internationale Ebene kam die 5. HEAT-Konferenz zu dem Schluss, dass der Mangel an vergleichbaren Daten zum Geh- und Radfahrverhalten und fehlende international standardisierte Ansätze zu Definitionen und zur Erhebung von Daten zu Verletzungen infolge Straßenverkehrsunfällen es noch nicht gestatten, nicht tödliche Verläufe zu berücksichtigen.

2.5 Zusammenhänge zwischen körperlicher Betätigung zur Fortbewegung, Luftverschmutzung und Straßenverkehrsunfällen

Die gesundheitlichen Auswirkungen von Fortbewegung umfassen nicht nur die positiven Auswirkungen körperlicher Betätigung, sondern auch die möglichen negativen Auswirkungen der Belastung durch Luftverschmutzung und der Exposition gegenüber dem Straßenverkehrsunfallrisiko. Bei umfassenden Bewertungen der gesundheitlichen Auswirkungen von Verkehrsinterventionen sollten die möglichen Interaktionen zwischen den positiven Auswirkungen körperlicher Betätigung in der Form

aktiver Fortbewegung und solchen negativen Auswirkungen untersucht werden. Gleichzeitig haben Überprüfungen und Szenarioanalysen gezeigt, dass die positiven Auswirkungen aktiver Fortbewegung deutlich größer ausfallen als die negativen Auswirkungen von Luftverschmutzung und Straßenverkehrsunfällen, in die Fußgänger und Radfahrer verwickelt sind (21,62). Zusätzlich haben Gesellschaften beträchtlichen Nutzen von der Verringerung der Luftverschmutzung und von Straßenverkehrsunfällen (21,24). Außerdem hat die Verwendung von Schätzungen der Gesamtsterblichkeit (siehe Abschnitt 2.1) statt Schätzungen der ursachenspezifischen Sterblichkeit den Vorteil der Berücksichtigung möglicher schädlicher Auswirkungen von Gehen oder Radfahren.

2.6 Auswirkungen von Veränderungen der Kohlenstoffemissionen

Gestützt auf die verfügbare Literatur (12) müssen bei der Bestimmung des ökonomischen Werts von Veränderungen der Kohlenstoffemissionen infolge der Substitution motorisierter Fortbewegung durch Gehen und Radfahren drei Hauptschritte berücksichtigt werden:

- Bewertung der Änderung der Fortbewegungsart von motorisierter Fortbewegung zu aktiver Fortbewegung (oder umgekehrt);
- Bewertung der Kohlenstoffemissionen von aufgebener motorisierter Fortbewegung und intensiverem Gehen und Radfahren; und
- Bestimmung des ökonomischen Werts der sozialen Auswirkungen von Veränderungen der Kohlenstoffemissionen.

Als erster Schritt wird der Umfang an vermiedenem Verkehr (beispielsweise Wegezähl und Personenkilometer) in der Form motorisierter Fortbewegung (hauptsächlich mit Kfz, Lieferwagen, Taxi, Motorrad, Bus und Stadtbahn) als

ein Ergebnis eines bestimmten Umfangs an aktiver Fortbewegung oder ihrer Veränderung geschätzt. Wichtig ist die genaue Bestimmung des Nettoumfangs der Substitution motorisierter Fortbewegung statt der Nutzung alternativer bequemerer Routen (Routensubstitution) oder durch Intervention oder Politik neu angeregtem Gehen oder Radfahren (sowohl Ersteres als auch Zweiteres haben keinen Einfluss auf die Kohlenstoffemissionen, weil sie keine Wege ersetzen, die zuvor motorisiert zurückgelegt wurden). Ansätzen können komplexe Verkehrsnachfragemodelle wie Vier-Schritte-Modelle (25) oder Modelle zu aktiver Fortbewegung (26) zugrunde gelegt werden, die Techniken zur Prognose der (verkehrsmittelübergreifenden) Verkehrsnachfrage nutzen (die gewöhnliches spezielles Fachwissen, Ressourcen und detaillierte Verkehrsdatenreihen erfordern). Sie können auch wie bei HEAT auf vom Benutzer generierten Eingabedaten basieren (auf der Grundlage dessen, was für Benutzer verfügbar ist, wie Verkehrserhebungen oder Wegezählungen (siehe Abschnitt 2.14).

Im zweiten Schritt wird der vermiedene motorisierte Verkehr unter Verwendung von Emissionsfaktoren in eingesparte Kohlenstoffemissionen (in Gramm CO₂e pro Personenkilometer oder Gramm CO₂e pro Fahrzeugkilometer) umgerechnet. Wichtige weitere Faktoren sind hier Verhalten und Technologie einschließlich Wissen über Verkehrsnachfragemuster (die Verteilung von Zeit und Ort des substituierten Verkehrs wie Pendeln zu Verkehrsspitzenzeiten in Ballungsräumen) und die Zusammensetzung der Fahrzeugflotte (Antriebstechnologie, Alter und Kraftstofftyp für jede Art der motorisierten Fortbewegung im Untersuchungsgebiet). Drei Hauptansätze können unterschieden werden.

Eine Methode auf der Grundlage von Kraftstoffverbrauch und Kohlenstoffbilanz wird

international angewendet, ist jedoch mit hohen Datenanforderungen und einer detaillierten Bewertung der Energieintensität der verschiedenen von der Untersuchungsgesamtheit genutzten Kraftstoffe verbunden.

Eine relativ einfache Methode auf der Grundlage von Verkehrsaufkommen und Emissionsfaktoren beruht auf Änderungen der Wegstrecke für verschiedene Fortbewegungsarten, multipliziert mit für diese spezifischen durchschnittlichen Emissionsfaktoren, für die große Unterschiede berücksichtigt werden sollten, abhängig von Merkmalen von Verkehrsmitteln wie Fahrzeugtyp, Motortyp, Kraftstoffart, Getriebe, Fahrzeugalter, Fahrzeuginstandhaltung sowie Fahrzeugbelegung und Fahrzeugnutzung. Bei solchen Ansätzen sollte auch berücksichtigt werden, dass sich die durchschnittlichen Emissionsfaktoren im Lauf der Zeit in dem Maß ändern, in dem effizientere und sauberere Fahrzeuge zur Flotte hinzukommen.

Bei einer komplexeren Methode auf der Grundlage von Verkehrsaufkommen und geschwindigkeitsabhängigen Emissionsfaktoren wird angenommen, dass der Kohlenstoffausstoß bei unterschiedlichen Fortbewegungsarten von drei Faktoren abhängt: (1) Entfernung und durchschnittliche Weglängen; (2) Durchschnittsgeschwindigkeit; und (3) durch die Fortbewegungsart bedingte Merkmale wie Fahrzeugtyp, Motortyp, Kraftstoffart und Fahrzeugalter. Diese Methode berücksichtigt auch die (Veränderungen der) beobachteten Durchschnittsgeschwindigkeiten und Fahrzeugtypen im Untersuchungsgebiet, um die Warmlaufemission von CO₂e pro km zu berechnen. Für Kfz werden die erhöhten Kaltstartemissionen (für die auf jedem Weg mit kaltem Motor zurückgelegte Strecke, gemeinhin die ersten 3 - 4 km) addiert. Letzteres ist wichtig, weil die meisten mit dem Fahrrad oder zu Fuß zurückgelegten Wege kurz sind: innerhalb des Kaltstartbereichs.



Im dritten Schritt werden die Langzeitauswirkungen der Verringerung der Kohlenstoffemissionen bewertet, und es wird ein ökonomischer Wert angewendet, um die erwarteten Auswirkungen des anthropogenen Klimawandels zu berücksichtigen (unter Verwendung des Kohlenstoffpreises und von Kostenwerten in Euro pro Tonne CO₂e). Die Bewertung der Auswirkungen des Klimawandels ist mit vielen Schwierigkeiten verbunden, zu denen Ungewissheit über zukünftige politische, sozioökonomische, wissenschaftliche und philosophische Faktoren sowie ethische Fragen im Zusammenhang mit der Gewichtung von Chancengerechtigkeit zählen (23,24). Unabhängig davon wurden Kohlenstoffwerte geschätzt. Dazu wurden integrierte Bewertungsmodelle zur Abschätzung der Vermeidungskosten oder Schadenswerte für mehr oder weniger Kohlenstoff in der Atmosphäre verwendet, und in vielen Ländern wurden Methoden und Werte speziell für die grundsatzpolitische Bewertung und Evaluation entwickelt, die für die Kohlenstoffbewertung von Radfahren und Gehen genutzt werden können.

Zwei Arten von Schätzungen der Kohlenstoffkosten sind für den Verkehrssektor besonders relevant (12).

Die Schadenkostenschätzung (die sozialen Kosten von Kohlenstoff) kann definiert werden als der monetarisierte Wert des globalen Schadens aufgrund der inkrementellen Auswirkungen einer zu einem bestimmten Zeitpunkt emittierten zusätzlichen Tonne CO₂e. Wegen der Ungewissheit bei sowohl Methoden als auch Daten, des Zeithorizonts, Diskontierung und der Gewichtung der Chancengerechtigkeit fällt dieser Wert sehr unterschiedlich aus.

Wenn den geschätzten Vermeidungskosten Emissionszielvorgaben oder aktuelle Klimaschutzmaßnahmen zugrunde gelegt werden, werden die Grenzvermeidungskosten pro

Tonne CO₂e verwendet, um Emissionszielvorgaben oder aktuelle Klimaschutzmaßnahmen zu erreichen. Vermeidungskosten sind nicht gleichbedeutend mit den sozialen Kosten von Kohlenstoff, außer unter der Bedingung, dass die Vermeidungsstrategie optimal festgelegt ist; in diesem Fall führen die beiden Ansätze zum gleichen Ergebnis. Sie sind nicht gleichbedeutend mit dem potenziellen Nutzen des Klimaschutzes oder den potenziellen Kosten von Nichthandeln, und die Vermeidungskosten variieren mit Politikoptionen und der gewählten Zielvorgabe für die CO₂-Verringerung.

Weil der Ansatz der sozialen Kosten von Kohlenstoff die Ableitung von kontextübergreifenden Vorgabewerten unabhängig von einer gewählten konkreten Politikoption ermöglicht, wurde er für HEAT ausgewählt (siehe Abschnitt 3.12).

2.7 Sterblichkeit oder Morbidität?

Körperliche Betätigung hat positive Auswirkungen auf viele Aspekte der Morbidität wie koronare Herzkrankheit, Schlaganfall, Diabetes, manche Krebsarten, muskuloskeletale Gesundheit, Energiebilanz und Aspekte psychischer Gesundheit (einschließlich Angstzuständen und Depression) sowie die Verbesserung der funktionalen Gesundheit bei älteren Menschen (44). Unter dem Gesichtspunkt der öffentlichen Gesundheit zeigen diese Vorteile rascher Wirkung als Verringerungen der Sterblichkeit. Sie können auch wichtig dafür sein, Personen zu motivieren, zu Fuß zu gehen oder Rad zu fahren, weil sie wahrscheinlich eher bereit sind, sich stärker körperlich zu betätigen, um ihre unmittelbare Gesundheit und ihr Wohlbefinden zu verbessern, als um ihr Leben zu verlängern. Folglich führt die Berücksichtigung der Morbidität zu einer umfassenderen ökonomischen Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen von Verkehrsinterventionen und wurde als wichtigste Verbesserung in zukünftigen Versionen von HEAT eingestuft. Allerdings sind

die derzeit vorliegenden Erkenntnisse zur Morbidität sowohl für Gehen als auch für Radfahren beschränkter als diejenigen zur Sterblichkeit. Den Einfluss der Morbidität in eine ökonomische Bewertung aufzunehmen, führt deshalb zu größerer Ungewissheit.

Auf den Konsenstagen 2014 und 2016 wurden Optionen zur Berücksichtigung der Morbidität in HEAT erörtert. Es wurde jedoch empfohlen, sich für HEAT für Gehen und Radfahren vorläufig auf die Gesamtsterblichkeit zu konzentrieren. Diese Methode führt wahrscheinlich zu konservativen Schätzungen, da sie keinen krankheitsbezogenen Nutzen berücksichtigt.

2.8 Alter und Geschlecht

Idealerweise wäre die ökonomische Analyse in der Lage, die unterschiedlichen Auswirkungen körperlicher Betätigung auf Kinder und Erwachsene sowie auf Erwachsene unterschiedlichen Alters zu untersuchen. Die überwiegende Mehrzahl epidemiologischer Studien wurde jedoch mit Erwachsenen durchgeführt, vor allem weil die am häufigsten untersuchten Krankheitsendpunkte wie koronare Herzkrankheit oder Tod bei Kindern selten sind und Studien mit Erwachsenen leichter durchgeführt werden können. Folglich ist die Evidenzgrundlage für die langfristigen gesundheitlichen Auswirkungen körperlicher Betätigung auf junge Menschen nicht so breit wie diejenige für Erwachsene. Die Beratungsgruppe kam zu dem Ergebnis, dass die Evidenz für Kinder und Jugendliche unzureichend ist und sich ökonomische Bewertungen derzeit ausschließlich auf Erwachsene konzentrieren sollten.

Studien kommen zu dem Ergebnis, dass die Risikominderung altersabhängig ist: Beispielsweise könnte mehr Bewegung in höheren Altersgruppen mehr Nutzen zeitigen als in niedrigeren. Die Unterscheidung der Risikominderung nach Altersgruppen könnte die Ergebnisse der

ökonomischen Bewertung weiter verbessern. Dies würde jedoch nach Alter aufgeschlüsselte Daten zu Radfahren und Gehen voraussetzen, die häufig nicht verfügbar sind. Die Verfügbarkeit von Verkehrsdaten nach Altersgruppe sollte weiter verbessert werden.

Das Alter ist ebenfalls von großer Bedeutung für die verwendeten Sterblichkeitsraten. Die Sterblichkeitsraten variieren erheblich nach Alter, und folglich kann die Auswahl der Altersgruppe für die verwendete Rate in einer ökonomischen Bewertung den errechneten Nutzen beträchtlich beeinflussen.

Die Altersgruppen, auf die die Ergebnisse gegebenenfalls angewendet werden sollen und für die Sterblichkeitsraten verwendet wurden, sollten deshalb angegeben werden. Sollte ein Modell in der Folgezeit auf Kinder oder ältere Erwachsene angewendet werden, sollten gegebenenfalls gemachte Annahmen ebenfalls angegeben werden.

Die Überprüfung der epidemiologischen Evidenz zu den Auswirkungen von Gehen und Radfahren ergab keine offensichtlichen Unterschiede zwischen den Geschlechtern bezüglich des Einflusses auf die Gesamtsterblichkeit (10), die unterschiedliche Risikoschätzungen für Männer und Frauen rechtfertigen würden. Eine ähnliche Schlussfolgerung wurde in Bezug auf die Auswirkungen der Luftverschmutzung getroffen (63) (siehe Abschnitt 3.10).

Aktives Fortbewegungsverhalten kann sich zwischen Männern und Frauen unterscheiden, beispielsweise ist es oft so, dass Frauen häufiger gehen und Rad fahren als Männer, während Männer mit dem Fahrrad größere Strecken zurücklegen. Im Idealfall sollte eine ökonomische Analyse solche geschlechtsspezifischen Unterschiede berücksichtigen. Das Risiko der Verwicklung in einen Straßenverkehrsunfall

unterschied sich geringfügig zwischen Radfahrern und Radfahrerinnen (nach Bereinigung um die von Männern zurückgelegten längeren Strecken) (64), was idealerweise in die Bewertung des Straßenverkehrsunfallrisikos einfließen sollte.

2.9 Statischer Ansatz oder Sterbetafelansatz

Weil eine ökonomische Bewertung dem Nutzen über eine Zeitspanne einen Wert beimisst, kann es geschehen, dass mehrere Parameter über den Analysezeitraum nicht konstant bleiben. Beispielsweise kann sich infolge intensiveren Gehens oder Radfahrens oder aufgrund von anderen Faktoren die Sterblichkeit der Population ändern. Die evaluierten Populationen repräsentieren auch eine große Altersspanne, und der gesundheitliche Nutzen kann abhängig vom Alter variieren. Sterbetafelberechnungen bieten eine Methode zur Berücksichtigung dieser Aspekte und verbessern deshalb die Genauigkeit der Bewertung. Bei neueren wissenschaftlichen Bewertungen des gesundheitlichen Nutzens von Radfahren oder Gehen wurden solche Ansätze angewendet.

Die Verwendung von Sterbetafelberechnungen erhöht jedoch die Komplexität für die Benutzer aus der Zielgruppe, und die potenzielle Verbesserung scheint verglichen mit den verbleibenden Ungewissheiten bei verschiedenen anderen Parametern solcher Bewertungen oder der Effekte der Einbeziehung oder des Ausschlusses höherer Altersgruppen klein zu sein.

2.10 Daten zu Gehen und Radfahren

Die Qualität ökonomischer Bewertungen ist in einem hohen Maß von der Genauigkeit und Zuverlässigkeit der verwendeten Daten zu Gehen und Radfahren abhängig. In vielen Ländern sind systematische Langzeiterhebungen zu Radfahren und Gehen noch nicht verfügbar oder liefern keine Daten auf der lokalen Ebene, die

häufig benötigt werden, um Verkehrsinterventionen oder Infrastruktur vor Ort zu bewerten.

Es muss sichergestellt werden, dass Daten aus lokalen Erhebungen repräsentativ für die Untersuchungsgesamtheit sind. Um bekannten saisonalen und räumlichen Unterschieden in Bezug auf Radfahren und Gehen Rechnung zu tragen, sollten die Studien über einen ausreichend langen Zeitraum und an einer ausreichenden Zahl von Orten durchgeführt werden. Andernfalls müssen die Daten unter Verwendung realistischer Annahmen bereinigt werden, um langfristige Durchschnittswerte so gut wie möglich widerzuspiegeln.

2.11 Zeitspanne, bis im eingegebenen Umfang Wege zu Fuß oder mit dem Fahrrad zurückgelegt werden

Es dauert unterschiedlich lange, bis durch Verkehrsinterventionen eine bestimmte Verhaltensweise beeinflusst werden kann. Beispielsweise könnte ein bestimmter neuer Radweg sofort angenommen werden, während es bei einem anderen ein Jahr oder länger dauert, bis ihn mehr Radfahrer benutzen. Die Bewertung einer Verkehrsintervention sollte unterschiedliche Annahmen über die Geschwindigkeit oder den Grad der Akzeptanz von Radfahren oder Gehen nach deren Durchführung ermöglichen.

2.12 Substitution einer Tätigkeitsform durch eine andere

Der überwiegende Teil der Literatur zu gesundheitlichen Auswirkungen bezieht sich auf die körperliche Betätigung insgesamt, gewöhnlich in Form eines zusammengesetzten Indexes zur Angabe des Gesamtenergieaufwands (häufig gemessen in Kilokalorien pro Woche) oder der aktiv verbrachten Zeit, einschließlich eines breiten Spektrums körperlicher Betätigung beispielsweise bei Freizeit- und beruflichen Aktivitäten, die nicht der Fortbewegung dienen. Bei der Bewertung der gesundheitlichen

Auswirkungen von Verkehrsinterventionen muss die potenzielle Substitution einer Tätigkeitsform durch eine andere berücksichtigt werden, was auf zweierlei Weise geschehen kann.

- Bedeutet eine beobachtete Zunahme von Gehen und Radfahren zwingend, dass die körperliche Betätigung insgesamt zugenommen hat? Beispielsweise könnte es sein, dass Personen beginnen zu gehen oder Rad zu fahren und dafür nicht mehr wie zuvor joggen. Wenngleich einige Erkenntnisse auf geringe oder keine Substitution hindeuten (65,66), kann derzeit keine endgültige Schlussfolgerung getroffen werden (67). Studien auf der Basis von Selbstauskünften von Wegennutzern zeigen stärkere Auswirkungen (68), und der Effekt tritt mit größerer Wahrscheinlichkeit für Freizeitaktivitäten ein. Zum aktuellen Zeitpunkt können keine endgültigen Schlussfolgerungen getroffen werden. Unabhängig davon sollten Interventionsuntersuchungen beispielsweise berücksichtigen, dass ein neuer Radweg dazu führen könnte, dass Pendler einen kürzeren Weg als vorher zurücklegen.
- Die Ergebnisse von Studien zu Gehen und Radfahren könnten durch andere Formen körperlicher Betätigung wie Freizeitaktivitäten verfälscht werden. Dies könnte in einer Überschätzung der gesundheitsförderlichen Wirkung von Gehen oder Radfahren resultieren, wenn die Personen, die Wege mit dem Rad oder zu Fuß zurücklegen, zuvor durch andere Formen körperlicher Betätigung aktiver waren.

Es wird empfohlen, dass in ökonomischen Analysen die Substitution von körperlicher Betätigung so weit wie möglich berücksichtigt wird. Dies bedeutet, nicht anzunehmen, dass jede Zunahme von Gehen oder Radfahren automatisch in einer entsprechenden Zunahme der körperlichen Betätigung insgesamt resultiert,

und Untersuchungen zu Rate zu ziehen, die Korrekturen für nicht fortbewegungsbezogene Formen körperlicher Betätigung vornehmen.

2.13 Kostenansatz

Eine ökonomische Bewertung von Gehen und Radfahren setzt eine Verständigung auf eine Methodik für die Bewertung von Gesundheit (oder Leben) voraus. Dies kann in vielerlei Weise geschehen.

Bei der Bewertung von Verkehrsinterventionen wird häufig ein standardisierter WSL verwendet, der vom Konzept der Zahlungsbereitschaft abgeleitet wird. Die Zahlungsbereitschaft sagt aus, wie viel eine repräsentative Stichprobe der Bevölkerung bereit wäre, (an Geld) zu zahlen, beispielsweise für eine bestimmte Maßnahme, die ihr jährliches Sterberisiko von 3 pro 10 000 auf 2 pro 10 000 senken würde. Folglich ist dies eine Schätzung des ökonomischen Gesamtwerts niedrigerer vorzeitiger Sterblichkeit für die Gesellschaft.

Die Krankheitskosten wenden die Kosten für jede konkrete Krankheit an, beispielsweise die Kosten für den nationalen Gesundheitsdienst oder Verdiensteinbußen.

Die entgangenen (oder gewonnenen) Lebensjahre ermöglichen eine umfassendere Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen, weil dabei die Lebenserwartung der Teilnehmer berücksichtigt wird.

Qualitätsbereinigte Lebensjahre werden von der Zahl der Lebensjahre abgeleitet, die bei schlechter Gesundheit verbracht werden, multipliziert mit einem Faktor, der die relative Unerwünschtheit des Krankheitszustands ausdrückt.

Um Behinderungen bereinigte Lebensjahre misst die Gesamtkrankheitslast, ausgedrückt als die Zahl der verlorenen Jahre aufgrund von



Gesundheitsproblemen, Behinderung oder vorzeitigem Tod.

Unterschiedliche Zielgruppen präferieren unterschiedliche ökonomische Endpunkte. Gesundheitsexperten bevorzugen entgangene Lebensjahre oder die Kosten der Gesundheitsversorgung, aber bei der Bewertung von Verkehrsinterventionen, dem Hauptziel der Nutzung von HEAT, wird häufig der WSL vorgezogen.

Eine Methode auf der Grundlage einer umfassenden Literaturdurchsicht (18) ergab einen durchschnittlichen WSL von 2,132 Mio. Euro für die Europäische Region der WHO (für 2015) (siehe Abschnitt 3.15.1). Dies ist deutlich höher als früher in Europa allgemein verwendete Werte, beispielsweise der in der UNITE-Studie (69) vorgeschlagene Wert von 1,574 Mio. Euro, der in frühen Versionen von HEAT (4) verwendet wurde, und etwas niedriger als der in der vorherigen Version (5) verwendete Wert von 2,487 Mio. Euro. Der WSL variiert folglich international beträchtlich (16,69,70), weshalb empfohlen wird, entweder einen lokalen WSL zu verwenden, oder – wenn ein solcher nicht verfügbar ist – einen aktuellen international vereinbarten WSL.

Andere Methoden wie ein Ansatz auf der Grundlage qualitätsbereinigter Lebensjahre oder des Wertes eines Lebensjahres könnten verwendet werden, wenn Daten verfügbar wären, die eine umfassendere Bewertung ermöglichen, und sie für an Gesundheitsthemen interessierte Zielgruppen attraktiver machen würden. Solche Maße

setzen jedoch die Bewertung der Auswirkungen von Gehen und Radfahren auf die Morbidität voraus (siehe Abschnitt).

2.14 Diskontierung

Weil zukünftig eintretender ökonomischer Nutzen im Allgemeinen als weniger wertvoll als zum aktuellen Zeitpunkt eintretender Nutzen erachtet wird, wenden Ökonomen auf zukünftigen Nutzen einen Diskontsatz an. Gängige Diskontsätze sind gewöhnlich von staatlichen Stellen verfügbar. In vielen Fällen wird eine umfassendere Kosten-Nutzen-Analyse von Verkehrsinterventionen oder Infrastrukturprojekten die ökonomische Bewertung der gesundheitsförderlichen Wirkung von Gehen und Radfahren umfassen. Das Schlussergebnis der umfassenden Bewertung würde dann diskontiert, um die Berechnung des Nettogegenwartswerts zu ermöglichen.

2.15 Sensitivitätsanalyse

Eine ökonomische Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen des Fortbewegungsverhaltens vorzunehmen, ist ein komplexes Unterfangen, das, wie weiter oben bereits erläutert wurde, unweigerlich eine Reihe von Annahmen und Expertenurteilen umfasst.

Es wird nachdrücklich empfohlen, die mit einer Bewertung verbundenen Ungewissheiten klar zu beschreiben und die Berechnungen mit hohen und niedrigen Schätzungen der Hauptvariablen durchzuführen, um das Verständnis des möglichen Wertebereichs der Endergebnisse zu verbessern.



3

Wie HEAT funktioniert: Einführung

Auf der Grundlage der in Kapitel 2 beschriebenen Überlegungen zu den wissenschaftlichen Leitlinien wurde ein praxisbezogenes Instrument für Gehen und für Radfahren mit der Bezeichnung HEAT entwickelt (8).

3.1 Allgemeine Grundsätze

Die internationalen Beratungsgruppen verständigten sich auf die folgenden Kernprinzipien für HEAT. Das Instrument sollte:

- wissenschaftlich robust sein und auf den besten verfügbaren Erkenntnissen basieren;
- so benutzerfreundlich wie möglich sein:
 - minimale Dateneingaben erfordern
 - über Vorgabewerte verfügen
 - klare Eingabeaufforderungen und Fragen anzeigen
 - in Bezug auf die Gestaltung und Menüführung auf die Maximierung der Nutzbarkeit ausgerichtet sein
- vollständige Transparenz in Bezug auf Annahmen und verfolgte Ansätze bieten

- allgemein auf einem konservativen Ansatz beruhen
- an lokale Kontexte angepasst werden können; und
- modular sein.

3.2 Zielgruppen

HEAT wurde dafür konzipiert, Benutzern ohne Fachwissen über Wirkungsanalysen zu ermöglichen, die gesundheitsförderliche Wirkung von Gehen oder Radfahren unter ökonomischen Gesichtspunkten zu bewerten. Das Instrument basiert auf den besten verfügbaren Erkenntnissen und transparenten Annahmen. Es soll von einem breiten Spektrum von Fachkräften sowohl auf der nationalen als auch auf der lokalen Ebene leicht benutzt werden können. Dazu zählen in erster Linie Verkehrs- und Stadtplaner, Verkehrsingenieure und Interessengruppen in den Bereichen Verkehr, Zufußgehen, Radfahren oder Umwelt.

Das Instrument ist aber auch für Gesundheitsökonominnen und Experten für Bewegung und Gesundheitsförderung von Interesse. Weil es verkehrsspezifische Konzepte wie den WSL verwendet, kann es jedoch erforderlich sein, für



solche Zielgruppen die Ergebnisse von HEAT in seiner aktuellen Form durch zusätzliche Informationen und Erläuterungen zu ergänzen.

3.3 Wofür kann HEAT verwendet werden?

HEAT schätzt den Wert niedrigerer Sterblichkeit infolge des angegebenen Umfangs von Gehen oder Radfahren und beantwortet die folgende Frage:

Was ist der ökonomische Wert des gesundheitlichen Nutzens infolge der Verringerung der Sterblichkeit aufgrund der körperlichen Betätigung, wenn x Personen regelmäßig im Umfang y Rad fahren oder zu Fuß gehen?

Zusätzlich kann HEAT jetzt auch die gesundheitlichen Auswirkungen von Straßenverkehrsunfällen und Luftverschmutzung sowie die Auswirkungen auf die Kohlenstoffemissionen berücksichtigen.

Das Instrument kann für mehrere Arten von Bewertungen verwendet werden, beispielsweise:

- Bewertung des aktuellen (oder früheren) Umfangs von Radfahren oder Gehen, beispielsweise Nachweis des Wertes oder Nutzens von Radfahren oder Gehen in einer Stadt oder einem Land;
- Bewertung von Veränderungen im Zeitverlauf, beispielsweise Vergleich von Vorher/Nachher-Situationen oder Gegenüberstellung von Szenarien (z. B.: in Szenario A werden Maßnahmen ergriffen, während sie in Szenario B unterbleiben); und
- Bewertung neuer oder bestehender Projekte einschließlich Berechnung von Kosten-Nutzen-Verhältnissen.

HEAT kann eigenständig verwendet werden oder um Eingabedaten zu umfassenderen ökonomischen Bewertungen oder Gesundheitsfolgenabschätzungen im Vorfeld von Maßnahmen zu liefern.

3.4 Wofür sollte HEAT nicht verwendet werden?

Vor der Verwendung von HEAT sollten die nachstehenden Punkte sorgfältig geprüft werden, um sicherzustellen, dass HEAT anwendbar ist.

HEAT soll zur Bewertung auf der Ebene einer Untersuchungsgesamtheit verwendet werden, das heißt von Gruppen von Personen, nicht von Individuen.

HEAT wurde für gewohnheitsmäßiges Verhalten konzipiert, beispielsweise Radfahren oder Gehen beim Pendeln oder bei regelmäßigen Freizeitaktivitäten. Es sollte es nicht für die Bewertung von Tagesveranstaltungen oder Wettbewerben wie Wandertagen oder Fahrradtage verwendet werden, weil es bei diesen unwahrscheinlich ist, dass sie das durchschnittliche Langzeitverhalten widerspiegeln.

HEAT ist für aus Erwachsenen bestehende Untersuchungsgesamtheiten konzipiert. Berechnungen in HEAT basieren auf Sterblichkeitsraten für die Altersspanne von 20 - 74 Jahren für Gehen und von 20 - 64 Jahren für Radfahren. HEAT sollte nicht auf Untersuchungsgesamtheiten von Kindern oder Jugendlichen angewendet werden, weil die wissenschaftlichen Erkenntnisse, die in HEAT verwendet werden, für diese nicht gelten. Die oberen Grenzwerte für das Alter wurden im Konsens festgelegt, um eine Aufblähung des gesundheitlichen Nutzens zu vermeiden, der aus der Fehlbewertung aktiven Fortbewegungsverhaltens bei hohen Altersgruppen mit höheren Sterberisiken resultieren könnte. Wenn die Untersuchungsgesamtheit beträchtlich

jünger oder älter als der Durchschnitt ist, kann der Benutzer eine niedrigere oder höhere Altersspanne eingeben.

Das Instrument eignet sich nicht für Untersuchungsgesamtheiten, die in einem sehr hohen durchschnittlichen Umfang Wege zu Fuß oder mit dem Fahrrad zurücklegen. In HEAT werden Erkenntnisse aus Untersuchungen angewendet, die auf die allgemeine Bevölkerung ausgerichtet sind und nicht auf Subpopulationen mit sehr hohen durchschnittlichen Intensitätsniveaus körperlicher Betätigung wie Fahrradkurierer oder Postboten. Wenngleich die genaue Form der Dosis-Wirkungs-Kurve ungewiss ist, scheint sich der Nutzen körperlicher Betätigung über Niveaus zu verlangsamen, die vielleicht 1,5 Stunden Radfahren und 2 Stunden zügigen Gehens entsprechen. Das Instrument ist deshalb nicht geeignet für Untersuchungsgesamtheiten, die im Durchschnitt etwa 1,5 Stunden oder mehr täglich Radfahren oder etwa 2 Stunden oder mehr täglich zu Fuß gehen, was die in einer durchschnittlichen Erwachsenenpopulation anzutreffenden Aktivitätsniveaus überschreitet.

Das HEAT-Modul für Luftverschmutzung sollte nicht in Umgebungen mit sehr starker Luftverschmutzung benutzt werden. Die meisten der für HEAT verwendeten Studien über die gesundheitsförderliche Wirkung von Radfahren und Gehen sowie die gesundheitlichen Auswirkungen der Luftverschmutzung wurden in Umgebungen mit geringer oder mittlerer Luftverschmutzung durchgeführt (Feinstaubkonzentrationen bis etwa $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$; siehe Abschnitt 3.9). Sie sind deshalb nicht geeignet für die Anwendung auf Umgebungen, in denen die Feinstaubbelastung für Radfahrer und Fußgänger den Wert von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ beträchtlich übersteigt. Negative Auswirkungen der Luftverschmutzung scheinen bei höheren Konzentrationen zu beginnen zu nivellieren, und die Auswirkungen so hoher Belastung

auf Radfahrer und Fußgänger wurden noch nicht gut untersucht.

Die Genauigkeit der Ergebnisse von HEAT-Berechnungen sollte ähnlich wie viele andere ökonomische Bewertungen gesundheitlicher Auswirkungen als Schätzungen der Größenordnung betrachtet werden, nicht als genaue Schätzungen.

Das Wissen über die gesundheitsförderliche Wirkung von Gehen und Radfahren wächst rasch. Diese Projekte sind erste wichtige Schritte auf dem Weg zu vereinbarten harmonisierten Methodiken. Bei der Entwicklung dieses Instruments traf die Beratungsgruppe wiederholt Expertenentscheidungen auf der Grundlage der besten verfügbaren Informationen und Erkenntnisse zu treffen. Benutzer sollte den Näherungscharakter der Ergebnisse bedenken, ähnlich wie bei vielen anderen Arten der ökonomischen Bewertung von Gesundheitsfolgen. In dem Maß, in dem neues Wissen verfügbar wird, werden weitere Verbesserungen vorgenommen werden.

3.5 Wie funktioniert HEAT?

HEAT zielt auf die Einbeziehung des ökonomischen Werts niedrigerer vorzeitiger Sterblichkeit als Resultat von Radfahren und Zufußgehen für die Gesellschaft in die ökonomische Bewertung von Verkehrs- und Stadtplanung und -interventionen. Benutzer können nur den Nutzen in Bezug auf die Sterblichkeit berechnen oder die Auswirkungen von Luftverschmutzung und Straßenverkehrsunfällen berücksichtigen oder die Auswirkungen der Substitution motorisierter Fortbewegung durch Gehen oder Radfahren auf die Kohlenstoffemissionen schätzen.

Abb. 2 zeigt die grundlegenden Schritte von HEAT.

Die nachstehenden Kapitel enthalten weitere Informationen zu den verwendeten Ansätzen für

Was möchten Sie bewerten?

- Gehen und/oder Radfahren
- Auswirkungen (von körperlicher Betätigung, Luftverschmutzung (LV), Straßenverkehrsunfallrisiko, Kohlenstoffemissionen → motorisierten Fortbewegungsarten)
- Zeitlich und räumlich

Abb. 2. Grundlegende Funktionsweise von HEAT



- ^a RR = relatives Sterberisiko in zugrunde liegenden Studien (Gehen: 0,89 und Radfahren: 0,90)
- ^b Relatives Sterberisiko pro Anstieg von PM_{2,5} um 10 µg/m³ in zugrunde liegenden Studien (1,07)
- ^c Modul für Gehen in Arbeit

Grüne Kästen: neue Merkmale der Version HEAT 4.0 von 2017; blaue Kästen: Merkmale der HEAT-Version von 2015 .

die Gewinnung von Ergebnissen in HEAT und zu den vier Folgenabschätzungsmodulen von HEAT.

3.6 Ansätze zur Gesundheitsfolgenabschätzung und zur vergleichenden Risikobewertung in HEAT

Die Gesundheitsfolgenabschätzung ist eine Kombination von Verfahren, Methoden und Instrumenten, die verwendet werden, um die potenziellen gesundheitlichen Auswirkungen einer Politik, eines Programms oder eines Projekts zu bewerten. Unter Verwendung einer Kombination qualitativer, quantitativer und partizipatorischer Techniken zielt die Gesundheitsfolgenabschätzung darauf ab, Empfehlungen zu erarbeiten, die Entscheidungsträgern und anderen Akteuren helfen sollen, Entscheidungen über Alternativen und Verbesserungen zur Prävention von Krankheiten und Verletzungen zu treffen und die Gesundheit aktiv zu fördern.

HEAT ist ein Modell zur Bewertung gesundheitlicher Auswirkungen: ein quantitatives Instrument zur Berechnung der gesundheitsförderlichen Wirkung von Radfahren und/oder Gehen (und ihrer Auswirkungen auf die Kohlenstoffemissionen). Berechnungen gesundheitlicher Auswirkungen zielen darauf ab, den Nutzen und die Risiken eines bestimmten Maßes bestimmter Arten von Belastung oder ihrer Veränderung in einer konkreten Population über eine definierte Zeitspanne zu quantifizieren.

Die grundlegende Berechnung quantifiziert die Zahl der Todesfälle in einer Population in einer bestimmten Zeitspanne, indem eine Sterblichkeitsrate mit der Populationsgröße und der Untersuchungsdauer multipliziert wird.

Beispielsweise beträgt in Dänemark die Sterblichkeitsrate der 20- bis 74-Jährigen 500 pro 100 000 Einwohner. Die Zahl der erwarteten Todesfälle unter den 4 Mio. Personen in dieser Altersgruppe

über einen Zeitraum von 10 Jahren berechnet sich wie folgt: $500 \text{ pro } 100\,000 \times 4\,000\,000 \times 10$.

HEAT wendet den Ansatz der vergleichenden Risikobewertung an, bei dem das Risiko von Interesse (Sterblichkeit oder vorzeitige Todesfälle) bei zwei Fällen verglichen wird: dem Referenzfall und einem Vergleichsfall (manchmal auch als kontrafaktischer Fall bezeichnet). Die Wirkung von Interesse ist der Unterschied in Bezug auf die Sterblichkeit zwischen den beiden Fällen. Bei HEAT ist dieser Unterschied das Ergebnis der unterschiedlichen körperlichen Betätigung in der Form von regelmäßigem Gehen oder Radfahren zwischen den beiden Fällen (Abb. 3).

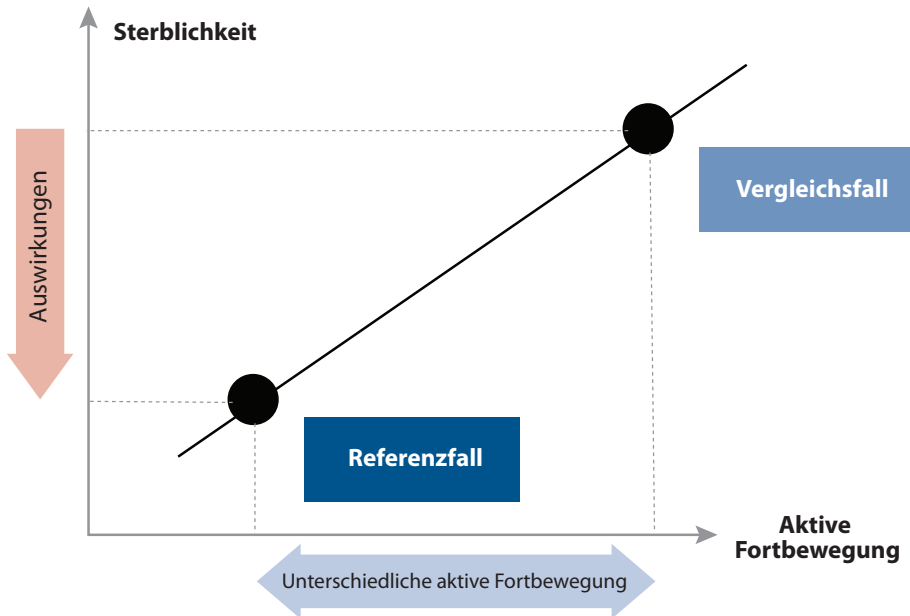
Um diese Wirkung zu berechnen, nutzt HEAT gut etablierte Beziehungen aus der epidemiologischen Forschung zwischen einer Belastung (Umfang von Gehen oder Radfahren) und einem gesundheitlichen Ergebnis (bei HEAT: Sterblichkeit aufgrund einer Ursache: Gesamtsterblichkeit). Diese Effekte werden als relative Risiken quantifiziert, wobei das Risiko (beispielsweise das Sterberisiko) von Personen mit Belastung (die regelmäßig zu Fuß gehen oder Rad fahren) und von Personen ohne Belastung (die nicht zu Fuß gehen oder Rad fahren oder weniger zu Fuß gehen oder Rad fahren) verglichen wird.

Das (der Literatur entnommene) relative Risiko wird auf den lokalen Umfang von Gehen oder Radfahren skaliert. Weil sich Schätzungen des relativen Risikos auf Langzeitbelastungen beziehen, müssen die vom Benutzer eingegebenen lokalen Daten auch Schätzungen des Langzeitverhaltens in Bezug auf Gehen oder Radfahren repräsentieren.

Die Zahl der erwarteten Todesfälle in der zu Fuß gehenden und/oder Rad fahrenden Population wird mit der gleichen Methode wie oben berechnet; multipliziert wird jetzt jedoch mit dem relativen Risiko (skaliert, um den



Abb. 3. Ansatz zur vergleichenden Risikobewertung in HEAT



bewerteten Umfang von Gehen oder Radfahren widerzuspiegeln).

Bei einer Einzelfallbewertung in HEAT gibt der Benutzer nur Daten zu Gehen oder Radfahren für den Referenzfall ein, die dann mit einem impliziten Vergleichsfall (Personen, die nicht zu Fuß gehen oder Rad fahren) verglichen werden.

Bei einer Bewertung von zwei Fällen gibt der Benutzer Daten zu Gehen und/oder Radfahren für beide Fälle ein.

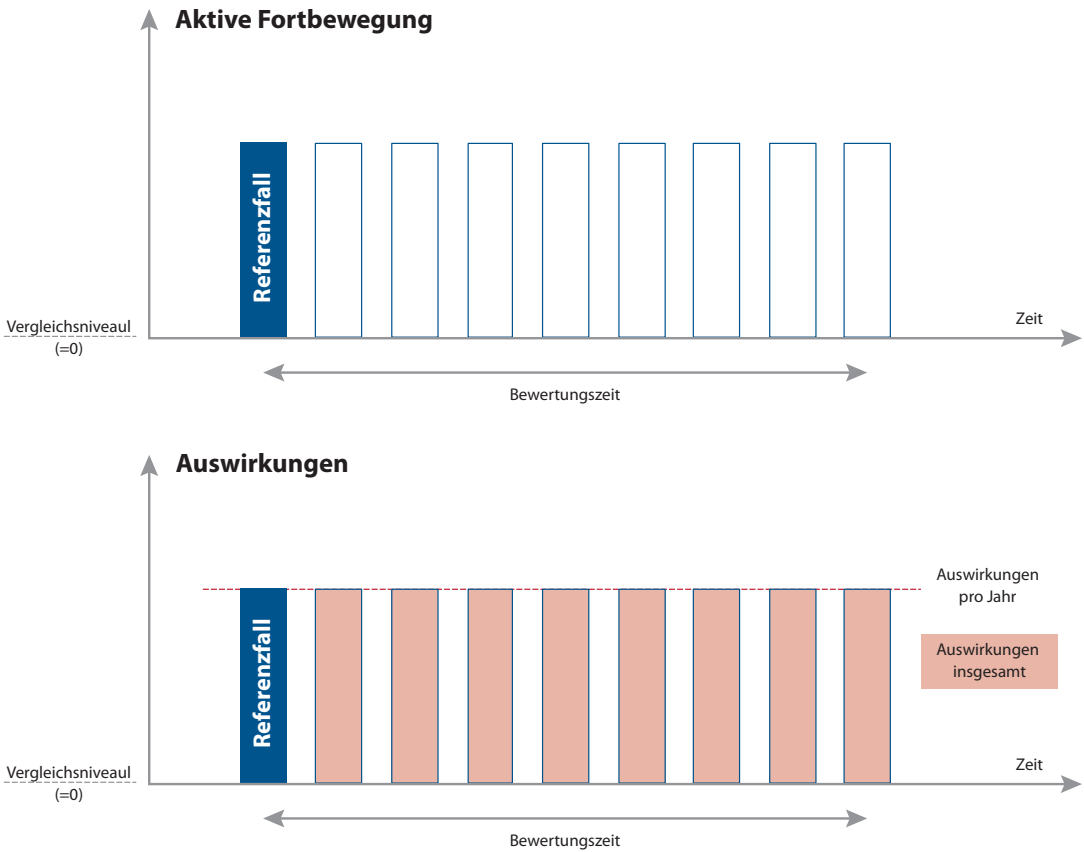
Die durchschnittliche Wirkung – die Zahl verhinderter vorzeitiger Todesfälle auf der Ebene der Population – ist die Differenz zwischen der Berechnung im Referenzfall und im Vergleichsfall, die wieder die Populationsgröße und den Bewertungszeitraum widerspiegelt (Abb. 4).

Bei der Einzelfallbewertung geht das Instrument von einer statischen Situation aus: Es wird angenommen, dass der bewertete Umfang aktiver Fortbewegung seit mehreren Jahren besteht und Personen in den Genuss der vollständigen gesundheitsförderlichen Wirkung von aktiver Fortbewegung über einen langen Zeitraum kommen.

Bei der Bewertung von zwei Fällen wird in den Berechnungen angenommen, dass es eine gewisse Zeit dauert, bis sich Personen in vollem Umfang aktiv fortbewegen (Benutzereingabe), und es fünf Jahre dauert, bis sich die positiven gesundheitlichen Auswirkungen in vollem Umfang zeigen (Abb. 5).

Bei Berechnungen der gesundheitlichen Auswirkungen von körperlicher Betätigung und Luftverschmutzung in HEAT wird eine Formel

Abb. 4: Einzelfallbewertung in HEAT



mit einem der Bevölkerung zuschreibbaren Anteil verwendet. Diese Formel dient dazu, die Sterblichkeitsrate für die allgemeine Bevölkerung (SR_{Bev}) zu den zwei Gruppen, die bei der vergleichenden Risikobewertung verglichen werden – die belastete Gruppe (Referenzgruppe) (b) und die nicht belastete Gruppe (Vergleichsgruppe) (nb) – in Beziehung zu setzen. In HEAT ist Belastung gleich dem bewerteten Umfang von Radfahren oder Gehen.

SR_{Bev} ist der gewichtete Durchschnitt der Sterblichkeitsrate in der belasteten (SR_b) und der unbelasteten (SR_{nb}) Population. SR_{Bev} hängt vom

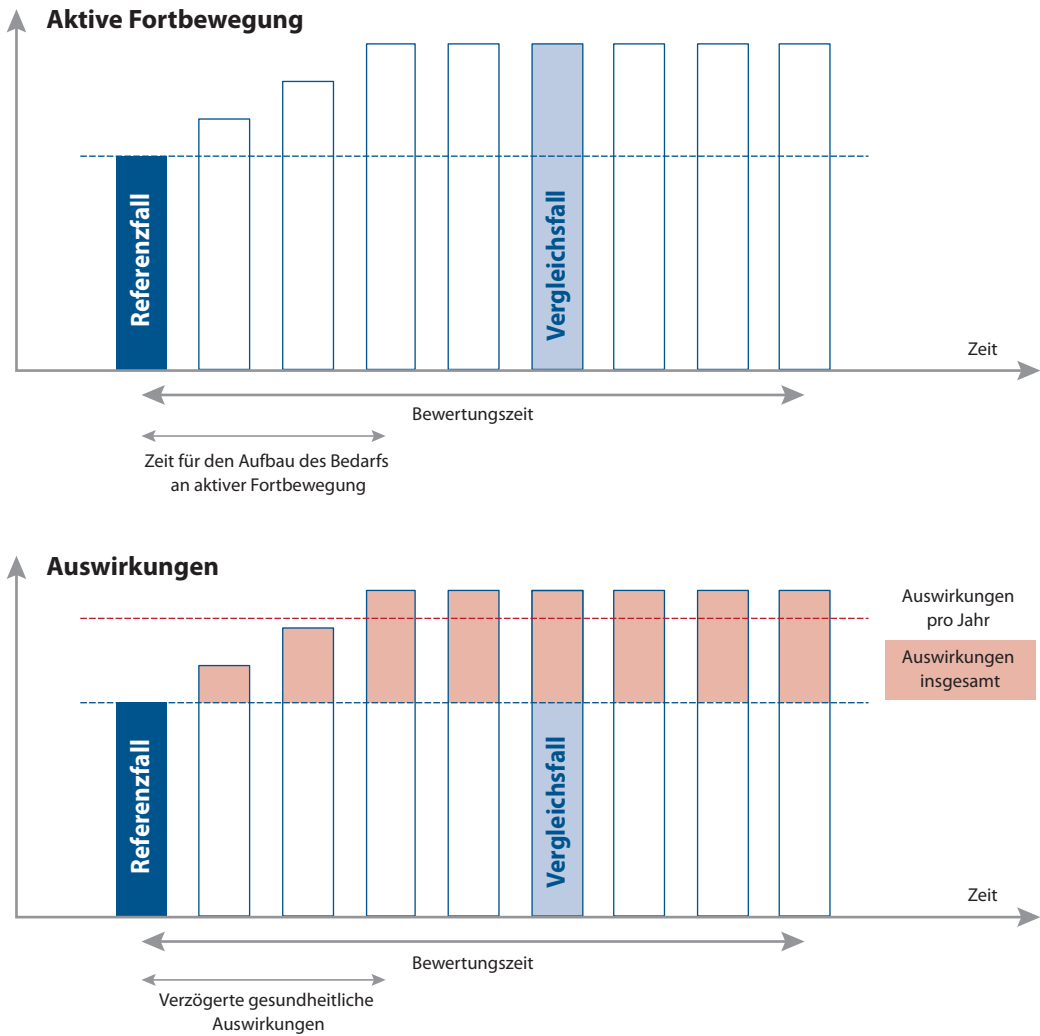
Unterschied des Sterblichkeitsrisikos zwischen den beiden Gruppen und von ihrer Größe ab.

$$SR_{Bev} = SR_b \times A_{nb} + SR_b \times A_b$$

Epidemiologische Studien schätzen den Unterschied des Sterberisikos und drücken es als ein relatives Risiko (RR) aus: beispielsweise $RR_{Radfahren} = 0,9$ für x Minuten Radfahren pro Tag, verglichen mit 0 Minuten Radfahren pro Tag.

$$RR = SR_b / SR_{nb}$$

Abb. 5. Bewertung von zwei Fällen in HEAT



Die Größe der belasteten und der nicht belasteten Gruppe wird normalerweise als der Anteil der belasteten Personen (A_b) ausgedrückt. Im Kontext von HEAT quantifiziert dies die Größe der bewerteten Rad fahrenden oder zu Fuß gehenden Population im Verhältnis zur Größe der Gesamtbevölkerung, auf der SR_{bev} basiert (alle Einwohner eines Landes im Alter von 20 - 64

beziehungsweise 20 - 74 Jahren). In den meisten Nutzungsfällen ist der Anteil der Personen mit Belastung recht klein, beispielsweise bei Bewertungen auf der kommunalen Ebene oder darunter (bei denen die bewertete Population wesentlich kleiner ist als die Bevölkerung des Landes) und bei Fällen, bei denen der Umfang von Gehen oder Radfahren nicht sehr hoch ist

(sodass der Einfluss auf die Gesamtsterblichkeit klein ist). Standardmäßig geht das Instrument deshalb davon aus, dass der Anteil der Personen mit Belastung nahe 0 liegt (d. h. 0,001), was bedeutet, dass der Einfluss des bewerteten Umfangs von Gehen oder Radfahren auf die landesweite Sterblichkeitsrate (SR_{Bev}) vernachlässigbar ist. Benutzer können dies für Fälle ändern, in denen dies nicht zutrifft, beispielsweise Bewertungen auf der Landesebene, bei denen der Umfang von Gehen und Radfahren sehr hoch ist. In diesen Fällen kann die Aufteilung der Fortbewegungsarten oder ein entsprechender Wert als Näherung des Anteils mit Belastung herangezogen werden.

Die in HEAT verwendeten mathematischen Formeln wurden auf der Grundlage dieser Überlegungen abgeleitet. Um Auswirkungen zu berechnen, die sich als (vermeidene) vorzeitige Todesfälle niederschlagen, wurden SR_b und SR_{nb} auf der Grundlage von SR_{Bev} , RR und $A_{nb} \sim 0$ geschätzt.

$$SR_{Bev} = SR_b \times A_{nb} + SR_b \times A_b$$

$$RR = SR_b / SR_{nb}$$

$$A_{nb} = 1 - A_b$$

$$SR_{nb} = SR_{Bev} / [1 - (A_b \times (1 - RR))] \sim SR_{Bev}$$

$$SR_b = SR_{Bev} \times RR / [1 - (A_b \times (1 - RR))] \sim SR_{Bev} \times RR$$

SR_{nb} und SR_b werden dann mit der bewerteten Population multipliziert, um die Zahl der Todesfälle in der Gruppe mit Belastung (der in HEAT bewerteten Population) und in der Gruppe ohne Belastung (dem hypothetischen Kontrafakt derselben Population ohne Belastung: ohne Radfahren oder Gehen) abzuleiten. Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen spiegelt die Zahl der Todesfälle, die der Belastung zugeschrieben

werden können, oder die gesundheitlichen Auswirkungen der Belastung wider. Wenn die Auswirkungen bei Personen mit Belastung wie körperlicher Betätigung kleiner sind, verhindert die Belastung Todesfälle.

$$D_{nb} = SR_{nb} \times Population$$

$$D_b = SR_b \times Population$$

$$D_{zugeschrieben} = D_b - D_{nb}$$

Für einen Vergleich von zwei Fällen wird die gleiche Bewertung zweimal für unterschiedliche Belastungsniveaus durchgeführt. Die zugeschriebenen Todesfälle spiegeln dann den Unterschied zwischen den beiden Bewertungen wider.

Weitere Informationen dazu, wie die verschiedenen Module von HEAT die Bewertung gesundheitlicher Auswirkungen berechnen, enthält Abschnitt 3.5.

3.7 Welche Daten werden benötigt?

Zur Verwendung von HEAT werden die folgenden Daten benötigt:

- Eine Schätzung der Untersuchungsgesamtheit, für die Streckennutzerbefragungen, Einwohnerumfragen oder Verkehrszählungen als Quelle dienen könnten. Es könnten auch Schätzwerte aus einem Szenario verwendet werden. Die Größe der Untersuchungsgesamtheit muss die untersuchte Altersgruppe widerspiegeln. Beispielsweise sollten unter 20-Jährige ausgeschlossen werden, die HEAT nicht berücksichtigt.
- Der geschätzte durchschnittliche Umfang, in dem die Personen in der Untersuchungsgesamtheit Wege zu Fuß oder mit dem Fahrrad zurückzulegen. Quelle des Wertes können



wieder Umfragen oder Schätzungen sein. Der Wert kann auf verschiedene Weise eingegeben werden, aber immer als Durchschnitt pro Person und Tag:

- Dauer: durchschnittliche Zeit (Minuten oder Stunden), die eine Person Wege zu Fuß oder mit dem Fahrrad zurückgelegt hat, beispielsweise durchschnittlich 30 Minuten zu Fuß gegangen pro Tag);
- Weglänge: durchschnittliche Weglänge, die eine Person zu Fuß oder mit dem Fahrrad zurückgelegt hat, beispielsweise durchschnittlich 10 km Rad gefahren pro Tag;
- Zahl der Wege: Durchschnittswert pro Person oder Summe für eine Untersuchungsgesamtheit, beispielsweise 250 Fahrten mit dem Fahrrad pro Jahr;
- Zahl der Schritte: durchschnittliche Zahl der Schritte, die eine Person zurückgelegt hat, beispielsweise 9.000 Schritte pro Tag;
- Aufteilung der Fortbewegungsarten (in Bezug auf Wege, Dauer oder Entfernung): Die Aufteilungswerte sind Prozentwerte der Fortbewegung insgesamt (alle Fortbewegungsarten): beispielsweise werden 20% aller Wege gehend zurückgelegt;
- Häufigkeit: im Zusammenhang mit Fragen wie „Wie oft benutzen Sie Ihr Fahrrad?“ oder „Wie oft legen Sie Wege zu Fuß zurück?“ (beispielsweise 20%, wenn Personen 1 - 3 Tage pro Woche Rad fahren); und
- prozentuale Veränderung: beispielsweise fahren in Szenario B im Vergleich zu Szenario 20% der Population x Minuten mehr als zuvor.

Der durchschnittliche Umfang von Gehen oder Radfahren muss immer auf die gleiche Personenkategorie wie nur Fußgänger oder Radfahrer oder die allgemeine Bevölkerung bezogen werden, vielleicht einschließlich Personen, die nicht zu Fuß gehen oder Rad fahren.

Bei HEAT können Benutzer ihre Daten zu Fortbewegungsarten in verschiedenen Einheiten oder Formaten eingeben. Das Instrument rechnet dann diese Daten in Standardeinheiten wie Minuten oder Kilometer pro Tag um. Als Grundlage für diese Umrechnungen werden soweit notwendig die Vorgabewerte verwendet (beispielsweise die durchschnittliche Weglänge).

Für die Umrechnungen gelten die folgenden Regeln:

- Um Daten zum Umfang von Gehen oder Radfahren zwischen Dauer und Entfernung umzurechnen, werden für die jeweilige Fortbewegungsart spezifische Durchschnittsgeschwindigkeiten angenommen (siehe Abschnitt 3.13).
- Um Schritte in Entfernung umzurechnen, wird die Schrittzahl mit einer durchschnittlichen vorgegebenen Schrittlänge multipliziert (siehe Abschnitt 3.13).
- Um eine Anzahl Wege in Entfernung umzurechnen, werden für die jeweilige Fortbewegungsart spezifische durchschnittliche Weglängen verwendet (siehe Abschnitt 3.13).
- Um die Aufteilung der Fortbewegungsarten umzurechnen, wird der prozentuale Anteil mit dem Gesamtumfang (Wege, Entfernung oder Dauer) multipliziert. Anschließend werden je nach Bedarf die obigen Umrechnungen angewendet.

- Die folgenden Häufigkeitskategorien sind verfügbar: täglich oder fast täglich, 1 - 3 Tage pro Woche, 1 - 3 Tage pro Monat, weniger als einmal pro Monat und nie. Um Häufigkeitskategorien in Entfernungen umzurechnen, wird unter Verwendung des Mittelpunkts der jeweiligen Kategorie zuerst die Zahl der Tage pro Jahr abgeleitet, an denen Wege zu Fuß oder mit dem Fahrrad zurückgelegt wurden. So werden „täglich oder fast täglich“ 5,5 Tage pro Woche zugeordnet (Mittelpunkt zwischen 7 und 4 Tagen pro Woche) und mit 52 multipliziert; „1 - 3 Tage pro Woche“ werden 2 Tage pro Woche zugeordnet; „1 - 3 Tage pro Monat“ werden 2 Tage pro Monat zugeordnet und mit 12 multipliziert; „weniger als einmal pro Monat“ ist gleich 6 Tage pro Jahr; und „nie“ ist gleich 0. Die Tage pro Jahr werden anschließend durch 365 geteilt und mit einer für die jeweilige Fortbewegungsart spezifischen durchschnittlichen täglichen Entfernung multipliziert, die geschätzt wird, indem eine Zahl mit allen Fortbewegungsarten (drei) zurückgelegte Wege pro Person pro Tag mit der für die jeweilige Fortbewegungsart spezifischen durchschnittlichen Weglänge (siehe oben) multipliziert wird.

Wenn Benutzer die Auswirkungen auf die Kohlenstoffemissionen bewerten möchten, können sie auch Daten zu motorisierter Fortbewegung eingeben oder Vorgabewerte verwenden, wenn keine lokalen Daten verfügbar sind (siehe Abschnitt 3.12).

Bei HEAT sind mehrere Vorgabewerte hinterlegt; diese wurden aus der Literatur abgeleitet und wurden als Teil des Prozesses für den Expertenkonsens festgelegt. Sie sollten für die nachstehenden Variablen verwendet werden, wenn keine maßgeblicheren Daten verfügbar sind, die die untersuchte Situation

präziser wiedergeben. Weitere Informationen finden sich in Abschnitt 3.13 und auf der HEAT-Website (8).

3.8 Eingabedaten zum Umfang von Radfahren oder Gehen

Ausgangsdaten für das Modell können aus einer Reihe von Quellen stammen. Dazu zählen:

- Straßenbenutzererhebungen;
- Befragungen zum Fortbewegungsverhalten auf der Ebene der Population;
- Befragungen zum zielgerichteten Fortbewegungsverhalten (beispielsweise Pendlerverhalten); und
- Verkehrszählungen.

Alternativ können beispielsweise in Szenarioberechnungen fundierte Schätzungen als Ersatz für empirische Daten verwendet werden. In allen Fällen ist es wichtig, die zuverlässigsten verfügbaren Daten zu verwenden und diese wenn möglich durch Sekundärquellen zu validieren.

Die Qualität ökonomischer Bewertungen ist letztlich von der Genauigkeit der verwendeten Daten zu Gehen und Radfahren abhängig. Einige Überlegungen werden Ihnen helfen, die verfügbaren Daten optimal zu nutzen und Fehler zu vermeiden.

3.8.1 Verwendung von Kurzzeitzählungen und Erhebungen

Das Hauptproblem bei Kurzzeitzählungen ist, dass sie Schwankungen der Geh- oder Radfahrintensität im Zeitverlauf (das heißt zu unterschiedlichen Tageszeiten, an unterschiedlichen Wochentagen, in unterschiedlichen Jahreszeiten sowie bei unterschiedlichen Witterungsverhältnissen) nicht präzise erfassen.

Wenn die Zählung an einem sonnigen Tag durchgeführt wird, werden wahrscheinlich mehr Fußgänger und Radfahrer als an einem Regentag gezählt. Gleichmaßen wird in vielen Ländern in den Wintermonaten weniger Rad gefahren als im Frühling und im Sommer. Weil bei HEAT angenommen wird, dass die eingegebenen Daten das langfristige durchschnittliche Geh- oder Radfahrverhalten widerspiegeln, können Kurzzeitzählungen die Ergebnisse verfälschen.

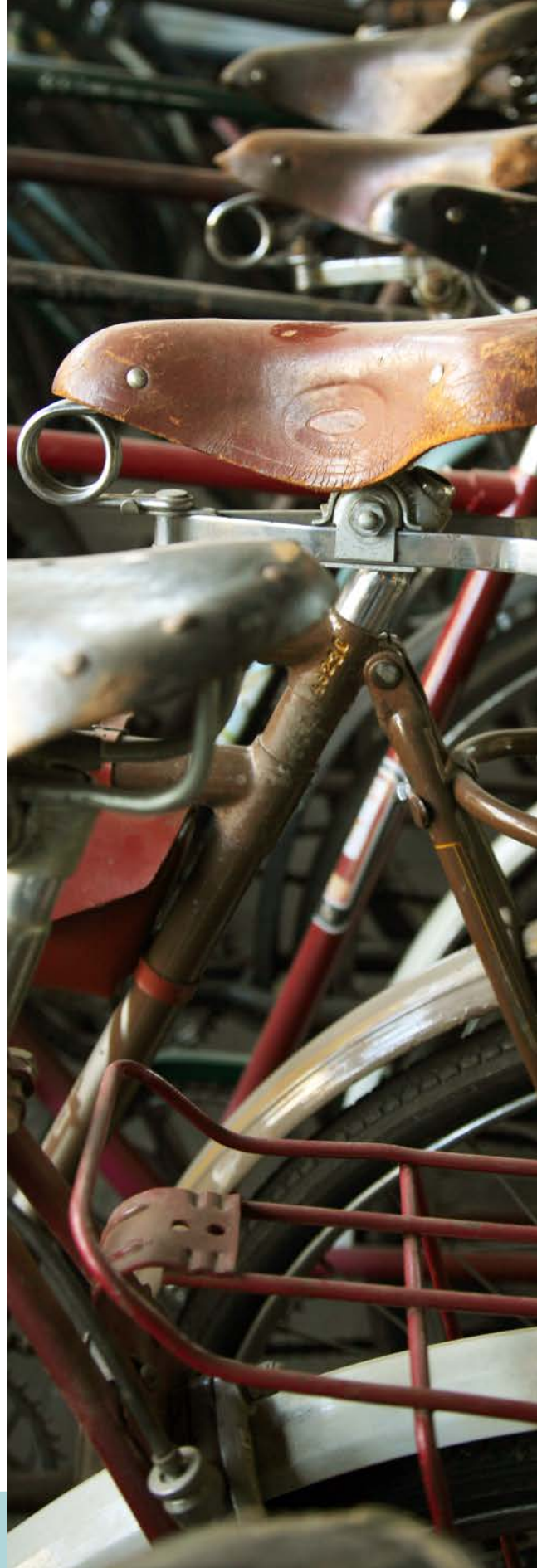
Dieses Problem wird in erster Linie Bewertungen einzelner Objekte (beispielsweise eines Fußgängerweges oder einer Brücke) betreffen, bei denen Zählungen am Objekt selbst durchgeführt werden, oder Bewertungen auf kommunaler Ebene, die auf Erhebungen basieren, die nur zu einer bestimmten Jahreszeit durchgeführt werden.

Damit Kurzzeitzählungen das langfristige Geh- oder Radfahrverhalten besser wiedergeben, können sie in Bezug auf zeitliche Schwankungen auch angepasst werden.

Nicht betroffen von diesem Problem sind Bewertungen auf der Grundlage von großen Erhebungen, die wie landesweite Verkehrserhebungen regelmäßig wiederkehrend durchgeführt werden, oder von automatisierten Dauerzählungen.

3.8.2 Verwendung von Daten von wenigen Erhebungsorten

Räumliche Schwankungen insbesondere des Gehverhaltens können sich negativ auf Bewertungen auswirken, die nur auf einem einzigen Erhebungsort oder wenigen Erhebungsorten basieren. Die Wahl des Erhebungsorts kann großen Einfluss auf die Zählergebnisse haben, die für das allgemeine Gehverhalten (oder Radfahrverhalten) vielleicht nicht repräsentativ sind. Die Ergebnisse müssen sorgfältig interpretiert



werden und sollten im Allgemeinen nicht zwischen den Orten extrapoliert werden, an denen die tatsächlichen Daten erhoben wurden.

Nicht betroffen von diesem Problem sind Bewertungen auf der Grundlage von Erhebungen, bei denen die Befragten nach dem Zufallsprinzip stichprobenartig in einem bestimmten Gebiet ausgewählt werden, (beispielsweise großen Haushaltserhebungen) und in einem geringeren Umfang Bewertungen von linear verlaufenden Objekten wie Wander- oder Radwanderwegen auf der Grundlage von Zählungen.

3.8.3 Verwendung von Häufigkeits- oder Zähldaten

Zur Berechnung der Geh- oder Radfahrintensität müssen bei HEAT Häufigkeits- oder Zähldaten mit einer Schätzung der durchschnittlichen Weglänge kombiniert werden. Ein Beispiel sind auf einer Brücke durchgeführte Zählungen, bei denen unbekannt bleibt, bis wie weit hinter der Brücke Fußgänger noch weitergehen beziehungsweise Radfahrer noch weiterfahren. Schätzungen der durchschnittlichen Weglänge können aus Nutzerbefragungen zu einem konkreten Objekt oder aus Verkehrserhebungen abgeleitet werden.

3.8.4 Verwendung von Schrittzählerdaten

Wenn der Bewertung Schrittzählerdaten zugrunde gelegt werden, sollte sichergestellt werden, dass sich die verwendete Schrittzahl überwiegend auf bewusst zügiges Gehen bezieht. Manche Schrittzähler verfügen über eine Funktion, die Schritte ausschließt, die nicht Gehen als aktive Fortbewegungsart betreffen. Ein anderer Ansatz könnte sein, nur aktive Fortbewegung zu Fuß mit einer Rate von etwa 100 Schritten pro Minute zu berücksichtigen (71) oder eine Annahme über den Anteil der Schritte insgesamt zu machen, die in diese Kategorie fallen.

3.9 Bewertung körperlicher Betätigung in HEAT

Um eine Schätzung des gesundheitlichen Nutzens von körperlicher Betätigung durch regelmäßiges Gehen oder Radfahren abzuleiten, verwendet das Instrument Schätzungen des relativen Sterberisikos aufgrund irgendeiner Ursache bei Personen, die regelmäßig Rad fahren oder zu Fuß gehen, im Vergleich zu Personen, die nicht regelmäßig Rad fahren oder zu Fuß gehen.

Das Instrument basiert auf einem relativen Risiko als Ergebnis einer Metaanalyse veröffentlichter Studien. Weitere Informationen zu den in HEAT für Radfahren und Gehen verwendeten relativen Risiken enthält Abschnitt 3.9.1.

Bei HEAT werden diese relativen Risiken verwendet und auf die vom Benutzer eingegebene Geh- oder Radfahrleistung angewendet, wobei eine lineare Beziehung zwischen Gehen oder Radfahren und der Sterblichkeit angenommen wird. Zur Veranschaulichung: Das relative Risiko aus der für die aktualisierte Version von HEAT für Radfahren verwendeten Metaanalyse ist 0,90 für regelmäßiges Radfahren als Pendler im Umfang von 100 Minuten pro Woche über 52 Wochen pro Jahr (entsprechend 87 Stunden Radfahren pro Jahr). In einem gegebenen Jahr erzielt eine Untersuchungsgesamtheit regelmäßiger Radfahrer folglich einen schützenden Nutzen von 10% (1,00 minus 0,90): Das heißt, bei ihnen ist die Sterbewahrscheinlichkeit aufgrund aller Ursachen zusammengenommen 10% kleiner als bei einer Untersuchungsgesamtheit von Personen, die nicht Rad fahren. Wenn der Benutzer stattdessen eingibt, dass im Jahr nur 29 Stunden Rad gefahren wird (also ein Drittel des obigen Umfangs), ergibt sich ein schützender Nutzen dieser Fahrleistung von etwa 3%. Wird eingegeben, dass 174 Stunden Rad gefahren wird (das heißt das Doppelte des Wertes für die Bezugsgesamtheit), beträgt der schützende



Nutzen 20%. Dies ist geringfügig weniger als das Doppelte des schützenden Nutzens der Bezugsgesamtheit.

Der gleiche Ansatz wird in Bezug auf Zufußgehen verwendet: Die Risikominderung beträgt 0,89 für regelmäßiges Zufußgehen im Umfang von 168 Minuten pro Woche über 52 Wochen des Jahres (entsprechend 46 Stunden Zufußgehen pro Jahr). Bei HEAT werden anschließend Sterblichkeitsdaten auf der Bevölkerungsebene zur Schätzung der Zahl der Erwachsenen in der Untersuchungsgesamtheit verwendet, von denen angenommen werden kann, dass sie unter normalen Umständen in einem gegebenen Jahr sterben. Dann wird unter Verwendung des korrigierten relativen Risikos berechnet, wie stark sich unter den Personen, die in dieser Untersuchungsgesamtheit in dem vom Benutzer eingegebenen Umfang Rad fahren oder zu Fuß gehen, die Zahl der erwarteten Sterbefälle verringert.

Außer wenn eine statische Situation untersucht wird, ist es wichtig, zu berücksichtigen, dass es zwischen einer Intensivierung der körperlichen Betätigung und messbarem gesundheitlichem Nutzen eine zeitliche Verzögerung geben wird. Auf der Grundlage eines Expertenkonsenses wurde beschlossen, dass fünf Jahre eine sinnvolle Annahme für die Zeitspanne sind, bis eine solche zusätzliche körperliche Betätigung volle Wirkung zeitigt; dabei wird von einer Zunahme des Nutzens um 20% pro Jahr ausgegangen.

3.9.1 Einsatzbereich und Beschränkungen

Wenngleich die Literatur darauf schließen lässt, dass die Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen körperlicher Betätigung und Sterblichkeit höchstwahrscheinlich nichtlinear ist (47,72), zeigte die für HEAT durchgeführte Metaanalyse (10) auch, dass die Unterschiede zwischen den verschiedenen Dosis-Wirkungs-Kurven gering waren (siehe Abschnitt 3.6). Für HEAT wurde

eine lineare Beziehung gewählt, um zusätzliche Datenanforderungen zu Ausgangsniveaus der körperlichen Betätigung zu vermeiden (die bei einer nichtlinearen Dosis-Wirkungs-Funktion benötigt würden) und weil innerhalb der für HEAT vorgesehenen Bandbreite körperlicher Betätigung eine lineare Näherung häufig ausreicht (siehe unten).

Um aufgeblähte Werte am oberen Ende des Wertebereichs zu vermeiden, wird bei HEAT die verfügbare Risikominderung beschränkt. Die Untersuchung der Datenpunkte der neuen Metaanalysen ergab, dass nach etwa 45% Risikominderung bei Radfahren und 30% bei Gehen die Risikominderung beginnt sich zu verlangsamen (und der größte Teil der Evidenz bezieht sich auf Belastungsniveaus unterhalb dieser Werte). Eine bei einer zielgerichteten Literaturdurchsicht ermittelte große Kohortenstudie (73) bestätigte diese Beschränkungen ebenfalls. Auf dieser Grundlage empfahl die Beratungsgruppe, diese Obergrenze in der aktualisierten Version von HEAT zu verwenden. HEAT wendet folglich für Radfahren eine Risikominderung des Sterberisikos von maximal 45% an (entsprechend 447 Minuten pro Woche) und für Gehen eine Risikominderung von maximal 30% (entsprechend 460 Minuten pro Woche) (Tabelle 1).

3.9.2 Formel

Die grundlegende Funktionsweise des HEAT-Moduls für körperliche Betätigung beruht auf der Formel:

$$1 - RR \times (\text{lokaler Umfang von Gehen oder Radfahren/Referenzumfang von Gehen oder Radfahren})$$

mit:

RR = relatives Sterberisiko in zugrunde liegenden Studien (Gehen: 0,89; Radfahren: 0,90).

Tabelle 1. Obergrenzen für den Nutzen von körperlicher Betätigung in HEAT

Fortbewegungsart	Anwendbare Altersspanne	Relatives Risiko	Bezugsleistung	Nutzen beschränkt auf
Gehen	20 - 74 Jahre	0,89 (KI 0,83 - 0,96)	168 Minuten/Woche	30% (460 Minuten/Woche)
Radfahren	20 - 64 Jahre	0,90 (KI 0,87 - 0,94)	100 Minuten/Woche	45% (447 Minuten/Woche)

KI: Konfidenzintervall

Die Radfahrleistung pro Person wird auf der Grundlage von 100 Minuten pro Woche für 52 Wochen/Jahr bei einer geschätzten Geschwindigkeit von 14 km/Stunde berechnet.

Die Bezugsleistung für Gehen basiert auf 168 Minuten pro Tag bei 4,8 km/Stunde.

Das relative Risiko wird anschließend verwendet, um auf der Grundlage der Sterblichkeitsrate die Zahl der vermiedenen Sterbefälle zu berechnen, wobei eine Formel mit einem der Bevölkerung zuschreibbaren Anteil angewendet wird. Nähere Informationen enthält Abschnitt 3.6.

3.9.3 Verwendete Schätzung des relativen Risikos

Die aussagekräftigste Evidenz zu den Auswirkungen von Radfahren auf die Sterblichkeit waren zum Zeitpunkt des ersten Projekts die Daten in Bezug auf das relative Risiko aus zwei kombinierten Kohortenstudien aus Kopenhagen (5,15,74). Diese Untersuchung umfasste 7000 20- bis 60-jährige Teilnehmer, die für einen Zeitraum von durchschnittlich 14,5 Jahren beobachtet wurden. Sie ergab ein relatives Gesamtsterberisiko bei Pendlern, die regelmäßig für 180 Minuten wöchentlich auf dem Weg zur Arbeit und zurück das Fahrrad benutzten, von 0,72 (95%-Konfidenzintervall (KI): 0,57 - 0,91), verglichen mit Pendlern, die nicht mit dem Rad fahren.

2013 wurde eine neue systematische Durchsicht zum verringerten relativen Gesamtsterberisiko infolge regelmäßigen Radfahrens oder Gehens vorgenommen (10).

Um bei dieser Durchsicht berücksichtigt zu werden, musste eine Studie folgende Voraussetzungen erfüllen:

- Es musste sich um eine prospektive Kohortenstudie handeln;
- sie musste Angaben zum Umfang regelmäßigen Gehens oder Radfahrens (als Dauer, Entfernung oder metabolische Äquivalente (MET)) enthalten;
- sie musste Gesamtsterblichkeitsraten oder Risikominderungen als Ergebnis angeben; und
- die Resultate mussten unabhängig von anderen Formen körperlicher Betätigung (das heißt um diese bereinigt) angegeben sein.

Insgesamt wurden 8901 Titel ermittelt, und 431 vollständige Texte wurden untersucht. Sieben Studien zu Radfahren (aus China, Dänemark, Deutschland und dem Vereinigten Königreich) und 14 Studien zu Gehen (aus China, Dänemark, Deutschland, Japan, dem Vereinigten Königreich

und den Vereinigten Staaten) erfüllten die Berücksichtigungskriterien. Eine Metaanalyse wurde durchgeführt, bei der die Resultate dieser Studien zusammengeführt wurden. Weil in den verfügbaren Studien eine Reihe von Belastungsarten verwendet wurde, musste bei der Durchführung der Metaanalyse für jede Studie das verminderte Risiko auf einem gemeinsamen Belastungsniveau geschätzt werden. Zu diesem Zweck wurden die verschiedenen in den Studien verwendeten Arten der Belastung durch Radfahren und Gehen in MET-Stunden pro Woche umgerechnet (unter der Annahme einer linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung und einer durchschnittlichen Intensität von 6,8 MET für Radfahren und 4,0 MET für Gehen, wenn nicht anders angegeben). Die durchschnittliche Belastung wurde auf 11,25 MET-Stunden festgelegt. Dieser Wert wurde aus den globalen Empfehlungen für körperliche Betätigung abgeleitet und entspricht dem empfohlenen Niveau von mindestens 150 Minuten mäßiger körperlicher Betätigung pro Woche (20), wobei 4,5 MET als ein Durchschnittswert für körperliche Betätigung mäßiger Intensität verwendet wurden. Bei Verwendung von 6,8 MET als durchschnittliche Radfahrintensität ist diese Belastung gleichbedeutend mit etwa 100 Minuten Radfahren pro Woche und 170 Minuten Gehen pro Woche unter Verwendung einer durchschnittlichen Intensität von 4,0 MET.

Die internationale Beratungsgruppe empfahl, für HEAT eine lineare Dosis-Wirkungs-Funktion auf der Grundlage eines relativen Risikos von 0,90 für Radfahren und 0,89 für Gehen unter Anwendung einer konstanten absoluten Risikominderung zu verwenden (75). Die Sensitivität der Resultate gegenüber verschiedenen möglichen Formen von Dosis-Wirkungs-Beziehungen wurde überprüft. Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Kurven waren gering, und der Unterschied bei der abschließenden Risikoschätzung betrug nicht mehr als 6%.

3.10 Bewertung der Luftverschmutzung in HEAT

Als Grundlage für die Bewertung der Auswirkungen der Luftverschmutzung auf Radfahrer und Fußgänger in HEAT wurde eine Methode zur quantitativen Risikobewertung der Luftverschmutzung und der Fortbewegungsarten (24,25) vereinbart (7,51,76). Bei dieser Methode wird $PM_{2,5}$ als das Maß für die Luftverschmutzung auf der Grundlage von Hintergrundkonzentrationen von $PM_{2,5}$ verwendet. Je nach gewähltem Land und/oder gewählter Stadt schlägt HEAT eine $PM_{2,5}$ -Konzentration aus der Globalen Datenbank der WHO zur Luftverschmutzung in Städten (Werte für Städte) (77) oder der Datenbank des Global Health Observatory (Werte für Länder) (78) vor; Benutzer können diesen Wert überprüfen. Wenn kein Wert aus den Datenbanken verfügbar ist oder der Benutzer die Eingabe eines lokalen Werts vorzieht, kann ein $PM_{2,5}$ -Wert eingegeben werden (oder es kann ein $PM_{2,5}$ -Wert mit einem international akzeptierten Umrechnungsfaktor von 0,6 (79) abgeleitet werden, um bei Bedarf allgemein verfügbare PM_{10} -Messungen in Schätzungen von $PM_{2,5}$ (51) umzuwandeln).

Die entsprechende Veränderung der Luftschadstoffaufnahme aufgrund von Radfahren oder Gehen im Vergleich zu einem Referenzszenario wird unter Verwendung eines Luftumsatzwertes ($1,37 \text{ m}^3/\text{Stunde}$ für Fußgänger und $2,55 \text{ m}^3/\text{Stunde}$ für Radfahrer) (51,76), der Belastungsdauer und der $PM_{2,5}$ -Konzentration für die jeweilige Fortbewegungsart berechnet. Die berechnete Aufnahme wird zur Aufnahme während des restlichen Tages addiert.

Bei der Berechnung der unterschiedlichen Luftschadstoffbelastung infolge eines bestimmten Umfangs von Radfahren oder Gehen berücksichtigt HEAT zwei Aspekte:

- wo Rad gefahren oder zu Fuß gegangen wird, um das angemessene Niveau der Luftschadstoffbelastung abzuleiten: (a) überwiegend auf oder nahe einer Straße mit motorisiertem Verkehr (und deshalb mit einer Luftschadstoffkonzentration, die als identisch mit der Hintergrundkonzentration, multipliziert mit einem vereinbarten Umrechnungsfaktor für Radfahren oder Gehen, angenommen wird (siehe unten)); (b) überwiegend in einem Park oder entfernt von Straßen mit motorisiertem Verkehr (und deshalb mit einer Luftschadstoffkonzentration, die als identisch mit der Hintergrundkonzentration angenommen wird); und
- den Hauptzweck von Radfahren oder Gehen, um den geeigneten Referenzfall abzuleiten: (a) überwiegend als Freizeitaktivität, sodass das Vergleichsszenario in HEAT ist „Zu Hause bleiben“ (mit einer Luftschadstoffkonzentration, die als identisch mit der Hintergrundkonzentration angenommen wird, und einem Luftumsatz von $0,61 \text{ m}^3/\text{Stunde}$); (b) überwiegend als Pendler, sodass als Vergleichsszenario in HEAT „Kfz-Benutzung“ angenommen wird (mit einer Luftschadstoffkonzentration identisch mit der Hintergrundkonzentration, multipliziert mit einem vereinbarten Umrechnungsfaktor (siehe unten), und einem Luftumsatz von $0,61 \text{ m}^3/\text{Stunde}$ (51,76)).

Für die einzelnen Fortbewegungsarten spezifische $\text{PM}_{2,5}$ -Konzentrationen werden unter Verwendung von Umrechnungsfaktoren aus den Hintergrundkonzentrationen abgeleitet. Die angewendeten Faktoren von 2,0 für Radfahren, 1,6 für Gehen und 2,5 für die Verwendung eines Kfz³ (gegenüber dem Hintergrund) wurden für

³ Die Literaturdurchsicht (11) konzentrierte sich auf Studien, in denen aktive Fortbewegungsarten passiven gegenübergestellt wurden; das in HEAT verwendete Verhältnis von Luftschadstoffkonzentration



HEAT aus einer zielgerichteten Durchsicht von Studien abgeleitet, in denen $PM_{2,5}$ -Konzentrationen beim Radfahren oder Gehen im Vergleich mit Konzentrationen bei anderen Fortbewegungsarten geschätzt wurden (11).

Die internationale Beratungsgruppe vereinbarte, für HEAT eine auf 14 internationalen Kohortenstudien beruhende Metaanalyse zu verwenden, in der das relative Risiko zwischen der Gesamtsterblichkeit und jeden weiteren $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ $PM_{2,5}$ als 1,07 (1,04 - 1,09) zusammengefasst wurde (51). Es wird einen zeitlichen Abstand zwischen der Belastung durch Luftschadstoffe und negativen gesundheitlichen Auswirkungen geben. Auf der Grundlage eines Expertenkonsenses wird als sinnvolle und wahrscheinlichste konservative Annahme ein zeitlicher Abstand von fünf Jahren – ähnlich demjenigen, der bei den gesundheitlichen Auswirkungen von körperlicher Betätigung verwendet wurde (siehe Abschnitt 3.9) – verwendet, bis sich die Luftverschmutzung auf die Sterblichkeit niederschlägt, bei einem gleichmäßigen Zuwachs von 20% pro Jahr.

3.10.1 Einsatzbereich und Beschränkungen

Die Verwendung nichtlinearer integrierter Dosis-Wirkungs-Funktionen wurde vorgeschlagen, um Hinweisen dahingehend Rechnung zu tragen, dass die Beziehung zwischen Luftschadstoffen und dem Gesundheitsrisiko bei stärkerer Verschmutzung abflacht (51). Allerdings wird HEAT vor allem für Anwendungen in der Europäischen Region vorgeschlagen, wo die extreme Belastung, die bisweilen in anderen Teilen der Welt vorkommt, selten ist. Die Experten hielten deshalb eine lineare Dosis-Wirkungs-Funktion für angemessen im Rahmen von HEAT (7).

Um aufgeblähte Werte am oberen Ende des Wertebereichs zu vermeiden, wird bei HEAT der

bei Kfz-Nutzung zur Hintergrundkonzentration stammt aus diesen Studien und sollte als Näherung betrachtet werden.

Risikoanstieg aufgrund der Feinstaubbelastung beschränkt. Für die Verwendung in HEAT wurde eine bereits früher vereinbarte Obergrenze von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (80) ausgewählt, die auch mit den Erkenntnissen über die Belastung durch Luftschadstoffe an den Orten übereinstimmt, an denen die Studien durchgeführt wurden, die HEAT zugrunde liegen (10). Wenngleich HEAT auch an Orten mit etwas stärkerer Luftverschmutzung benutzt werden kann, werden in diesem Fall über den oberen Grenzwert von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ keine weitergehenden gesundheitlichen Auswirkungen angewendet. Ein unterer Grenzwert wird für HEAT nicht verwendet, weil neuere Erkenntnisse zeigen, dass selbst sehr niedrige Konzentrationen von Luftschadstoffen negative gesundheitliche Auswirkungen haben können (81).

Schlussendlich berücksichtigt HEAT ausschließlich die gesundheitlichen Auswirkungen von Luftschadstoffen auf Radfahrer und Fußgänger und untersucht nicht den (häufig beträchtlichen (21,24)) Nutzen der Verringerung der Luftverschmutzung durch die Substitution motorisierter Fortbewegung durch Radfahren und Gehen für die Gesamtbevölkerung.

3.10.2 Verwendete Schätzungen des relativen Risikos

HEAT verwendet das relative Risiko aus einer Metaanalyse, in die 14 internationale Kohortenstudien aus Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Italien, Kanada, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Schweden, der Schweiz, Spanien, dem Vereinigten Königreich und den Vereinigten Staaten einbezogen wurden (78). Das Instrument quantifiziert das relative Sterberisiko aufgrund aller Ursachen pro $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ $PM_{2,5}$ mit 1,07 (KI 1,04 - 1,09). Daraus resultiert ein Anstieg des Sterberisikos um 7% pro zusätzlicher Erhöhung der Langzeitbelastung um $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ $PM_{2,5}$. Dies bedeutet mit anderen Worten, dass Personen, die einer um

10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ höheren Belastung durch $\text{PM}_{2,5}$ ausgesetzt sind, (zu einem beliebigen Zeitpunkt) ein um 7% höheres Sterberisiko haben als Personen, die einer um 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ niedrigeren Belastung ausgesetzt sind, vorausgesetzt, sie unterscheiden sich nicht durch Alter, Raucherstatus oder ein anderes maßgebliches Merkmal.

Wenn mehrere Arbeiten zu einer Studie vorhanden waren, wurde aufgrund der längeren Nachbeobachtungszeit nur die jüngste verwendet. In die quantitative Metaanalyse wurden nur Studien mit einer direkten Schätzung der $\text{PM}_{2,5}$ -Belastung einbezogen. Für die Gesamtsterblichkeit aufgrund der $\text{PM}_{2,5}$ -Belastung umfasste die anfängliche Analyse (63) elf Studien. Später wurden drei weitere Studien hinzugenommen (78), die jedoch nur einen geringen Einfluss auf die Schätzung des relativen Risikos hatten.

Die Autoren fanden auch nur weniger Belege einer engeren Beziehung für Frauen als für Männer. Bei Personen mit niedrigerem Bildungsstand und Adipösen ergab sich ein größerer geschätzter Einfluss von Feinstaub auf die Sterblichkeit; in neueren Studien wird dagegen über schwächere Evidenz für bildungsbedingte Unterschiede berichtet (63).

3.10.3 Verknüpfung von körperlicher Betätigung und Belastung durch Luftverschmutzung

Die in HEAT verwendeten veröffentlichten relativen Risiken für Sterblichkeit und körperliche Betätigung aufgrund von Gehen und Radfahren wurden Studien in Settings entnommen, in denen die Teilnehmer (unterschiedlichen Niveaus von) Luftverschmutzung ausgesetzt waren. Per se schließen die relativen Risiken für körperliche Betätigung beim Gehen oder Radfahren einen geringen Einfluss der Luftverschmutzung auf den Bevölkerungsdurchschnitt ein. Wenn HEAT-Benutzer die ausschließliche

Bewertung der Auswirkungen körperlicher Betätigung wählen, wird dies nicht separat bereinigt, weil implizit angenommen wird, dass die Luftschadstoffniveaus zwischen dem bewerteten Setting und den Settings, in denen die Studien durchgeführt wurden, vergleichbar sind.

Wenn Benutzer jedoch die Bewertung sowohl der körperlichen Betätigung als auch der Luftverschmutzung wählen, passt HEAT das relative Risiko für den Nutzen körperlicher Betätigung in Form von Gehen und Radfahren an, um die Auswirkungen der Luftverschmutzung auszuschließen, wobei relative Risikoabschätzungen verwendet werden, die an die Werte angepasst sind, die sich ergeben würden, wenn die Studien zur körperlichen Betätigung in Umgebungen ohne Luftverschmutzung durchgeführt worden wären. Die Auswirkungen der zusätzlichen Belastung durch Luftverschmutzung beim Gehen oder Radfahren werden separat berechnet (und werden in den detaillierten HEAT-Resultaten in Abschnitt 3.16 gezeigt).

Um die angepassten relativen Risiken abzuleiten, wurde die Belastung durch Luftschadstoffe ($\text{PM}_{2,5}$) in den einzelnen Studiensettings für Radfahren und Gehen unter Verwendung internationaler Datenbanken und unter der Annahme einer um 50% höheren historischen Belastung geschätzt, um die allgemeine Verbesserung der Luftverschmutzung zwischen dem Zeitpunkt der Durchführung der zugrunde liegenden Studien (zwischen 1964 und Anfang der 2000er Jahre) und dem Jahr 2011, für das die Belastung durch Luftschadstoffe verfügbar war, zu berücksichtigen (7). Die Auswirkungen dieser Belastung beim Gehen oder Radfahren auf die ursprünglichen relativen Risiken aus den Studien zu körperlicher Betätigung (10) wurden unter Verwendung einer veröffentlichten Belastungs-Reaktions-Funktion zwischen $\text{PM}_{2,5}$ und der Gesamtsterblichkeit (63), vorgegebener Luftumsatzraten (siehe Abschnitt



3.13) und der veröffentlichten Belastungsdauer (35) berechnet.

Nachstehend sind die bei der Bewertung körperlicher Betätigung verwendeten relativen Risiken aufgelistet.

Für Radfahren:

- unbereinigt: RR = 0,903 (0,866 - 0,943); und
- um Luftverschmutzung bereinigt: RR = 0,899 (0,861 - 0,939).

Für Gehen:

- unbereinigt: RR = 0,886 (0,806 - 0,973); und
- um Luftverschmutzung bereinigt: RR = 0,883 (0,803 - 0,970).

Zu beachten ist, dass die gleiche Argumentation umgekehrt für den Einfluss aktiver Fortbewegung auf die veröffentlichten relativen Risiken von Luftverschmutzung aus Studien angeführt werden könnte, in denen Personen zu Fuß gehen oder Rad fahren. Man kann annehmen, dass dieser Einfluss aufgrund des kleinen Beitrags der zusätzlich eingeatmeten Luftschadstoffdosis beim Gehen oder Radfahren zur Gesamtbelastung der gesamten Studienpopulation vernachlässigbar wäre.

3.11 Bewertung von Straßenverkehrsunfällen in HEAT

HEAT bewertet die Auswirkungen von Straßenverkehrsunfällen mithilfe eines grundlegenden Ansatzes (35): eine allgemeine Schätzung des Risikos von Straßenverkehrsunfällen wird mit den lokalen, vom Benutzer eingegebenen Daten zu Radfahren multipliziert (Versionen für Gehen und motorisierte Fortbewegung sind geplant). Die allgemeine Schätzung des

Straßenverkehrsunfallrisikos für Radfahren wird auf der Grundlage nationaler Statistiken abgeleitet. Dabei wird die Gesamtzahl der Fahrradunfälle mit tödlichem Ausgang durch die Gesamtzahl der gefahrenen Kilometer pro Land geteilt (siehe Datenquellen unten).

3.11.1 wVerbesserungen der Sicherheit im Lauf der Zeit

Bei Bewertungen, bei denen zwei Fälle miteinander verglichen werden (beispielsweise vorher/nachher oder Szenarien A und B), hat der Benutzer die Möglichkeit, eine Änderung des Straßenverkehrsunfallrisikos (beispielsweise eine Minderung um 10%) anzugeben (34). HEAT führt dann eine lineare Interpolation des Straßenverkehrsunfallrisikos im Zeitverlauf durch (siehe Abschnitt 3.6).

3.11.2 Einsatzbereich und Beschränkungen

Weil Daten auf der Stadtebene nur beschränkt verfügbar sind, wird dieses Modul in erster Linie zur Bewertung auf der nationalen Ebene angeboten; wenn die Bewertung auf der Stadtebene gewählt wird, wird derzeit die jeweilige nationale Standardverkehrstotenrate angezeigt. Benutzer können diesen Näherungswert verwenden oder ihn überschreiben, wenn sie über einen geeigneten lokalen Hintergrundwert für das Straßenverkehrsunfallrisiko verfügen, den sie verwenden können. In dem Maß, in dem mehr Daten verfügbar werden, ist vorgesehen, die Bewertung auf der Grundlage von Hintergrundraten für das Straßenverkehrsunfallrisiko auf der Stadtebene anzubieten.

Weil Straßenverkehrsunfallrisiken unterhalb der Stadtebene stark variieren können, beispielsweise zwischen Straßenarten oder Verkehrsanlagen, bleibt die Ableitung korrekter Unfallrisikoschätzungen in solchen Größenordnungen problematisch. Wegen des vereinfachten Ansatzes zur Schätzung der Auswirkungen von

Straßenverkehrsunfällen in HEAT wird diese Bewertungsmöglichkeit wahrscheinlich nicht angeboten werden.

HEAT berücksichtigt außerdem keine Unterschiede oder Veränderungen bei der Exposition gegenüber motorisiertem Verkehr. Eine solche Bewertung, wie sie in Elvik et al. (27) und in anderen Veröffentlichungen vorgeschlagen wird, könnte in einer späteren Version angeboten werden.

Derzeit berücksichtigt HEAT Verletzungen aus Straßenverkehrsunfällen ebenfalls nicht. Die HEAT-Beratungsgruppe war sich bewusst, dass die Nichtberücksichtigung der gesundheitlichen Auswirkungen und der Kosten von Verletzungen bedeutet, dass es noch nicht möglich ist, mit HEAT alle negativen gesundheitlichen Auswirkungen von Straßenverkehrsunfällen vollständig zu erfassen (35). Damit wurde jedoch dem Umstand Rechnung getragen, dass die derzeit verfügbaren Datenquellen und fehlende international standardisierte Ansätze zu Definitionen und zur Sammlung von Daten zu Verletzungen im Straßenverkehr es noch nicht gestatten, nicht tödliche Verläufe zu berücksichtigen. Solche Bewertungen werden möglicherweise zu einem späteren Zeitpunkt angeboten werden.

3.11.3 Formel

$$S_{\text{lokal}} = SR_{\text{allgemein}} \times E_{\text{lokal}}$$

mit:

S_{lokal} = erwartete Zahl getöteter Radfahrer aufgrund des lokalen Umfangs, in dem Rad gefahren wird

$SR_{\text{allgemein}}$ = Schätzung des allgemeinen nationalen Risikos, in einen Straßenverkehrsunfall mit tödlichem Verlauf verwickelt zu werden, berechnet, indem die Zahl der Radfahrer, die auf der nationalen Ebene pro Jahr bei

Straßenverkehrsunfällen sterben, durch den Schätzwert der auf der nationalen Ebene insgesamt mit dem Fahrrad zurückgelegte Wege in km pro Jahr geteilt wird

E_{lokal} = auf der lokalen Ebene mit dem Fahrrad zurückgelegte Wege in km auf der Grundlage von Daten, die der Benutzer von HEAT eingibt

3.11.4 Unfallrisikodaten

Die allgemeinen Schätzungen des Straßenverkehrsunfallrisikos wurden unter Verwendung von Daten zu Verkehrstoten und Exposition berechnet, die aus verschiedenen Quellen abgeleitet wurden. Daten zu Straßenverkehrsunfällen mit tödlichem Verlauf wurden aus den internationalen Datenreihen des Internationalen Verkehrsforums (82) und der Weltgesundheitsorganisation (83) zusammengestellt. Weil internationale Datenbanken zur Exposition fehlen, wurden die Daten aus mehreren nationalen Quellen zusammengestellt (Details bietet die HEAT-Website (8)). Für die nicht in diesen Datenbanken enthaltenen Länder wurde die Exposition beim Radfahren unter Verwendung von Annahmen zum Mobilitätsbedarf (drei Wege beliebiger Fortbewegungsart pro Person pro Tag) und zur Weglänge (3 km pro mit dem Fahrrad zurückgelegtem Weg), Bevölkerungsdaten (83) und Extrapolationen von Daten zur Aufteilung der Fortbewegungsarten (84) geschätzt.

Die Quellen unterschieden sich qualitativ, und sie zu kombinieren impliziert unterschiedliche Zuverlässigkeitsgrade der resultierenden allgemeinen Schätzungen des Risikos, in einen Straßenverkehrsunfall mit tödlichem Verlauf verwickelt zu werden. Der folgende Abschnitt bietet weitere Informationen.

3.11.5 Entwicklung von Hintergrundraten von Straßenverkehrsunfällen

Die allgemeinen Schätzungen des Risikos, in einen Straßenverkehrsunfall mit tödlichem Verlauf verwickelt zu werden, wurden berechnet,

indem die Zahl der auf der nationalen Ebene pro Jahr bei Straßenverkehrsunfällen gestorbenen Radfahrer (Zähler) durch nationale Schätzungen der insgesamt mit dem Fahrrad zurückgelegten Wege in km pro Jahr (Nenner) geteilt wurde. Die Daten sowohl zu Verkehrstoten als auch zur Exposition wurden aus unterschiedlichen Quellen mit unterschiedlicher Datenqualität abgeleitet.

Daten zu Verkehrstoten vom Internationalen Verkehrsforum (82) wurde höhere Priorität als solchen von der WHO (83) beigemessen (Abb. 6), weil diese Datenreihe Beobachtungen für Zeitreihen über mehrere Jahre enthält. Um den Effekt der gewöhnlichen Schwankung von Verkehrstotenzahlen von einem Jahr zum anderen zu verringern, wurde für HEAT ein Fünfjahresdurchschnitt (2011 - 2015) berechnet. Die Datenreihe des Internationalen Verkehrsforums enthält jedoch nicht Informationen zu allen in HEAT berücksichtigten Ländern. Für diese Länder wurden Daten zu Verkehrstoten von der WHO (83) verwendet. Diese Datenreihe enthält Daten aus vielen Ländern, aber nur für ein Jahr (überwiegend 2013), und kann Beobachtungen sowie Modellschätzungen enthalten (wenn Beobachtungen nicht verfügbar sind). Die Zahl der Verkehrstoten für die Fortbewegungsart wurde berechnet, indem die Zahl der Verkehrstoten über alle Fortbewegungsarten mit dem Anteil der Verkehrstoten für jede Fortbewegungsart multipliziert wurde.

Weil es nur wenige internationale Datenbanken für Expositionsdaten (mit dem Fahrrad pro Jahr zurückgelegte km) gibt, wurden die Daten aus mehreren nationalen Quellen zusammengestellt. Wenn Daten für unterschiedliche Jahre verfügbar waren, wurden neuere Daten (aus dem Jahr 2015) vorrangig verwendet. Wenn Expositionsdaten für mehr als ein Jahr verfügbar waren, wurden Durchschnitte berechnet, optimalerweise für den Zeitraum von 2011 - 2015. In manchen Fällen waren nationale Expositionsdaten unvollständig

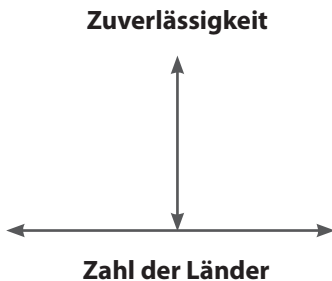
und erforderten zusätzliche Berechnungen unter der Verwendung von Annahmen. Für Länder ohne verfügbare Expositionsdaten aus nationalen Quellen wurde die Exposition beim Radfahren geschätzt, indem die Bevölkerung (83) mit der Zahl aller zurückgelegten Wege in allen Fortbewegungsarten pro Person und Tag (Annahme), der Entfernung pro mit Fahrrad zurückgelegten Weg (Annahme) und der Aufteilung der Fortbewegungsarten nach Weltregion, extrapoliert aus Daten auf der Stadtebene (84) multipliziert wurde (Abb. 6).

Die folgenden Annahmen wurden angewendet.

- 3 Wege pro Person pro Tag. Laut Diaz Olvera et al. (85) reicht der Mobilitätsbedarf über alle Fortbewegungsarten in Ländern mit niedrigem und mittlerem Einkommen in Afrika südlich der Sahara von 3,0 bis 4,6. Diese Werte ähneln solchen, wie sie in Ländern mit höherem Einkommen wie Frankreich ermittelt werden. In HEAT wird der niedrigste Werte des Wertebereichs verwendet, um konservative Schätzungen zu erhalten.
- 3 km pro mit dem Fahrrad zurückgelegte Strecke. Dem EU-Projekt WALCYNG for Europe zufolge reicht die durchschnittliche Länge von Wegen, die mit dem Fahrrad zurückgelegt werden, von 3 bis 4 km (86). Auch hierfür wird in HEAT der niedrigste Wert des Wertebereichs verwendet, um konservative Schätzungen zu erhalten.

Die obengenannten Quellen sind von unterschiedlicher Qualität, und sie zu kombinieren impliziert unterschiedliche Zuverlässigkeitsgrade der resultierenden Schätzungen für das Risiko, in einen Straßenverkehrsunfall mit tödlichem Verlauf verwickelt zu werden. Auf der Grundlage der Datenqualität der Datenreihen, die für die Zahl der Verkehrstoten (Zähler der

Abb. 6: Verwendete Quellen für Expositionsdaten für die Hintergrundraten von Straßenverkehrsunfällen in HEAT



$E = \text{Bevölkerung} \times MB \times AFF \times WLF$
 E = Exposition: mit dem Fahrrad pro Jahr zurückgelegte km
 Bevölkerung: WHO-Daten
 MB = Mobilitätsbedarf (drei Wege pro Tag in allen Fortbewegungsarten, Annahme)
 AFF = Anteil der Fortbewegung mit dem Fahrrad: mit dem Fahrrad zurückgelegte Wege als Anteil an den Wegen insgesamt (Extrapolationen von ITDP-ITS nach Weltregion)
 WLF = Mit dem Fahrrad zurückgelegte Weglänge (3 km pro mit dem Fahrrad zurückgelegtem Weg, Annahme)
 ITDP-ITS = Institute for Transportation and Development Policy und Institute of Transportation Studies
 WHO-GHO = WHO Global Health Observatory



Schätzung des Risikos, in einen Straßenverkehrsunfall mit tödlichem Verlauf verwickelt zu werden) und die Exposition (Nenner), wurden fünf Zuverlässigkeitsgrade unterschieden:

- sehr hoch: Zähler aus Verkehrstotendaten vom Internationalen Verkehrsforum und Nenner aus nationalen Quellen;
- hoch: Zähler aus Verkehrstotendaten vom Internationalen Verkehrsforum und Nenner aus nationalen Quellen, die einige Berechnungen oder Annahmen implizieren;
- mittel: Zähler aus Verkehrstotendaten vom Internationalen Verkehrsforum und Nenner geschätzt auf der Grundlage der Extrapolation der Aufteilung der Fortbewegungsarten durch das Institute for Transportation and Development Policy;
- niedrig: Zähler aus beobachteten Verkehrstotendaten des WHO Global Health Observatory und Nenner geschätzt auf der Grundlage der Extrapolation der Aufteilung der Fortbewegungsarten durch das Institute for Transportation and Development Policy; und
- sehr niedrig: Zähler aus modellierten Verkehrstotendaten des WHO Global Health Observatory und Nenner geschätzt auf der Grundlage der Extrapolation der Aufteilung der Fortbewegungsarten durch das Institute for Transportation and Development Policy.

3.12 Bewertung von Kohlenstoffemissionen in HEAT

3.12.1 Überblick

Die Bewertung von Kohlenstoffemissionen in HEAT besteht aus drei Hauptbewertungsschritten (35):

- Bewertung der tatsächlichen Änderung der Fortbewegungsart von motorisierter Fortbewegung zu Gehen oder Radfahren (oder umgekehrt);
- Bewertung der Kohlenstoffemissionen von substituierter motorisierter Fortbewegung; und
- Bestimmung des ökonomischen Werts der sozialen Auswirkungen von Veränderungen der Kohlenstoffemissionen.

HEAT kann die Substitution motorisierter Fortbewegung in Bewertungen bewerten, bei denen zwei Fälle verglichen werden (siehe Abschnitt 3.6): beispielsweise Gegenüberstellung von Referenz- und Vergleichsfall, vor und nach einer Intervention oder mit und ohne politische Maßnahmen. Nach der Eingabe eines Umfangs von Gehen und/oder Radfahren werden Benutzer aufgefordert, ihre Daten anzupassen (siehe Abschnitt 3.14), um die Anteile von Gehen und/oder Radfahren zu berücksichtigen, die:

- neu zugeordnet wurden (von anderen Strecken oder Zielen verlagert wurden) oder aufgrund angeregten (oder erzeugten) Bedarfs vollständig neu sind; beide Fälle werden bei der Bewertung von Kohlenstoffemissionen nicht berücksichtigt (wenn beispielsweise 5% des neuen Radverkehrs von einer Parallelstrecke verlagert wurden und 5% neu angeregter Verkehr sind, beträgt der für die Bewertung der Kohlenstoffemissionen relevante Radverkehr 90% des ursprünglich vom Benutzer eingegebenen Umfangs);
- überwiegend der Fortbewegung dienen (d. h. keine Freizeitaktivität sind); unter der Annahme, dass keine Fortbewegung in der Form von Gehen und/oder Radfahren in der

Freizeit zuvor motorisiert stattgefunden hat, wird bei der Bewertung der Kohlenstoffemissionen der Umfang an aktiver Fortbewegung in der Freizeit nicht berücksichtigt; und

- von anderer motorisierter Fortbewegung verlagert wurden; für diese Änderungen der Fortbewegungsart werden korrigierbare vorgegebene Wechselraten bereitgestellt (siehe Abschnitt 3.12.2).

Die Einzelfallbewertung (bei der eine statische Situation angenommen wird), schließt per Definition neu zugeordnetes und neu angeregtes Gehen und/oder Radfahren aus. In diesem Fall werden die von anderen Fortbewegungsarten verlagerten Anteile verwendet, um den Umfang motorisierter Fortbewegung abzuleiten, der hypothetisch anderenfalls stattgefunden hätte (jedoch nicht in Form von Gehen und/oder Radfahren). Der gleiche Ansatz gilt für die Bewertung von zwei Fällen, bei der der Benutzer (im Abschnitt Dateneingabe) für die motorisierte Fortbewegung die Option „keine Daten“ gewählt hat.

Im zweiten Schritt werden diese Veränderungen der Fortbewegungsart in Kohlenstoffemissionen umgerechnet, die potenziell vermieden (Einzelfallbewertung) oder eingespart (Bewertung von zwei Fällen) werden. Für diesen Berechnungsschritt umfasst der HEAT-Ansatz:

- **betriebliche Emissionen** (Abschnitt 3.12.3) einschließlich landes- und jahresspezifischer Hintergrundwerte für durchschnittliche Weglängen, Kraftstoffanteile, Zusammensetzung der Fahrzeugflotte, Umgebungstemperatur, erhöhter Kaltstartemissionen und eines korrigierbaren Werts zu vorherrschenden Verkehrsbedingungen im Untersuchungsgebiet;

- **Energieversorgungsemissionen** (Abschnitt 3.12.4) einschließlich landes- und jahresspezifischer Hintergrundwerte für Kraftstoffbereitstellungsemissionen (Well-to-tank) für verschiedene Straßenverkehrskraftstoffe wie Benzin, Diesel und Elektrizität; und

- **Fahrzeuglebenszyklusemissionen** (Abschnitt 3.12.5) unter Verwendung eines standardmäßigen Sachbilanzansatzes, bei dem eingebettete Kohlenstoffemissionsfaktoren für Materialeinsatz und Energieverbrauch bei der Kfz-Herstellung angewendet werden.

Im dritten Schritt werden die resultierten eingesparten Kohlenstoffemissionen unter Verwendung des Ansatzes der sozialen Kosten von Kohlenstoff monetarisiert (siehe Abschnitt 3.15.2). Änderbare Vorgabewerte werden angeboten, die nach Land und dem Jahr aufgeschlüsselt sind, in dem die ökonomische Bewertung beginnt.

3.12.2 Änderung der Fortbewegungsart und Verlagerungsraten (Schritt 1)

Das Modul für Kohlenstoffemissionen schließt aus der Bewertung von Kohlenstoffemissionen von motorisierter Fortbewegung neue Wege aus, die nicht Wege substituieren, die zuvor motorisiert zurückgelegt wurden. Hierfür wurden Verlagerungsraten (38) für Gehen und Radfahren zur Fortbewegung parametrisiert, mit Werten zwischen 0 und 100% für die geschätzten Anteile neu aufgenommenen Radfahrens (oder Gehens) zur Substitution von motorisierter Fortbewegung und Gehen (beziehungsweise Radfahren). Berücksichtigte motorisierte Fortbewegungsarten umfassen Kfz (als Fahrer oder Mitfahrer), lokale Busse, Stadtbahn (einschließlich Straßenbahn und U-Bahn) sowie Motorräder (aus Platzgründen in Abb. 7 nicht gezeigt). Bei Bewertungen von zwei Fällen wird der Benutzer gebeten, zu prüfen, ob



angeregte (vollkommen neue Wege, die keine motorisierte Fortbewegung substituieren) oder neu zugeordnete (Streckenänderung) Fortbewegungsaktivitäten ausgeschlossen werden sollen. Die Verlagerungsraten werden auf den vom Benutzer eingegebenen Umfang von Gehen und/oder Radfahren angewendet.

Die gestrichelten Kästen sind nur wirklich von Bedeutung für Bewertungen mit Vorher-/Nachher-Vergleichen.

Angenommen, eine Infrastrukturintervention hat in einer besseren Anbindung resultiert, was es einfacher und sicherer macht, die neue Route zu benutzen. Auf dieser Route wird neuer Radverkehr registriert (beispielsweise durch Wegezähler oder Nutzerbefragungen). Ein Teil des neuen Radverkehrs wurde zuvor mit anderen Fortbewegungsarten bewältigt (Änderung der Fortbewegungsart), ein anderer Teil fand auf einer Parallelroute statt, die vielleicht nicht so bequem oder sicher zu befahren war (Routenänderung oder Routenneuzuordnung). Einen weiteren Teil gab es vor der Intervention überhaupt nicht (neu generierter oder angeregter Bedarf, der zuvor unterdrückt war). Das Kohlenstoffmodul konzentriert sich auf Ersteren (Änderung der Fortbewegungsart) und berücksichtigt die anderen beiden (Routenänderung und neu angeregten Verkehr) nicht.

Für die Verlagerungsraten des restlichen Umfangs von Gehen oder Radfahren bietet HEAT empfohlene Werte auf der Grundlage einer konservativen Bewertung der Erkenntnisse in den Leitlinien zur Verkehrsanalyse,⁽³⁸⁾ der Projektevaluation (87–91) und der Literatur zu Auswirkungsszenarien (91–93). Beispielsweise wurde in den Leitlinien zur Verkehrsanalyse aus dem Vereinigten Königreich (WebTAG) (38) und in Mulley et al. (94) über Kfz-Substitutionsraten von 25% bis 30% berichtet. Auf der Grundlage

von Änderungen der Fortbewegungsart, die für Radfahren im Zusammenhang mit Fahrradverleihsystemen untersucht wurden, schlug die European Cyclists' Federation (95) Werte von 32% für die Kfz-Nutzung, 42% für Busfahren und 26% für Gehen vor.

Tabelle 2 zeigt die von HEAT empfohlenen Vorgabewerte für Verlagerungsraten von anderen Fortbewegungsarten zu Radfahren oder Gehen.

3.12.3 Betriebliche Emissionen (Schritt 2)

Die Ableitung der betrieblichen Kohlenstoffemissionen erfolgt durch die Aufteilung der Kohlenstoffemissionen in Veränderungen der Verkehrsnachfrage (Personen-km, nach Fortbewegungsart – siehe Schritt 1 in Abschnitt 3.12), Unterschiede in der Energieeffizienz (Megajoule pro Personen-km, nach Fortbewegungsart und Kraftstofftyp) und Unterschiede in der Kohlenstoffintensität ($\text{CO}_2\text{e}/\text{MJ}$, nach Fortbewegungsart und Kraftstofftyp); d. h. in einem typischen dekompositionellen Ansatz (Abb. 8).

HEAT berücksichtigt die Auswirkungen von drei kontextuellen Faktoren auf Kohlenstoffemissionsfaktoren:

- Entfernung und durchschnittliche Weglängen;
- Durchschnittsgeschwindigkeit als indirektes Maß für verschiedene Verkehrsbedingungen im Untersuchungsgebiet; und
- für die jeweilige Fortbewegungsart spezifische Merkmale wie Fahrzeug- und Kraftstofftyp.

Bei Kfz berücksichtigt HEAT Durchschnittsgeschwindigkeiten im Verkehr, die Zusammensetzung der Fahrzeugflotte und die Auswirkungen des realen Fahrverhaltens (zusätzlicher Beitrag von 21,6% zu den Kohlenstoffemissionen aus offiziellen Labortestdaten;



Abb. 7. Bewertung von Kohlenstoffemissionen mit HEAT: Änderung der Fortbewegungsart unter Verwendung von Fortbewegungsaktivität und Verlagerungsraten

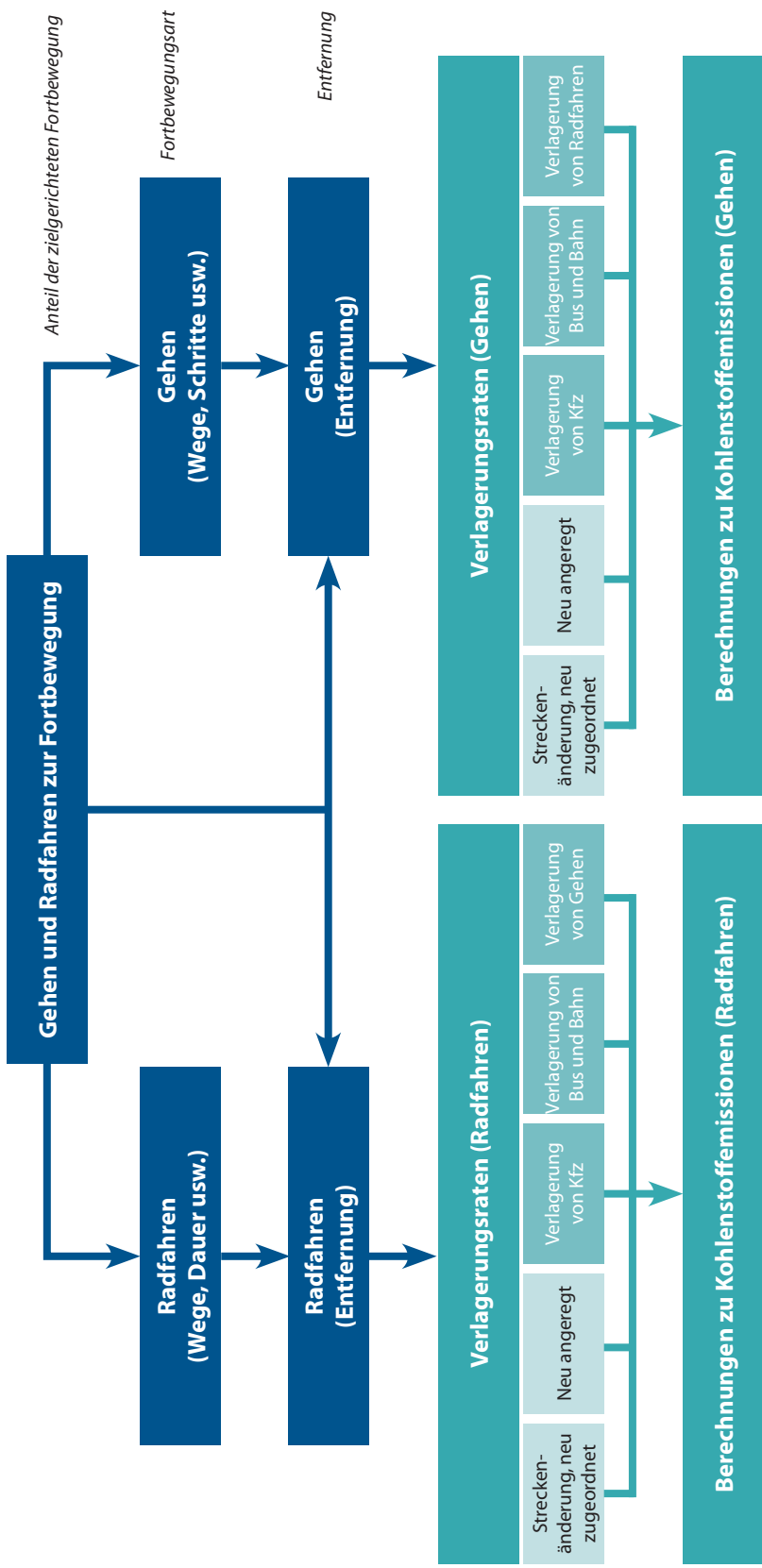
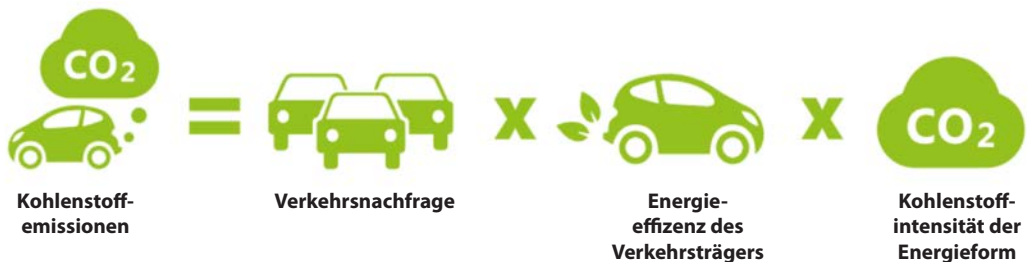


Tabelle 2: Änderbare Vorgabewerte für Änderung der Fortbewegungsart und Verlagerungsraten

Von:	Zu Radfahren (%)	Zu Gehen (%)
Pkw oder Lieferwagen: als Fahrer oder Mitfahrer	30	20
Lokale Busse	40	50
Stadtbahn: S-Bahn, Straßenbahnen, U-Bahn (falls vorhanden)	10	10
Gehen	20	Nicht zutreffend
Radfahren	Nicht zutreffend	20

Abb. 8. Zusammensetzung der betrieblichen Kohlenstoffemissionen



Wert basierend auf den im Vereinigten Königreich verwendeten Umrechnungsfaktoren (96)) im Untersuchungsgebiet für die Berechnung der Warmlaufemission von CO₂e pro km, basierend auf den veröffentlichten Beziehungen zwischen Kraftstoffverbrauch, Durchschnittsgeschwindigkeit und Umwandlung in Kohlenstoffemissionen mithilfe einer Standard-Kohlenstoffbilanzmethode. Bei Motorrädern, Bussen und Bahnen werden nur Kraftstoffartenanteile berücksichtigt, wobei die durchschnittlichen Emissionsfaktoren auf den im Vereinigten Königreich verwendeten Umrechnungsfaktoren basieren (96). Busse

werden überwiegend mit Dieselmotoren betrieben; Motorräder zu 100% mit Benzin; und für Stadtbahnen wird eine vollständige Elektrifizierung angenommen. Für Kfz werden die erhöhten Kaltstartemissionen (für die auf jedem Weg mit kaltem Motor zurückgelegte Strecke, gemeinhin die ersten 3 - 4 km) addiert. Sie lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Der erste Term schließt die Abhängigkeit der Emissionsfaktoren von der Geschwindigkeit wie folgt ein (auf der Grundlage des COPERT-Modells der Europäischen Umweltagentur (37)):

$$E_t = \sum_{\text{Fortbewegungsart}} ef_{\text{warm},t}(\text{Fortbewegungsart}, \text{Geschwindigkeit}, \text{Kraftstoff}, \text{Größe}) * pkm_t(\text{Fortbewegungsart}) + E_{\text{kalt}}(\text{Umgebungstemperatur}, \text{Weglänge}, \text{Wegezahl})$$

mit: E_t = Schadstoffemissionen (beispielsweise CO_2); t = Szenario (beispielsweise ohne und mit Intervention), $ef_{\text{warm},t}$ (Fortbewegungsart) = Faktor für Warmlaufemissionen für die Fortbewegungsart in Szenario t ; pkm_t (Fortbewegungsart) = Personen-km für die Fortbewegungsart im Szenario t ; E_{kalt} = erhöhte Kaltstartemissionen (nur für Kfz); $temp$ = Umgebungstemperatur; $Weglänge$ = durchschnittliche Weglänge.

$$ef_{\text{warm}} = \frac{a + c * V + e * V^2}{1 + b * V + d * V^2}$$

mit: V = Durchschnittsgeschwindigkeit und die Koeffizienten a bis e wurden für jeden Kraftstoff empirisch abgeleitet und sind im HEAT-Modul fest programmiert.

Die Warmlaufemissionen haben den größten Einfluss auf die Gesamtemissionen, aber die Kaltstartemissionen sollten nicht vernachlässigt werden, weil sie bei kürzeren Wegstrecken einen beträchtlichen Teil an den Gesamtemissionen ausmachen (normalerweise 15 - 20%). E_{kalt} wird normalerweise für jede Fahrzeugtechnologie k abgeleitet als:

$$E_{\text{kalt},k} = \beta_k * pkm_k * ef_{\text{warm},k} * \left(\frac{ef_{\text{kalt},k}}{ef_{\text{warm},k}} - 1 \right)$$

$$\frac{ef_{\text{kalt},k}}{ef_{\text{warm},k}} = l - m * temp$$

mit: β = Anteil der Weglänge, der mit kaltem Motor zurückgelegt wird oder die der Katalysator unterhalb seiner Anspringtemperatur arbeitet, pkm_k = Personen-km, $e_{\text{kalt}} / e_{\text{warm}}$ = Quotient der Kaltstart-/Warmlaufemissionen für Fahrzeuge mit der Technologie k , $temp$ = Umgebungstemperatur. $l = 1,47$, $m = 0,009$ (Benzin); $l = 1,34$, $m = 0,008$ (Diesel) laut Europäischer Umweltagentur (37).

Der β Parameter hängt von der Umgebungstemperatur und der durchschnittlichen Weglänge ab (37). In HEAT wurde β abgeleitet, indem die durchschnittliche Weglänge des substituierten, mit dem Auto zurückgelegten Weges durch eine durchschnittliche Kaltstartentfernung von 3,4 km geteilt wurde, wobei $\beta \leq 1$ ist.

Die Anteile der Fahrzeugkraftstofftypen und die durchschnittlichen Personenzahlen basieren

auf internationalen Datenbanken einschließlich der GAINS-Modellprognosen (greenhouse gas-air pollution interactions and synergies) des IIASA (Szenario WPE_2014_CLE der Ratsgruppe Umwelt (WPR) auf der Grundlage der geltenden Gesetzgebung (CLE)) des Internationalen Instituts für Angewandte Systemanalyse für Jahre bis 2050 (97-101). Zukünftige Projektionen von Kohlenstoffemissionsfaktoren basieren folglich auf verfügbaren Szenariodaten und nicht auf Prognosen, und Projektionen über Zeiträume von mehr als zehn Jahren sollten deshalb mit Vorsicht behandelt werden.

Für Autos kann der Benutzer zwischen fünf allgemeinen Verkehrsbedingungen auf der Grundlage von in europäischen Städten beobachteten typischen Geschwindigkeiten im Straßenverkehr wählen: Wien 46 km/h, Newcastle 42 km/h („nahezu frei fließender Verkehr“); Prag 37 km/h, Barcelona 35 km/h, Paris 31 km/h, Edinburgh 30 km/h, Rom 30 km/h („bisweilen hohes Verkehrsaufkommen und Überlastung zu Spitzenzeiten“), London 19 km/h und Brüssel 22 km/h („starke Überlastung und breite Spitzen“) (102,103). Die fünf Kategorien sind die folgenden:

- europäischer Durchschnitt, Städte (32 km/h) – änderbarer Vorgabewert;
- kaum oder keine Überlastung, Städte (frei fließender Verkehr) (45 km/h);
- gewisse Überlastung zu Spitzenzeiten (Pendler, Schüler), Städte (35 km/h);

Tabelle 3. Abgeleitete durchschnittliche Warmlauf- und Kaltstartemissionsfaktoren (Auspuff, Verwendung des Fahrzeugs), für das Vereinigte Königreich für 2015 abgeleitete Werte

Beispiel: Vereinigtes Königreich, 2015	Durchschnittliche Verkehrsbedingungen				
	Europäischer Durchschnitt, Städte	Kaum oder keine Überlastung (frei fließen- der Verkehr)	Gewisse Überlas- tung zu Spitzenzeiten	Starke Überlastung an den meis- ten Tagen	Europäischer Durchschnitt, ländliche Gebiete
Durchschnittliche Warmlauf- emissionsfaktoren (Gramm CO₂e pro Personen-km)					
Pkw oder Lieferwagen (als Fahrer oder Mitfahrer) ^{a,b}	129,1	112,3	124,0	161,5	104,8
Lokaler Bus ^{a,b}	101,7	n. z.	n. z.	n. z.	n. z.
Stadtbahn, Straßenbahnen, U-Bahn (100% elektrifiziert) ^b	0	n. z.	n. z.	n. z.	n. z.
Motorrad ^{a,b}	79,3	n. z.	n. z.	n. z.	n. z.
Elektrofahrrad oder Fahrrad	0	n. z.	n. z.	n. z.	n. z.
Durchschnittliche Kaltstartemis- sionen pro Weg (Gramm CO₂e pro Personen-Weg)^c					
Pkw oder Lieferwagen (als Fahrer oder Mitfahrer) ^{a,b}	150,4	130,8	144,4	188,1	122,0

^a Berücksichtigt gewichtete Kraftstoff- und Motortypanteile für jede Fortbewegungsart, beispielsweise für Autos im Vereinigten Königreich 2015 (56% Benzin, 43% Diesel, 1% Elektrizität), Bus (100% Diesel), Motorrad (100% Benzin). ^b Zahl der Personen im Fahrzeug 1,56 (alle Wegzwecke), 12,21 (lokale Busse), 40 (Durchschnitt für Stadtbahn, Straßenbahn und U-Bahn), 1,05 (Durchschnitt für Motorrad). ^c Mit einem Verhältnis zwischen Kaltstart und Warmlauf von 1,33 und einer Kaltstartentfernung von 3,51 km, abgeleitet von einer Umgebungstemperatur von 9,4 °C und einer durchschnittlichen Weglänge von 14 km. N. z.: nicht zutreffend.

Quellen: Warmlauf-/Kaltstartemissionsfaktorkoeffizienten: COPERT IV (37); EMEP/EEA (104); Fahrzeugflotten: Umrechnungsfaktoren der Regierung des Vereinigten Königreichs für die Geschäftsberichterstattung, vollständige Datenreihe für 2016 (96); Fahrzeugbestand in Europa 2014: Fahrzeuge im Betrieb (2009–2014) (97); Neuwagenmarkt im Vereinigten Königreich beginnt 2016 hervorragend mit besten Januar seit elf Jahren (105); Verkehrsstatistiken für Großbritannien: Ausgabe von 2015 (106).

- starke Überlastung an den meisten Tagen (morgens, nachmittags und Zwischenspitzen), Städte (20 km/h); und
- europäischer Durchschnitt, ländliche Gebiete (60 km/h).

HEAT verwendet landes- und jahresspezifische Emissionsfaktoren. Tabelle 3 bietet ein Beispiel für das Vereinigte Königreich im Jahr 2015.

3.12.4 Kohlenstoffemissionen aus der Energieversorgung

Die Kohlenstoffemissionen aus der Energieversorgung umfassen vorgelagerte Emissionen aus der Förderung, Produktion, Erzeugung und Verteilung von Versorgungsenergie. Der gewählte Ansatz beruht auf Kraftstoffbereitstellungsemissionsfaktoren für verschiedene Energieversorgungswege für Kraftstoffe im Verkehrssektor (Benzin, Diesel, Elektrizität usw.)

(107), die veröffentlichten und renommierten Quellen entnommen wurden. Dazu zählen auch die Well-to-wheels-Studie von JEC (108) und ihre Verwendung bei der Entwicklung nationaler Richtwerte durch das Ministerium für Umwelt, Ernährung und ländlichen Raum sowie das Ministerium für Energie und Klimawandel (96). Bei Elektrofahrzeugen, Autos, Bussen und Stadtbahnen stützt sich dieser auf unterschiedliche Werte für die Well-to-wheels-Studie von JEC für Benzin (0,654 kg CO₂e pro kg Kraftstoff), Diesel (0,688 kg CO₂e pro kg Kraftstoff) und gelieferte Elektrizität⁴ (z. B. 0,517 kg CO₂e für das Vereinigte Königreich im Jahr 2015). Zur Berücksichtigung des realen Fahrverhaltens wurde wie bei den betrieblichen Emissionen ein zusätzlicher Beitrag von 21,6% addiert. Da die Elektrizitätsfaktoren zwischen den einzelnen Ländern beträchtlich variieren (bis zu drei Größenordnungen, was die Verwendung hoher Anteile erneuerbarer Energiequellen im Vergleich zu hohen Anteilen fossiler Brennstoffe widerspiegelt), verwendet HEAT landesspezifische Faktoren auf der Grundlage eines möglichst umfassenden Ländervergleichs aus einer maßgeblichen Quelle (109).

Tabelle 4 bietet ein Beispiel für das Vereinigte Königreich im Jahr 2015.

3.12.5 Kohlenstoffemissionen über den Lebenszyklus

HEAT berücksichtigt nur die Kohlenstoffemissionen aus der Fahrzeugherstellung (die klare Mehrheit der Kohlenstoffemissionen über den Lebenszyklus von Fahrzeugen abgesehen von den betrieblichen), mit aggregierten Kohlenstoffwerten pro Fahrzeugtyp (Autos, Motorräder, Fahrräder und öffentlicher Personenverkehr), abgeleitet unter der Annahme typischer Werte für Gesamtfahrleistung, Gewicht, Materialabbau

⁴ Dazu zählen Emissionen aus der Erzeugung, dem Transport und der Verteilung von Strom sowie aus den Well-to-tank-Phasen von Erzeugung sowie Transport und Verteilung.

sowie materialspezifische Emissions- und Energieverbrauchs-faktoren.

Tabelle 5 zeigt die wichtigsten Eingaben, Annahmen und abgeleiteten Kohlenstoffemissionsfaktoren pro Personen-km für das Vereinigte Königreich. HEAT verwendet landesspezifische Faktoren, die lokale Unterschiede der Personenzahl für die verschiedenen motorisierten Fortbewegungsarten widerspiegeln (110).

3.13 Vorgabe- und Hintergrundwerte für Berechnungen mit HEAT

Wann immer möglich, liefert HEAT generische Daten auf der Grundlage der besten verfügbaren Erkenntnisse oder Expertenurteile. In HEAT gibt es zwei Arten generischer Werte:

- Vorgabewerte für die HEAT-Bewertung, die der Benutzer jedoch überschreiben kann, wenn er es vorzieht, andere Werte, beispielsweise solche aus seinem spezifischen lokalen Kontext, zu verwenden; und
- Hintergrundwerte, die den bestmöglichen wissenschaftlichen Konsens darstellen (beispielsweise Schätzungen auf der Grundlage zahlreicher epidemiologischer Studien) und die der Benutzer nicht ändern kann.

Dieser Abschnitt bietet einen Überblick über die wichtigsten Vorgabewerte (Tabellen 6 - 8) und Hintergrundwerte (Tabellen 9 - 12) mit ihren jeweiligen Quellen, die entweder für allgemeine Berechnungen (beispielsweise zur Ableitung von Volumendaten für die Berechnungen) oder in den HEAT-Modulen verwendet werden.

3.13.1 Vorgabewerte

Zusätzlich gibt es für jedes Land Vorgabewerte für die Sterblichkeitsrate (113), den Wert eines statistischen Lebens (18) (siehe Abschnitt 3.14) und die sozialen Kosten von Kohlenstoff (114, 115) (siehe Abschnitt 3.14).

Tabelle 4: Abgeleitete durchschnittliche Emissionsfaktoren für Energieversorgung (Well-to-tank) pro Personen-km, für das Vereinigte Königreich für 2015 abgeleitete Werte (in HEAT werden landes- und jahresspezifische Faktoren verwendet)

Beispiel: Vereinigtes Königreich, Jahr 2015		Durchschnittliche Verkehrsbedingungen			
Durchschnittliche Emissionsfaktoren für Energieversorgung (Gramm CO ₂ e pro Personen-km)	Europäischer Durchschnitt, Städte	Kaum oder keine Überlastung (frei fließender Verkehr)	Einige Staus zu Spitzenzeiten	Starke Überlastung an den meisten Tagen	Europäischer Durchschnitt, ländliche Gebiete
Pkw oder Lieferwagen (als Fahrer oder Mitfahrer) ^{a,b}	28,4	24,7	27,3	35,5	23,0
Lokaler Bus ^{a,b}	22,5	n. z.	n. z.	n. z.	n. z.
Stadtbahn, Straßenbahnen, U-Bahn (100% elektrifiziert) ^b	67,2	n. z.	n. z.	n. z.	n. z.
Motorrad ^{a,b}	17,3	n. z.	n. z.	n. z.	n. z.
Elektrofahrrad	5,4	n. z.	n. z.	n. z.	n. z.

^aGewichtet nach Kraftstoff- und Motortypanteilen für jede Fortbewegungsart, beispielsweise für Autos im Vereinigten Königreich 2015 (56% Benzin, 43% Diesel, 1% Elektrizität), Bus (100% Diesel), Motorrad (100% Benzin). ^b Zahl der Personen im Fahrzeug 1,56 (alle Wegzwecke), 12,21 (lokale Busse), 40 (Durchschnitt für Stadtbahn, Straßenbahn und U-Bahn), 1,05 (Durchschnitt für Motorrad). n. z.: nicht zutreffend

Hauptquellen: Well-to-tank-Emissionsfaktoren: Umrechnungsfaktoren der Regierung des Vereinigten Königreichs für die Geschäftsberichterstattung, vollständige Datenreihe für 2016 (96); Well-to-wheels-Analyse von JEC (108); Emissionsfaktoren für Elektrizität: elektrizitätsspezifische Emissionsfaktoren für Netzelektrizität (109); Anteile der Fahrzeugkraftstofftypen: IIASA, IIASA GAINS model, scenario WPE_2014_CLE: the updated "current legislation" (after the bilateral consultations in 2014) of the PRIMES 2013 REFERENCE activity projection (101).

Das HEAT-Modul für **körperliche Betätigung** verwendet ausschließlich nicht änderbare Hintergrundwerte (siehe Abschnitt 3.14).

Das HEAT-Modul für **Luftverschmutzung** gibt Werte für PM_{2,5}-Konzentrationen nach Land und Stadt vor, wie sie beispielsweise in der Datenbank des WHO Global Health Observatory (83) verfügbar sind.

Für die Bewertung von Straßenverkehrsunfällen gibt HEAT auch die Zahl der Verkehrstoten für jedes Land (und in zukünftigen Versionen für Städte) sowie nach Fortbewegungsart vor (siehe Abschnitt 3.1.11).

3.13.2 Hintergrundwerte

Die Tabellen 9 - 12 zeigen die allgemeinen Hintergrundwerte für die Bewertung von körperlicher Betätigung, Luftverschmutzung und Kohlenstoffemissionen in HEAT. In diesem Unterabschnitt werden auch die Werte erklärt, die für die Hintergrundwerte zu Straßenverkehrsunfällen verwendet wurden.

Zur Berechnung der Hintergrundraten für **Straßenverkehrsunfälle** verwendet das HEAT-Modul für Straßenverkehrsunfälle Bevölkerungsdaten aus der Datenbank des WHO Global Health Observatory (83) (für jedes Land und – in zukünftigen Versionen – für Städte).

Tabelle 5. Annahmen und durchschnittliche CO₂-Emissionen aus der Fahrzeugherstellung

Kategorie	Fahrzeuggesamtgewicht (t)	Tonnen CO ₂ e pro Fahrzeug	Gesamtfahrleistung (km)	Gramm CO ₂ e pro Personenkilometer
Fahrrad	0,017	0,10	20 000	4,9
Elektrofahrrad/ Pedelec ^a	0,024	0,19	20 000	9,3
Motorräder	0,15	0,54	50 000	10,3
Durchschnittlicher Pkw (~1% Elektrofahrzeuge)	1,295	4,7	150 000	19,9
Durchschnittlicher Bus	11	39,5	1 000 000	4,0
Stadtbahn	66	237,1	1 500 000	3,2

^a Die Batterie und der Motor erhöhen das Gewicht um 7 kg (unter der Annahme von 2,5 Gramm CO₂e pro km für die Batterie auf der Grundlage von Odeh et al. (107)).

Tabelle 6: Von HEAT verwendete allgemeine Vorgabewerte

Beschreibung	Wert	Einheit	Quellen
Durchschnittliche Zahl der Wege pro Tag in allen Fortbewegungsarten	3	Wege (alle Fortbewegungsarten) pro Person pro Tag	(85,86)
Durchschnittsgeschwindigkeit Gehen	5,3	km/h	(10)
Durchschnittsgeschwindigkeit Radfahren	14,0	km/h	(10)
Durchschnittliche Weglänge pro zu Fuß zurückgelegtem Weg	1,3	km/Weg	(111,112)
Durchschnittliche Weglänge pro mit dem Fahrrad zurückgelegtem Weg	4,1	km/Weg	(111,112)
Zeitraumen für die Berechnung des mittleren jährlichen Nutzens	10	Jahre	Entscheidung der HEAT-Beratungsgruppe
Durchschnittliche Schrittlänge beim Gehen	72	cm	(5)
Diskontsatz	5	%	Entscheidung der HEAT-Beratungsgruppe



Tabelle 7: Vorgabewerte für die Bewertung von Straßenverkehrsunfällen in HEAT

Beschreibung	Wert	Einheit	Quelle
Durchschnittliche Zahl der Wege pro Tag in allen Fortbewegungsarten	3	Wege (alle Fortbewegungsarten) pro Person pro Tag	(85,86)
Verringerung der Zahl der Straßenverkehrsunfälle im Zeitverlauf (nichtlineare Anpassung)	0	%	Entscheidung der HEAT-Beratungsgruppe

Tabelle 8: Vorgabewerte für die Bewertung von Kohlenstoffemissionen in HEAT

Beschreibung	Wert	Einheit	Quellen
Durchschnittliche Weglänge pro zu Fuß zurückgelegtem Weg	1,3	km/Weg	(111,112)
Durchschnittliche Weglänge pro mit dem Fahrrad zurückgelegtem Weg	4,1	km/Weg	(111,112)
Durchschnittliche Weglänge pro mit dem Auto zurückgelegtem Weg	15,6	km/Weg	(111,112)
Durchschnittsgeschwindigkeit öffentliche Verkehrsmittel	22,7	km/h	(111,112)
Durchschnittsgeschwindigkeit Pkws	42,0	km/h	(111,112)
Durchschnittsgeschwindigkeit Motorräder	29,8	km/h	(111,112)
Durchschnittsgeschwindigkeit Busse	15,4	km/h	(111,112)
Durchschnittsgeschwindigkeit Stadtbahnen	16,1	km/h	(111,112)
Durchschnittsgeschwindigkeit Züge	37,4	km/h	(111,112)
Durchschnittsgeschwindigkeit des Straßenverkehrs für europäische Standardwerte in Städten	32	km/h	(116–118)
Durchschnittsgeschwindigkeit des Straßenverkehrs bei nahezu frei fließendem Verkehr zu allen Tageszeiten in Städten	45	km/h	(116–118)
Durchschnittsgeschwindigkeit des Straßenverkehrs bei geringer Überlastung zu Spitzenzeiten in Städten	35	km/h	(116–118)
Durchschnittsgeschwindigkeit des Straßenverkehrs bei starker Überlastung tagsüber in Städten	20	km/h	(116–118)
Durchschnittsgeschwindigkeit des Straßenverkehrs für europäische Standarddurchschnittswerte in ländlichen Gebieten	60	km/h	(116–118)

Tabelle 8: (Fortsetzung)

Beschreibung	Wert	Einheit	Quellen
Anteil der zu Fuß zurückgelegten Wege, die vorher mit dem Fahrrad zurückgelegt wurden	20	%	(38,90,95)
Anteil der zu Fuß zurückgelegten Wege, die vorher mit dem Auto zurückgelegt wurden	20	%	(38,90,95)
Anteil der zu Fuß zurückgelegten Wege, die vorher mit öffentlichen Verkehrsmitteln zurückgelegt wurden (50% Busse + 10% Züge)	60	%	(38,90,95)
Anteil der zu Fuß zurückgelegten Wege, die vorher mit dem Fahrrad zurückgelegt wurden	20	%	(38,90,95)
Anteil der mit dem Fahrrad zurückgelegten Wege, die vorher mit dem Auto zurückgelegt wurden	30	%	(38,90,95)
Anteil der mit dem Fahrrad zurückgelegten Wege, die vorher mit öffentlichen Verkehrsmitteln zurückgelegt wurden (40% Busse + 10% Züge)	50	%	(38,90,95)

Tabelle 9: Für die Bewertung in HEAT verwendete allgemeine Hintergrundwerte

Beschreibung	Wert	Einheit	Quellen
Zeitspanne bis zum Eintreten des vollständigen gesundheitlichen Nutzens bei der Einzelfallbewertung	0	Jahre	Entscheidung der HEAT-Beratungsgruppe
Zeitspanne bis zum Eintreten des vollständigen gesundheitlichen Nutzens bei der Bewertung von zwei Fällen	5	Jahre	Entscheidung der HEAT-Beratungsgruppe



Tabelle 10: Für die Bewertung der körperlichen Betätigung in HEAT verwendete Hintergrundwerte

Beschreibung	Wert	Einheit	Quellen
Nach oben begrenzte Risikominderung für Gehen	30	%	(13)
Nach oben begrenzte Risikominderung für Radfahren	45	%	(13)
Relatives Risiko für Radfahren	0,903	Verhältnis	(10)
Relatives Risiko für Gehen	0,886	Verhältnis	(10)
Referenzradfahrzeit	100	Minuten pro Person pro Woche	(10)
Referenzgehzeit	168	Minuten pro Person pro Woche	(10)
Relatives Risiko für Radfahren ohne Auswirkungen der Luftverschmutzung	0,899	Verhältnis	(7)
Relatives Risiko für Gehen ohne Auswirkungen der Luftverschmutzung	0,883	Verhältnis	(7)

Tabelle 11: Für die Bewertung der Luftverschmutzung in HEAT verwendete Hintergrundwerte

Beschreibung	Wert	Einheit	Quellen
Relatives Risiko für PM _{2,5}	1,07	Verhältnis	(51)
Referenzkonzentration für PM _{2,5}	10	µm/m ³	(51)
Umrechnungsfaktor für die Feinstaubbelastung: Gehen	1,6	Verhältnis	(11)
Umrechnungsfaktor für die Feinstaubbelastung: Radfahren	2	Verhältnis	(11)
Umrechnungsfaktor für die Feinstaubbelastung: Auto	2,5	Verhältnis	(11)
Umrechnungsfaktor für die Feinstaubbelastung: öffentliche Verkehrsmittel	1,9	Verhältnis	(11)
Luftumsatz: Gehen	1,37	m ³ /Stunde	(119,120)

Tabelle 11: (Fortsetzung)

Beschreibung	Wert	Einheit	Quellen
Luftumsatz: Radfahren	2,55	m ³ /Stunde	(119,120)
Luftumsatz: Autofahren	0,61	m ³ /Stunde	(119,120)
Luftumsatz: öffentliche Verkehrsmittel	0,61	m ³ /Stunde	(119,120)
Luftumsatz: im Schlaf	0,27	m ³ /Stunde	(119,120)
Luftumsatz: im Ruhezustand	0,61	m ³ /Stunde	(119,120)
Aktivitätsdauer: Schlaf	480	Minuten pro Person pro Woche	(119,120)

Tabelle 12: Für die Bewertung der Kohlenstoffemissionen in HEAT verwendete Hintergrundwerte

Beschreibung	Wert	Einheit	Quellen
Anteil der Busfahrten im Vergleich zu Zugfahrten	50	%	(121)
Durchschnittliche CO ₂ e-Emissionen pro Fahrzeug-km für Fahrräder	4,93	g CO ₂ e pro Fahrzeug-km	(122,123)
Durchschnittliche CO ₂ e-Emissionen pro Fahrzeug-km für Elektrofahrräder	9,31	g CO ₂ e pro Fahrzeug-km	(122,123)
Durchschnittliche CO ₂ e-Emissionen pro Fahrzeug-km für Autos nach Land	31,01	g CO ₂ e pro Fahrzeug-km	(95,124)
Durchschnittliche CO ₂ e-Emissionen pro Fahrzeug-km für Busse nach Land	39,51	g CO ₂ e pro Fahrzeug-km	(95)
Durchschnittliche CO ₂ e-Emissionen pro Fahrzeug-km für Schienenverkehr	158,03	g CO ₂ e pro Fahrzeug-km	(95)
Durchschnittliche CO ₂ e-Emissionen pro Fahrzeug-km für Motorräder	10,78	g CO ₂ e pro Fahrzeug-km	(124)
Zahl der zu Fuß zurückgelegten Wege pro Jahr	372	Wege pro Jahr	(125)
Zahl der mit dem Fahrrad zurückgelegten Wege pro Jahr	248	Wege pro Jahr	(125)



Weitere Informationen finden sich in Abschnitt 3.1.11 und auf der HEAT-Website (8).

3.14 Datenanpassungen innerhalb von HEAT

Durch den Benutzer eingegebene Daten zu aktiven Fortbewegungsarten sind möglicherweise nicht angemessen oder ausreichend für alle Wirkungsberechnungen. Abhängig von den Merkmalen der Bewertung bietet HEAT deshalb mehrere Optionen, um als Grundlage für die Berechnung die Daten anzupassen oder zusätzliche Informationen einzugeben. Wenn der Benutzer keine solchen Informationen eingibt, gelten die Vorgabeeinstellungen.

Zu den Datenanpassungsmöglichkeiten in HEAT können (abhängig vom Bewertungstyp) die folgenden zählen:

- ausgeschlossener Anteil
- zeitliche und räumliche Anpassung
- Zeit für den Aufbau des Bedarfs an aktiver Fortbewegung
- Anteil neuer Wege
- Anteil neu zugeordneter Wege
- Anteil verlagertter Wege
- Anteil am Verkehr
- Anteil für Fortbewegung
- Verkehrsbedingungen
- Veränderung des Unfallrisikos
- Substitution körperlicher Betätigung.

3.14.1 Allgemeine Anpassungen von Daten zur aktiven Fortbewegung

3.14.1.1 Ausgeschlossener Anteil aufgrund von Faktoren ohne Zusammenhang (nur bei Bewertung von zwei Fällen)

Bei der Bewertung der Auswirkungen einer Intervention kann es geschehen, dass der beobachtete Gesamtumfang an Gehen oder Radfahren nicht vollständig direkt der Intervention zugeschrieben werden kann. Beispielsweise ist Radfahren im Lauf der Zeit mehr „in Mode“ gekommen, oder die Preise für Benzin oder öffentliche Verkehrsmittel haben sich geändert, was einen Einfluss auf das aktive Fortbewegungsverhalten hatte. Auf solche externen Effekte zurückzuführendes Gehen oder Radfahren sollte nicht in die Bewertung der Infrastruktur oder des Projekts einbezogen werden.

Die genauen Auswirkungen einer Intervention und Faktoren ohne Zusammenhang können selten getrennt werden. Schätzen Sie den Anteil, den Sie aus der Bewertung herausnehmen würden (beispielsweise –30%), nach bestem Wissen. Die HEAT-Website bietet dazu mehr Informationen (8).

Der Vorgabewert ist 0%.

3.14.1.2 Zeitliche und räumliche Anpassung

HEAT erfordert die Eingabe von Langzeitdurchschnittswerten zu aktiver Fortbewegung (beispielsweise jährliche Mittelwerte). Aktive Fortbewegung wird stark von Faktoren wie der Jahreszeit, dem Wetter und der Tageszeit beeinflusst. Kurzzeitzählungen beispielsweise werden normalerweise im Sommer oder Herbst und häufig im Berufsverkehr durchgeführt. Wenn Daten zu aktiver Fortbewegung aus Kurzzeiterhebungen oder -zählungen stammen, wird der langfristige Durchschnitt wahrscheinlich

unter- oder überschätzt. Dies kann hier angepasst werden (beispielsweise +30% oder -30%). Bei der Bewertung der potenziellen Notwendigkeit zeitlicher Anpassungen können Daten aus Dauerzähleinrichtungen hilfreich sein.

Gleichermaßen kann es sein, dass an dem Punkt, an dem Zählerdaten erhoben oder Nutzerbefragungen durchgeführt werden, nicht die durchschnittliche Nutzung der vollständigen Einrichtung von Interesse (Radweg, Weg, Netz o. Ä.) erfasst wird. Dieser Schieber kann verwendet werden, um eine räumliche Anpassung (beispielsweise +20% oder -30%) anzuwenden. Als Grundlage für eine räumliche Anpassung werden normalerweise Daten von mehreren Standorten benötigt, in manchen Fällen können aber auch grobe Annahmen ausreichen. Eine präzise räumliche Anpassung würde einen räumlichen Modellierungsansatz erfordern.

Der Vorgabewert ist 0%.

3.14.1.3 Zeit für den Aufbau des Bedarfs an aktiver Fortbewegung (nur bei Bewertung von zwei Fällen)

Hier können Benutzer eine Zeitspanne (in Jahren) angeben, die es dauert, bis der maximale Umfang an aktiver Fortbewegung erreicht ist. Dies ermöglicht eine Anpassung an die geschätzte Zeit, bis der eingegebene Umgang von Gehen oder Radfahren vollständig erreicht ist, beispielsweise nach der Durchführung einer Intervention. Wenn beispielsweise ein neuer Fußweg angelegt wird und es schätzungsweise fünf Jahre dauert, bis die Nutzung einen statischen Zustand erreicht hat, sollte dieser Wert zu „5“ geändert werden. Bei statischen Situationen, bei denen keine Verzögerung berücksichtigt werden muss, sollte er auf „0“ gesetzt werden.

Der Vorgabewert ist 1 Jahr.

3.14.1.4 Investitionskosten (nur bei Bewertung von zwei Fällen)

Dieses Eingabefeld ermöglicht dem Benutzer, die geschätzten Kosten der Investition einzugeben, deren Resultat die bewertete aktive Fortbewegung war. HEAT vergleicht diese mit dem monetarisierten Wert der Auswirkungen und berechnet ein Nutzen-Kosten-Verhältnis.

3.14.2 Informationen, die den Kontrast zwischen dem Referenz- und dem Vergleichsfall charakterisieren

Die Bewertung in HEAT basiert auf dem Vergleich des Referenz- und des Vergleichsfalls (siehe Abschnitt 3.6). Beim Vergleich von zwei Fällen gibt der Benutzer Fortbewegungsdaten für beide Fälle ein. Bei der Einzelfallbewertung brauchen Benutzer keine Daten für den Vergleichsfall einzugeben, sodass für die Bewertung in HEAT eine größere Informationslücke bleibt. Um die Berechnungen für bestimmte Bewertungstypen (Nutzungsfälle) zu verbessern, gestattet HEAT die Eingabe zusätzlicher Informationen als Grundlage für den Vergleich mithilfe einiger zusätzlicher Fragen. HEAT zeigt automatisch nur die Fragen an, die für die jeweilige Bewertung benötigt werden.

In einer ersten Gruppe wird gefragt „ob, wo und wie die Wege im Referenzfall im Vergleichsfall zurückgelegt würden“. Die drei Fragen dienen dazu, den Anteil neuer, neu zugeordneter und verlagertes Wege zu ermitteln.

3.14.2.1 Anteil neuer Wege (Bewertung von zwei Fällen, nur Kohlenstoffemissionen)

Neue Wege sind Wege, die im Vergleichsfall nicht zurückgelegt wurden: Sie wurden weder von einer anderen Fortbewegungsart verlagert noch von einer anderen Route neu zugeordnet. Diese Information wird durch andere Eingabeoptionen für die Bewertung von körperlicher Betätigung, Luftverschmutzung



und Straßenverkehrsunfällen erfasst. Für die Bewertung von Kohlenstoffemissionen, für die keine Eingabedaten für motorisierte Fortbewegung verfügbar sind, wird diese zusätzliche Information zur Anpassung der Kaltstartemissionen benötigt, die auf der Grundlage der Zahl der Wege nach aktiver Fortbewegungsart pro Jahr berechnet werden (siehe Abschnitt 3.12.3).

Der Vorgabewert ist 0%.

3.14.2.2 Anteil neu zugeordneter Wege (Bewertung von zwei Fällen, nur unterhalb der Stadtebene)

Neu zugeordnete Wege sind Wege, die lediglich auf einer anderen Strecke als zuvor zurückgelegt werden, weil neue Infrastruktur (beispielsweise ein neuer Fußweg oder ein Radwegenetz) genutzt wird. Diese neu zugeordneten Wege werden bei der Bewertung nicht berücksichtigt, weil sie keine Nettozunahme aktiver Fortbewegung darstellen.

Diese Anpassung wird nur auf Bewertungen unterhalb der Stadtebene angewendet, weil bei einer Bewertung auf der Landes- oder Stadtebene Wege nicht neu zugeordnet werden können.

Der Vorgabewert ist 0%.

3.14.2.3 Anteil der von einer anderen Fortbewegungsart verlagerten Wege (nur Einzelfallbewertung, nur Kohlenstoffemissionen)

Verlagerte Wege sind mit aktiver Fortbewegung zurückgelegte Wege, die im Vergleichsfall mit einer anderen Fortbewegungsart zurückgelegt wurden. Benutzer werden zuerst aufgefordert, den verlagerten Gesamtanteil (beispielsweise 80%) einzugeben.

Der Vorgabewert ist 0%.

Danach können Benutzer die andere aktive Fortbewegungsart eingeben, von der verlagert wurde. Die Summe der Prozentanteile der geänderten Fortbewegungsarten kann nicht mehr als 100% betragen (weitere Informationen zur Bewertung von Kohlenstoffemissionen finden sich in Abschnitt 3.12).

Diese Schieberegler sind auf die Vorgabewerte (siehe Abschnitt 4.13) eingestellt, die angewendet werden, wenn keine Anpassungen vorgenommen werden.

3.14.3 Andere Anpassungen

Motorisierter Verkehr beeinflusst sowohl die Kohlenstoffemissionen als auch die Exposition gegenüber Luftschadstoffen. Drei Fragen erfassen die maßgeblichen Informationen.

3.14.3.1 Anteil der aktiven Fortbewegung als Verkehrsteilnehmer (nur bei der Bewertung der Luftverschmutzung)

Hier wird gefragt, welcher Anteil der aktiven Fortbewegung (im Referenzfall) im Verkehr stattfindet (statt entfernt von Hauptstraßen, in Parks usw.). Entsprechend wird die Luftverschmutzung angepasst, der bewertete Radfahrer oder Fußgänger ausgesetzt sind (siehe Abschnitt 3.10).

Der Vorgabewert ist 50%.

3.14.3.2 Anteil der Wege, die zur Fortbewegung zurückgelegt werden (nur Bewertungen von Luftverschmutzung und Kohlenstoffemissionen)

Diese Angaben werden verwendet, um im Vergleichsfall die Luftschadstoffkonzentrationen korrekt zuzuweisen. Bei Wegen, die zur Fortbewegung zurückgelegt werden, wird angenommen, dass andere Fortbewegungsarten ersetzt werden (Zeit in Verkehrsumgebungen mit höheren Luftschadstoffkonzentrationen), während bei Wegen, die im Rahmen von Freizeitaktivitäten

zurückgelegt werden, angenommen wird, dass die damit verbrachte Zeit ansonsten zu Hause verbracht worden wäre (bei Hintergrund-Luftschadstoffkonzentrationen). „Zur Fortbewegung“ bedeutet, sich zu einem bestimmten Zweck (wie Arbeit, Einkaufen, Freunde besuchen oder Tennisspielen) an einen Ort und zurück zu begeben. „Freizeitaktivitäten“ bedeutet, dass der Hauptzweck, zu dem der Weg zurückgelegt wird, Training oder Erholung ist. Geben Sie bitte an, welcher Anteil der eingegebenen Wege zur Fortbewegung (statt als Freizeitaktivität) zurückgelegt wird. Abschnitt 3.10 enthält weitere Informationen zur Bewertung der Luftverschmutzung.

Bei der Bewertung der Kohlenstoffemissionen wird nur die aktive Fortbewegung berücksichtigt, wobei angenommen wird, dass sie andere Fortbewegungsarten ersetzt. Bei in der Freizeit zurückgelegten Wegen wird nicht angenommen, dass sie andere Fortbewegungsarten ersetzen.

Abschnitt 3.12 enthält weitere Informationen zur Bewertung von Kohlenstoffemissionen.

Der Vorgabewert ist 50%.

3.14.3.3 Verkehrsbedingungen (nur Bewertung von Kohlenstoffemissionen)

Bei der Bewertung von Kohlenstoffemissionen werden Benutzer auch aufgefordert, die Verkehrsbedingungen vor Ort zu den Zeiten anzugeben, zu denen Personen zu Fuß gehen oder Rad fahren. Die Verkehrsbedingungen haben einen Einfluss auf die Kohlenstoffemissionen. Benutzer können wählen zwischen europäischem Durchschnitt (Städte und ländliche Gebiete), frei fließend (geringe oder keine Überlastung, 45 km/h Durchschnittsgeschwindigkeit), gewisse Überlastung zu Spitzenzeiten (Pendlerverkehr morgens und nachmittags, Schülerverkehr, 35 km/h Durchschnittsgeschwindigkeit) und starke Überlastung an den meisten Tagen (20 km/h Durchschnittsgeschwindigkeit).

Die Vorgabe ist europäischer Durchschnitt in Städten.

3.14.3.4 Veränderung des Straßenverkehrsunfallrisikos (Bewertung von zwei Fällen, nur Straßenverkehrsunfälle)

Das Straßenverkehrsunfallrisiko bei aktiver Fortbewegung hängt neben anderen Faktoren von dem Umfang ab, in dem Wege zu Fuß oder mit dem Fahrrad zurückgelegt werden (Stichwort „Sicherheit in der Masse“). Um eine Veränderung des Straßenverkehrsunfallrisikos zwischen den beiden Vergleichsfällen zu berücksichtigen, können sie diese hier als prozentuale Veränderung gegenüber dem Referenzfall angeben. Wird dieses Feld leer gelassen, gilt für beide Fälle dasselbe Straßenverkehrsunfallrisiko. Veränderungen des Straßenverkehrsunfallrisikos können das Resultat von mehr aktiver Fortbewegung oder verbesserter Infrastruktur sein oder einen anderen Grund haben.

Der Vorgabewert ist 0%.

3.14.3.5 Substitutionseffekt (Bewertung von zwei Fällen, nur körperliche Betätigung)

In manchen Fällen kann Radfahren oder Gehen in dem beobachteten Umfang andere Formen körperlicher Betätigung wie Sport, der zuvor in der Freizeit getrieben wurde, ersetzen. Dieser Anteil trägt nicht zu einem Nettoanstieg der körperlichen Betätigung bei und sollte aus der Bewertung ausgeschlossen werden.

Der Vorgabewert ist 0%.

3.15 Ökonomische Bewertung der Resultate

3.15.1 Wert eines statistischen Lebens

Der Wert eines statistischen Lebens (WSL) wird unter Verwendung des Konzepts der so genannten Zahlungsbereitschaft berechnet. Sie fasst die Zahlungsbereitschaft von



Personen dafür zusammen, eine geringfügige Senkung des Risikos eines vorzeitigen Todes zu erreichen, bezogen auf die Zahl der Jahre, die diese Personen entsprechend der statistischen Lebenserwartung erwarten können, zu leben.

Die ökonomische Theorie besagt, dass die Zahlungsbereitschaft die Wahrnehmung von Risiken und den potenziellen Kosten erfasst, die die einzelne Person zu tragen bereit ist (nicht die Gesellschaft), einschließlich des entgangenen Konsums, immaterieller Kosten (wie Leiden) und des Anteils der Gesundheitskosten, der direkt von den Opfern getragen wird. Deshalb sollte sie mehrere Bereiche abdecken, einschließlich Konsum, Arbeitsunfähigkeit, des Eigenanteils an den Gesundheitsversorgungskosten (der nicht von Versicherungen getragen wird) sowie der Schmerzen und des Leidens des Individuums. Sie repräsentiert folglich den gesellschaftlichen wirtschaftlichen Wert verringerteter vorzeitiger Sterblichkeit und wird bei Verkehrsbewertungen häufig verwendet.

Der WSL ist nicht der Wert des Lebens einer bestimmten Person, sondern vielmehr eine Summe aus den einzelnen Werten kleiner Veränderungen des Sterberisikos: beispielsweise, wie viel eine repräsentative Stichprobe der Bevölkerung für eine Politik zu zahlen bereit wäre (an Geld), die ihr jährliches Sterberisiko von 3 pro 10 000 auf 2 pro 10 000 senken würde.

Die Berechnung der Vorgabewerte stützte sich auf eine umfassende Durchsicht von WSL-Studien der OECD (126). Studien wurden nur berücksichtigt, wenn sie auf einer repräsentativen Stichprobe von mindestens 200 Personen beruhten und Auskunft über das Ausmaß der untersuchten Risikoänderung gaben. Aus 28 Studien wurden insgesamt 261 Werte ausgewählt, um den Basis-WSL für Erwachsene in OECD-Ländern von 3,0 Mio. US-Dollar zu berechnen, wobei

die Spanne zwischen 1,5 und 4,5 Mio. US-Dollar lag (in US-Dollar von 2005). Die internationale Beratungsgruppe kam zu dem Schluss, dass der OECD-Bericht die derzeit beste verfügbare Evidenz darstellte.

Zur Ableitung der landesspezifischen Werte in der lokalen Währung für das Jahr 2015 wurde die nachstehende Formel verwendet. Dabei wurden Anpassungen vorgenommen, um Einkommensunterschieden zwischen Ländern, Inflation und Einkommenswachstum im Zeitverlauf sowie der Währungsumrechnung von US-Dollar in die lokale Währung unter Anwendung von nach Kaufkraftparität (KKP) bereinigten Wechselkursen Rechnung zu tragen.

$$WSL_{\text{Land, 2015 (lokale W\ddot{a}hrung)}} = WSL_{\text{OECD, 2005, US-\$}} \times$$

$$\left(\frac{Y_{\text{Land, 2005}}}{Y_{\text{OECD, 2005}}} \right)^{0,8} \times KKP_{2005}$$

$$\times (1 + \% \Delta P_{2005-2015}) \times (1 + \% \Delta Y_{2005-2015})^{0,8}$$

$WSL_{\text{OECD, 2005, US-\$}}$ = Basiswert für die OECD von 3,013 Mio. US-Dollar aus der OECD-Studie ($\pm 50\%$) (126)

$Y_{\text{Land, 2005}}$ = reales Bruttoinlandsprodukt (BIP) pro Kopf des jeweiligen Landes bei Kaufkraftparität im Jahr 2005 (127)

$Y_{\text{OECD, 2005}}$ = durchschnittliches reales BIP pro Kopf von OECD-Ländern bei Kaufkraftparität im Jahr 2005 = 30 801 US-Dollar (in 2005) (127)

0,8 = Einkommenselastizität des WSL laut der OECD-Studie (127)

KKP_{2005} = nach Kaufkraftparität bereinigter Wechselkurs in 2005 (lokale Währung pro US-Dollar) (127)

$(1 + \% \Delta P_{2005-2015})$ = Inflationsausgleich mit Verbraucherpreisindex des jeweiligen Landes zwischen 2005 und 2015

$(1 + \% \Delta Y_{2005-2015})$ = Einkommensausgleich mit Wachstum in realem BIP pro Kopf des jeweiligen Landes zwischen 2005 und 2015

Unter Anwendung von Wechselkursen wurden die landesspezifischen Werte in lokalen Währungen auch in Euro umgerechnet. Mit diesen Euro-Werten und unter Verwendung der nach Bevölkerung gewichteten Durchschnitte des landesspezifischen WSL wurden Durchschnittswerte für die Durchschnittswerte für die 27 EU-Länder von 2007 bis 2013 (EU-27), die 28 derzeitigen EU-Länder einschließlich Kroatiens (EU-28) und die 53 Länder der Europäischen Region der WHO für 2015 berechnet (für Aserbaidschan, Belarus und Tadschikistan nur verfügbar für 2005 und für sechs weitere Länder auf der Grundlage der Werte für andere Länder).⁵

Die europäischen Vorgabewerte (für 2015) von 2,132 Mio. Euro (Europäische Region der WHO), 2,891 Mio. Euro (EU-27-Länder) oder 2,877 Mio. Euro (EU-28-Länder einschließlich Kroatiens) können ebenfalls verwendet werden.

3.15.2 Soziale Kosten von Kohlenstoff

Die sozialen Kosten von Kohlenstoff können definiert werden als der monetarisierte Wert des weltweiten Schadens aufgrund der inkrementellen Auswirkungen einer zu einem

bestimmten Zeitpunkt emittierten zusätzlichen Tonne Kohlenstoffäquivalent (CO₂e).

Kohlenstoffwerte auf der Grundlage der Methode der sozialen Kosten von Kohlenstoff belegen im Grunde die Kohlenstoffemissionen mit einem Preis. Die Schadenskosten werden anhand integrierter Bewertungsmodelle wie dem Dynamic Integrated Climate-Economy-Modell (DICE) (128,129), dem Climate Framework for Uncertainty, Negotiation and Distribution (FUND) (130) und der Policy Analysis of the Greenhouse Effect (PAGE) (131) geschätzt. Die Werte der sozialen Kosten von Kohlenstoff variieren sehr stark: Beispielsweise ergab eine Metaanalyse von 211 Schätzungen aus 47 Studien (132) eine breite Streuung der Werte von -1 bis 451 Euro pro Tonne CO₂e. Wichtige Aspekte bei der Messung der sozialen Kosten von Kohlenstoff sind der Grad der Ungewissheit von Methoden und Daten, der Zeithorizont, ob Diskontierung oder nicht und wenn ja, zu welchem Satz, der geografische Anwendungsbereich (beispielsweise global oder regional) und die Gewichtung von Chancengerechtigkeit. Die bei der Bewertung von Maßnahmen verwendeten Kohlenstoffwerte unterscheiden sich je nach Land und steigen im Zeitverlauf.

Die internationale Beratungsgruppe verständigte sich darauf, in HEAT landesspezifische Kohlenstoffwerte auf der Grundlage des Ansatzes der sozialen Kosten von Kohlenstoff zu verwenden, weil dieser bei der Projektbewertung unabhängig von nationalen Emissionszielvorgaben und Klimaschutzmaßnahmen verwendet wird (114).

Für die sozialen Kosten von Kohlenstoff werden Vorgabewerte nach Land und Jahr angeboten. Sie basieren auf internationalen Erkenntnissen, regionalen Durchschnitten (114,115) oder landesspezifischen Werten (sofern vorhanden)

⁵ Für neun Länder konnte kein nationaler WSL-Vorgabewert berechnet werden (siehe Abschnitt 3.15). Für Andorra wird standardmäßig der Wert für Spanien verwendet, für Liechtenstein derjenige für die Schweiz, für Monaco derjenige für Frankreich und für San Marino derjenige für Italien. Für Turkmenistan basiert der Wert auf Daten für Georgien und für Usbekistan basiert er auf Werten für Kirgisistan. Die Werte für 2005 (basierend auf Näherungswerten auf der Grundlage von Ländern mit dem ähnlichsten BIP pro Kopf in der Nachbarschaft) werden als Vorgabewerte für Aserbaidschan (unter Verwendung von Daten für Georgien), Belarus (unter Verwendung von Daten für die Russische Föderation) und Tadschikistan (unter Verwendung von Daten für Kirgisistan) angezeigt.

und können geändert werden. Die Werte für die sozialen Kosten von Kohlenstoff für Länder oder Kontexte, die in der vorhandenen Evidenz oder grundsatzpolitischen Leitlinien nicht abgedeckt werden, wurden auf die von der Europäischen Kommission empfohlenen Werte gesetzt: 44 US-Dollar in 2015, bis 2030 steigend auf 66 US-Dollar.

Die Benutzer können diese überschreiben und stattdessen ihre eigenen empfohlenen Werte für die ökonomische Bewertung verwenden (siehe Abschnitt 3.13).

3.15.3 Diskontierung

Weil zukünftig eintretendem ökonomischem Nutzen im Allgemeinen geringerer wirtschaftlicher Wert beigemessen wird als zum aktuellen Zeitpunkt eintretendem Nutzen, wenden Ökonomen auf zukünftigen Nutzen einen Diskontsatz an. HEAT verwendet einen Satz von 5% pro Jahr als Vorgabewert. Dieser kann vom Benutzer geändert werden, wenn im jeweiligen Land ein unterschiedlicher gemeinsamer Diskontsatz verwendet wird. Wenn die HEAT-Resultate in eine umfassendere ökonomische Verkehrsbewertung einbezogen werden sollten, bei der diskontiert wird, sollte der Satz in HEAT auf 0 gesetzt werden.

3.16 Annahmen

Das Wissen über die gesundheitsförderliche Wirkung von Gehen und Radfahren wächst ständig. Das HEAT-Projekt ist eine kontinuierliche konsensgestützte Anstrengung, maßgebliche Forschung in harmonisierte Methodiken umzusetzen. Obwohl HEAT auf den besten verfügbaren wissenschaftlichen Erkenntnissen beruht, zwangen die Methodiken die Beratungsgruppen (siehe die Danksagungen) bei mehreren Gelegenheiten, Expertenurteile zu treffen. Die wichtigsten Annahmen, die dem HEAT-Ansatz zur Bewertung von Auswirkungen

zugrunde liegen, werden nachstehend beschrieben.

3.16.1 Allgemeine Grundsätze

Bei den in HEAT verwendeten Variablen handelt es sich um Schätzungen, sodass die Ergebnisse einen gewissen Fehlergrad aufweisen können. HEAT wendet mehrere Vorgabewerte an (siehe Abschnitt 3.13), ermöglicht Benutzern jedoch, diese zu überschreiben, wenn sie es vorziehen, andere Werte zu verwenden, beispielsweise solche aus ihrem spezifischen lokalen Kontext. Werte, die als bestmöglicher wissenschaftlicher Konsens eingestuft werden (beispielsweise Schätzungen auf der Basis zahlreicher epidemiologischer Studien), werden als Hintergrundwerte (siehe Abschnitt 3.13) bezeichnet und können vom Benutzer nicht verändert werden.

Um ein besseres Verständnis der möglichen Bandbreite der Ergebnisse zu erhalten, wird den Benutzern dringend empfohlen, ihre Bewertung mehrmals durchzuführen und jeweils höhere und niedrigere Werte für Variablen einzugeben, für die Schätzungen eingegeben wurden.

Bedenken Sie, dass HEAT die gesundheitlichen Auswirkungen von Gehen und/oder Radfahren auf der Populationsebene näherungsweise abschätzt. Die Ergebnisse können nicht zur Vorhersage gesundheitlicher Auswirkungen bei Einzelpersonen genutzt werden, da die individuelle Gesundheit von vielen zusätzlichen Faktoren (Genen, Lebensstil usw.) abhängt.

Dieser Abschnitt konzentriert sich auf die wichtigsten Annahmen.

3.16.2 Körperliche Betätigung

Die Daten zum relativen Risiko aus der Metaanalyse, bei der Untersuchungen aus China, Europa, Japan und den Vereinigten Staaten

berücksichtigt wurden (siehe Abschnitt 3.9.2), können auf Populationen in anderen Settings angewendet werden.

Das Instrument wendet eine lineare Beziehung zwischen der Dauer von Gehen oder Radfahren (unter der Annahme einer konstanten Durchschnittsgeschwindigkeit) und der Sterblichkeitsrate an. Jede Wegeinheit, die zu Fuß oder mit dem Fahrrad zurückgelegt wird, resultiert in der gleichen Risikominderung, bis zu einer Obergrenze von etwa 60 Minuten Radfahren oder Gehen pro Tag (447 Minuten Radfahren und 460 Minuten Gehen pro Woche).

Die bewerteten Untersuchungsgesamtheiten enthalten nicht unverhältnismäßig viele bewegungsarme oder sehr aktive Personen. Dies könnte bei sehr aktiven Untersuchungsgesamtheiten zu einer gewissen Überschätzung des Nutzens und bei weniger aktiven zu seiner Unterschätzung führen.

Für die Bewertung wird grundsätzlich mindestens mäßig schnelles Gehen angenommen: etwa 4,8 km/Stunde (3 Meilen/Stunde), was die notwendige Mindestgehgeschwindigkeit ist, die einen Energieaufwand erfordert, der als gesundheitsförderlich eingestuft wird; beim Radfahren wird dieser Energieaufwand gewöhnlich sogar bei niedrigen Geschwindigkeiten erreicht.

Um gesundheitlichen Nutzen zu erzielen, müssen keine Schwellen für die Dauer der körperlichen Betätigung erreicht werden.

Die relativen Risiken der Verringerung der Gesamtsterblichkeit durch Gehen und Radfahren sind für Männer und Frauen identisch.

Die relativen Risiken der Verringerung Gesamtsterblichkeit durch Gehen und Radfahren sind für Personen im Erwachsenenalter

(Altersgruppen von 20 - 74 Jahren beziehungsweise von 20 - 64 Jahren) identisch.

Auf der Grundlage eines Expertenkonsenses dauert es fünf Jahre, bis sich der gesundheitliche Nutzen regelmäßiger körperlicher Betätigung in vollem Umfang zeigt. Bei der Einzelfallbewertung wird eine statische Situation angenommen (aktive Fortbewegung und körperliche Betätigung fanden bereits in zurückliegenden Jahren statt), und es wird keine Verzögerungszeit für die gesundheitlichen Auswirkungen angewendet.

3.16.3 Luftverschmutzung

Zwischen der Sterblichkeitsrate und der Belastung durch Luftschadstoffe besteht eine lineare Beziehung. Jede Dosis Luftschadstoffe (ausgedrückt als Feinstaubkonzentrationen) führt zur gleichen Risikominderung, bis zu einem Maximum von 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (entspricht den in der Europäischen Region üblichen Höchstwerten für die Luftverschmutzung).

Das relative Risiko aus der Metaanalyse zu den gesundheitlichen Auswirkungen von $\text{PM}_{2,5}$ (siehe Abschnitt 3.10) unter Einbeziehung von Studien aus Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Italien, Kanada, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Schweden, der Schweiz, Spanien, dem Vereinigten Königreich und den Vereinigten Staaten kann auf andere Länder mit vergleichbaren Werten und Zusammensetzungen der Luftverschmutzung angewendet werden.

Gesundheitliche Auswirkungen setzen nicht voraus, dass Mindestschwellen für die Luftverschmutzung erreicht werden müssen.

Für Männer und Frauen erhöht sich das relative Risiko ungefähr gleich.

Auf der Grundlage eines Expertenkonsenses dauert es fünf Jahre, bis sich gesundheitliche

Auswirkungen chronischer Luftverschmutzung in vollem Umfang zeigen. Bei der Einzelfallbewertung wird eine statische Situation angenommen (aktive Fortbewegung und Belastung durch Luftschadstoffe fanden bereits in zurückliegenden Jahren statt), und es wird keine Verzögerungszeit für die gesundheitlichen Auswirkungen angewendet.

3.16.4 Straßenverkehrsunfälle

Allgemeine Hintergrundraten für Straßenverkehrsunfälle von ausreichender Qualität und Zuverlässigkeit für Bewertungen auf der nationalen Ebene können abgeleitet werden, indem Daten aus nationalen (und in manchen Fällen aus internationalen) Datenbanken kombiniert werden. Die Zahl der Verkehrstoten (nach Fortbewegungsart) wird durch die Exposition (Umfang der aktiven Fortbewegung) innerhalb der Verwaltungsgrenzen dividiert (siehe Abschnitt 3.11).

Für Bewertungen auf der Stadtebene können nationale Straßenverkehrsunfallraten (Gesamtzahl der bei Straßenverkehrsunfällen gestorbenen Fußgänger oder Radfahren, geteilt durch die insgesamt zu Fuß oder mit dem Fahrrad zurückgelegte Weglänge in km) als indirekte Maße für Straßenverkehrsunfallrisiken verwendet werden, wenn keine stadtspezifischen Straßenverkehrsunfallraten verfügbar sind.

3.16.5 Kohlenstoffemissionen

Veränderungen der motorisierten Fortbewegung (Personen-km nach Fortbewegungsart), Veränderungen der Kohlenstoffemissionen (Masse CO₂e) und die zugrunde liegenden Kohlenstoffemissionsfaktoren (Masse CO₂e pro Personen-km) stehen zueinander in einer linearen Beziehung.

Zur Ableitung von Emissionsfaktoren für Kfz ist die COPERT-Methode der Europäischen Umweltagentur (37) der geeignetste Ansatz.

Dabei wird der Energieverbrauch (MJ pro Fahrzeug-km) anhand nichtlinearer Geschwindigkeits-Emissionskurven, multipliziert mit dem Kohlenstoffgehalt dieser Energie (Masse CO₂e pro MJ), berechnet, wobei der Anteil von Biokraftstoffen am Kraftstoffmix im Verkehr und der Kohlenstoffgehalt von Elektrizität (bei Elektrofahrzeugen) berücksichtigt werden. Emissionsfaktoren pro Personen-km werden am besten unter Verwendung einer linearen Beziehung zwischen Emissionen pro Fahrzeug-km und durchschnittlicher Personenzahl im Fahrzeug nach Fortbewegungsart abgeleitet (mit Unterschieden nach Land und Bewertungsjahr). Typische Werte für die Personenzahl im Fahrzeug sind 1,6 für Kfz, 12,2 für lokale Busse, 40 für Stadtbahn und 1,05 für Motorräder.

Die Auswirkungen des realen Fahrverhaltens können ausreichend angenähert werden, indem zu den offiziellen Kohlenstoffemissionsfaktoren auf der Grundlage von Labortestdaten zur Berücksichtigung der Kaltstartemissionen, die während der anfänglichen Kaltlaufphase zu Beginn jeder Fahrt (ungefähr die ersten 3,4 km je nach Land) zu den Warmlaufemissionen hinzukommen, ein zusätzlicher Beitrag von 21,6% addiert wird.

Die zukünftigen Anteile der Fahrzeugkraftstofftypen und die durchschnittlichen Personenzahlen im Fahrzeug wurden auf der Grundlage internationaler Datenbanken einschließlich der GAINS-Modellprognosen des IASA für 2014 näherungsweise festgelegt (101).

- Für Kfz können fünf allgemeine Verkehrsbedingungen abgeleitet werden, die die meisten europäischen Kontexte widerspiegeln:
 - europäischer Durchschnitt, Städte (32 km/h);

- kaum oder keine Überlastung, Städte (frei fließender Verkehr) (45 km/h)
 - gewisse Überlastung zu Spitzenzeiten (Pendler, Schüler), Städte (35 km/h);
 - starke Überlastung an den meisten Tagen (morgens, nachmittags und Zwischenspitzen), Städte (20 km/h); und
 - europäischer Durchschnitt, ländliche Gebiete (60 km/h).
- Zwischen den Well-to-tank-Kohlenstoffemissionen und dem Kraftstoff- oder Energieverbrauch für die Energie- und

Fahrzeugproduktion einschließlich der vorgelagerten Stromerzeugung und der Produktion fossiler Brennstoffe besteht eine lineare Beziehung.

- Veränderungen der Emissionen (Masse CO₂e) und der sozialen Kosten von Kohlenstoff (US-Dollar pro Tonne CO₂e) verhalten sich linear zueinander. Die Werte für die sozialen Kosten von Kohlenstoff für Länder oder Kontexte, die in der vorhandenen Evidenz oder grundsatzpolitischen Leitlinien nicht abgedeckt werden, wurden auf die von der Europäischen Kommission empfohlenen Werte gesetzt (44 US-Dollar in 2015, bis 2030 steigend auf 66 US-Dollar).



4

Schritt-für-Schritt-Benutzeranleitung

4.1 Zugriff auf HEAT

HEAT kann auf der Website des WHO-Regionalbüros für Europa unter www.euro.who.int/HEAT (8) oder direkt auf der HEAT-Website unter www.heatwalkingcycling.org aufgerufen werden.

4.2 Benutzung von HEAT in fünf Schritten

4.2.1 Allgemeine Merkmale von HEAT

Je nach den Merkmalen einer Bewertung muss im Rahmen einer Bewertung mit HEAT eine unterschiedliche Zahl von Fragen beantwortet werden. Maximal werden 21 Fragen gestellt; abhängig vom Weg, den Sie nehmen, können Sie einige Fragen überspringen. Auf der linken Bildschirmseite hilft Ihnen das Seitenmenü, zu erkennen, an welcher Stelle des Bewertungsprozesses Sie sich befinden.

Klicken Sie auf „next“ oder „back“, um zwischen Seiten zu wechseln. Sie können auch zu einer früheren Frage zurückkehren, um etwas zu überprüfen oder Eingaben zu ändern, indem Sie auf den Menüabschnitt klicken, zu dem die jeweilige Frage im Menü auf der linken Bildschirmseite gehört (siehe auch weiter unten). Benutzen Sie anschließend wieder die Schaltfläche „next“, um sich durch den Rest der Bewertung vorwärts zu

bewegen. Nur von der vorgenommenen Änderungen betroffene Abschnitte werden neue Eingaben erfordern; ansonsten werden die zuvor getätigten Eingaben angezeigt.

Wenn Sie den Mauszeiger auf ein Fragezeichensymbol („?“) neben einer Eingabemöglichkeit führen und dort halten, werden zusätzliche Informationen, Hinweise und Tipps zu diesem Punkt angezeigt. Auf der HEAT-Website gibt es auch einen Abschnitt mit häufig gestellten Fragen sowie weiteren Hinweisen und Tipps, und die Website bietet zudem zusätzliche Informationen zu jedem Abschnitt von HEAT.

In den folgenden Abschnitten werden die fünf Schritte einer Bewertung in HEAT detaillierter beschrieben.

4.2.2 Schritt 1: Definition der Bewertung

Zuallererst muss der Einsatzbereich von HEAT überprüft werden, um sicherzustellen, dass das Instrument für eine Bewertung anwendbar ist (siehe auch Abschnitt 3.4).

Anschließend werden Sie aufgefordert, einige Angaben zur beabsichtigten Bewertung (beispielsweise einer Projektevaluation oder einem Vergleich von zwei Szenarien) zu machen. Diese Angaben bestimmen den konkreten



Nutzungsfall und die entsprechenden Methoden und Annahmen, die HEAT zur Bewertung anwendet. Dies umfasst die folgenden sieben Fragen.

- Welche aktive Fortbewegungsart möchten Sie bewerten: Gehen, Radfahren oder beide?
- Auf welcher geografischen Ebene möchten Sie die Auswirkungen bewerten: nationale Ebene, städtische Ebene oder unterhalb der städtischen Ebene (die letztgenannte Option ist für die Bewertung von Straßenverkehrsunfällen nicht verfügbar, siehe Abschnitt 3.11)?
- Definition des Vergleichs: Wenn Sie über Daten für lediglich eine konkrete Situation verfügen, führen Sie eine Einzelfallbewertung durch. Dabei vergleichen Sie den Referenzfall, den Sie durch die eingegebenen Werte festgelegt haben, mit einem hypothetischen Vergleichsfall ohne Gehen oder Radfahren. Wenn Sie über Daten zu zwei Situationen verfügen, beispielsweise vor und nach einer Intervention, oder alternative Szenarien A und B vergleiche, nutzen Sie die Bewertung von zwei Fällen. Dabei müssen Sie Daten sowohl zum Referenzfall als auch zum Vergleichsfall eingeben.
- Zeitrahmen: Sie können das Jahr des Referenzfalls eingeben und – bei der Bewertung von zwei Fällen – das Jahr des Vergleichsfalls (beispielsweise 5 oder 10 Jahre später). Wenn Sie das Jahr-Feld leer lassen, verwendet HEAT das aktuelle Jahr als Vorgabe für den Referenzfall. Bei der Bewertung von zwei Fällen verwendet HEAT als Jahr für den Vergleichsfall das Jahr für den Referenzfall plus 10 Jahre (siehe nächster Punkt) Zu einem späteren Zeitpunkt im Lauf der Bewertung können Sie beide Vorgabewerte ändern (siehe Schritt 3 unten).
- Bewertungszeitraum: Über wie viele Jahren soll der Nutzen berechnet werden? Bei der Einzelfallbewertung berechnet HEAT Auswirkungen standardmäßig über 10 Jahre; bei der Bewertung von zwei Fällen berechnet HEAT Auswirkungen standardmäßig über die Zeitdifferenz zwischen dem Jahr des Referenzfalls und dem Jahr des Vergleichsfalls (Sie können beide in Schritt 3 ändern).
- Welche Auswirkungen möchten Sie in Ihrer Bewertung berücksichtigen: Nutzen von körperlicher Betätigung, Risiken der Belastung durch Luftschadstoffe und/oder der Exposition gegenüber Straßenverkehrsunfällen beim Radfahren oder Gehen oder Verringerung von Kohlenstoffemissionen durch Substitution motorisierter Fortbewegung durch Gehen oder Radfahren?
- Wenn Sie Auswirkungen von Kohlenstoffemissionen gewählt haben, werden Sie zusätzlich danach gefragt, wie bei der Bewertung motorisierte Fortbewegungsarten berücksichtigt werden sollen. Sie können wählen, keine Daten einzugeben oder Daten zu grundlegenden Kategorien (Fahren und öffentliche Verkehrsmittel) oder zu verfeinerten Kategorien motorisierter Fortbewegung (derzeit Kfz (Fahrer oder Mitfahrer), Motorrad, lokaler Bus, Stadtbahn oder Zug) einzugeben. Wenn Sie über keine Daten zu motorisierter Fortbewegung verfügen, verwendet HEAT bei der Bewertung von zwei Fällen Vorgabewerte (siehe Abschnitt 3.13). Bei der Einzelfallbewertung können Sie später in der Bewertung Daten zum (angenommenen oder bewerteten) Wechsel von anderen Fortbewegungsarten zu Gehen und/oder Radfahren eingeben (siehe die Unterabschnitte 3.12.1 und 3.12.2 sowie Schritt 3 unten) oder ebenfalls wählen, Vorgabewerte zu verwenden.

Auf der Grundlage Ihrer Eingaben in diesem ersten Schritt wählt HEAT die Werte für die standardmäßigen Sterblichkeitsraten, den WSL und/oder die sozialen Kosten von Kohlenstoff, Parameter in Bezug auf Kohlenstoffemissionen, (alle auf der Landesebene), Luftschadstoffniveaus und Straßenverkehrsunfallraten.

Für die Bewertung von Luftverschmutzung auf der städtischen Ebene oder darunter wählen Sie aus dem Auswahlmenü die gewünschte Stadt. Wenn die gewünschte Stadt nicht aufgeführt ist, können Sie die Stadt in der Liste aus einem Land wählen, das dem Ihrem im Hinblick auf Verkehrsvolumina und -zusammensetzung, Schwerindustrie, Topografie und Klima am ähnlichsten ist. Alternativ können Sie „städtische Ebene/unterhalb der städtischen Ebene“ abwählen und stattdessen den nationalen $PM_{2,5}$ -Hintergrundwert für Ihr Land verwenden. Für Bewertungen des Nutzens von körperlicher Betätigung und Bewertungen von Kohlenstoffemissionen auf der städtischen Ebene oder darunter verwendet HEAT nationale Vorgabewerte. Für Bewertungen von Straßenverkehrsunfällen oder Kohlenstoffemissionen auf der städtischen Ebene verwendet HEAT die nationalen Vorgabewerte für Parameter für das Straßenverkehrsunfallrisiko und Kohlenstoffemissionen. Bewertungen des Straßenverkehrsunfallrisikos unterhalb der städtischen Ebene können nicht durchgeführt werden. Bei beiden Optionen können Sie die zugewiesenen Vorgabewerte überschreiben, wenn Sie in Schritt 4 der Bewertung die Berechnungsparameter überprüfen (siehe unten).

4.2.3 Schritt 2: Dateneingabe

Bei allen HEAT-Bewertungen müssen Sie zwei Hauptparameter eingeben: den Umfang von Gehen und/oder Radfahren und die Personenzahl der Untersuchungsgesamtheit. Dies erfolgt in drei Schritten.

- Geben Sie den Umfang von Gehen und/oder Radfahren im Untersuchungsgebiet pro Person pro Tag ein. Sie können ihn eingeben als Dauer (Minuten oder Stunden), Entfernung (Kilometer oder Meilen), Wege, Schritte, Anteil an allen Fortbewegungsarten, Häufigkeit oder prozentuale Veränderung (nur bei der Bewertung von zwei Fällen; siehe Abschnitte 3.7 und 3.8).
- Als nächstes wählen Sie den Typ der Population, für den die Daten zu Gehen und/oder Radfahren abgeleitet wurden. Sie können die allgemeine Bevölkerung wählen (wenn die Daten beispielsweise aus einer nationalen Verkehrserhebung, einer repräsentativen Studie in großem Maßstab oder einer für die allgemeine Bevölkerung zugänglichen Online-Umfrage stammen) oder eine Subpopulation, die eine bestimmte Fortbewegungsart nutzt (nur Radfahrer oder Fußgänger: wenn die Daten beispielsweise durch Zähler oder Nutzerbefragungen gesammelt wurden). Diese Auswahl ist wichtig dafür, dass die eingegebenen Werte für die Geh-/Radfahrleistung korrekt interpretiert werden. Beispielsweise könnte ein typischer Durchschnitt von 4 km mit dem Fahrrad zurückgelegte Wegstrecke pro Person pro Tag in einer Population aus Personen, die regelmäßig Rad fahren, einem Durchschnitt von 0,5 km pro Person pro Tag in der allgemeinen Bevölkerung entsprechen (wobei diese einen Mix von Radfahrern, die pro Tag 4 km mit dem Fahrrad zurücklegen, und von Nicht-Radfahrern, die 0 km Rad fahren, enthält).
- Die Personenzahl in einer Untersuchungsgesamtheit, auf die sich die Daten zu Gehen oder Radfahren beziehen, um zu berücksichtigen, dass die HEAT-Berechnungen für eine Altersspanne von 20 - 74 Jahren für Gehen und von 20 - 64 Jahren für Radfahren



konzipiert sind (siehe Abschnitt 3.4). Wenn der bewertete Umfang von Gehen oder Radfahren vorwiegend von jüngeren oder älteren Personen absolviert wird, können Sie alternative Altersgruppen von 20 - 44 oder 45 - 64 Jahre (beziehungsweise 45 - 74 Jahre bei der Bewertung von Gehen) wählen. Die Personenzahl sollte die Gesamtpopulation widerspiegeln und nicht nur die Größe einer untersuchten Stichprobe, deren Daten zur Schätzung der Geh-/Radfahrleistung erhoben wurden. Beispielsweise sollte im Fall einer landesweiten Verkehrszählung, die für die Gesamtbevölkerung repräsentativ ist, die Gesamtbevölkerung (20 - 64 bzw. 20 - 74 Jahre alt) und nicht die Größe der Stichprobe für die Verkehrszählung verwendet werden. Es ist wichtig, sicherzustellen, dass die richtige Zahl für die Größe der Untersuchungsgesamtheit eingegeben wird, weil dies beträchtliche Auswirkungen auf die Resultate haben kann. Weil es auch wichtig ist, dass der im vorherigen Schritt ausgewählte Typ der Population (siehe oben) zur eingegebenen Personenzahl in der Population passt, wählt HEAT hier den Populationstyp vor; nutzen Sie die Schaltfläche „back“, um zum vorherigen Schritt zurückzugehen, wenn Sie Ihre Auswahl ändern möchten.

Warnhinweise werden angezeigt, wenn die eingegebene Geh- oder Radfahrleistung den vorgeschlagenen Anwendungsbereich von HEAT übersteigt (siehe Abschnitt 3.4) und theoretisch zu sehr hohen Verringerungen der Sterblichkeitsrate führen würde. Genauer gesagt: Wenn Ihre Eingaben für die Radfahr- oder Gehleistung einem Umfang von mehr als 1 Stunde pro Tag entsprechen, werden Sie aufgefordert, zu prüfen, ob der Umfang von Gehen oder Radfahren wirklich das Langzeitverhalten einer durchschnittlichen Erwachsenenpopulation repräsentiert, weil HEAT dafür konzipiert wurde. Um aufgeblähte Werte zu vermeiden, wird die

Risikoverringern aus dem HEAT-Modul für körperliche Betätigung auf 45% für Radfahren und 30% für Gehen begrenzt.

4.2.4 Schritt 3: Eingabe von Informationen zur Datenanpassung

In diesem Schritt werden Sie aufgefordert, zusätzliche Angaben zu der/den bewerteten Fortbewegungsart/en zu machen. Diese Angaben werden benötigt, um die Daten für die ausgewählten Berechnungen der Auswirkungen anzupassen. HEAT zeigt automatisch nur die Fragen an, die für die jeweilige Bewertung benötigt werden.

Abhängig von den gewählten Auswirkungskategorien und Bewertungstypen kann HEAT mehrere oder alle der folgenden Anpassungen vornehmen (nähere Informationen enthält Abschnitt 3.14).

- Anteil der eingegebenen Geh- oder Radfahrleistung, der wegen Faktoren ausgeschlossen werden soll, die in keinem Zusammenhang mit dem bewerteten Projekt oder der bewerteten Intervention stehen, (nur bei der Bewertung von zwei Fällen); der Vorgabewert ist 0%;
- zeitliche und räumliche Anpassung von Geh- oder Radfahrdaten zur Berücksichtigung potenzieller Unter- oder Überbewertung aufgrund solcher Faktoren als saisonale oder räumliche Schwankung; der Vorgabewert ist 0%.
- Zeit für den Aufbau des Bedarfs an aktiver Fortbewegung, die angibt, wie viele Jahre es dauert, bis die Nutzung einer neuen Infrastruktur eine statische Situation erreicht (nur bei Bewertung von zwei Fällen); der Vorgabewert ist 1 Jahr;
- Anteil neuer Wege, die vor der Intervention nicht zurückgelegt wurden (Bewertung von



zwei Fällen, nur Kohlenstoffemissionen); der Vorgabewert ist 0%;

- Anteil neu zugeordneter Wege, die lediglich auf einer anderen Strecke als zuvor zurückgelegt werden, sodass sie jetzt auf einer neuen Infrastruktur stattfinden und folglich bei der Bewertung nicht berücksichtigt werden (Bewertung von zwei Fällen, nur unterhalb der städtischen Ebene); der Vorgabewert ist 0%.
- Anteil der von einer anderen Fortbewegungsart verlagerten Wege; diese Information wird abgefragt, um bei der Bewertung von Kohlenstoffemissionen den Kontrast zwischen dem Referenzfall und dem Vergleichsfall zu charakterisieren; diese Schieberegler sind auf die Vorgabewerte eingestellt, die gelten, wenn keine Anpassungen vorgenommen werden;
- Anteil der aktiven Fortbewegung, der im Verkehr stattfindet, statt entfernt von Hauptstraßen, in Parks usw. (nur Bewertung der Luftverschmutzung); der Vorgabewert ist 50%;
- Anteil der Wege, die zur Fortbewegung zurückgelegt werden (nur Bewertungen von Luftverschmutzung und Kohlenstoffemissionen), um Schadstoffniveaus korrekt zuzuordnen und bei der Bewertung von Kohlenstoffemissionen in der Freizeit zurückgelegte Wege auszuschließen, weil dafür angenommen wird, dass sie keine anderen Fortbewegungsarten ersetzen; der Vorgabewert ist 50%;
- Verkehrsbedingungen (nur Bewertung von Kohlenstoffemissionen), wobei Sie unter fünf Optionen wählen können; die Vorgabe ist der europäische Durchschnitt in Städten (32 km/h). Alternativ können Sie wählen, einen

lokal verfügbaren Wert oder einen der anderen Vorgabewerte einzugeben (geringe oder keine Überlastung, Städte (frei fließend) (45 km/h); gewisse Überlastung zu Spitzenzeiten (Pendler, Schüler), Städte (35 km/h); starke Überlastung an den meisten Tagen (morgens, nachmittags, Zwischenspitzen), Städte (20 km/h) oder europäischer Durchschnitt, ländliche Gebiete (60 km/h);

- Veränderung des Straßenverkehrsunfallrisikos im Zeitverlauf (Bewertung von Zwei Fällen, nur Straßenverkehrsunfälle); der Vorgabewert ist 0%; und
- Substitution körperlicher Betätigung, um anzugeben, ob ein Teil der aktiven Fortbewegung andere Formen körperlicher Betätigung wie Training in der Freizeit ersetzt; der Vorgabewert ist 0%.

Zusätzlich zu diesem Schritt können Sie die Investitionskosten eingeben, die in der bewerteten aktiven Fortbewegung resultierten, um ein Kosten-Nutzen-Verhältnis zu berechnen. Die Kosten müssen alle einschlägigen Investitionen umfassen. Um beispielsweise das Kosten-Nutzen-Verhältnis für eine Förderkampagne für Radfahren zu bewerten, müssen auch die Kosten für die von der Zielgruppe benutzte Infrastruktur für Radfahren berücksichtigt werden, die möglicherweise von der Kommune getragen werden.

4.2.5 Schritt 4: Überprüfung der Berechnungsparameter

In diesem Schritt zeigt HEAT eine Übersichtstabelle aller Vorgabe- und Hintergrundwerte sowie Dateneingaben an, die Sie überprüfen und gegebenenfalls ändern können. Die Beratungsgruppe aus Experten hat die Parameter für die Bewertung in HEAT gemäß den besten derzeit verfügbaren Informationen festgelegt, einschließlich der Hintergrundwerte, die nicht geändert werden können (siehe Abschnitt 3.13).

Wenn zuverlässige lokale Daten verfügbar sind, können Sie Vorgabewerte ändern; dabei sollten Sie jedoch bedenken, dass die Veränderung von Parametern die Schlussresultate stark beeinflussen können.⁶ Insbesondere können Sie lokale Werte für die folgenden zwei Parameter verwenden, wenn solche verfügbar sind:

- Für den WSL sollte der im jeweiligen Untersuchungsland verwendete Standardwert eines statistischen Lebens eingegeben werden (in Euro). Dieser wird die Grundlage des berechneten ökonomischen Werts bilden und die ökonomischen Ergebnisse stark beeinflussen. Die Vorgabewerte basieren auf dem in Schritt 1 gewählten Land⁷ (siehe auch Abschnitt 3.15.1). Wenn in Ihrem lokalen Kontext für die Verkehrsbewertung ein anderer Wert verwendet wird, können Sie hier den Vorgabewert ersetzen.
- Die durchschnittliche Sterberate der Bevölkerung im Erwerbsalter (Sterbefälle pro 100 000 Personen pro Jahr in der jeweiligen Altersgruppe) kann aus veröffentlichten Sterblichkeitsdaten für Personen im Erwerbsalter für das Untersuchungsland abgeleitet werden. Der Vorgabewert wird auf den letzten verfügbaren nationalen Wert aus der Detaillierten Mortalitätsdatenbank der Europäischen Region der WHO gesetzt (113). Verwenden Sie wann immer möglich die jüngste verfügbare

⁶ Für den Vorgabehintergrundwert für die Luftverschmutzung kann ein $PM_{2,5}$ -Wert mit einem international akzeptierten Umrechnungsfaktor von 0,6 abgeleitet werden (79), um bei Bedarf besser verfügbare PM_{10} -Messungen in Schätzungen von $PM_{2,5}$ umzuwandeln (51).

⁷ Für neun Länder konnte kein nationaler WSL-Vorgabewert berechnet werden (siehe Abschnitt 3.15). Für Andorra wird standardmäßig der Wert für Spanien verwendet, für Liechtenstein derjenige für die Schweiz, für Monaco derjenige für Frankreich und für San Marino derjenige für Italien. Für Turkmenistan basiert der Wert auf Daten für Georgien, und für Usbekistan basiert er auf Daten für Kirgisistan. Die Werte für 2005 (basierend auf Näherungswerten auf der Grundlage von Ländern mit dem ähnlichsten BIP pro Kopf in der Nachbarschaft) werden als Vorgabewerte für Aserbaidschan (unter Verwendung von Daten für Georgien), Belarus (unter Verwendung von Daten für die Russische Föderation) und Tadschikistan (unter Verwendung von Daten für Kirgisistan) angezeigt.

nationale oder lokale rohe Sterberate (für die ausgewählte Altersspanne).

Für den Diskontsatz können Sie den Wert eingeben, der für die Berechnung zukünftigen Nutzens verwendet werden soll. HEAT verwendet 5% als Vorgabewert. Gängige Diskontsätze sind gewöhnlich von staatlichen Stellen verfügbar.

4.2.6 Schritt 5: Resultate und der entsprechende wirtschaftliche Wert

Die HEAT-Ergebnisse werden in zwei Schritten angezeigt:

- Ergebniszusammenfassung, in der der gesundheitliche und wirtschaftliche Nutzen, negative Auswirkungen und Auswirkungen auf die Kohlenstoffemissionen über alle gewählten Kategorien (wie vom Benutzer ausgewählt) sowie eine kurze Zusammenfassung der vorgenommenen Dateneingaben angezeigt werden; und
- detaillierte Ergebnisse pro Fortbewegungsart (Gehen und/oder Radfahren) und Kategorie (körperliche Betätigung, Luftverschmutzung, Straßenverkehrsunfälle und Kohlenstoffemissionen, wie vom Benutzer gewählt).

Die Ergebniszusammenfassung zeigt zuerst die vom Benutzer eingegebene Geh- oder Radfahrleistung und die Personenzahl der bewerteten Population an.

Das Instrument liefert eine Gesamtschätzung der folgenden Ergebnisse (Zusammenfassung positiver und negativer Auswirkungen über alle gesundheitsbezogenen Kategorien und von Verringerungen von Kohlenstoffemissionen gemäß der Auswahl des Benutzers):

- Zahl der vermiedenen vorzeitigen Sterbefälle (pro Jahr und über den gesamten Bewertungszeitraum);

- Tonnen vermiedener CO₂-Emissionen (pro Jahr und über den gesamten Bewertungszeitraum);

- Summe des ökonomischen Werts von Auswirkungen auf die Sterblichkeit (aufgrund von körperlicher Betätigung, Luftverschmutzung und/oder Straßenverkehrsunfällen gemäß der Auswahl des Benutzers; pro Jahr und über den gesamten Bewertungszeitraum sowie diskontiert, falls das gewählt wurde) unter Verwendung des WSL (siehe Abschnitt 3.15.1);

- ökonomischer Wert der Auswirkungen von Kohlenstoffemissionen (pro Jahr und über den gesamten Bewertungszeitraum sowie diskontiert, falls das gewählt wurde) unter Verwendung der sozialen Kosten von Kohlenstoff (siehe Abschnitt 3.15.2); und

- ökonomischer Gesamtwert der Auswirkungen als Zusammenfassung des wirtschaftlichen Nutzens auf der Grundlage der drei gesundheitsbezogenen Berechnungen und der Berechnungen zu den Kohlenstoffemissionen gemäß der Auswahl des Benutzers (pro Jahr und über den gesamten Bewertungszeitraum sowie diskontiert, falls das gewählt wurde).

In einer Übersichtstabelle können Benutzer die detaillierten Ergebnisse auswählen, die angezeigt werden sollen (pro Fortbewegungsart (Gehen und/oder Radfahren) und Kategorie (körperliche Betätigung, Luftverschmutzung, Straßenverkehrsunfälle und Kohlenstoffemissionen). Gemäß der getroffenen Auswahl werden die detaillierten Ergebnisse anschließend für jede der gewählten Fortbewegungsarten und Kategorien angezeigt, einschließlich der gleichen Informationen wie in der oben beschriebenen Ergebniszusammenfassung.

Die Ergebnisse sind auch als Übersichtsgrafiken mit Gesamtergebnissen sowie mit Ergebnissen

pro Fortbewegungsart und pro Kategorie verfügbar.

4.2.7 Beschränkungen und Sensitivitätsanalyse

Viele der bei dieser HEAT-Berechnung verwendeten Variablen sind Schätzungen und deshalb möglicherweise mit einem gewissen Fehler behaftet. Es wird darauf hingewiesen, dass die HEAT-Instrumente einen Näherungswert für das Ausmaß des gesundheitlichen Nutzens, des Nutzens in der Form von weniger

Kohlenstoffemissionen und des ökonomischen Nutzens liefern. Wie in Abschnitt 3.16 erläutert wird, werden mehrere Annahmen zugrunde gelegt. Um einen besseren Eindruck von der möglichen Spannweite der Ergebnisse zu gewinnen, wird nachdrücklich empfohlen, dass Sie das Modell mit leicht unterschiedlichen Werten für Variablen noch einmal durchlaufen lassen, bei denen Sie einen bestmöglichen Schätzwert eingegeben haben, beispielsweise indem Sie höhere und niedrigere Schätzwerte für diese Variablen eingeben.

Quellenangaben

1. Aktionsplan zur Prävention und Bekämpfung nichtübertragbarer Krankheiten in der Europäischen Region der WHO. Kopenhagen: WHO-Regionalbüro für Europa; 2016 (http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0019/315631/66wd11g-NCDActionPlan_160522.pdf?ua=1, eingesehen am 18. November 2017).
2. Strategie der Europäischen Region der WHO zur Bewegungsförderung (2016–2025). Kopenhagen: WHO-Regionalbüro für Europa; 2016 (http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/283830/65wd09g_PhysicalActivityStrategy_150474.pdf?ua=1, eingesehen am 18. November 2017).
3. Cavill N, Kahlmeier S, Rutter H, Racioppi F, Oja P. Economic assessment of transport infrastructure and policies. Methodological guidance on the economic appraisal of health effects related to walking and cycling. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2007 (<http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/107865/1/E90944.pdf>, accessed 18 October 2017).
4. Rutter H, Cavill N, Dinsdale H, Kahlmeier S, Racioppi F, Oja P. Health economic assessment tool for cycling (HEAT for cycling). User guide. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2008 (revised edition published online, 2011).
5. Kahlmeier S, Kelly P, Foster C, Götschi T, Cavill N, Dinsdale H et al. Health economic assessment tools (HEAT) for cycling and walking. Methodology and user guide. Economic assessment of transport infrastructure and policies. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2011.
6. Kahlmeier S, Kelly P, Foster C, Götschi T, Cavill N, Dinsdale H et al. Health economic assessment tool (HEAT) for cycling and walking. Methodology and user guide. Economic assessment of transport infrastructure and policies. 2014 update. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2011 (revised edition published online 2014).
7. Development of the health economic assessment tools (HEAT) for walking and cycling. 4th Consensus Meeting, Bonn, Germany, 11–12 December 2014. Meeting report. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2015.
8. Health economic assessment tool (HEAT) for cycling and walking (revised edition) [website]. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2017 (<http://www.heat-walkingcycling.org>, accessed 18 October 2017).
9. Cavill N, Kahlmeier S, Rutter H, Racioppi F, Oja P. Economic analyses of transport infrastructure and policies including health effects related to cycling and walking: a systematic review. *Transport Policy*. 2008;15:291–304.
10. Kelly P, Kahlmeier S, Götschi T, Orsini N, Richards J, Roberts N et al. Systematic review and meta-analysis of reduction in all-cause mortality from walking and cycling and shape of dose response relationship. *Int J Behav Nutr Phys Act*. 2014;11:132.
11. de Nazelle A, Bode O, Orjuela JP. Comparison of air pollution exposures in active



- vs. passive travel modes in European cities: a quantitative review. *Environ Int.* 2017;99:151–60.
12. Development of the health economic assessment tools (HEAT) for walking and cycling. Core group meeting, Copenhagen, Denmark, 2–3 November 2016. Meeting background document. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2016.
 13. Kahlmeier S, Götschi T, Cavill N, Fernandez AC, Brand C, Rueda DR et al. Health economic assessment tool (HEAT) for cycling and walking. Methods and user guide on physical activity, air pollution, injuries and carbon impact assessments. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2017.
 14. Kahlmeier S, Racioppi F, Cavill N, Rutter H, Oja P et al. “Health in all policies” in practice: guidance and tools to quantifying the health effects of cycling and walking. *J Phys Activ Health.* 2010;7(Suppl. 1):S120–5.
 15. Rutter H, Cavill N, Racioppi F, Dinsdale H, Oja P, Kahlmeier S. Economic impact of reduced mortality due to increased cycling. *Am J Prev Med.* 2013;44:89–92.
 16. Beale S, Bending M, Yi Y, Trueman P. A rapid review of economic literature related to environmental interventions that increase physical activity levels in the general population. London, National Institute for Health and Care Excellence; 2007 (<https://www.nice.org.uk/guidance/ph8/evidence/economic-evidence-review-summary-pdf-67188494>, accessed 18 October 2017).
 17. Development of the health economic assessment tools (HEAT) for walking and cycling. Meeting report of the consensus workshop in Bonn, Germany, 1–2 October 2013. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe; 2014 (http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/248900/Development-of-the-health-economic-assessment-tools-HEAT-for-walking-and-cycling.pdf, accessed 18 October 2017).
 18. Mortality risk valuation in environment, health, and transport policies. Paris: OECD; 2012 (<http://www.oecd.org/environment/mortalityriskvaluationinenvironment-healthandtransportpolicies.htm>, accessed 18 October 2017).
 19. Andersen LB, Schnohr P, Schroll M, Hein HO. All-cause mortality associated with physical activity during leisure time, work, sports and cycling to work. *Arch Intern Med.* 2000;160:1621–8.
 20. Global recommendations on physical activity for health. Geneva: World Health Organization; 2010 (http://www.who.int/dietphysicalactivity/factsheet_recommendations/en/index.html, accessed 18 October 2017).
 21. Mueller F, Rojas-Rueda D, Cole-Hunter T, de Nazelle A, Dons E, Gerike R et al. Health impact assessment of active transportation: a systematic review. *Prev Med.* 2015;76:103–14.
 22. Doorley R, Pakrashi V, Ghosh B. Quantifying the health impacts of active travel: assessment of methodologies. *Transport Rev.* 2015;35:559–82.
 23. Götschi T, Garrard J, Giles-Corti B. Cycling as a part of daily life: a review of health perspectives. *Transport Rev.* 2016;36:45–71.

24. de Hartog JJ, Boogaard H, Nijland H, Hoek G. Do the health benefits of cycling outweigh the risks? *Environ Health Perspect*. 2010;118:1109–16.
25. Rojas-Rueda D, de Nazelle A, Tainio M, Nieuwenhuijsen MJ. The health risks and benefits of cycling in urban environments compared with car use: health impact assessment study. *BMJ*. 2011;343:d4521.
26. Rabl A, de Nazelle A. Benefits of shift from car to active transport. *Transport Policy*. 2012;19:121–31.
27. Elvik R. The non-linearity of risk and the promotion of environmentally sustainable transport. *Accid Anal Prev*. 2009;41:849–55.
28. Woodcock J, Edwards P, Tonne C, Armstrong BG, Ashiru O, Banister D et al. Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: urban land transport. *Lancet*. 2009;374:1930–43.
29. Woodcock J, Givoni M, Morgan AS. Health impact modelling of active travel visions for England and Wales using an integrated transport and health impact modelling tool (ITHIM). *PLoS One*. 2013;8:e51462.
30. Schepers JP, Heinen E. How does a modal shift from short car trips to cycling affect road safety? *Accid Anal Prev*. 2013;50:1118–27.
31. Bhalla K, Ezzati M, Mahal A, Salomon J, Reich M. A risk-based method for modeling traffic fatalities. *Risk Anal*. 2007;27:125–36.
32. Teschke K, Harris MA, Reynolds CCO, Winters M, Babul S, Chipman M et al. Route infrastructure and the risk of injuries to bicyclists: a case-crossover study. *Am J Publ Health*. 2012;102:2336–43.
33. Jacobsen PL. Safety in numbers: more walkers and bicyclists, safer walking and bicycling. *Injury Prev*. 2003;9:205–9.
34. Elvik R, Bjørnskau T. Safety-in-numbers: a systematic review and meta-analysis of evidence. *Saf Sci*. 2017;92:274–82.
35. Development of the health economic assessment tools (HEAT) for walking and cycling. 5th consensus meeting: meeting report. Copenhagen, 28–29 March 2017. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2017.
36. CURB tool: climate action for urban sustainability, user guide, version 2.0, September 2016. Washington (DC): World Bank; 2016.
37. COPERT IV. Copenhagen: European Environment Agency; 2012.
38. Transport analysis guidance: WebTAG. London: Department for Transport; 2014 (<https://www.gov.uk/guidance/transport-analysis-guidance-webtag>, accessed 18 October 2017).
39. Brand C, Tran M, Anable J. The UK transport carbon model: an integrated life cycle approach to explore low carbon futures. *Energy Policy*. 2012;41:107–24.
40. Lumberras J, Borge R, Guijarro A, Lopez JM, Encarnacion Rodríguez M. A methodology to compute emission projections from road transport (EmiTRANS). *Technol Forecasting Soc Change*. 2014;81:165–76.



41. Haines A, McMichael AJ, Smith KR, Roberts I, Woodcock J, Markandya A et al. Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: overview and implications for policy makers. *Lancet*. 2009;374:2104–14.
42. Jarrett J, Woodcock J, Griffiths UK, Chalabi Z, Edwards P, Roberts I et al. Effect of increasing active travel in urban England and Wales on costs to the National Health Service. *Lancet*. 2012;379:2198–2205.
43. Development of the Health Economic Assessment Tools (HEAT) for walking and cycling. Core group meeting: meeting report. Copenhagen, 2–3 November 2016. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 2017.
44. Physical Activity Guidelines Advisory Committee. Physical Activity Guidelines Advisory Committee report 2008. Washington (DC): United States Department of Health and Human Services; 2008.
45. Oja P, Titze S, Bauman A, de Geus B, Krenn P, Reger-Nash B et al. Health benefits of cycling: a systematic review. *Scand J Med Sci Sports*. 2011;21:496–509.
46. Hamer M, Chida Y. Walking and primary prevention: a meta-analysis of prospective cohort studies. *Br J Sports Med*. 2008;42:238–43.
47. Wen CP, Wai JP, Tsai MK, Yang YC, Cheng TY, Lee MC et al. Minimum amount of physical activity for reduced mortality and extended life expectancy: a prospective cohort study. *Lancet*. 2011;378:1244–53.
48. Lee C, Shiroma EJ, Lobelo F, Puska P, Blair SN, Katzmarzyk PT, Lancet Physical Activity Series Working Group. Effect of physical inactivity on major non-communicable diseases worldwide: an analysis of burden of disease and life expectancy. *Lancet*. 2012;380:219–29.
49. Wang N, Zhang X, Xiang YB, Li H, Yang G, Gao J et al. Associations of tai chi, walking, and jogging with mortality in Chinese men. *Am J Epidemiol*. 2013;178:791–6.
50. Schnohr P, Scharling H, Jensen J. Intensity versus duration of walking, impact on mortality: the Copenhagen City Heart Study. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil*. 2007;14:72–8.
51. WHO expert meeting: methods and tools for assessing the health risks of air pollution at local, national and international level. Meeting report, Bonn, Germany, 12–13 May 2014. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2014 (http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0010/263629/WHO-Expert-Meeting-Methods-and-tools-for-assessing-the-health-risks-of-air-pollution-at-local,-national-and-international-level.pdf, accessed 18 October 2017).
52. McCreanor J, Cullinan P, Nieuwenhuijsen MJ, Stewart-Evans J, Malliarou E, Jarup L et al. Respiratory effects of exposure to diesel traffic in persons with asthma. *N Engl J Med*. 2007;357:2348–58.
53. Laden F, Neas LM, Dockery DW, Schwartz J. Association of fine particulate matter from different sources with daily mortality in six US cities. *Environ Health Perspect*. 2010;108:941–7.

54. Mills NL. Ischemic and thrombotic effects of dilute diesel-exhaust inhalation in men with coronary heart disease. *N Engl J Med.* 2007;357:1075–82.
55. Krzyzanowski M, Kuna-Dibbert B, Schneider J, editors. Health effects of transport-related air pollution. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2005 (<http://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/health-effects-of-transport-related-air-pollution>, accessed 18 October 2017).
56. Karanasiou A, Viana M, Querol X, Moreno T, de Leeuw F. Assessment of personal exposure to particulate air pollution during commuting in European cities – recommendations and policy implications. *Sci Total Environ.* 2014;490:785–97.
57. Int Panis L, de Geus B, Vandenbulcke G, Willems H, Degraeuwe B, Bleux N et al. Exposure to particulate matter in traffic: a comparison of cyclists and car passengers. *Atmos Environ.* 2010;44:2263–70.
58. Lim SS, Vos T, Flaxman AD, Danaei G, Shibuya K, Adair-Rohani H et al. A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990–2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet.* 2012;380:2224–60.
59. Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project: final technical report. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2013 (<http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2013/review-of-evidence-on-health-aspects-of-air-pollution-revihaap>, accessed 18 October 2017).
60. Ostro B. Outdoor air pollution – assessing the environmental burden of disease at national and local levels. Geneva: World Health Organization; 2004 (Environmental Burden of Disease Series, No. 5; http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/ebd5/en, accessed 18 October 2017).
61. Janssen AH, Hoek G, Simic-Lawson M, Fischer P, van Bree L, ten Brink H et al. Black carbon as an additional indicator of the adverse health effects of airborne particles compared with PM10 and PM2.5. *Environ Health Perspect.* 2011;119:1691–9.
62. Tainio M, de Nazelle AJ, Götschi T, Kahlmeier S, Rojas-Rueda D, Nieuwenhuijsen MJ et al. Can air pollution negate the health benefits of cycling and walking? *Prev Med.* 2016;87:233–6.
63. Hoek G, Krishnan RM, Beelen R, Peters A, Ostro B, Brunekreef B et al. Long-term air pollution exposure and cardio-respiratory mortality: a review. *Environ Health.* 2013;12:43.
64. Elvik R, Sundfør HB. How can cyclist injuries be included in health impact economic assessments? *J Transport Health.* 2017;6:29–39.
65. Foley L, Panter J, Heinen E, Prins R, Ogilvie D. Changes in active commuting and changes in physical activity in adults: a cohort study. *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2015;12:161.
66. Laeremans M, Götschi T, Dons E, Kahlmeier S, Brand C, de Nazelle A et al. Does an



increase in walking and cycling translate into a higher overall physical activity level? *J Transport Health* 2017;5:S20.

67. Wanner M, Götschi T, Martin-Diener E, Kahlmeier S, Martin BW. Active transport, physical activity, and body weight in adults: a systematic review. *Am J Prev Med*. 2012;42:493–502.
68. Götschi T, Loh TH. Advancing project-scale health impact modeling for active transportation: a user survey and health impact calculation of 14 US trails. *J Transport Health* 2017;4:334–7.
69. Nellthorp J, Sansom T, Bickel P, Doll C, Lindberg G. Unification of accounts and marginal costs for transport efficiency (UNITE): valuation conventions for UNITE. Leeds: University of Leeds; 2007 (http://www.its.leeds.ac.uk/projects/unite/downloads/D5_Annex3.pdf, accessed 18 October 2017).
70. Boesch H-J, Kahlmeier S, Sommer H, van Kempen E, Staatsen B, Racioppi F et al. Economic valuation of transport-related health effects: review of methods and development of practical approaches, with a special focus on children. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2008 (http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0008/53864/E92127.pdf, accessed 18 October 2017).
71. Tudor-Locke C, Craig CL, Brown WJ, Clemes SA, De Cocker K, Giles-Corti B et al. How many steps/day are enough? For adults. *Int J Behav Nutr Phys Act*. 2011;8:79
72. Woodcock J, Franco OH, Orsini N, Roberts I. Non-vigorous physical activity and all-cause mortality: systematic review and meta-analysis of cohort studies. *Int J Epidemiol*. 2011;40:121–38.
73. Manson J, Greenland P, LaCroix AZ, Stefanick ML, Mouton CP, Oberman A et al. Walking compared with vigorous exercise for the prevention of cardiovascular events in women. *N Engl J Med*. 2002;347:716–25.
74. Andersen LB, Schnohr P, Schroll M, Hein HO. All-cause mortality associated with physical activity during leisure time, work, sports and cycling to work. *Arch Intern Med*. 2000;160:1621–8.
75. Development of guidance and a practical tool for economic assessment of health effects from walking. Consensus workshop, 1–2 July 2010, Oxford, United Kingdom. Background document: summary of literature reviews and issues for discussion. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2010.
76. Rojas-Rueda D, Nieuwenhuijsen M. Adjustment of risk estimates of physical activity and mortality by the impact of air pollution (particulate matter of less than 2.5 μm). Barcelona: Centre for Research in Environmental Epidemiology; 2014.
77. WHO Global Urban Ambient Air Pollution Database [online database]. Geneva: World Health Organization; 2017 (http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/cities/en, accessed 18 October 2017).
78. WHO Global Health Observatory data repository, exposure country average 2014 [online database]. Geneva: World Health Organization; 2017 (<http://apps>.

who.int/gho/data/view.main.SDGPM-25116v?lang=en, accessed 18 October 2017).

79. PM2.5, an indicator for fine particles. In: Air quality guidelines. Global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2006: 40–1 (http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/outdoorair_aqg/en, accessed 18 October 2017).
80. Cohen AJ, Anderson HR, Ostro B, Pandey KD, Krzyzanowski M, Künzli N et al. Urban air pollution. In: Ezzati M, Lopez AD, Rodgers A, Murray CJL, editors. Comparative quantification of health risks: global and regional burden of disease attribution to selected major risk factors. Volume 1. Geneva: World Health Organization; 2004:1353–434 (http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/cra/en, accessed 18 October 2017).
81. Di Q, Dominici F, Schwartz JD. Air pollution and mortality in the Medicare population. *N Engl J Med*. 2017; 376:2513–22.
82. ITF-IRTAD International Transport Forum – International Traffic Safety Data and Analysis Group. Database casualties by age and road use [online database]. Paris: OECD; 2017 (http://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=IRTAD_CASUAL_BY_AGE, accessed 18 October 2017).
83. WHO Global Health Observatory data repository [online database]. Geneva: World Health Organization; 2017 (<http://apps.who.int/gho/data/node.main.A997?lang=en>, accessed 18 October 2017).
84. Institute for Transportation & Development Policy and the University of California. A global high shift cycling scenario: the potential for dramatically increasing bicycle and E-bike use in cities around the world, with estimated energy, CO₂, and cost impacts. New York: Institute for Transportation & Development Policy; 2015 (https://www.itdp.org/wp-content/uploads/2015/11/A-Global-High-Shift-Cycling-Scenario_Nov-2015.pdf, accessed 18 October 2017).
85. Diaz Olvera L, Plat D, Pochet P. The puzzle of mobility and access to the city in sub-Saharan Africa. *J Transp Geogr*. 2013;32:56–64.
86. WALCYNG. How to enhance WALKing and CYcliNG instead of shorter car trips and to make these modes safer. Lund: Department of Traffic Planning and Engineering, University of Lund; 1997 (https://safety.fhwa.dot.gov/ped_bike/docs/walcyng.pdf, accessed 18 October 2017).
87. Dons E, Götschi T, Nieuwenhuijsen M, de Nazelle A, Anaya E, Avila-Palencia I et al. Physical Activity through Sustainable Transport Approaches (PASTA): protocol for a multi-centre, longitudinal study. *BMC Publ Health*. 2015;15:1126.
88. Brand C, Goodman A, Ogilvie D. Evaluating the impacts of new walking and cycling infrastructure on carbon dioxide emissions from motorized travel: a controlled longitudinal study. *Appl Energy*. 2014;128:284–95.
89. Goodman A, Sahlqvist S, Ogilvie D. New walking and cycling routes and increased physical activity: one- and 2-year findings from the UK iConnect study. *Am J Public Health*. 2014;104:e38–46.

90. OBIS (Optimising Bike Sharing in European Cities), final report. Brussels: European Commission; 2011.
91. Woodcock J, Edwards P, Tonne C, Armstrong BG, Ashiru O, Banister D et al. Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: urban land transport. *Lancet*. 2009;374:1930–43.
92. Keogh-Brown M, Jensen HT, Smith RD, Chalabi Z, Davies M, Dangour A et al. A whole-economy model of the health co-benefits of strategies to reduce greenhouse gas emissions in the UK. *Lancet*. 2012;380 (Suppl. 3):S52.
93. Buekers J, Dons E, Elen B, Int Panis L. Health impact model for modal shift from car use to cycling or walking in Flanders: application to two bicycle highways. *J Transport Health*. 2015;2:549–62.
94. Mulley C, Tyson R, McCue P, Rissel C, Munro C. Valuing active travel: including the health benefits of sustainable transport in transportation appraisal frameworks. *Res Transport Business Management*. 2013;7:27–34.
95. Cycle more often 2 cool down the planet! Quantifying CO₂ savings of cycling. Brussels: European Cyclists' Federation; 2011.
96. UK Government conversion factors for company reporting, full 2016 dataset. London: Department for the Environment, Food and Rural Affairs and Department for Energy and Climate Change; 2016.
97. European motor vehicle parc 2014: vehicles in use (2009–2014). Madrid: ANFAC/ACEA; 2014.
98. New car CO₂ report 2014: the 13th report. London: Society of Motor Manufacturers and Traders; 2014.
99. World energy outlook 2015. Paris: International Energy Agency; 2015.
100. Eurostat. Transport data database, October 2015 update. Brussels: European Commission; 2016 (<http://ec.europa.eu/eurostat/web/transport/data/database>, accessed 18 October 2017).
101. IIASA, IIASA GAINS model, scenario WPE_2014_CLE: the updated “current legislation” (after the bilateral consultations in 2014) of the PRIMES 2013 REFERENCE activity projection. Laxenburg: IIASA; 2014.
102. Olson P, Nolan K. In depth: Europe's most congested cities. *Forbes*. 2008; 21 April (https://www.forbes.com/2008/04/21/europe-commute-congestion-forbes-life-cx_po_0421congestion_slide.html).
103. Newman P, Kenworthy J. Sustainability and cities: overcoming automobile dependence. Washington (DC): Island Press; 1999.
104. EMEP/EEA. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016: technical guidance to prepare national emission inventories. Copenhagen: European Environment Agency; 2016.
105. UK new car market starts 2016 on a high with best January in 11 years. London: Society of Motor Manufacturers and Traders; 2016 (<http://www.smmr.co.uk/2016/02/uk-new-car-market-starts-2016-on-a-high-with-best-january-in-11-years>, accessed 18 October 2017).

106. Transport statistics Great Britain: 2015 edition. London: Department for Transport; 2015.
107. Odeh N, Hill N, Forster D. Current and future lifecycle emissions of key “low carbon” technologies and alternatives, final report. Harwell: Ricardo AEA for the Committee on Climate Change; 2013.
108. JEC well-to-wheels analysis. Brussels: JEC – Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE collaboration; 2014 (http://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/sites/iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/files/documents/report_2014/wtt_report_v4a.pdf, accessed 18 October 2017).
109. Electricity-specific emission factors for grid electricity. London: Ecometrica; 2011.
110. EC DG Climate Action, transport database TRACCS (Transport data collection supporting the quantitative analysis of measures relating to transport and climate change). Brussels: Emisia, Infras and IVL for the European Commission; 2013.
111. National Travel Survey [website]. London: Government of the United Kingdom (<https://www.gov.uk/government/collections/national-travel-survey-statistics>, accessed 18 October 2017).
112. Onderzoek Verplaatsingen in Nederland (OVIN) (2013–2014) [National travel survey in the Netherlands (OVIN) (2013–2014)]. The Hague: Central Bureau of Statistics; 2016.
113. European detailed mortality database [online database]. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2017 ([http://](http://data.euro.who.int/dmdb)
- data.euro.who.int/dmdb, accessed 18 October 2017).
114. ITF. Adapting transport policy to climate change: carbon valuation, risk and uncertainty. Paris: OECD Publishing; 2015.
115. Smith S, Braathen NA. Monetary carbon values in policy appraisal. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development; 2015 (<http://www.oecd-ilibrary.org/content/workingpaper/5jrs8st3ngvh-en>, accessed 18 October 2017).
116. Average speed and delay on local “A” roads. London: Department for Transport; 2017.
117. Free flow vehicle speeds in Great Britain: 2015 [website]. London: Department for Transport (<https://www.gov.uk/government/statistics/free-flow-vehicle-speeds-in-great-britain-2015>, accessed 18 October 2017).
118. Average speed in Europe’s 15 most congested cities in 2008 (in kilometers per hour). New York: Statista; 2008 (<https://www.statista.com/statistics/264703/average-speed-in-europes-15-most-congested-cities>).
119. Johnson T. A guide to selected algorithms, distributions, and databases used in exposure models developed by the office of air quality planning and standards. Washington (DC): United States Environmental Protection Agency; 2002.
120. de Nazelle A, Rodríguez DA, Crawford-Brown D. The built environment and health: impacts of pedestrian-friendly



- designs on air pollution exposure. *Sci Total Envir.* 2009;407:2525–35.
121. Transport statistics Great Britain. London: Department for Transport; 2016.
 122. Leuenberger M, Frischknecht R. Life cycle assessment of two wheel vehicles. Uster: ESU-services; 2010.
 123. Del Duce A. Life cycle assessment of conventional and electric bicycles. Eurobike, Friedrichshafen, Germany, 31 August–3 September 2011.
 124. Ricardo AEA. Current and future life-cycle emissions of key “low-carbon” technologies and alternatives. Harwell: Committee on Climate Change; 2013.
 125. National travel survey: the way we travel. London: Department for Transport; 2015.
 126. Mortality risk valuation in environment, health, and transport policies. Paris: OECD; 2012.
 127. World Bank search [online database]. Washington (DC): World Bank Group; 2017 (<http://search.worldbank.org/data>, accessed 18 October 2017).
 128. Moore FC, Diaz DB. Temperature impacts on economic growth warrant stringent mitigation policy. *Nat Clim Change.* 2015;5:127–31.
 129. Nordhaus WD. Revisiting the social cost of carbon. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2017;114:1518–23.
 130. Anthoff D, Tol RSJ. The uncertainty about the social cost of carbon: a decomposition analysis using FUND. *Clim Change.* 2013;117:515–30.
 131. Weisbach D, Moyer E. Discounting in integrated assessment. Washington (DC): Resources for the Future; 2010.
 132. Tol RSJ. The social cost of carbon: trends, outliers and catastrophes. *Economics E-Journal.* 2008;2: 2008–25.

Das WHO-Regionalbüro für Europa

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) ist eine 1948 gegründete Sonderorganisation der Vereinten Nationen, die sich in erster Linie mit internationalen Gesundheitsfragen und der öffentlichen Gesundheit befasst. Das WHO-Regionalbüro für Europa ist eines von sechs Regionalbüros, die überall in der Welt eigene, auf die Gesundheitsbedürfnisse ihrer Mitgliedsländer abgestimmte Programme durchführen.

Mitgliedstaaten

Albanien
Andorra
Armenien
Aserbaidschan
Belarus
Belgien
Bosnien und Herzegowina
Bulgarien
Dänemark
Deutschland
Ehemalige jugoslawische
Republik Mazedonien
Estland
Finnland
Frankreich
Georgien
Griechenland
Irland
Island
Israel
Italien
Kasachstan
Kirgisistan
Kroatien
Lettland
Litauen
Luxemburg
Malta
Monaco
Montenegro
Niederlande
Norwegen
Österreich
Polen
Portugal
Republik Moldau
Rumänien
Russische Föderation
San Marino
Schweden
Schweiz
Serbien
Slowakei
Slowenien
Spanien
Tadschikistan
Tschechien
Türkei
Turkmenistan
Ukraine
Ungarn
Usbekistan
Vereinigtes Königreich
Zypern

ISBN 9789289052931



9 789289 052931 >

Weltgesundheitsorganisation Regionalbüro für Europa

UN City, Marmorvej 51, DK-2100 Kopenhagen Ø, Dänemark

Tel: +45 45 33 70 00 Fax: +45 45 33 70 01

E-Mail: eucontact@who.int Website: www.euro.who.int