

**Medizinische Fakultät der
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg**

**Walkability und dessen Zusammenhang mit
Zufußgehen/Fahrradfahren, Body Mass Index und
prävalentem und inzidentem Diabetes Typ 2**
Analyse mit Daten von fünf deutschen Kohortenstudien

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Medizinischen Wissenschaften (Dr. rer. medic.) in der
Fachrichtung Epidemiologie

von Nadja Kartschmit

geboren am 04.10.1989 in Nowopowlowka, Kirgisistan

Betreuer: Prof. Dr. Rafael Mikolajczyk

Gutachter*in:

1. Prof. Dr. Iris Pigeot, Bremen

2. Prof. Dr. Wilfried Mau

12.10.2020

24.03.2021

Referat

Nachbarschaften mit guter Walkability können Bewegung fördern und so zu einer Verbesserung der öffentlichen Gesundheit beitragen. Ziel der Arbeit ist die Untersuchung des Zusammenhangs von Walkability mit Zulußgehen/Fahrradfahren (zusammengefasst), Body Mass Index (BMI) und prävalentem und inzidentem Diabetes Typ 2 in Deutschland.

Daten von fünf Kohortenstudien wurden analysiert. Die Stichprobengröße reichte in Abhängigkeit der Analyse von 6.269 zu 16.008 Probanden. Drei Walkability-Maße wurden berücksichtigt: 1) Impedanz (physikalische Barrieren), 2) Anzahl an Interessenpunkten und 3) Haltestellen in 640 Metern am Wohnort. Generalisierte additive Modelle und modifizierte Poisson Regressionen mit z-standardisierten Walkability Maßen wurden berechnet.

Höhere Impedanz war assoziiert mit geringerer Prävalenz über 30 Minuten pro Tag zu Fuß zu gehen/mit dem Fahrrad zu fahren (Prävalenz-Ratio (PR): 0,95; 95% Konfidenzintervall (KI): 0,93; 0,97), wogegen eine höhere Anzahl an Interessenpunkten und Haltestellen mit einer höheren Prävalenz assoziiert war (PR: 1,03; 95% KI: 1,02; 1,05 für beide Maße). Höhere Impedanz war assoziiert mit höherem BMI (β : 0,15; 95% KI: 0,04; 0,25) und mehr Interessenpunkte mit geringerem BMI (β : -0,14; 95% KI: -0,24; -0,04). Die Anzahl an Haltestellen war nicht mit dem BMI assoziiert (β : 0,005; 95% KI: -0,11; 0,12). Zwischen den Kohorten war der Zusammenhang mit dem BMI inkonsistent. Für Diabetes Typ 2 betrug die relativen Risikoerhöhungen unter 7% und wiesen eher auf keinen Zusammenhang hin.

Auch ein geringes Maß an gesteigertem Bewegungsverhalten kann auf Populationsebene bedeutend sein. Dieses könnte allerdings nicht stark genug sein, um Auswirkungen auf Übergewicht und Diabetes Typ 2 zu haben. Bei der Interpretation der Ergebnisse müssen die Schwächen der einbezogenen Walkability Maße berücksichtigt werden.

Abstract

Neighbourhoods with high walkability may promote physical activity and thus improve health outcomes on population level. The aim of this study is to examine associations of walkability with walking/cycling (as pooled outcome), body mass index (BMI), and prevalent and incident type 2 diabetes (T2D) in different regions of Germany.

Pooled data from five cohorts were analysed with sample sizes ranging from 6,269 to 16,008 participants in the certain analyses. We used three indicators for measuring walkability: 1) impedance (restrictions to walking, e.g. due to geographical barriers), 2) number of points of interest (POI) and 3) transit stations within 640 meters of the addresses of the participants. We conducted generalized additive models and modified Poisson regressions with z-standardized walkability measures.

Higher impedance was related to lower prevalence of walking/cycling for more than 30 minutes per day (Prevalence Ratio (PR): 0.95; 95% Confidence Interval (CI): 0.93, 0.97), whereas a higher number of POI and transit stations were related to higher prevalence (PR: 1.03; 95% CI: 1.02, 1.05 for both measures). Higher impedance was related to higher BMI (β : 0.15; 95% CI: 0.04, 0.25) and more POI to lower BMI (β : -0.14; 95% CI: -0.24, -0.04). There was no association between transit stations and BMI (β : 0.005; 95% CI: -0.11, 0.12). Associations between walkability and BMI were inconsistent among the cohorts. The relative risk increases for prevalent and incident T2D were below 7%, rather indicating no association.

Even small associations between walkability and physical activity could have an impact on population level. However, increased physical activity may not be strong enough to have an observable impact on obesity and T2D. Limitations of the walkability measures should be considered when interpreting the results.

Präambel

Bewegungsmangel ist eines der bedeutsamsten Public Health Probleme im 21. Jahrhundert und vor allem auf verminderte Bewegung im Alltag zurückzuführen. Die Gestaltung einer Umwelt, die das Bewegungsverhalten auf Populationsebene fördert, ist als verhältnispräventive Maßnahme zu verstehen, um dem Bewegungsmangel und seinen negativen Folgen entgegenzuwirken.

Walkability, häufig ins Deutsche übersetzt mit Begehrbarkeit, kann ein Konzept zur Bewegungsförderung auf Populationsebene sein. Walkability bezieht sich auf strukturelle Eigenschaften der gebauten Umwelt, zum Beispiel die Konnektivität von Straßen und die Entfernung von Haltestellen und Einkaufsmöglichkeiten. Diese Eigenschaften können die Möglichkeiten, sich in ihr zu bewegen beeinflussen. Somit können gebaute Umwelten mit hoher Walkability das Bewegungsverhalten in der Bevölkerung steigern und hierdurch Gesundheitsoutcomes verbessern.

Zahlreiche Studien zeigten sowohl einen Zusammenhang von Walkability mit körperlicher Aktivität als auch mit Gesundheitsoutcomes, die durch körperliche Aktivität beeinflusst werden. So war bessere Walkability assoziiert mit gesteigertem Zufußgehen und Fahrradfahren, geringerem Body Mass Index (BMI) und geringerem Diabetes Typ 2 Risiko. Zusammenhänge mit dem BMI und dem Diabetes Typ 2 Risiko sind allerdings weniger konsistent als Zusammenhänge mit dem Bewegungsverhalten. Inkonsistente Ergebnisse zeigten sich vor allem in Studien zum BMI. Zusammenhänge von Walkability mit dem Bewegungsverhalten und dem BMI wurden häufig lediglich in einer Stadt oder Region untersucht, was die Generalisierbarkeit der Ergebnisse erschwert. Studien zum Zusammenhang von Walkability und Diabetes Typ 2 wurden vorrangig in Australien und Nordamerika durchgeführt. Ob dieser Zusammenhang im europäischen Kontext besteht, ist nicht ausreichend untersucht worden.

Ziel der Arbeit ist die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Walkability (gemessen

als Impedanz, Anzahl an Interessenpunkten und Haltestellen) und Zufußgehen/Fahrradfahren (zusammengefasst), BMI, sowie prävalentem und inzidentem Diabetes Typ 2. Die im Rahmen der Promotion entstandenen Publikationen (Kapitel 2) werden in dieser Arbeit zusammenfassend dargestellt. In der Einleitung und Zielstellung (Kapitel 1) wird die Relevanz des Themas in Bezug auf das Bewegungsverhalten herausgestellt (Kapitel 1.1) und im Weiteren der theoretische Rahmen (Kapitel 1.2), Möglichkeit zur Messung der Walkability (Kapitel 1.3), sowie der aktuelle Forschungsstand beschrieben (Kapitel 1.4). Forschungsfragen und Ziele dieser Arbeit (Kapitel 1.5) sowie der eigene Beitrag an den Publikationen werden herausgestellt (Kapitel 1.6). In der Diskussion (Kapitel 3) werden die Ergebnisse im Hinblick auf den Forschungsstand (Kapitel 3.1) und bezüglich der Methodik diskutiert (Kapitel 3.2). Abschließend werden Schlussfolgerungen für Forschung und Public Health herausgestellt (Kapitel 3.3).

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielstellung	1
1.1	Körperliche Inaktivität als Public Health Herausforderung	1
1.2	Sozial-ökologischer Ansatz zu Walkability, Bewegungsverhalten und Gesundheit	2
1.3	Indikatoren von Walkability	4
1.4	Forschungsstand: Walkability, Bewegungsverhalten, Body Mass Index und Diabetes Typ 2	6
1.5	Fragestellungen und Ziele	8
1.6	Erklärung zum Beitrag an den Publikationen	9
2	Publikationsteil	11
2.1	Urheberrechte	11
2.2	Liste der einbezogenen Publikationen und auf Fachkongressen präsentierte Poster	11
2.3	Publikation 1: Walkability, Zufußgehen/Fahrradfahren und Body Mass Index .	13
2.4	Publikation 2: Walkability und prävalenter und inzidenter Diabetes	24
2.5	Poster 1: Walkability und Zufußgehen und Fahrradfahren bei Personen über 64 Jahre	34
2.6	Poster 2: Walkability und prävalenter und inzidenter Diabetes	35
3	Diskussion	37
3.1	Diskussion mit Ergebnissen des Forschungsstandes	37
3.2	Stärken und Schwächen der Arbeit	39
3.3	Schlussfolgerungen	46
	Literatur	49
	Thesen	65

Selbstständigkeitserklärung	67
Erklärung über frühere Promotionsversuche	69
Danksagung	71

Kapitel 1

Einleitung und Zielstellung

1.1 Körperliche Inaktivität als Public Health Herausforderung

Die zahlreichen positiven Auswirkungen von körperlicher Aktivität auf die Gesundheit sind durch umfangreiche Studien gut belegt [1, 2]. Laut aktuellen Empfehlungen der World Health Organisation (WHO) sollten Erwachsene und ältere Erwachsene sich mindestens 150 Minuten in der Woche moderat, beziehungsweise 75 Minuten mit hoher Intensität körperlich betätigen [3, 4]. Aktuelle Studien zeigten, dass körperliche Aktivität auch unter dieser Grenze positive Effekte auf die Gesundheit haben kann und daher jede Möglichkeit der Bewegung genutzt werden sollte [5, 6].

Körperliche Aktivität kann sowohl auf der Arbeit als auch im Haushalt, in der Freizeit und zu Transportzwecken stattfinden, wobei der Großteil des Energieverbrauchs auf die Bewegung im Alltag zurückzuführen ist. Der individuelle Aufwand durch körperliche Aktivität die eigene Gesundheit positiv zu beeinflussen erscheint in Hinblick auf die aktuellen Empfehlungen minimal [7]. Nichtsdestotrotz ist Deutschland in den Jahren 2001 bis 2016 eines der Länder mit dem höchsten Niveau und der höchsten Zunahme an unzureichender körperlicher Aktivität, definiert als Nichteinhaltung der aktuellen WHO Empfehlungen [8]. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass die Bewegung im Alltag sehr stark zurückgegangen ist und weniger durch einen Rückgang gezielter sportlicher Betätigung in der Freizeit [8–10]. Bewegungsmangel stellt ein wichtiges aktuelles Public Health Problem dar [11].

Der Fokus zur Förderung körperlicher Aktivität wird immer noch vor allem auf Verhaltensprävention gelegt, wobei das Interesse an verhältnispräventiven Maßnahmen zunehmend steigt [12]. Alleinige verhaltenspräventive Maßnahmen erzielten bisher keinen ausreichenden

Erfolg. Die Umwelt sollte als ein wichtiger Einflussfaktor auf das Bewegungsverhalten in der Bevölkerung in Präventionsmaßnahmen einbezogen werden. Eine bewegungsfreundliche Umwelt bietet das Potenzial, vor allem die aktuell stark abnehmende alltägliche Bewegung, zum Beispiel zu Transportzwecken, in der Bevölkerung zu fördern [7]. An dieser Stelle setzt der Walkability Ansatz an.

1.2 Sozial-ökologischer Ansatz zu Walkability, Bewegungsverhalten und Gesundheit

Um die Wirkung der Walkability auf das Bewegungsverhalten und auf die Gesundheit in einem theoretischen Modell zu beschreiben, werden häufig sozial-ökologische Ansätze genutzt [13]. Sozial-ökologische Ansätze beziehen sowohl verhaltensbezogene als auch soziokulturelle und Umweltfaktoren als Determinanten von Gesundheit mit ein. So wird das Zusammenspiel verschiedener Determinanten auf unterschiedlichen Ebenen berücksichtigt und es lassen sich hierdurch umfangreiche Präventionsmaßnahmen ableiten [12].

Eines der umfassendsten bewegungsspezifischen sozial-ökologischen Modelle ist der Ansatz von Sallis und Kollegen [13] (Abbildung 1). Die Zwiebelstruktur des Modells verdeutlicht die unterschiedlichen Ebenen, die das Bewegungsverhalten beeinflussen. Im Zentrum stehen intrapersonale Aspekte. Darauf folgt die Ebene der wahrgenommenen Umwelt, welche abgegrenzt von objektiv messbaren Umweltfaktoren ist. Diese kann zum Beispiel Sicherheit und Attraktivität der Wohnumgebung als subjektive Indikatoren der Walkability beinhalten. Als Ebene zwischen personalen und Umweltfaktoren folgt das Bewegungsverhalten mit seinen Domänen Arbeit, Freizeit, Haushalt und Transport. Hierdurch wird verdeutlicht, dass das Bewegungsverhalten als Auseinandersetzung zwischen dem Individuum und seiner Umwelt zu verstehen ist. Darauf folgt die Ebene der verhaltensbezogenen Settings, in denen Bewegung stattfindet. Auf dieser Ebene befindet sich die objektiv gemessene Walkability. Entlang der einzelnen Ebenen werden bestimmte Einflussfaktoren umweltbezogenen Ebenen zugeordnet, zum Beispiel Verkehrspolitik oder Klima. Die umweltbezogenen Ebenen wirken ebenübergreifend und sind ortsunabhängig. Die äußere Ebene des Modells sind die politischen Rahmenbedingungen, wie gesetzliche Bestimmungen und Investitionsentscheidungen auf kommunaler Ebene, zum Beispiel bezüglich des Ausbaus von Fahrrad- und Fußwegen oder Tempo-30-Zonen [13].

Der sozial-ökologische Ansatz verdeutlicht, dass verhaltens- und verhältnispräventive

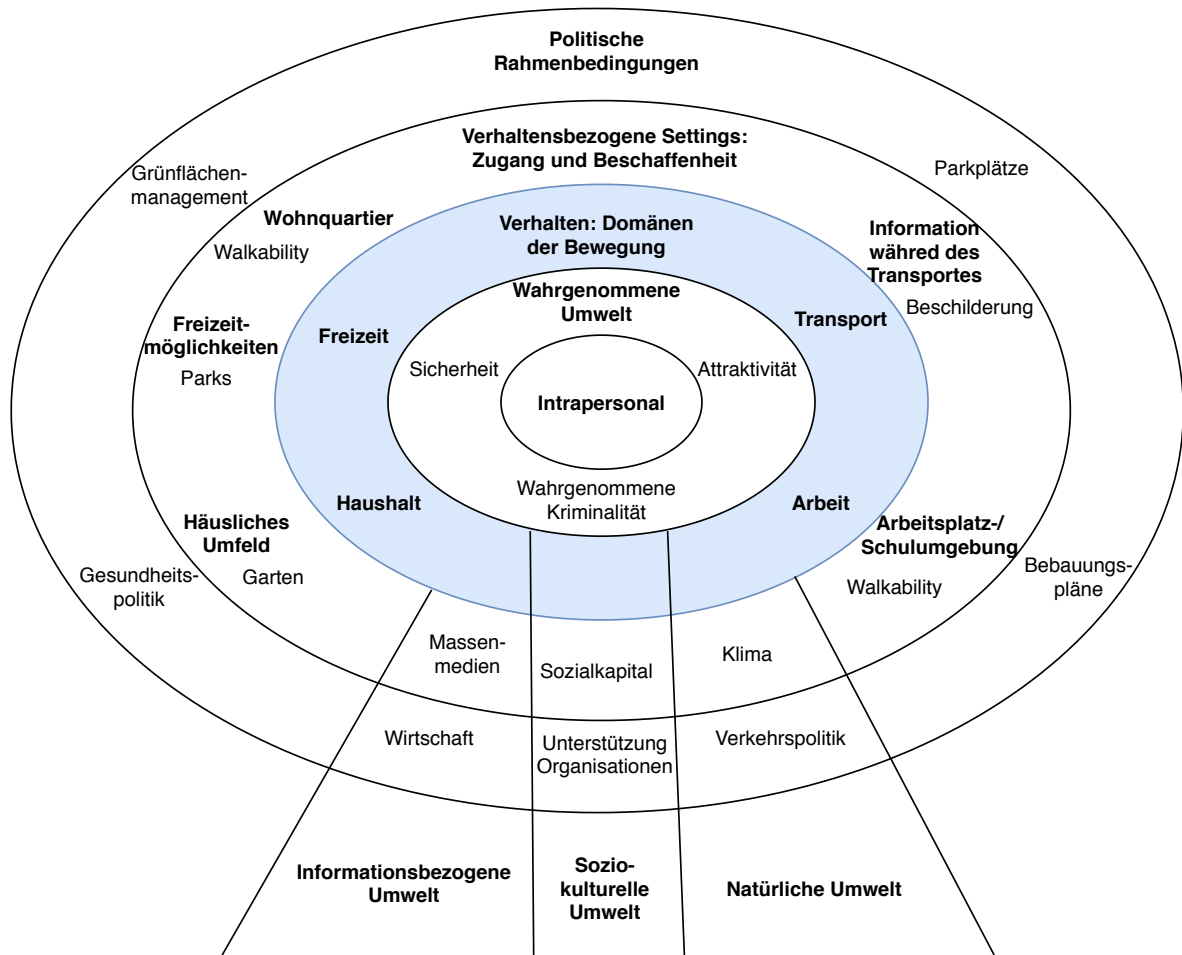


Abbildung 1: Bewegungsspezifisches sozial-ökologisches Modell nach Sallis et al. (2015) [13]. Abbildung modifiziert nach Bucksch und Schneider (2014) [7].

Interventionen anzustreben sind, um Bewegungsverhalten auf Populationsebene zu fördern. Im Rahmen der Verhältnisprävention kann vor allem durch die Veränderung der gebauten Umwelt die breite Bevölkerung erreicht werden. Somit ist der Walkability Ansatz aus Public Health Sicht vielversprechend [14]. Der Ansatz vermittelt allerdings auch, dass Bewegungsförderung eine Herausforderung darstellt, da Bewegungsverhalten das Resultat hoch komplexer Prozesse ist [15]. Die Studienlage ist noch zu lückenhaft, um konkrete bewegungsfördernde Interventionen auf Ebene der physischen Umwelt ableiten zu können. Welche Faktoren der physischen Umwelt handlungsrelevant sind und wie sie auf das Bewegungsverhalten wirken, ist unzureichend erforscht [16, 17]. Potenziell handlungsrelevante Faktoren, beziehungsweise Indikatoren der Walkability und wie diese gemessen werden können, werden in der Forschung zunehmend diskutiert [18].

1.3 Indikatoren von Walkability

Es gibt unterschiedliche Sichtweisen auf den Begriff Walkability und eine einheitliche Definition existiert nicht [18]. Während aus der Tradition der Verkehrs- und Stadtplanung heraus der Begriff Walkability enger gebraucht wird, herrscht im Public Health Kontext ein weiter gefasstes Verständnis dieses Begriffs [19–21].

Walkability aus Sicht der Verkehrs- und Stadtplanung, aus der dieser Begriff ursprünglich stammt, bezieht sich in erster Linie auf städtebauliche Charakteristika, die das transportbezogene Gehen fördern. Hier werden vor allem die Dimensionen Flächennutzung und Konnektivität unterschieden, die in der Regel mit objektiven Messmethoden erhoben werden [19, 22]. Im Vergleich hierzu schließt die Sicht der Public Health neben Charakteristika zur transportbezogenen auch die freizeitbezogene Mobilität mit ein. Hierbei spielen Erreichbarkeit von Parks, Sportanlagen, aber auch ästhetische Aspekte, Sicherheit und soziale Faktoren eine wichtige Rolle. Diese werden primär mit subjektiven Methoden gemessen [15, 23–25].

Die städtebauliche Erfassung der Walkability kann zum einen auf objektiver großmaßstäblicher Ebene („Desk-Top-Ebene“) erfolgen [22, 26] und zum anderen vor Ort auf objektiver und subjektiver kleinräumiger Ebene, auf der Feinmerkmale auf Straßenraummaßstab erfasst werden, zum Beispiel Bänke oder Fußgängerüberwege [24, 27].

Vorangegangene Studien, vor allem aus der Verkehrsforschung, nutzten meist drei Grobmerkmale zur Messung von Walkability: Straßenkonnektivität (design), Nutzungsmischung (diversity) und Einwohnerdichte (density) [28]. Diese Merkmale sind auch als die drei „D“ bekannt und wurden später um zwei weitere „D“ ergänzt, nämlich die Entfernung zu Interessenpunkten (destination accessibility) und die Distanz zu Haltestellen des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) (distance to transit) [19, 29].

Straßenkonnektivität ist die Verfügbarkeit von alternativen Wegen sowie die Direktheit von Wegen im Straßennetz. In der Regel wird Straßenkonnektivität über die Dichte der Kreuzungen in einem Gebiet oder einer Straßenslänge gemessen. So kann das Fehlen von Kreuzungen dazu führen, dass die tatsächliche Distanz, um einen bestimmten Punkt zu erreichen, wesentlich größer ist als die euklidische Distanz. Dies kann durch sehr weite zurückzulegende Wege eine Hürde für das Gehen und Fahrradfahren bedeuten [30]. Geographische Barrieren, wie zum Beispiel Flüsse, werden bei diesem Maß allerdings nicht explizit abgebildet, was die Reliabilität der Kreuzungsdichte als Maß für Konnektivität einschränkt [31].

Die Nutzungsmischung ist definiert als Vielfalt in der Nutzung von Flächen. Nutzungen können Geschäfte, Banken oder Einrichtungen der Gesundheitsversorgung sein. Je diverser die Flächennutzung ist, umso attraktiver gestaltet sich die Wohnumgebung, da Zugang zu unterschiedlichsten Anlaufstellen gegeben ist [30].

Die Einwohnerdichte als drittes „D“ gibt die Anzahl an Personen pro km² an und ist assoziiert mit geringerer Autoabhängigkeit und besserer Verkehrsinfrastruktur. Schwächen der Einwohnerdichte als Walkability Maß sind, dass diese über die zugrundeliegenden Einflussfaktoren von Bewegung keine Aussagen treffen kann [19, 32] und nur eine geringe Assoziation mit dem Bewegungsverhalten aufweist, wenn andere Indikatoren berücksichtigt werden, die mit diesem Maß einhergehen [33].

Das vierte und fünfte „D“, die „distance accessibility“ und die „distance to transit“ geben die Entfernung zu alltäglichen Zielpunkten, wie Einkaufsmöglichkeiten, Schulen oder den Arbeitsplatz, beziehungsweise zur nächstgelegenen Haltestelle des ÖPNV an [19].

Die in dieser Arbeit genutzten Walkability Maße lassen sich der Tradition der Verkehrs- und Stadtplanung zuordnen. Walkability wurde objektiv auf „Desk-Top-Ebene“ gemessen. Hierbei wurden Dimensionen berücksichtigt, die in der Literatur als entscheidende Indikatoren identifiziert wurden und eine konsistente Assoziation mit dem Bewegungsverhalten aufweisen. Diese sind Konnektivität und Anzahl an Haltestellen und Interessenpunkten in fußläufiger Umgebung [19]. Einwohnerdichte wurde aufgrund der zuvor genannten Schwächen nicht als Maß einbezogen. Für Konnektivität wurde ein neues Maß genutzt, das im Gegensatz zur Kreuzungsdichte auch geographische Barrieren einschließt, die das Zufußgehen und Fahrradfahren beeinträchtigen. Im Folgenden wird dieses neue Maß als Impedanz bezeichnet. Da ein Großteil der Studien ähnliche Dimensionen von Walkability genutzt hat [34–38], ist ein Vergleich mit vorangegangenen Studien möglich. Zudem wurde die Analyse von objektiven Merkmalen als besonders geeignet angesehen, um eine großräumige Analyse der Walkability in verschiedenen Regionen in Deutschland durchzuführen, in denen Daten von bestehenden Kohortenstudien vorliegen. So war es möglich, Walkability in den Regionen kostengünstig, einfach, schnell und unter vergleichbaren Bedingungen zu bestimmen. Subjektive Walkability Maße sowie Maße, die eher mit freizeitbezogener Bewegung einhergehen, wurden aus pragmatischen Gründen nicht einbezogen.

1.4 Forschungsstand: Walkability, Bewegungsverhalten, Body Mass Index und Diabetes Typ 2

Zahlreiche Studien haben die Assoziation zwischen Walkability und Bewegungsverhalten untersucht und in den letzten Jahren sind mehrere systematische Übersichtsarbeiten zu diesem Thema erschienen [37, 39], die sich teilweise auf einzelne Kontinente [33, 34, 38] oder Altersgruppen [35, 40] beschränkt haben.

Die meisten Studien untersuchten transport- und freizeitbezogenes Gehen. Die Studienergebnisse zeigten überwiegend, dass bessere Walkability mit gesteigertem Bewegungsverhalten einhergeht [35, 40–43]. Bisherige Ergebnisse deuten darauf hin, dass vor allem das transportbezogene Gehen (häufig subjektiv erfasst) positiv mit objektiv gemessenen Walkability Maßen aus der Tradition der Verkehrs- und Stadtplanung assoziiert sein könnte [34, 38]. Die meisten Studien, die Gehen und Fahrrad fahren als zusammengefasstes Outcome betrachteten, fanden einen positiven Zusammenhang mit Walkability [44]. Dies könnte darauf hindeuten, dass Walkability das Bewegungsverhalten unabhängig von der Art der Bewegung positiv beeinflussen könnte. Wenige Studien betrachteten den Zusammenhang von Walkability mit Fahrrad fahren als alleiniges Outcome und die Ergebnisse sind inkonsistent [45–48]. Dies deutet darauf hin, dass die Zusammenhänge verschiedener Charakteristika der gebauten Umwelt abhängig von der Art der Bewegung sein könnten [44]. So könnten zum Beispiel Fußgängerwege das bevorzugte Tempo beim Radfahren behindern und somit zwar mit dem Zufußgehen, nicht aber mit dem Fahrradfahren assoziiert sein [49].

Dass das gesteigerte Bewegungsverhalten zu einem geringeren Body Mass Index (BMI) führt, ist als plausibel anzunehmen. Allerdings sind Ergebnisse zur Assoziation von Walkability mit dem BMI weniger konsistent als Studien zum Zusammenhang mit dem Bewegungsverhalten. Auch wenn viele Studien zeigten, dass bessere Walkability mit einem geringeren BMI assoziiert war [39, 50–52], existieren auch Studien, die keine oder nur eine geringe Assoziation festgestellt haben [53–55]. Dies kann teilweise auf methodologischen Schwächen vorhandener Studien zurückgeführt werden [56]. Die meisten Studien berechneten den BMI auf Grundlage von Selbstangaben von Gewicht und Größe, was zu einer Unterschätzung des eigentlichen BMI führen könnte und eine Schwäche bisheriger Studien darstellt [57, 58].

Die Zahl an Publikationen, die den Zusammenhang von Walkability und kardio-metabolischen Erkrankungen, wie dem Diabetes Typ 2 untersuchen, steigt stetig an [36, 59]. Zwei kürzlich

erschienene systematische Übersichtsarbeiten zeigten, dass in der Mehrheit der publizierten Studien bessere Walkability mit einem geringeren Diabetes Typ 2 Risiko, beziehungsweise geringerer Diabetes Typ 2 Prävalenz assoziiert war [36, 60]. Studien aus dem europäischen Kontext zu diesem Zusammenhang existieren kaum. Eine Studie aus Stockholm zeigte, dass geringere Walkability mit einer höheren Chance eines inzidenten Diabetes Typ 2 einherging. Nachdem individuelle sozioökonomische und soziodemografische Faktoren berücksichtigt wurden, deuteten die Schätzer eher auf eine unbedeutende und kaum noch vorhandene Assoziation hin. In dieser Studie wurden lediglich Menschen mit einem medikamentös behandelten Diabetes Typ 2 berücksichtigt [61]. Die Vernachlässigung von nicht-medikamentös behandelten Diabetes Typ 2 könnte dazu geführt haben, dass die Assoziation unterschätzt wurde [36].

Vorangegangene Studien zum Zusammenhang von Walkability mit dem Bewegungsverhalten, BMI und Diabetes Typ 2 weisen einige Schwächen auf, die zum Teil für die inkonsistenten Ergebnisse verantwortlich sein könnten. Zum einen sind die meisten Studien monozentrische Studien, die lediglich eine Region oder eine Stadt eines Landes untersuchten. Der Nachteil hierbei ist, dass die Variabilität in den Walkability Maßen nicht groß genug sein könnte, um Assoziationen nachzuweisen. Im Gegensatz zu monozentrischen ist der Vorteil von multizentrischen Studien, dass untersucht werden kann, ob die positiven Zusammenhänge in unterschiedlichen Regionen bestehen. Wenn dies der Fall ist, können Interventionen, die darauf abzielen, die Walkability zu verbessern, eher Einzug in politische und stadtplanerische Entscheidungen finden [53, 62].

Die Kategorisierung von kontinuierlichen Walkability Maßen ist eines der häufigsten Probleme in der statistischen Analyse vorangegangener Studien [40, 63]. Die Kategorisierung von Walkability Maßen bringt zahlreiche Nachteile mit sich, zum Beispiel den Verlust der statistischen Power, Schwierigkeiten, Schätzer aus verschiedenen Studien zu poolen, die inkorrekte Wahl der Schwellenwerte und die Berechnung eines Schätzers über ein gesamtes Quantil hinweg [63]. Geeigneter ist es daher, die Walkability Maße entweder linear in die statistischen Modelle zu nehmen oder bei nicht linearen Zusammenhängen fraktionelle Polynome oder Splines in der Regressionsgleichung zu berücksichtigen [64]. Eine Interpretation der Ergebnisse bei z-Standardisierung der kontinuierlichen Maße ist nur dann möglich, wenn auch die Standardabweichung der Maße angegeben ist, was in vielen Studien nicht der Fall ist und eine weitere Schwäche aktueller Studien darstellt [33, 40].

Die Messung der Walkability ist in vorangegangenen Studien sehr heterogen [40]. So

nutzen nahezu alle Studien, die den Zusammenhang zwischen Walkability und Diabetes Typ 2 untersuchten, einen Walkability Score, der aus mindestens drei Komponenten bestand [65–69]. Dieser Score unterschied sich allerdings in den einzelnen Studien. Unterschiedliche Walkability Komponenten wurden in den Score einbezogen und die einzelnen Komponenten wurden teilweise anders gewichtet. Dies erschwert die Vergleichbarkeit der einzelnen Studienergebnisse. Zusätzlich kann ein Score die Wirkmechanismen der einzelnen Komponenten nicht erklären und es ist unklar, welches Attribut tatsächlich einen Anteil zur Erklärung des Endpunktes beiträgt. Empfehlungen für Interventionen der Verkehrs- und Stadtplanung und Public Health können auf Grundlage eines Scores daher nur bedingt gegeben werden [36]. Zusätzlich berechneten die meisten Studien Scores nicht auf individueller, sondern auf Block- beziehungsweise auf Bezirksebene [69–71]. Dies hat den Nachteil, dass die untersuchten Zusammenhänge lediglich auf aggregierter und nicht auf individueller Ebene bestehen und birgt die Gefahr eines ökologischen Fehlschlusses [72].

Die Mehrheit bisheriger Studien zum Zusammenhang von Walkability und Bewegungsverhalten, vor allem aber von BMI und Diabetes Typ 2, stammen aus Nordamerika und Australien [50, 60]. Sowohl bezüglich der gebauten Umwelt als auch bezüglich des Bewegungsverhaltens unterscheidet sich Europa von Nordamerika und Australien. Europäische Städte haben im Gegensatz zu nordamerikanischen und australischen Städten eine kompaktere Struktur, kürzere Distanzen zu Interessenpunkten und häufig einen zentralen Stadtkern und somit Potenzial, das Bewegungsverhalten zu fördern [73–75]. Zudem werden in Europa häufiger Wege zu Fuß oder mit dem Fahrrad zurückgelegt als in Nordamerika oder Australien [76]. Ob Walkability in deutschen Stadtstrukturen mit dem Bewegungsverhalten, vor allem aber mit dem BMI und dem Diabetes Typ 2 Risiko assoziiert ist, ist nicht hinreichend belegt. Die Übertragung von Forschungsergebnissen aus Australien und Nordamerika auf Deutschland ist nur sehr bedingt möglich.

1.5 Fragestellungen und Ziele

Der Walkability Ansatz bietet Potenzial, das Bewegungsverhalten in der Bevölkerung zu fördern. Die erschwerte Übertragbarkeit von Studienergebnissen zum Zusammenhang zwischen Walkability, Bewegungsverhalten, Übergewicht und dem Diabetes Typ 2 Risiko auf den deutschen Kontext sowie zahlreiche Schwächen vorhandener Studien erfordern eine Untersuchung

dieses Zusammenhanges in Deutschland [73]. Besteht dieser Zusammenhang im deutschen Kontext, so können Public Health Interventionen geplant werden, die auf die gebaute Umwelt abzielen [62].

Das Ziel dieser Arbeit ist es, den Zusammenhang zwischen drei Walkability Maßen, Bewegungsverhalten, BMI und Diabetes Typ 2 in Deutschland zu untersuchen. Hierbei wurden unterschiedliche Regionen und Städte einbezogen. Dies hatte zum Ziel, die Variabilität der Walkability Maße zu erhöhen und ermöglichte es, den Zusammenhang in unterschiedlichen Regionen eines europäischen Landes zu untersuchen. Folgende Fragestellungen wurden untersucht:

Besteht in den ausgewählten Regionen Deutschlands ein Zusammenhang zwischen drei Indikatoren der Walkability (Impedanz, Anzahl an Interessenpunkten und Haltestellen) und dem (1) transport- und freizeitbezogenen Zufußgehen und Fahrradfahren, (2) dem BMI (3), sowie prävalenten und inzidenten Diabetes Typ 2?

1.6 Erklärung zum Beitrag an den Publikationen

Ich, Nadja Kartschmit, führte die Datensätze der einzelnen Kohortenstudien zusammen, plante die Auswertungen und führte alle statistischen Analysen durch. Außerdem plante ich gemeinsam mit Dr. Alexander Kluttig und Dr. Saskia Hartwig, welche Endpunkte in den Analysen berücksichtigt werden sollten. Ich schrieb beide Manuskripte selbstständig als Erstautorin.

Kapitel 2

Publikationsteil

2.1 Urheberrechte

Die Nutzung der in BMJ Open und BMC Endocrine Disorders publizierten Artikel in der Dissertation ist durch die Autorenlizenz gestattet.

BMJ Open Lizenz:

Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)

BMC Endocrine Disorders Lizenz:

Creative Commons Attribution 4.0 International Licence (CC BY 4.0)

2.2 Liste der einbezogenen Publikationen und auf Fachkongressen präsentierte Poster

- [1] Kartschmit, N., Sutcliffe, R., Sheldon, M. P., Moebus, S., Greiser, K. H., Hartwig, S., Thürkow, D., Stentzel, U., Berg, N. van den, Wolf, K., Maier, W., Peters, A., Ahmed, S., Köhnke, C., Mikolajczyk, R., Wienke, A., Kluttig, A. und Rudge, G. “Walkability and its association with walking/cycling and body mass index among adults in different regions of Germany: a cross-sectional analysis of pooled data from five German cohorts”. In: *BMJ Open* 10.4 (2020). ISSN: 2044-6055. DOI: 10.1136/bmjopen-2019-033941.

eprint: <https://bmjopen.bmj.com/content/10/4/e033941.full.pdf>. URL: <https://bmjopen.bmj.com/content/10/4/e033941>.

- [2] Kartschmit, N., Sutcliffe, R., Sheldon, M. P., Moebus, S., Greiser, K. H., Hartwig, S., Thürkow, D., Stentzel, U., Berg, N. van den, Wolf, K., Maier, W., Peters, A., Ahmed, S., Köhnke, C., Mikolajczyk, R., Wienke, A., Kluttig, A. und Rudge, G. “Walkability and its association with prevalent and incident diabetes among adults in different regions of Germany: results of pooled data from five German cohorts”. In: *BMC Endocrine Disorders* 20.1 (2020), S. 7. DOI: 10.1186/s12902-019-0485-x. URL: <https://doi.org/10.1186/s12902-019-0485-x>.
- [3] Kartschmit, N., Sheldon, M. P., Greiser, K. H., Hartwig, S., Thürkow, D., Stentzel, U., Berg, N. van den, Mikolajczyk, R., Wienke, A., Kluttig, A. und Rudge, G. “Neighborhood Walkability and its association with walking and cycling behavior among adults aged 65 years and older: A cross-sectional analysis of pooled data from two German cohort studies”. In: *IAGG-ER - International Association of Gerontology and Geriatrics for the European Region Conference 23-25.05.2019. Göteborg, Schweden*. 2019. DOI: 10.13140/RG.2.2.27240.90886.
- [4] Kartschmit, N., Sutcliffe, R., Sheldon, M. P., Moebus, S., Greiser, K. H., Hartwig, S., Thürkow, D., Stentzel, U., Berg, N. van den, Wolf, K., Maier, W., Ahmed, S., Köhnke, C., Mikolajczyk, R., Wienke, A., Kluttig, A. und Rudge, G. “Walkability and its association with prevalent and incident type 2 diabetes among adults in different regions of Germany: An analysis of pooled data from 5 German cohorts.” In: *64. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie e.V. (gmds)*. 08.-11.09.2019. Dortmund. 2019. DOI: 10.13140/RG.2.2.15916.28806.

2.3 Publikation 1: Walkability, Zufußgehen/Fahrradfahren und Body Mass Index

Open access

Original research

BMJ Open Walkability and its association with walking/cycling and body mass index among adults in different regions of Germany: a cross-sectional analysis of pooled data from five German cohorts

Nadja Kartschmit ^{1,2}, Robynne Sutcliffe,³ Mark Patrick Sheldon,⁴ Susanne Moebus,³ Karin Halina Greiser,^{1,5} Saskia Hartwig,^{1,2} Detlef Thürkow,⁶ Ulrike Stentzel,⁷ Neeltje van den Berg,⁷ Kathrin Wolf,^{2,8} Werner Maier,^{2,9} Annette Peters,^{2,8} Salman Ahmed,³ Corinna Köhnke,¹⁰ Rafael Mikolajczyk,¹ Andreas Wienke,¹ Alexander Kluttig,^{1,2} Gavin Rudge⁴

To cite: Kartschmit N, Sutcliffe R, Sheldon MP, *et al.* Walkability and its association with walking/cycling and body mass index among adults in different regions of Germany: a cross-sectional analysis of pooled data from five German cohorts. *BMJ Open* 2020;**10**:e033941. doi:10.1136/bmjopen-2019-033941

► Prepublication history for this paper is available online. To view these files, please visit the journal online (<http://dx.doi.org/10.1136/bmjopen-2019-033941>).

Received 29 August 2019
Revised 12 February 2020
Accepted 02 April 2020



© Author(s) (or their employer(s)) 2020. Re-use permitted under CC BY-NC. No commercial re-use. See rights and permissions. Published by BMJ.

For numbered affiliations see end of article.

Correspondence to
Dr Alexander Kluttig;
alexander.kluttig@uk-halle.de

ABSTRACT

Objectives To examine three walkability measures (points of interest (POI), transit stations and impedance (restrictions to walking) within 640 m of participant's addresses) in different regions in Germany and assess the relationships between walkability, walking/cycling and body mass index (BMI) using generalised additive models.

Setting Five different regions and cities of Germany using data from five cohort studies.

Participants For analysing walking/cycling behaviour, there were 6269 participants of a pooled sample from three cohorts with a mean age of 59.2 years (SD: 14.3) and of them 48.9% were male. For analysing BMI, there were 9441 participants of a pooled sample of five cohorts with a mean age of 62.3 years (SD: 12.8) and of them 48.5% were male.

Outcomes (1) Self-reported walking/cycling (dichotomised into more than 30 min and 30 min and less per day); (2) BMI calculated with anthropological measures from weight and height.

Results Higher impedance was associated with lower prevalence of walking/cycling more than 30 min/day (prevalence ratio (PR): 0.95; 95% CI 0.93 to 0.97), while higher number of POI and transit stations were associated with higher prevalence (PR 1.03; 95% CI 1.02 to 1.05 for both measures). Higher impedance was associated with higher BMI (β : 0.15; 95% CI 0.04 to 0.25) and a higher number of POI with lower BMI (β : -0.14; 95% CI -0.24 to 0.04). No association was found between transit stations and BMI (β : 0.005, 95% CI -0.11 to 0.12). Stratified by cohort we observed heterogeneous associations between BMI and transit stations and impedance.

Conclusion We found evidence for associations of walking/cycling with walkability measures. Associations for BMI differed across cohorts.

INTRODUCTION

At the United Nations High-Level Meeting on Non-Communicable Diseases in 2011,

Strengths and limitations of this study

- This is one of the first studies on the association between three domains of walkability (access to points of interest, transit stations and impedance as measure of connectivity) and walking and cycling behaviour and body mass index in Germany.
- Strengths of the study include that it covers various regions and cities in different parts of an entire European country.
- The low variability of the walkability measures in the study regions including mostly urban areas limits the interpretation of the results.
- Limitations of the walkability measures include that the variety of points of interest as well as the quality of bus and tram stops regarding frequency routes were not taken into account.

modifying the built environment has been proposed as one strategy for increasing physical activity for transport and recreational purposes.¹ Walkability as characteristic of the built environment represents a modifiable population-based factor for promoting walking and cycling.²⁻⁴ Walking and cycling are inversely associated with obesity at population level.⁵

Several studies have found that more walkable neighbourhoods are associated with engaging in more walking and cycling and that people living in these neighbourhoods have a lower body mass index (BMI).⁶⁻⁹

The vast majority of studies focused on walking behaviour and mostly found positive associations with walkability.^{6,10,11} Few studies examined cycling as outcome and results are inconsistent.¹² Most studies that used a

BMJ Open: first published as 10.1136/bmjopen-2019-033941 on 28 April 2020. Downloaded from <http://bmjopen.bmj.com/> on May 27, 2020 by guest. Protected by copyright.

Open access



combined measure of walking and cycling found positive associations with walkability,¹²⁻¹⁴ indicating that better walkability could improve active transport in general. However, not for all built environmental features positive associations were found, which limits the evidence^{15, 16} and indicates that different environmental features could have different associations with walking on the one and cycling on the other hand.¹² Additionally, although many studies on walkability and BMI indicate that BMI is lower the better walkability is,¹⁷⁻²⁰ there are also studies that did not found any or only very weak associations between BMI and walkability.²¹⁻²³ These inconsistencies could be due to the heterogeneity of walkability measures and methods used.^{22, 23} Moreover, most studies used self-reported measures of weight and height,¹⁷ resulting in a BMI that tends to be lower than the actual BMI.^{24, 25} Additionally, inconsistencies of the current findings may in part be due to little variability of walkability measures in some single-site studies, which limits the generalisability of current results.²⁶ Few studies have used a multicentre approach examining different regions and cities.

The advantage of multicentre studies over single-site studies is that multicentre studies represent a more complete range of walkability variability when compared with single-site studies. Additionally, with multicentre studies, it is possible to examine if the positive associations between walkability and health outcomes apply in different regions. If this is the case, interventions that aim to improve walkability may gain more importance in health policies that aim to tackle non-communicable diseases.²⁶

Findings of the multicentre studies showed that, generally, better walkability was associated with increased physical activity²⁶⁻³⁰ and lower BMI, although associations with BMI were rather small.²⁹

The few studies that have used multicentre approaches mainly examined walkability across different countries and included mostly only one rather urban city per country, which may not be representative for the whole country.²⁶⁻³⁰ To be able to generalise the findings, studies are needed that examine the association between walkability and health outcomes in different regions of the same country, and including both, rural areas and urban cities of that country.

Traditionally, the methods of measuring walkability have used three domains.^{3, 31} First, there is impedance to walking; the presence of physical barriers or the absence of intersections causes a longer walking path/distance to reach a certain point that is nearer in Euclidian distance.³² Commonly, connectivity of route ways is used as measure of impedance.³³ However, this measure does not explicitly take into account physical barriers, such as rivers, which may weaken the reliability of connectivity as a measure of impedance.³² Second, there is proximity to public transport access points. One of the reasons that people walk is to access public transport.³⁴ Lastly, there is the presence of points people want to access (shops, banks, pharmacies, etc.).³⁵

The consistency of how these three domains dominate walkability was highlighted by a systematic review of walkability methods.³ The aims of this multicentre study were to assess (1) walkability in different regions in Germany using three domains of walkability and (2) to examine the relationships of walkability with walking/cycling and BMI.

METHODS

Study population

We included cross-sectional data of five population-based longitudinal cohort studies from different areas of Germany: the Dortmund Health Study (DHS) conducted in the city of Dortmund, the Heinz Nixdorf Recall study (HNR) conducted in the cities Mülheim, Bochum and Essen in Western Germany, the Cardiovascular Disease, Living and Ageing in Halle (CARLA) Study from the Eastern part of Germany, the Cooperative Health Research in the Region of Augsburg (KORA) S4 Survey from the South of Germany, and the Study of Health in Pomerania (SHIP) from the North-Eastern part. The CARLA, DHS and HNR studies randomly drawn samples from population registries stratified by age categories and sex. The KORA and SHIP study used a two-stage cluster sampling method by first selecting communities with cluster sampling and then performing age-stratified and sex-stratified random sampling. The years of the data collection of each sample in the analysis ranged between 2002 and 2014 (figure 1).³⁶⁻⁴² Data of 6269 participants were included for analysing the relationship between walkability and walking/cycling after excluding missing values for exposure, outcome and covariates. Most missing values for exposure measures were observed in the SHIP cohort (54% of the data that could not be geocoded occurred in the SHIP cohort for the BMI, and 85% for the walking/cycling sample). For examining the relationship between walkability and BMI, we included data of 9441 participants (figure 1). A description of the study regions is found in table 1.

Patient and public involvement

Patients and public were not involved in the research process.

Walkability measures

Geographical information system (GIS) work was undertaken with ESRI ArcMap Desktop V.10.1 and V.10.4.⁴³ We created a hexagonal sampling grid across each study region covering the municipal boundary from which participants had been recruited and a buffer of one kilometre beyond. We used sampling hexagons with sides of 1000 m. We had to balance granularity of measurement with computational complexity; a larger hexagon would have led to more potential error in interpolation, but a smaller one would have been more intensive to calculate. By selecting the 1000 m hexagons and using the centroid of each hexagon as a sample point as well

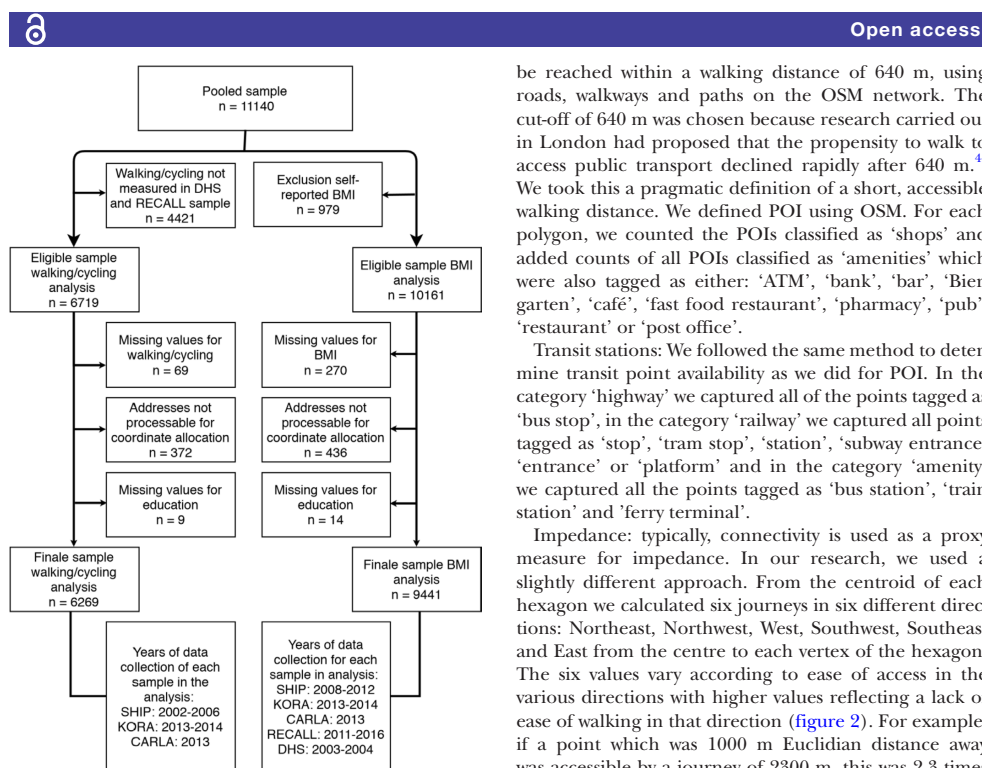


Figure 1 Sample flow chart. BMI, body mass index; CARLA, Cardiovascular Disease, Living and Ageing in Halle; DHS, Dortmund Health Study; KORA, Cooperative Health Research in the Region of Augsburg; SHIP, Study of Health in Pomerania.

as the six vertices, we had a distance of 500 m between each point. As we determined a short walk was as little over 500 m, our interpolation estimation appeared to be scaled appropriately. We could have found an exact value for each dwelling for each walkability metric, however, it was not possible to share the address point outside of the cohort teams owing to data governance restrictions. Originally, making a surface was a pragmatic workaround for what was effectively a governance constraint, however, the utility of this method is that we can make generic surfaces to give a variable which can be used in many different types of study which can be used not only to estimate walkability of the area around a particular dwelling, but also when we want to correlate walkability with other area based measures.

The transport networks and points of interest (POI) for the cities were provided by OpenStreetMap (OSM) and processed using ArcGIS to create a network dataset. The walkability measures derived were the following:

POI: For each vertex and centroid of hexagons we calculated a polygon representing the area that could

be reached within a walking distance of 640 m, using roads, walkways and paths on the OSM network. The cut-off of 640 m was chosen because research carried out in London had proposed that the propensity to walk to access public transport declined rapidly after 640 m.⁴⁴ We took this a pragmatic definition of a short, accessible walking distance. We defined POI using OSM. For each polygon, we counted the POIs classified as 'shops' and added counts of all POIs classified as 'amenities' which were also tagged as either: 'ATM', 'bank', 'bar', 'Biergarten', 'café', 'fast food restaurant', 'pharmacy', 'pub', 'restaurant' or 'post office'.

Transit stations: We followed the same method to determine transit point availability as we did for POI. In the category 'highway' we captured all of the points tagged as 'bus stop', in the category 'railway' we captured all points tagged as 'stop', 'tram stop', 'station', 'subway entrance' 'entrance' or 'platform' and in the category 'amenity' we captured all the points tagged as 'bus station', 'train station' and 'ferry terminal'.

Impedance: typically, connectivity is used as a proxy measure for impedance. In our research, we used a slightly different approach. From the centroid of each hexagon we calculated six journeys in six different directions: Northeast, Northwest, West, Southwest, Southeast and East from the centre to each vertex of the hexagon. The six values vary according to ease of access in the various directions with higher values reflecting a lack of ease of walking in that direction (figure 2). For example, if a point which was 1000 m Euclidian distance away was accessible by a journey of 2300 m, this was 2.3 times larger than the Euclidian distance. A comparable 1000 m Euclidian distance that can be walked in 1050 m clearly has fewer barriers.

Each of the metrics was interpolated between the points to construct a surface. We used kriging method to interpolate values between the hex points using a Gaussian regression process. Figure 3 shows the impedance for the HRS study area. We intersected all created surfaces with the residential addresses of our cohort participants. All walkability surfaces were created in 2016.

Outcomes

Walking/cycling included walking and cycling for transport and recreational purposes. For KORA, two items according to walking and cycling from the WHO MONICA Project questionnaire were combined into one item.⁴⁵ For CARLA and SHIP, one item from the Baecke questionnaire regarding walking and cycling for transport and recreation was considered.⁴⁶ We dichotomised the variable into >30 vs ≤30 min per day of walking or cycling for transport or recreational purposes. We chose this cut-point because previous research has shown that engaging in physical activity for about 30 min or more per day has beneficial effects on health outcomes and may be achieved by walking/cycling to and from transit stations/POI.^{34 47}

Open access



Table 1 Sample characteristics and regional differences in walkability

	Pooled walking/ cycling sample (n=6269)	Pooled BMI sample (n=9441)	CARLA (n=1009)	KORA (n=2146)	SHIP (n=2091)	DHS (n=1305)	HNR (n=2890)
Demographics							
Male, n (%)	3065 (48.9)	4582 (48.5)	550 (54.5)	1044 (48.7)	976 (46.7)	615 (47.1)	1397 (48.3)
Age in years, mean (SD)	59.2 (14.3)	62.3 (12.8)	70 (9.2)	60.5 (12.3)	58 (13.4)	52.1 (13.8)	68.8 (7.3)
Education							
9/10 years, n (%)	506 (8.1)	775 (8.2)	58 (5.8)	176 (8.2)	110 (5.3)	186 (14.3)	245 (8.5)
12/13 years, n (%)	3096 (49.4)	4817 (51.0)	422 (41.8)	1034 (48.2)	1081 (51.7)	677 (51.9)	1603 (55.5)
14–17 years, n (%)	1417 (22.6)	1906 (20.2)	227 (22.5)	554 (25.8)	470 (22.5)	187 (14.3)	468 (16.2)
>18 years	1250 (19.9)	1943 (20.6)	302 (29.9)	382 (17.8)	430 (20.6)	255 (19.5)	574 (19.9)
Walkability							
Impedance, mean (SD)	1690.2 (333.1)	1613.9 (296.7)	1561.8 (223.6)	1601 (220)	1815 (410.8)	1465.6 (237.1)	1563.3 (209.4)
Transit stations, median (Q1, Q3)	2.9 (1.7 to 4.8)	4.4 (2.4 to 6.9)	5.7 (4.0 to 7.3)	3.8 (1.9 to 6.6)	2 (0.7 to 3.2)	6.4 (3.8 to 9.8)	5.8 (4.3 to 8.1)
POI, median (Q1, Q3)	3.7 (0.7 to 8.5)	4.5 (2.1 to 8.7)	3.2 (2.3 to 10.3)	3.2 (0.6 to 7.4)	4.3 (0.3 to 8.5)	3.3 (2 to 7)	6 (4 to 9.4)
Outcomes							
BMI (SD)	–	28.1 (4.9)	28.9 (4.8)	27.3 (4.7)	28.3 (4.9)	27.5 (5)	28.4 (4.9)
Walking/cycling							
≤30 min/day, n (%)	2368 (37.8)	–	451 (47)	409 (18.1)	1508 (51)	–	–
>30 min/day n (%)	3901 (62.2)	–	599 (53)	1851 (81.9)	1451 (49)	–	–
Characteristics of the study region							
			Urban City of Halle, largest city in Saxony-Anhalt, East of Germany	Urban City of Augsburg in the South of Germany Rural Adjacent counties of Augsburg	Rural State with the lowest population density in Germany, next to Polish border and Baltic Sea	Urban Ruhr region, characterised by its history of migration and industry, West of Germany	Urban Ruhr region, characterised by its history of migration and industry, West of Germany

The description of each cohort refers to the BMI sample; characteristics of the walking/cycling sample are found in table 2 and are comparable to the characteristics of the BMI sample. See figure 1 on how the study samples were derived.

BMI, body mass index; CARLA, Cardiovascular Disease, Living and Ageing in Halle; DHS, Dortmund Health Study; HNR, Heinz Nixdorf Recall; KORA, Cooperative Health Research in the Region of Augsburg; POI, points of interest; Q, quartile; SHIP, Study of Health in Pomerania.

BMJ Open: first published as 10.1136/bmjopen-2019-033941 on 28 April 2020. Downloaded from <http://bmjopen.bmj.com/> on May 27, 2020 by guest. Protected by copyright.

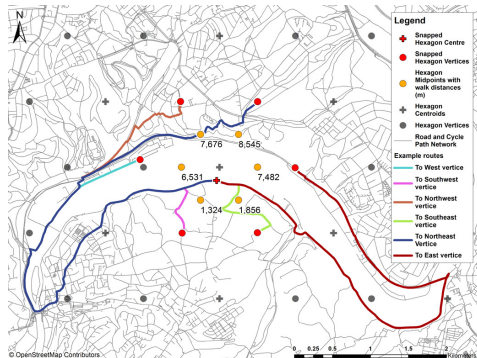


Figure 2 Impedance calculation of walk distances for one hexagon centroid and its vertices in part of the Heinz Nixdorf Recall study region adjacent to river Ruhr

BMI was calculated from height and weight, which were objectively measured according to comparable protocols in all five studies.

Sociodemographic covariates

Following covariates were derived from self-reported data from standardised questionnaires: sex (male and female), age in years and years of education. We classified the variable years of education on the basis of the International Standard Classification of Education 1997.⁴⁸ School years and years of vocational education are both included in the total number of years with the categories: 9/10 years, 12/13 years, 14–17 years and 18 and more years.

Statistical analysis

Participant characteristics were summarised as mean (SD) for normally distributed continuous variables, median

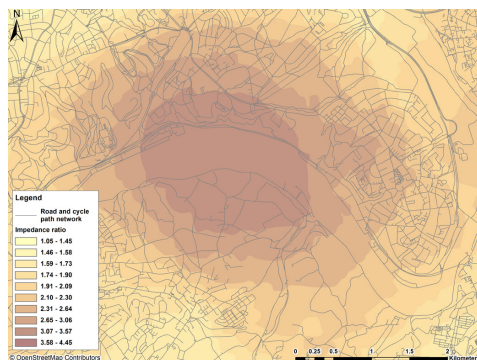


Figure 3 Impedance layer for a part of the Heinz Nixdorf Recall study region with the river Ruhr with walk distance values interpolated using kriging

(IQR) for non-normally distributed variables and number (percentage) for categorical variables.

Generalised additive models (GAMs) were used for analysing the association between each walkability measure and the outcome of interest. The shape of the relationship was estimated using thin-plate splines. For the dichotomous outcome walking/cycling, the GAMs used binomial variance and log link function; for the continuous outcome BMI, we used Gaussian distribution. For smoothness selection, restricted maximum likelihood was considered.⁴⁹

We tested nonlinearities in the relationship between walkability measures and outcomes based on Akaike information criterion (AIC) values. A difference in $AIC \geq 10$ units comparing the models with linear versus nonlinear term was considered meaningful.⁵⁰ Walkability measures were included as linear terms, since no nonlinearities were found. Age was included as nonlinear term in all models. We z-standardised the measures for better comparability.

In order to assess if associations differed across cohorts, we stratified by cohort. Due to regional differences in the completeness of OSM data, measurement error of the exposure is likely to differ across cohorts, which could result in spurious interactions, so we did not test interactions.⁵¹

In a sensitivity analysis, we examined walking and cycling as separate outcomes for the KORA cohort. Although cycling and walking share some similarities, there are also differences, for example, regarding distance to travel and travel speed, and this could result in different associations with walkability measures.¹²

All models were adjusted for age, sex, cohort, and education. Analysis was conducted with SAS V.9.4⁵² and R-Studio V.3.4.4⁵³ with the package ‘mgcv’.⁴⁹

RESULTS

Sample characteristics

Both sexes were equally represented in the pooled sample. The participants in the pooled sample had a mean age of about 60 years and a mean BMI of 28 kg/m^2 , and half of them had 12/13 years of education. Mean impedance was lowest and median transit stations were highest in the highly urbanised DHS cohort, while mean impedance was highest and median transit stations were lowest in the rural area of the SHIP cohort. Median POI was highest in the HNR cohort and similar in all other cohorts. Overall, exposure contrast was low in the cohorts, as seen by visualising the surfaces of the measures with the address points. About 60% of the pooled walking/cycling sample reported to walk/cycle more than 30 min per day. This percentage was highest in the KORA and lowest in the SHIP cohort (tables 1 and 2).

Associations between walkability, walking/cycling and BMI

Higher impedance was associated with lower prevalence of walking/cycling 30 min/day, while higher numbers of

BMJ Open: first published as 10.1136/bmjopen-2019-033941 on 28 April 2020. Downloaded from http://bmjopen.bmj.com/ on May 27, 2020 by guest. Protected by copyright.


Open access 

Table 2 Sample characteristics walking/cycling sample by cohort

	CARLA (n=1050)	KORA (n=2260)	SHIP (n=2959)
Demographics			
Male, n (%)	554 (52.8)	1093 (48.4)	1418 (47.9)
Age in years, mean (SD)	69.8 (9)	60.2 (12.3)	54.8 (15.2)
Education			
9/10 years, n (%)	58 (5.5)	185 (8.2)	263 (8.9)
12/13 years, n (%)	445 (42.4)	1096 (48.5)	1555 (52.6)
14–17 years, n (%)	236 (22.5)	580 (25.7)	601 (20.3)
>18 years	311 (29.6)	399 (17.7)	540 (18.3)
Walkability			
Impedance, mean (SD)	1561.9 (226.3)	1602.7 (12.3)	1802.6 (394.7)
Transit stations, median (Q1, Q3)	5.7 (4–7.3)	3.7 (10.9–6.6)	2.1 (0.8–3.2)
POI, median (Q1, Q3)	3.2 (2.3–10.3)	3.2 (0.5–7.2)	4.4 (0.4–8.5)
Walking/cycling			
≤ 30 minutes/day, n (%)	451 (47)	409 (18.1)	1508 (51)
> 30 min/day n (%)	599 (53)	1851 (81.9)	1451 (49)

CARLA, Cardiovascular Disease, Living and Ageing in Halle; KORA, Cooperative Health Research in the Region of Augsburg; POI, points of interest; SHIP, Study of Health in Pomerania.

POI and transit stations were associated with higher prevalence (table 3). This association was consistent across cohorts (figure 4A).

The sensitivity analysis for walking and cycling as separate outcome measures showed similar estimates for walking as well as for cycling. The CI for cycling as outcome were larger including the null effect for impedance and POI, while this was not the case for walking as outcome (table 4).

Higher impedance was associated with an increase in BMI (table 3). When stratified by cohort, higher impedance was associated with an increase in BMI for all cohorts except for the HNR cohort, where it was associated with a decrease (figure 4B).

We found no association between number of transit stations and BMI (table 3). When stratified by cohort, we observed for DHS and HNR slightly increased and for SHIP slightly decreased point estimates with wide CI and no associations in the other cohorts (figure 4B).

BMI decreased with increasing POI (table 3). When stratified by cohort, for SHIP and CARLA we revealed decreased estimates and no associations in the other cohorts (figure 4B).

DISCUSSION

In this cross-sectional multicentre study, we analysed the association of three measures of walkability and walking/cycling and BMI. The walkability measures were related to walking/cycling, but associations with BMI were not consistent. In the rural SHIP cohort, better walkability was associated with higher prevalence of walking/cycling and lower BMI. The associations of walkability with the outcomes were less pronounced and inconsistent in highly urbanised areas, like the DHS and HNR cohorts.

Walkability and walking/cycling

Various systematic reviews^{5, 54–56} found evidence for a positive relationship between total walking for transport

Table 3 Association between walkability and outcomes

	Walking/cycling >30 min/day (n=6269)		BMI (n=9441)	
	PR	95% CI	β	95% CI
Impedance	0.95	0.93 to 0.97	0.15	0.04 to 0.25
Transit stations	1.03	1.02 to 1.05	0.005	–0.11 to 0.12
POI	1.03	1.02 to 1.05	–0.14	–0.24, to 0.04

Models are adjusted for age, sex, education and cohort; walkability measures are z-standardised.
 BMI sample: SD for impedance=296.7, SD for transit stations=4.1, SD for POI=7.1; walking/cycling sample: SD for impedance=333.1, SD for transit stations=3.4, SD for POI=7.0. Reference category for walking/cycling >30 min/day is walking/cycling ≤30 min/day.
 BMI, body mass index; POI, points of interest; PR, prevalence ratio.

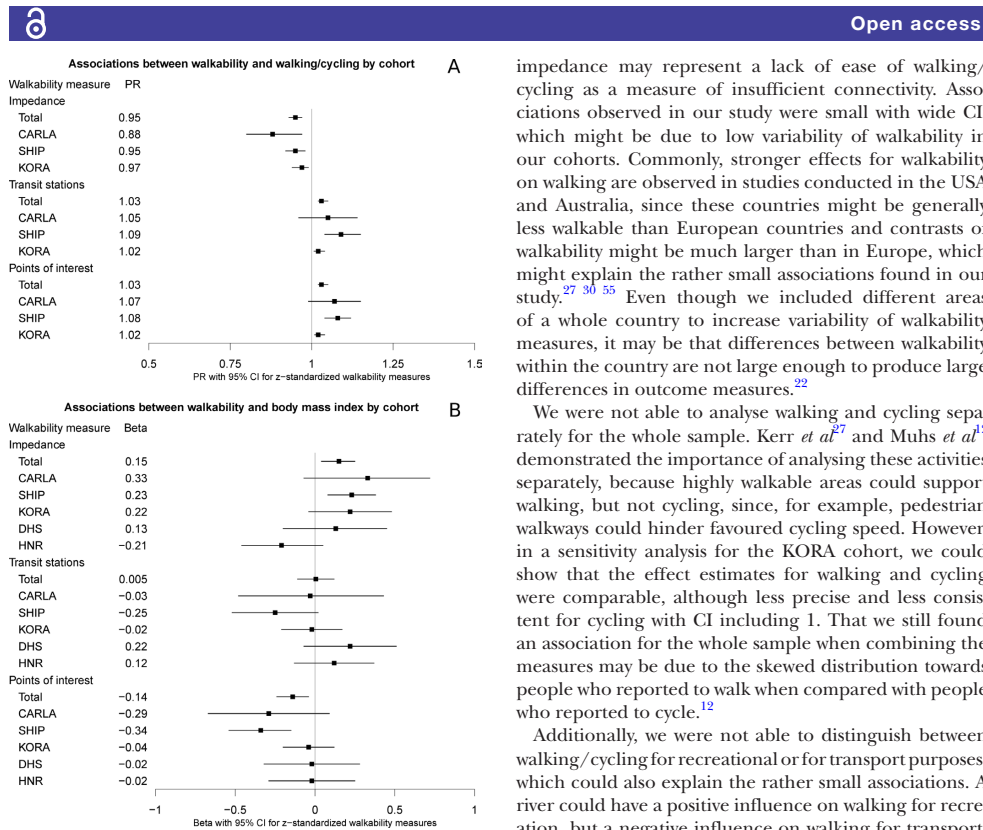


Figure 4 (A) Association between walkability and walking/cycling by cohort (B) association between walkability and body mass index by cohort. CARLA, Cardiovascular Disease, Living and Ageing in Halle; CI, confidence interval; DHS, Dortmund Health Study; HNR, Heinz Nixdorf Recall; KORA, Cooperative Health Research in the Region of Augsburg; PR, prevalence ratio; SHIP, Study of Health in Pomerania.

and land-use mix, public transport and street connectivity, which supports the result of our study. In our study, walking/cycling decreased with increasing impedance, which was consistent with our hypothesis, that

impedance may represent a lack of ease of walking/cycling as a measure of insufficient connectivity. Associations observed in our study were small with wide CI, which might be due to low variability of walkability in our cohorts. Commonly, stronger effects for walkability on walking are observed in studies conducted in the USA and Australia, since these countries might be generally less walkable than European countries and contrasts of walkability might be much larger than in Europe, which might explain the rather small associations found in our study.^{27 30 55} Even though we included different areas of a whole country to increase variability of walkability measures, it may be that differences between walkability within the country are not large enough to produce large differences in outcome measures.²²

We were not able to analyse walking and cycling separately for the whole sample. Kerr *et al*²⁷ and Muhs *et al*¹² demonstrated the importance of analysing these activities separately, because highly walkable areas could support walking, but not cycling, since, for example, pedestrian walkways could hinder favoured cycling speed. However, in a sensitivity analysis for the KORA cohort, we could show that the effect estimates for walking and cycling were comparable, although less precise and less consistent for cycling with CI including 1. That we still found an association for the whole sample when combining the measures may be due to the skewed distribution towards people who reported to walk when compared with people who reported to cycle.¹²

Additionally, we were not able to distinguish between walking/cycling for recreational or for transport purposes, which could also explain the rather small associations. A river could have a positive influence on walking for recreation, but a negative influence on walking for transport, since it could represent a barrier.⁵⁷⁻⁵⁹

Walkability and BMI

Consistent with some previous research, POI and impedance were associated with lower BMI in the pooled analysis.⁶⁰⁻⁶² However, although impedance and POI were associated with lower BMI in the pooled analysis, the relationship between these two measures and BMI was inconsistent across cohorts. Hence, the results of the pooled analysis should be interpreted with caution, since the association between walkability and BMI may differ

Table 4 Association between walkability and walking and cycling separately in the KORA cohort

	Walking >30 min/day		Cycling >30 min/day	
	PR	95% CI	PR	95% CI
Impedance	0.95	0.92 to 0.99	0.94	0.85 to 1.03
Transit stations	1.05	1.03 to 1.08	1.06	1.01 to 1.13
POI	1.05	1.02 to 1.07	1.05	0.99 to 1.11

Models are adjusted for age, sex and education; walkability measures are z-standardised. Seventy-four per cent of the sample reported to walk more than 30 min per day and 32% reported to cycle more than 30 min per day. KORA, Cooperative Health Research in the Region of Augsburg; POI, points of interest; PR, prevalence ratio.

Open access



depending on the setting. For transit stations, we have found no associations with BMI, neither in the pooled nor in stratified analysis. Likewise, previous studies found inconsistencies in the relationship between BMI and walkability measures, indicating no associations and some even found associations in the unexpected direction.⁶³⁻⁶⁵

The finding that better walkability is associated with increased walking and cycling, but not consistently with lower BMI, is supported by the majority of previous research.^{6 10 22 23} This finding seems counterintuitive, since increased activity should lead to decreased BMI. However, many factors determine BMI^{66 67} and physical activity alone cannot explain BMI.⁶⁶ Diet might be more important in determining BMI than activity.⁶⁸ The slightly higher activity might not be sufficient in order to have an impact on BMI, given other determinants of BMI.⁶⁹ Our study supports this possible explanation. The measure of walking/cycling that we have used did not take into account the intensity of walking/cycling. Even though POI is associated with an increased walking/cycling behaviour, this increase might not be strong enough to have any effect on BMI, as seen in the KORA cohort, where POI were associated with increased walking/cycling, but not with decreased BMI.

Strengths and limitations

We decided to use POI density in walk polygons as it explicitly linked an area of known walkability to locations of amenities determined by people locally. However, we did not explicitly measure the variety of POI. According to the transit point metric, the weakness is that it does not reflect the frequency of transport or the choice of destination. In addition, we did not weight them in any way, so a railway station had equal weight as a bus stop. Our method of capturing impedance is the most radical change compared with other research methods. Connectivity and intersection density have traditionally been used because highly connected networks allow quick and easy access to the local area. However, we wanted a measure that compared the ease of accessing a nearby point with the Euclidian distance. By plotting six journeys around our points in different directions and anchoring those with reference to the Euclidian distance, we felt that we were able to get a more reliable measure than connectivity alone. The method appears to have face validity as we can clearly see higher impedance around rivers, rail yards and other physical barriers. While there is consensus in the built environment literature that impedance is an important domain of walkability, there is no consensus on how this should be measured.³⁹ In this study, we intuited that our measure was sensitive to impedance in different directions from a series of sample points and so was better than simply using the density of route intersections in the area, or indeed other possible measurement methods. We are planning a validation study to unpick this issue in more detail.

The selection of 640 m to define a 'short walk' was determined in the absence of sufficient evidence. We

do not know whether this propensity is generalisable to a different country. We could intuit that the German population walks more than the British one, as Germans take more public transport journeys annually per capita (177 compared with 147)⁷⁰ which could indicate that we needed larger walk polygons. Additionally, what a 'short walk' defines could be different according to environmental attributes and subgroups (eg, younger vs older adults).⁷¹ A further issue is the extent to which crowd-sourced GIS data is reliable. However, studies showed that OSM data compared favourably with state and commercial sources in urban areas, although coverage in rural areas is acknowledged to be more variable in OSM data.^{72 73}

For 372 and 436 participants, respectively, walkability values could not be computed. Most of the missing walkability values occurred just in the SHIP study, which could have introduced a bias, since this was also the cohort with the poorest walkability measures.

The walkability measures were computed in the year 2016, years after information of participants was collected, so changes in walkability measures during that time could have resulted in misclassification. However, when, for example, new businesses were opened, it is likely that these would be in areas where already some businesses existed, so that walkable areas would stay walkable or improve, and less walkable areas would stay less walkable or generally improve less.

It was not feasible to account for clusters in the data of the included cohort studies due to lack of a suitable area-level variable available for Germany. Statistically, there could be dependencies among people living in the same barrier or neighbourhood. Not accounting for possible clusters in the data could reduce variance and statistical power.⁷⁴

We took into account three measures that have been proved to be important dimensions of walkability.³ However, we did not take into account, for example aesthetics and safety, measures that are also associated with walking/cycling behaviour.³¹ The observed results could strongly be influenced by the measures we have used and a POI in an area might have a different association with walking/cycling according to the characteristics of other walkability measures in the same area.

We have used self-reported walking/cycling as one of our response variables. Measuring walking/cycling with an accelerometer would have been a much more precise and would have eliminated social desirability bias that is inherent in self-report of physical activity.

Due to the pooling of the cohorts, the confounder adjustment set is quite limited. Residual confounding is highly likely, as we only adjusted for few variables, but, for example, not for income or occupation as other parts of socioeconomic status. Additionally, we were not able to adjust for residential self-selection, since this information was not available, which could have biased the results away from the null. However, previous research has shown that neighbourhood self-selection only yield minor changes in the results.⁷⁵⁻⁷⁷



Open access

Since z-scores were calculated across cohorts, the estimates might be confounded by rurality, because the SHIP cohort comprise poorer exposure values. However, we adjusted for cohort to correct for this possible confounding. As stated earlier, the coverage of OSM data in rural versus urban areas may differ. Differential measurement error associated with regional differences in the completeness of OSM data could have some influence on the main effects and hence result in biased estimates. However, it is assumed that the differential measurement errors from the different cohorts cancel out (at least partly) and therefore have little to no influence on the main effects.

BMI was based on standardised measurements of weight and height and not on self-report and social desirability bias did not occur, representing an important asset.

This work has implications for policy. The observed effect of walkability measures on walking/cycling was small. However, changes in walkability changes walking and cycling behaviour on a population level, since everyone is affected by these changes. People with no or very few transit stations near their residence could benefit from extending public transportation. Considering the impedance measure, additional paths in low-connected areas may contribute to enhancement in walking and cycling.

Due to the inconsistency in the findings, a conclusion on the association between walkability and BMI cannot be drawn. Our results indicate that associations of walkability on BMI could differ between rural and urban areas, highlighting the need to investigate these discrepancies. However, we showed that higher walkability is associated with more walking/cycling. Walking and cycling for transport or recreation can easily be incorporated into the individuals' daily lives, when neighbourhoods are supportive of such behaviours.

Author affiliations

¹Institute of Med. Epidemiology, Biometrics and Informatics, Martin-Luther-University Halle-Wittenberg, Halle, Germany

²German Center for Diabetes Research (DZD), Neuherberg, Germany

³Centre for Urban Epidemiology, University Clinics Essen, Essen, Germany

⁴Institute of Applied Health Research, University of Birmingham, Birmingham, UK

⁵German Cancer Research Centre, Heidelberg, Baden-Württemberg, Germany

⁶Institute of Geosciences and Geography, Martin-Luther-University Halle-Wittenberg, Halle, Germany

⁷Institute for Community Medicine, University Medicine Greifswald, Greifswald, Germany

⁸Institute of Epidemiology II, Helmholtz Zentrum München, Neuherberg, Germany

⁹Helmholtz Zentrum München, German Research Center for Environmental Health, Institute of Health Economics and Health Care Management, Neuherberg, Germany

¹⁰Institute of Epidemiology and Social Medicine, University of Münster, Münster, Nordrhein-Westfalen, Germany

Acknowledgements We thank all participants of the cohort studies and all members of the study teams who participated in the recruitment, data collection, data management, and analysis. We thank all OpenStreetMap contributors. Parts of this work were presented orally and as abstract at the 13. Annual Conference of the German Epidemiological Association (DGepi), 26–28. September 2018 and orally during the Epidemiology of Chronic Diseases Research and Training Summer School, 3–7. September in Hawassa, Ethiopia.

Contributors SH planned the study and reviewed the manuscript. NK conducted the statistical analysis and wrote the manuscript. GR and MPS planned the study, devised, and created the walkability measures. DT assigned the walkability measures to the CARLA participants. AK and KHG planned and coordinated the CARLA study and devised the walkability study. US, NvdB, KW, WM, AP, CK and SA provided data and reviewed the manuscript. GR, MPS, AK, KHG, RM, RS and SM reviewed the manuscript and contributed to the discussion. GR contributed to the methods and discussion part. AW advised on the statistical analysis. All authors have read the manuscript, agreed the work is ready for submission to a journal, and accept responsibility for the manuscript's contents.

Funding This work was supported by the Competence Network Diabetes Mellitus of the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF, grant 01G1110C) and the Competence Network Obesity (BMBF, grant 01G1121B). The Cardiovascular Disease, Living and Ageing in Halle (CARLA) Study was supported by a grant from the Deutsche Forschungsgemeinschaft as part of the Collaborative Research Centre 598 'Heart failure in the elderly—cellular mechanisms and therapy' at the Medical Faculty of the Martin-Luther-University Halle-Wittenberg, by a grant of the Wilhelm-Roux Programme of the Martin-Luther-University Halle-Wittenberg; by the Ministry of Education and Cultural Affairs of Saxony-Anhalt, and by the Federal Employment Office. The Study of Health in Pomerania (SHIP) is part of the Community Medicine Research net (<http://www.community-medicine.de>) at the University of Greifswald, Germany. Funding was provided by grants from the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF, grant 01ZZ0403); the Ministry for Education, Research and Cultural Affairs; and the Ministry for Social Affairs of the Federal State of Mecklenburg–West Pomerania. The Heinz Nixdorf Recall Study (HNR) was generously supported by the Heinz Nixdorf Foundation (Germany). The study is also supported by the German Ministry of Education and Science. The KORA research platform (KORA, Cooperative Health Research in the Region of Augsburg) was initiated and financed by the Helmholtz Zentrum München—German Research Center for Environmental Health, which is funded by the German Federal Ministry of Education and Research and by the State of Bavaria. Furthermore, KORA research was supported within the Munich Centre of Health Sciences (MC-Health), Ludwig-Maximilians-Universität, as part of LMUinnovativ. The Dortmund Health Study (DHS) was supported by unrestricted grants to the University of Münster from the German Migraine and Headache Society and a consortium formed with equal shares by Almiral, Astra-Zeneca, Berlin-Chemie, Boehringer Ingelheim Pharma, Boots Healthcare, GlaxoSmithKline, Janssen Cilag, McNeil Pharmaceuticals, MSD Sharp & Dohme and Pfizer. Gavin Rudge and Mark Patrick Sheldon were funded by the National Institute for Health Research (NIHR) Collaborations for Leadership in Applied Health Research and Care the West Midlands.

Disclaimer The views expressed are those of the author(s) and not necessarily those of the NHS, the NIHR or the Department of Health.

Map disclaimer The depiction of boundaries on the map(s) in this article do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of BMJ (or any member of its group) concerning the legal status of any country, territory, jurisdiction or area or of its authorities. The map(s) are provided without any warranty of any kind, either express or implied.

Competing interests None declared.

Patient and public involvement Patients and/or the public were not involved in the design, or conduct, or reporting, or dissemination plans of this research.

Patient consent for publication Not required.

Ethics approval The studies have been conducted according to the principles of the Declaration of Helsinki and have been approved by local ethics committees and written informed consent has been obtained from all participants. KORA (Helmholtz Zentrum München): Ethics committee of the Bavarian Medical Association and the Bavarian commissioner for data protection and privacy (approval number: 06068). CARLA (Martin-Luther-University): Ethics committee of the Medical Faculty of Martin-Luther-University and the state data privacy commissioner of Saxony-Anhalt (approval number: 164/12.10.05/1). HNR (University Clinics Essen): Ethics committee of the Medical Faculty of the University Duisburg-Essen (approval number: 99-69-1200). DHS (University of Münster): Ethics committee of the University of Münster and the Westphalian Chamber of Physicians in Münster (approval number: 3V II Berger). SHIP (Ernst-Moritz-Arndt University Greifswald): Ethics committee of the Medical Faculty of the Ernst-Moritz-Arndt University Greifswald (approval number: III UV 73/01/BB 39/09).

Provenance and peer review Not commissioned; externally peer reviewed.

Data availability statement No data are available.

Open access



Open access This is an open access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited, appropriate credit is given, any changes made indicated, and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

ORCID iD

Nadja Kartschmit <http://orcid.org/0000-0002-5756-5542>

REFERENCES

- Beaglehole R, Bonita R, Horton R, et al. Priority actions for the non-communicable disease crisis. *The Lancet* 2011;377:1438–47.
- Althoff T, Sosis R, Hicks JL, et al. Large-Scale physical activity data reveal worldwide activity inequality. *Nature* 2017;547:336–9.
- Ewing R, Certero R. Travel and the built environment: a meta-analysis. *Journal of the American planning association* 2010;76:265–94.
- Freeman L, Neckerman K, Schwartz-Soicher O, et al. Neighborhood walkability and active travel (walking and cycling) in New York City. *Journal of Urban Health* 2013;90:575–85.
- Bassett DR, Pucher J, Buehler R, et al. Walking, cycling, and obesity rates in Europe, North America, and Australia. *J Phys Act Health* 2008;5:795–814.
- Cerin E, Nathan A, van Cauwenberg J, et al. The neighbourhood physical environment and active travel in older adults: a systematic review and meta-analysis. *Int J Behav Nutr Phys Act* 2017;14:15.
- Garfinkel-Castro A, Kim K, Hamidi S, et al. Obesity and the built environment at different urban scales: examining the literature. *Nutr Rev* 2017;75:51–61.
- Smith M, Hosking J, Woodward A, et al. Systematic literature review of built environment effects on physical activity and active transport – an update and new findings on health equity. *Int J Behav Nutr Phys Act* 2017;14:158.
- Van Holle V, Van Cauwenberg J, Van Dyck D, et al. Relationship between neighborhood walkability and older adults' physical activity: results from the Belgian environmental physical activity study in seniors (BEPAS seniors). *Int J Behav Nutr Phys Act* 2014;11:110.
- Barnett DW, Barnett A, Nathan A, et al. Built environmental correlates of older adults' total physical activity and walking: a systematic review and meta-analysis. *Int J Behav Nutr Phys Act* 2017;14:103.
- Van Cauwenberg J, De Bourdeaudhuij I, De Meester F, et al. Relationship between the physical environment and physical activity in older adults: a systematic review. *Health Place* 2011;17:458–69.
- Muhs CD, Clifton KJ. Do characteristics of walkable environments support bicycling? toward a definition of bicycle-supported development. *Journal of Transport and Land Use* 2016;9:147–88.
- Cain KL, Millstein RA, Sallis JF, et al. Contribution of streetscape audits to explanation of physical activity in four age groups based on the microscale audit of pedestrian Streetscapes (maps). *Soc Sci Med* 2014;116:82–92.
- King AC, Sallis JF, Frank LD, et al. Aging in neighborhoods differing in walkability and income: associations with physical activity and obesity in older adults. *Soc Sci Med* 2011;73:1525–33.
- Corseuil MW, Schneider IJC, Silva DAS, et al. Perception of environmental obstacles to commuting physical activity in Brazilian elderly. *Prev Med* 2011;53:289–92.
- Kolbe-Alexander TL, Pacheco K, Tomaz SA, et al. The relationship between the built environment and habitual levels of physical activity in South African older adults: a pilot study. *BMC Public Health* 2015;15:518.
- Paulo Dos Anjos Souza Barbosa J, Henrique Guerra P, de Oliveira Santos C, et al. Walkability, overweight, and obesity in adults: a systematic review of observational studies. *Int J Environ Res Public Health* 2019;16:3135.
- McCormack GR, Cabaj J, Orpana H, et al. A scoping review on the relations between urban form and health: a focus on Canadian quantitative evidence. *Health Promot Chronic Dis Prev Can* 2019;39:187–200.
- Papas MA, Alberg AJ, Ewing R, et al. The built environment and obesity. *Epidemiol Rev* 2007;29:129–43.
- Booth KM, Pinkston MM, Poston WSC. Obesity and the built environment. *J Am Diet Assoc* 2005;105:110–7.
- Thielman J, Copes R, Rosella LC, et al. Is neighbourhood walkability related to body mass index among different age groups? A cross-sectional study of Canadian urban areas. *BMJ Open* 2019;9:e032475.
- Mackenbach JD, Rutter H, Compennolle S, et al. Obesogenic environments: a systematic review of the association between the physical environment and adult weight status, the spotlight project. *BMC Public Health* 2014;14:233.
- Feng J, Glass TA, Curriero FC, et al. The built environment and obesity: a systematic review of the epidemiologic evidence. *Health Place* 2010;16:175–90.
- NCD Risk Factor Collaboration (NCD-RisC). Trends in adult body-mass index in 200 countries from 1975 to 2014: a pooled analysis of 1698 population-based measurement studies with 19.2 million participants. *Lancet* 2016;387:1377–96.
- Yun S, Zhu B-P, Black W, et al. A comparison of national estimates of obesity prevalence from the behavioral risk factor surveillance system and the National health and nutrition examination survey. *Int J Obes* 2006;30:164–70.
- Sallis JF, Cerin E, Conway TL, et al. Physical activity in relation to urban environments in 14 cities worldwide: a cross-sectional study. *Lancet* 2016;387:2207–17.
- Kerr J, Emond JA, Badland H, et al. Perceived neighborhood environmental attributes associated with walking and cycling for transport among adult residents of 17 cities in 12 countries: the IPEN study. *Environ Health Perspect* 2016;124:290–8.
- Cerin E, Cain KL, Conway TL, et al. Neighborhood environments and objectively measured physical activity in 11 countries. *Med Sci Sports Exerc* 2014;46:2253–64.
- Cochrane T, Yu Y, Davey R, et al. Associations of built environment and proximity of food outlets with weight status: analysis from 14 cities in 10 countries. *Prev Med* 2019;129:105874.
- Christiansen LB, Cerin E, Badland H, et al. International comparisons of the associations between objective measures of the built environment and transport-related walking and cycling: IPEN adult study. *J Transp Health* 2016;3:467–78.
- Frank LD, Sallis JF, Saelens BE, et al. The development of a walkability index: application to the neighborhood quality of life study. *Br J Sports Med* 2010;44:924–33.
- Stangl P. Overcoming flaws in permeability measures: modified route directness. *Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability* 2019;12:1–14.
- Tran M, Schmidt J. *Walkability AUS Sicht Der Stadt-und Verkehrsplanung*, in *Walkability*. Verlag Hans Huber: Ein Handbuch zur Bewegungsförderung in der Kommune, 2014.
- Besser LM, Dannenberg AL. Walking to public transit: steps to help meet physical activity recommendations. *Am J Prev Med* 2005;29:273–80.
- Carr LJ, Dunsiger SI, Marcus BH. Validation of walk score for estimating access to walkable amenities. *Br J Sports Med* 2011;45:1144–8.
- Berger K. [DHS: The Dortmund health study]. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 2012;55:816–21.
- Erbel R, Eisele L, Moebus S, et al. Die Heinz Nixdorf recall studie. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 2012;55:809–15.
- Greiser KH, Kluttig A, Schumann B, et al. Cardiovascular disease, risk factors and heart rate variability in the elderly general population: design and objectives of the cardiovascular disease, living and ageing in Halle (CARLA) study. *BMC Cardiovasc Disord* 2005;5:33.
- Greiser KH, Kluttig A, Schumann B, et al. Cardiovascular diseases, risk factors and short-term heart rate variability in an elderly general population: the CARLA study 2002–2006. *Eur J Epidemiol* 2009;24:123–42.
- Holle R, Happich M, Löwel H, et al. KORA - A Research Platform for Population Based Health Research. *Gesundheitswesen* 2005;67:19–25.
- John U, Greiner B, Hensel E, et al. Study of health in Pomerania (SHIP): a health examination survey in an East German region: objectives and design. *Soz Präventivmed* 2001;46:186–94.
- Völzke H, Alte D, Schmidt CO, et al. Cohort profile: the study of health in Pomerania. *Int J Epidemiol* 2011;40:294–307.
- ESRI. *Environmental systems research Institute* 2012. 10.4 ADA, ed. Redlands, CA.
- Lewis D, Mateos P, Longley P. *Choice and the composition of general practice patient registers*, 2009.
- Stender M, Dring A, Hense H-W, et al. Vergleich zweier Methoden Zur Erhebung Der körperlichen Aktivität. *Soz Präventivmedizin* 1991;36:176–83.
- Baecke JA, Burema J, Frijters JE. A short questionnaire for the measurement of habitual physical activity in epidemiological studies. *Am J Clin Nutr* 1982;36:936–42.
- Heath GW, Brownson RC, Kruger J, et al. The effectiveness of urban design and land use and transport policies and practices to

BMJ Open: first published as 10.1136/bmjopen-2019-033941 on 28 April 2020. Downloaded from <http://bmjopen.bmj.com/> on May 27, 2020 by guest. Protected by copyright.



Open access

- increase physical activity: a systematic review. *J Phys Act Health* 2006;3:S55–76.
- 48 Schneider SL. Applying the ISCED-97 to the German educational qualifications. *The international standard classification of education* 2008:77–102.
- 49 Wood SN. *Generalized additive models: an introduction with R*. Chapman and Hall/CRC, 2017.
- 50 Burnham K, Anderson D. *Model selection Multimodel inference a practical information-theoretic approach second edition*. Springer New York USA, 2002.
- 51 Thomas D, Stram D, Dwyer J. Exposure measurement error: influence on exposure-disease relationships and methods of correction. *Annu Rev Public Health* 1993;14:69–93.
- 52 SAS-Institute. Cary, North Carolina USA, 2017.
- 53 R Core Team. R: a language and environment for statistical computing. Vienna: R foundation for statistical computing, V. Austria, 2018. Available: <https://www.R-project.org/>
- 54 Farkas B, Wagner DJ, Nettel-Aguirre A, et al. Evidence synthesis - A systematized literature review on the associations between neighbourhood built characteristics and walking among Canadian adults. *Health Promot Chronic Dis Prev Can* 2019;39:1–14.
- 55 Van Holle V, Deforche B, Van Cauwenberg J, et al. Relationship between the physical environment and different domains of physical activity in European adults: a systematic review. *BMC Public Health* 2012;12:807.
- 56 Zapata-Diomed B, Veerman JL. The association between built environment features and physical activity in the Australian context: a synthesis of the literature. *BMC Public Health* 2016;16:484.
- 57 Bucksch J, Schneider S. *Walkability AUS Sicht Der public health in Walkability*. Das Handbuch zur Bewegungsförderung in der Kommune, 2014.
- 58 Sugiyama T, Gunn LD, Christian H, et al. Quality of public open spaces and recreational walking. *Am J Public Health* 2015;105:2490–5.
- 59 Spinney JEL, Millward H, Scott D. Walking for transport versus recreation: a comparison of participants, timing, and locations. *J Phys Act Health* 2012;9:153–62.
- 60 Frank LD, Andresen MA, Schmid TL. Obesity relationships with community design, physical activity, and time spent in cars. *Am J Prev Med* 2004;27:87–96.
- 61 Li F, Harmer PA, Cardinal BJ, et al. Built environment, adiposity, and physical activity in adults aged 50–75. *Am J Prev Med* 2008;35:38–46.
- 62 Frank LD, Kerr J, Sallis JF, et al. A hierarchy of sociodemographic and environmental correlates of walking and obesity. *Prev Med* 2008;47:172–8.
- 63 Brown BB, Yamada I, Smith KR, et al. Mixed land use and walkability: variations in land use measures and relationships with BMI, overweight, and obesity. *Health Place* 2009;15:1130–41.
- 64 Zick CD, Smith KR, Fan JX, et al. Running to the store? the relationship between neighborhood environments and the risk of obesity. *Soc Sci Med* 2009;69:1493–500.
- 65 Smith KR, Brown BB, Yamada I, et al. Walkability and body mass index density, design, and new diversity measures. *Am J Prev Med* 2008;35:237–44.
- 66 Rennie KL, Johnson L, Jebb SA. Behavioural determinants of obesity. *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab* 2005;19:343–58.
- 67 Hales CM, Fryar CD, Carroll MD, et al. Differences in obesity prevalence by demographic characteristics and urbanization level among adults in the United States, 2013–2016. *JAMA* 2018;319:2419–29.
- 68 Miller WC, Kocaja DM, Hamilton EJ. A meta-analysis of the past 25 years of weight loss research using diet, exercise or diet plus exercise intervention. *Int J Obes Relat Metab Disord* 1997;21:941–7.
- 69 Dwyer-Lindgren L, Freedman G, Engell RE, et al. Prevalence of physical activity and obesity in US counties, 2001–2011: a road map for action. *Popul Health Metr* 2013;11:7.
- 70 Statistics Brief. *Urban-Public-Transport-in-the-21th-Century*, 2017.
- 71 Chandrabose M, Rachele JN, Gunn L, et al. Built environment and cardio-metabolic health: systematic review and meta-analysis of longitudinal studies. *Obes Rev* 2019;20:41–54.
- 72 Sehra SS, Singh J, Rai HS. *A systematic study of OpenStreetMap data quality assessment. in 2014 11th International Conference on information technology: new generations*. IEEE, 2014.
- 73 Zielstra D, Zipf A. *A comparative study of proprietary geodata and volunteered geographic information for Germany*. in 13th AGILE international conference on geographic information science, 2010.
- 74 Bock C, Diehl K. *Statistische Modellierung und Verfahren, in Walkability*. Verlag Hans Huber. Das Handbuch zur Bewegungsförderung in der Kommune, 2014.
- 75 Christiansen LB, Madsen T, Schipperijn J, et al. Variations in active transport behavior among different neighborhoods and across adult lifestages. *J Transp Health* 2014;1:316–25.
- 76 Norman GJ, Carlson JA, O'Mara S, et al. Neighborhood preference, walkability and walking in overweight/obese men. *Am J Health Behav* 2013;37:277–82.
- 77 Oliver M, Witten K, Blakely T, et al. Neighbourhood built environment associations with body size in adults: mediating effects of activity and sedentariness in a cross-sectional study of new Zealand adults. *BMC Public Health* 2015;15:956.

BMJ Open: first published as 10.1136/bmjopen-2019-033941 on 28 April 2020. Downloaded from <http://bmjopen.bmj.com/> on May 27, 2020 by guest. Protected by copyright.

2.4 Publikation 2: Walkability und prävalenter und inzidenter Diabetes

Kartschmit *et al.* *BMC Endocrine Disorders* (2020) 20:7
<https://doi.org/10.1186/s12902-019-0485-x>


BMC Endocrine Disorders

RESEARCH ARTICLE

Open Access

Walkability and its association with prevalent and incident diabetes among adults in different regions of Germany: results of pooled data from five German cohorts



Nadja Kartschmit^{1,2}, Robynne Sutcliffe³, Mark Patrick Sheldon⁴, Susanne Moebus³, Karin Halina Greiser^{1,5}, Saskia Hartwig^{1,2}, Detlef Thürkow⁶, Ulrike Stentzel⁷, Neeltje van den Berg⁷, Kathrin Wolf^{2,8}, Werner Maier^{2,9}, Annette Peters^{2,8}, Salman Ahmed³, Corinna Köhnke^{1,10}, Rafael Mikolajczyk¹, Andreas Wienke¹, Alexander Kluttig^{1,2*}  and Gavin Rudge⁴

Abstract

Background: Highly walkable neighbourhoods may increase transport-related and leisure-time physical activity and thus decrease the risk for obesity and obesity-related diseases, such as type 2 diabetes (T2D).

Methods: We investigated the association between walkability and prevalent/incident T2D in a pooled sample from five German cohorts. Three walkability measures were assigned to participant's addresses: number of transit stations, points of interest, and impedance (restrictions to walking due to absence of intersections and physical barriers) within 640 m. We estimated associations between walkability and prevalent/incident T2D with modified Poisson regressions and adjusted for education, sex, age at baseline, and cohort.

Results: Of the baseline 16,008 participants, 1256 participants had prevalent T2D. Participants free from T2D at baseline were followed over a mean of 9.2 years (SD: 3.5, minimum: 1.6, maximum: 14.8 years). Of these, 1032 participants developed T2D. The three walkability measures were not associated with T2D. The estimates pointed toward a zero effect or were within 7% relative risk increase per 1 standard deviation with 95% confidence intervals including 1.

Conclusion: In the studied German settings, walkability differences might not explain differences in T2D.

Keywords: Built environment, Walkability, Diabetes, Cardio-metabolic risk factors, Epidemiology

* Correspondence: alexander.kluttig@uk-halle.de

OpenStreetmap copyright statement OpenStreetMap® is open data, licensed under the Open Data Commons Open Database License (ODbL) by the OpenStreetMap Foundation (OSMF).

¹Institute of Medical Epidemiology, Biometrics and Informatics, Martin-Luther-University Halle-Wittenberg, Magdeburger Straße 8, 06112 Halle (Saale), Germany

²German Center for Diabetes Research (Deutsches Zentrum für Diabetesforschung DZD), Ingolstädter Landstraße 1, 85764 Neuherberg, Germany

Full list of author information is available at the end of the article



© The Author(s). 2020 **Open Access** This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made. The Creative Commons Public Domain Dedication waiver (<http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/>) applies to the data made available in this article, unless otherwise stated.

Background

Unhealthy diet and physical inactivity are important risk factors for developing non-communicable diseases, such as type 2 diabetes (T2D) [1]. While the prevention of such diseases is still focused on individual health behaviours, there is currently an increasing interest in setting-based prevention initiatives [2–4]. There is evidence that improved neighbourhood walkability, as characteristic of the built environment, increases walking and cycling. Hence, walkability may be associated with a reduced risk of obesity and T2D via increased transport-related and leisure-time physical activity [5–12].

Existing research showing a positive relationship between higher walkability and lower risk of incident and prevalent T2D comes mainly from Australia and North America [12, 13]. Since the built environment in Europe differs from Australia and North America [14, 15], it is not clear whether this association also exists in European countries. However, so far, there is only one study from Sweden showing no effect of walkability on incident T2D [16]. Our previous pooled analysis of data from five German cohorts indicated a weak association between higher walkability and lower body mass index (BMI) [17].

Most previous studies categorized continuous walkability measures, which is problematic in terms of loss of power and difficulties in pooling estimates from different studies [18]. Furthermore, most studies used a walkability score and did not assess walkability measures separately. A score does not permit conclusions as to which walkability parameter contributes most to the association with T2D and hampers comparability between studies since many options exist on which parameters to include in an index and how to weight them [19, 20].

In the current study, we assessed the association between three walkability measures and T2D prevalence and incidence in the German population using data from five German cohort studies.

Methods

Study population

Data from five population-based cohort studies from different German areas were included: The Heinz Nixdorf Recall Study (HNR), the Dortmund Health Study (DHS), both conducted in Western Germany, the Cooperative Health Research in the Region of Augsburg (KORA) S4 Survey from the South of Germany, The Cardiovascular Disease Living and Ageing in the city of Halle (CARLA) Study, and the Study of Health in Pomerania (SHIP), the latter two from the Eastern area of Germany. A detailed description of the studies can be found elsewhere [21–27]. Baseline data of all studies were collected between 1997 and 2006. Baseline response ranged from 56 to 69%. Except for the DHS cohort with only one follow-up examination, all other cohort studies conducted at least two

follow-up examinations. The follow-up investigations took place between 2002 and 2016 with mean observation times ranging from 2.2 years to 13.6 years. Participation at follow-ups ranged between 53.5 and 76.6% (of all baseline participants).

The studies have been conducted according to the principles of the Declaration of Helsinki and have been approved by local ethics committees and written informed consent has been obtained.

In total, 17,453 participants were included in the pooled sample of the five cohort studies. Cross-sectional data from 16,008 and longitudinal data from 12,105 participants were available for analysing the association between the walkability measures and prevalent and incident T2D, respectively, after excluding participants with missing values for exposure, outcome, or covariates (Fig. 1).

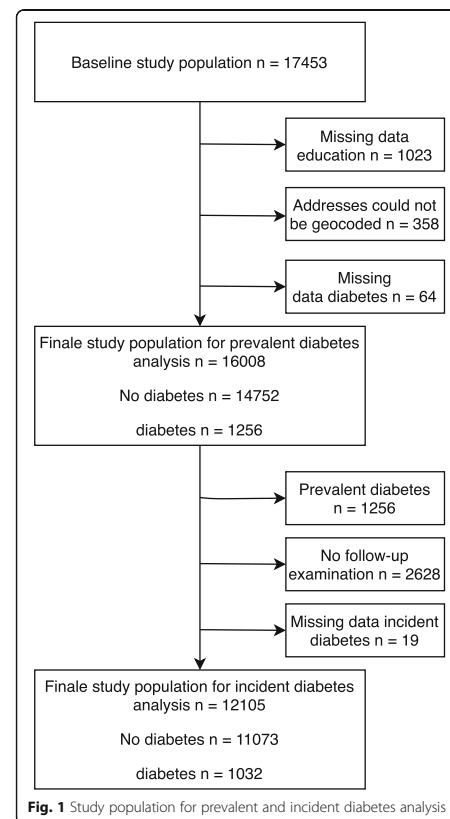


Fig. 1 Study population for prevalent and incident diabetes analysis

Walkability measures

For deriving the walkability measures, the ArcGIS Geoinformation System in ESRI ArcMap Desktop versions 10.1 and 10.4 was used [Environmental Systems Research Institute (ESRI) 2012, 10.4, A.D.A.(ed.). Redlands]. We created a hexagonal sampling grid across each of the study regions covering the municipal boundary from which cohort participants had been recruited and a buffer of 1 kilometre beyond. Spatial interpolation will produce some spurious values at the edges of the areas it is applied to, so where possible it is performed on a larger area than needed and the resulting surface is trimmed to the extent of the study area. We picked 1000 m as the side length for the hexagons. The size of the hexagons was chosen pragmatically. We calculated hexagonal polygons depicting the area within a walking distance of 640 m for each of the hexagon's vertices and centroids by using paths, walkways, and roads (Fig. 2).

The transport networks (here transit stations) and points of interest (POI) for the cities were provided by OpenStreetMap (OSM) in 2016 and processed using ArcGIS to create the network dataset.

The three walkability measures derived were the following:

POI: For each vertex and centroid of the hexagons we calculated a polygon representing the area that could be reached within a walking distance of 640 m, using roads,

walkways and paths on the OSM network. There is very little research on what constitutes a short walk. The cut-off of 640 m was chosen because research carried out in London had proposed that the propensity to walk to access public transport declined rapidly after 640 m [28]. We took this a pragmatic definition of a short, accessible walking distance. We defined POI using OSM. These POI were geo-located and subsequently given a descriptive tag and allocated to a category. For example, an entry may be tagged as 'bookshop' in the category 'shop', a cash dispenser may be tagged 'ATM' in the category 'amenity'. In each polygon we captured the number of points classified as a shop. In addition, we also selected some points classified as 'amenity' by undertaking a thorough review of the used tags. For each polygon, we thus summed up all shops and amenities tagged: ATM, bank, bar, Biergarten, café, fast food restaurant, pharmacy, pub, restaurant, and post office.

Transit stations: We followed exactly the same method to determine transit point availability as we did for POI. In the category 'highway' we captured all of the points tagged as 'bus stop'. In the category 'railway' we captured all points tagged as 'stop', 'tram stop', 'station', 'subway entrance', 'entrance' or 'platform' and in the category 'amenity' we captured all the points tagged as 'bus station', and 'ferry terminal'.

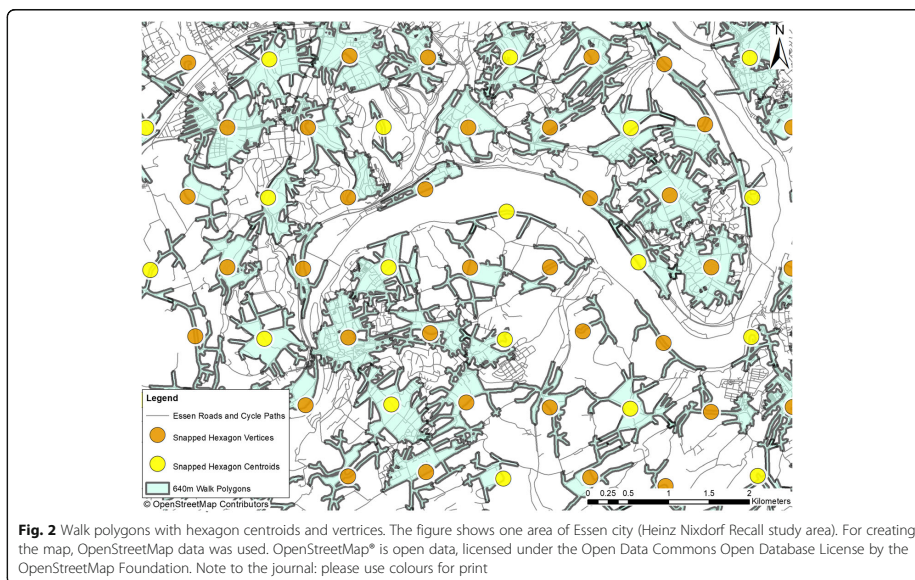


Fig. 2 Walk polygons with hexagon centroids and vertices. The figure shows one area of Essen city (Heinz Nixdorf Recall study area). For creating the map, OpenStreetMap data was used. OpenStreetMap® is open data, licensed under the Open Data Commons Open Database License by the OpenStreetMap Foundation. Note to the journal: please use colours for print

Impedance: Typically, connectivity is used as a proxy measure for impedance. Highly connected roads and paths will have many network nodes (junctions of roads for example). Usually, the number of nodes of a road and path network in a given radius is counted to derive a simple metric of impedance. However, this approach does not capture physical barriers. Hence, we used an approach that would not only capture lack of intersections, but also physical barriers. From the centroid of each hexagon we calculated six journeys in six different directions: Northeast, Northwest, West, Southwest, Southeast, and East from the centre to each vertex of the hexagon. The six values vary according to ease of access in the various directions with higher values reflecting a lack of ease of walking in that direction. For example, if a point, which was 1000 m Euclidian distance away, was accessible by a journey of 2300 m this was 2.3 times larger than the Euclidian distance. A comparable 1000 m Euclidian distance that can be walked in 1050 m clearly has fewer barriers.

Each of the metrics was interpolated between the points to construct a surface. We used Kriging to interpolate values between the hexagonal points. Kriging estimates values between points of known values on a plane using a Gaussian regression process and is a widely used method in spatial modelling.

We intersected all created surfaces with the baseline residential addresses of the cohort's participants. All walkability surfaces were created in 2016.

For DHS, only information on baseline residential addresses was available. Walkability measures could not be computed for 3% at baseline, 16% at follow-up 1 and 3.6% at follow-up 2, because addresses could not be geocoded.

Outcomes

Prevalent and incident T2D were defined by self-report of physician-diagnosed diabetes or antidiabetic drug intake in the 7 days prior to the examination.

Covariates

Number of years of education was derived from a standardized questionnaire. Years of education were classified based on the International Standard Classification of Education 1997 [29], including school years and years of vocational education in the total number of years with the categories: 9/10 years, 12/13 years, 14–17 years and 18 and more years. Eleven years is not included, since in Germany one can finish school after 9 or 10 years and then start vocational education or unskilled working, or one can finish after 12 or 13 years, which qualifies for university entry. Baseline BMI was derived from measured weight and height using comparable protocols in the five cohort studies. Self-reported hours per week of

practicing sports were categorized with the following categories: more than 2 h, 1–2 h, less than 1 h of sports per week and practicing no sports.

Statistical analysis

Sample characteristics were reported as means with standard deviation (SD) or medians with interquartile range (IQR) according to the distribution of the data or as frequencies (percentages) for categorical variables.

For associations between walkability measures and prevalent and incident T2D, we estimated risk ratios (RR) using modified Poisson regression with robust error variance [30, 31]. For better interpretability and comparability, we present estimates for z-standardized walkability measures.

In sensitivity analysis, we examined the association between walkability measures and T2D incidence in a sub-sample of participants whose addresses were the same during each of the follow-up assessments (hereafter 'non-movers'). Additionally, we examined the association between walkability measures and T2D incidence in a sub-sample excluding all participants aged less than 30 years at baseline in order to exclude potential type 1 diabetes cases from the analysis. Finally, we also conducted an analysis in which we used the T2D status at the last follow-up as outcome in order to reduce the time gap between walkability assessment and T2D prevalence assessment.

We adjusted all models for sex, age at baseline, education, and cohort. Additionally, we examined if the associations differed in certain age groups (20–40 years, 41–60 years and over 60 years). Moreover, we adjusted the associations for practicing sports. All analyses were performed with SAS V.9.4 [32].

Results

Of the baseline 16,008 participants, 1256 (7.8%) had prevalent T2D. During the follow up over a mean of 9.2 years (SD: 3.5, minimum: 1.6, maximum: 14.8 years), further 1032 participants developed T2D. Participants with prevalent or incident T2D were more often male, older, and had fewer years of education when compared to participants without T2D. Additionally, participants with T2D lived in areas with slightly more transit stations and POI when compared to participants without T2D. Impedance at the participant's residential addresses was comparable in participants with and without T2D (Table 1). All estimates for the association between the walkability measures and T2D prevalence and incidence were within 7% of RR = 1 per 1 SD, with 95% confidence intervals including 1 (Table 2), showing no association between walkability measures and T2D. Given the large sample size, the 95% confidence intervals were narrow, indicating high precision of our estimates.

Table 1 Characteristics of participants

		Sample for examining prevalent T2D (N = 16,008)		Sample for examining incident T2D (N = 12,105)	
		Prevalent T2D at baseline (N = 1256)	No T2D at baseline (N = 14,752)	Incident T2D during follow-up (N = 1032)	No T2D during follow-up (N = 11,073)
Male	n (%)	707 (56.3)	7231 (49.0)	588 (57.0)	5271 (47.6)
Age at baseline	Mean (SD)	63.9 (9.8)	53.5 (13.9)	59.0 (9.9)	52.9 (13.4)
Education (years)					
9–10	n (%)	260 (20.7)	1598 (10.8)	112 (10.9)	1012 (9.1)
12–13	n (%)	613 (48.8)	7722 (52.3)	575 (55.7)	5731 (51.8)
14–17	n (%)	218 (17.4)	2786 (18.9)	189 (18.3)	2168 (19.6)
≥ 18	n (%)	165 (13.1)	2646 (17.9)	156 (15.1)	2162 (19.5)
Walkability measures					
Impedance	Mean (SD)	1623.9 (307.4)	1616.1 (289.9)	1615.3 (267.1)	1616.5 (288.6)
Transit stations	Median (Q1–Q3)	4.6 (2.7–6.9)	4.3 (2.3–6.9)	4.7 (2.5–7.1)	4.3 (2.4–6.9)
Points of interest	Median (Q1–Q3)	5.0 (2.3–10.1)	4.8 (2.1–9.5)	5.3 (2.6–9.8)	4.8 (2.2–9.0)
Risk factors for T2D					
Practicing sports					
More than 2 h/week	n (%)	196 (15.7)	3470 (23.7)	200 (19.5)	2804 (25.5)
1–2 h/week	n (%)	144 (11.5)	2767 (18.8)	156 (15.2)	2169 (19.7)
Less than 1 h/week	n (%)	97 (7.7)	1673 (11.4)	111 (10.8)	1257 (11.4)
No sports	n (%)	814 (65.1)	6758 (46.1)	560 (54.5)	4783 (43.4)
BMI at baseline	Mean (SD), n	30.5 (5.3), 1252	27.3 (4.6), 14,684	30.6 (4.8), 1024	27.0 (4.4), 11,042

T2D Type 2 diabetes, SD Standard deviation, Q Quartile, BMI Body mass index

Table 2 Association between T2D and walkability

	Prevalent T2D (N = 16,008)		Incident T2D (N = 12,105)		Sensitivity analysis			
	RR	95% CI	RR	95% CI	Incident T2D non-movers (N = 5901)		Incident T2D age ≥ 30 years at baseline (N = 11,416)	
					RR	95% CI	RR	95% CI
Impedance								
Crude	1.02	0.97, 1.08	1.00	0.94, 1.05	0.99	0.92, 1.07	1.00	0.95, 1.07
Adjusted	1.03	0.97, 1.09	1.00	0.94, 1.06	1.02	0.95, 1.11	0.99	0.93, 1.06
Transit stations								
Crude	1.05	0.99, 1.10	1.07	1.01, 1.13	1.09	1.00, 1.17	1.05	0.99, 1.11
Adjusted	1.03	0.97, 1.10	1.05	0.98, 1.13	1.05	0.97, 1.15	1.06	0.98, 1.14
Points of interest								
Crude	1.04	0.99, 1.09	1.06	0.99, 1.12	1.02	0.95, 1.10	1.05	0.99, 1.11
Adjusted	1.05	0.99, 1.11	1.01	0.95, 1.08	0.98	0.91, 1.07	1.01	0.95, 1.08

Adjusted models are controlled for sex, age at baseline, education, and cohort. T2D Type 2 diabetes, RR Relative risk, CI Confidence interval. RR are from modified Poisson regression models and reported per 1 standard deviation of walkability measures. RR over 1 indicate higher risk of T2D in areas with more transit stations and POI (indicators of better walkability). RR over 1 indicate higher risk of T2D in areas with higher impedance (indicator of poorer walkability)

For prevalent T2D analysis (N = 16,008): standard deviation (SD) impedance: 291.3, POI: 4.8, transit stations: 4.4

For incident T2D analysis (N = 12,105): SD impedance: 286.8, POI: 7.1, transit stations: 5.3

For incident T2D non-movers (N = 5901) SD impedance = 284.6, POI: 6.7, transit stations: 4.9

For incident T2D age ≥ 30 years at baseline (N = 11,416) SD impedance: 282.5, POI: 7.5, transit stations: 4.1

Results of a sensitivity analysis assessing the association between walkability and the most recent follow-up status on T2D were qualitatively the same (for impedance RR 0.99; 95% CI 0.95, 1.04; POI: 1.02; 0.98, 1.06; transit stations: 1.07; 1.01, 1.13, $n = 9441$).

These result of no association between walkability and T2D was confirmed by further analysis, were we stratified for age group and adjusted for practicing sports (See Additional file 1: Table S1 and S2).

Discussion

In the present study we analysed data from 16,008 participants from five German cohort studies. Our results point towards a lack of association between walkability and T2D in the studied environments.

Walkability was measured in different ways in different studies, which hinders comparability of our results with the current literature. However, most studies showed a lower T2D risk with better walkability. Pooled effects in a recent review would translate into a 20% T2D risk reduction with better walkability [12].

Most studies that found associations between better walkability and decreased T2D risk used objective composite scores including measures we did not take into account, for example residential, population and intersection density, and land use mix [33–36]. While these studies combined different walkability measures into an index score and found association with diabetes, we aimed to analyze the contribution of single measures.

Christine and colleagues (2015) found associations for better subjective walkability measures, which we did not consider, and decreased T2D risk [37]. We focused on the classical and rather gross features of walkability that arose from urban planning. We did not consider fine features, such as bike path, pedestrian crossings, or avenues, nor did we consider green spaces and parks. Moreover, we did not include aesthetics and perceived safety. These walkability measures could be more important in determining especially leisure time related walking than single gross features of walkability [38]. Therefore, these measures would also be more important regarding T2D risks. Paquet et al. (2014) reported a 12% reduced risk with increasing walkability in a smaller sample and less years of follow-up when compared to our population [39]. The study took place in Adelaide, South Australia, which is different from European cities in terms of built environment attributes [14, 39].

The density and diversity of European cities and their city centres may have a greater potential to promote physical activity for transport and leisure time as when compared to Australia, where the structures of the cities are more car-oriented and more heterogeneous regarding walkability [38]. The homogeneity of the walkability measures in our study regions could explain the

observed lack of association. Additionally, Paquet et al. (2014) analysed diabetes and prediabetes as one clinical endpoint, which hinders comparability with our results [39].

However, not all studies have found associations between walkability and T2D. Müller-Riemenschneider and colleagues (2013) reported that after adjustment for individual SES, the previously existing positive effect of walkability on incident T2D disappeared [40]. Nevertheless, the estimates still pointed towards a decreased T2D risk with better walkability.

The only other study we know about that was conducted in the European context found no association between walkability and diabetes in the city of Stockholm [16]. This study only included participants who were taking medication because of their disease. On the one hand, the exclusion of participants with T2D not taking medication could have underestimated the effect [41]. On the other hand, these results could also indicate the homogeneity of walkability measures in European cities, as indicated by our study.

Various specific factors could explain the null effect for T2D with more POI and transit stations in our study. First, POI included restaurants and fast food chains. Eating out of home is associated with obesity and could by increasing the T2D risk, diminish any positive effect of walkability [42]. Regarding transit stations, high cost of public transport, low frequency routes and transport that serves only few routes could hinder transport related walking and promote car-dependence, even though public transport is available. Consequently, this would result in a null effect, as observed in our study. Additionally, some environmental factors are associated with high urbanity and with high walkability. These factors, such as air pollution, could at the same time increase the risk of T2D and hence diminish the positive effect walkability has on T2D, which would result in no observable effect [43]. Regarding impedance, we did not observe any associations with T2D. This may be due to different ways of how impedance could work. People living in areas with high impedance could be less likely to walk, which would lead to lower activity and higher T2D risk. However, when it is inconvenient to use a car, activity could increase and T2D risk would decrease. Areas which have different road networks, parking availability and parking cost could be different in the effect impedance has on people's walking and cycling behavior and hence on their T2D risk. A river as a geographical barrier could hinder transport related walking. At the same time, it could increase leisure time related walking, jogging or cycling for recreation.

In our recent cross-sectional analysis on a similar pooled study population, better walkability was associated with lower BMI, but the observed associations were

rather weak [17]. The already weak positive effect of walkability via increased walking and cycling on BMI may simply not be strong enough to have any observable effects on T2D, which lies one step further down the causal chain. Additionally, when we stratified the associations by cohort, we observed that the association between better walkability and lower BMI was not consistent among the cohorts. As described above, even though walkability could contribute to increased walking and cycling behaviour and therefore to decreased BMI (even though to a very low extent), other factors related to walkability could diminish possible positive effects of walkability on health outcomes resulting from obesity and hence, resulting in a lack of association.

Some limitations need to be considered. First, diabetes was based on self-report. However, results of several studies indicate that for diabetes the validity of self-reports is generally high [44, 45]. Moreover, we could not adjust for residential self-selection and only adjusted for education as one part of individual SES, but not for income, occupation, or area level SES.

Participants, who choose to live in a walkable area, might be more health-conscious, have a higher income and live a healthier lifestyle than people, who cannot afford living in the city centre, where rents, but also connectivity as well as the amount of transit stations and POI might be higher. Hence, regardless of walking and cycling for recreation and transport, those people would have lower T2D risk than participants with low socioeconomic status, who are living in low walkable areas. Although we adjusted for education in our analysis, education alone does not reflect socioeconomic status, residential self-selection, and general health behaviour. Income level and social status influence T2D risk and walkability. However, we did not observe any association between walkability and T2D risk in crude and adjusted models and the adjustment for education only yielded minor changes in the association when compared to the crude association.

The strongest limitation is that the walkability measures were compiled for a much later time period than baseline data, which could have resulted in misclassification of walkability measures. However, we could show that the analysis based on the last follow-up status of T2D as outcome produced similar results. One can assume that if there is some fluctuation in for example points of interest over time, than still it occurs mostly within the same areas, minimizing the risk of misclassification. Furthermore, we did not include other important aspects of walkability, such as perceived aesthetics, safety, residential density, and presence of green spaces and parks. Lastly, there are some limitations of our walkability measures. Variety of POI was not explicitly taken into account and bus and tram stops might be very

different in quality, according to high or low frequency routes. While impedance indicates lack of walkable streets, it can include rivers and forests which might be on the other hand highly attractive for walking.

Despite these limitations, the study has several strengths. Different regions and cities in Germany were taken into account. With pooling data from five cohorts, we were able to cover almost an entire European country. Most previous studies included single cities in a country and were mostly conducted in North America and Australia. This study is one of the first studies that examined the association between walkability and T2D in Europe.

Conclusion

Overall, the results of our study rather indicate a lack of association between walkability and T2D risk in German settings. This might be due to the homogeneity of the walkability measures in the studied population.

Supplementary information

Supplementary information accompanies this paper at <https://doi.org/10.1186/s12902-019-0485-x>.

Additional file 1: Table S1. Association between walkability and T2D by age group. **Table S2.** Association between walkability and T2D adjusted for practicing sports.

Abbreviations

BMI: Body Mass Index; CI: Confidence Interval; OSM: OpenStreetMap; POI: Points of Interest; RR: Relative Risk; SD: Standard deviation; T2D: Type 2 Diabetes

Acknowledgements

We thank all participants of the cohort studies and all members of the study teams who participated in the recruitment, data collection, data management, and analysis.

Author's contributions

SH planned the study and reviewed the manuscript. NK conducted the statistical analysis and wrote the manuscript. GR and MPS planned the study, devised, and created the walkability measures. DT assigned the walkability measures to the CARLA participants. AK and KHG planned and coordinated the CARLA study and devised the walkability study. US, NB, KW, WM, AP, CK, and SA provided data and reviewed the manuscript. GR, MPS, AK, KHG, RM, RS, SM, reviewed the manuscript and contributed to the discussion. GR contributed to the methods and discussion part. AW advised on the statistical analysis. All authors read and approved the final manuscript.

Funding

This work was supported by the Competence Network Diabetes Mellitus of the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF, grant 01GI1110C) and the Competence Network Obesity (BMBF, grant 01GI1121B). The Cardiovascular Disease, Living and Ageing in Halle (CARLA) Study was supported by a grant from the Deutsche Forschungsgemeinschaft as part of the Collaborative Research Center 598 "Heart failure in the elderly—cellular mechanisms and therapy" at the Medical Faculty of the Martin-Luther-University Halle-Wittenberg, by a grant of the Wilhelm-Roux Programme of the Martin-Luther-University Halle-Wittenberg; by the Ministry of Education and Cultural Affairs of Saxony-Anhalt, and by the Federal Employment Office. The Study of Health in Pomerania (SHIP) is part of the Community Medicine Research net (<http://www.community-medicine.de>) at the University of Greifswald, Germany. Funding was provided by grants from the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF, grant 01ZZ0403); the Ministry for Education, Research, and Cultural Affairs; and the Ministry for

Social Affairs of the Federal State of Mecklenburg–West Pomerania. The Heinz Nixdorf Recall Study (RECALL) was generously supported by the Heinz Nixdorf Foundation (Germany). The study is also supported by the German Ministry of Education and Science. The KORA research platform (KORA, Cooperative Health Research in the Region of Augsburg) was initiated and financed by the Helmholtz Zentrum München—German Research Center for Environmental Health, which is funded by the German Federal Ministry of Education and Research and by the State of Bavaria. Furthermore, KORA research was supported within the Munich Center of Health Sciences (MC-Health), Ludwig-Maximilians-Universität München, as part of LMUinnovativ. The Dortmund Health Study (DHS) was supported by unrestricted grants to the University of Münster from the German Migraine and Headache Society and a consortium formed with equal shares by Allmiral, Astra-Zeneca, Berlin-Chemie, Boehringer Ingelheim Pharma, Boots Healthcare, GlaxoSmithKline, Janssen Cilag, McNeil Pharmaceuticals, MSD Sharp & Dohme, and Pfizer. Gavin Rudge and Mark Patrick Sheldon were funded by the National Institute for Health Research (NIHR) Collaborations for Leadership in Applied Health Research and Care the West Midlands. The views expressed are those of the author(s) and not necessarily those of the NHS, the NIHR or the Department of Health.

The funders had no role in conceptualization of the study, data collection, data analysis and writing the manuscript.

Availability of data and materials

The datasets generated and/or analysed during the current study are not publicly available due to data privacy but are available from the corresponding author on reasonable request.

Ethics approval and consent to participate

The studies have been conducted according to the principles of the Declaration of Helsinki and have been approved by local ethics committees and written informed consent has been obtained. There were no participants under 16 years old and hence no written informed consent from a parent or guardian was necessary.

KORA (Helmholtz Zentrum München): Ethics committee of the Bavarian Medical Association and the Bavarian commissioner for data protection and privacy (approval number: 06068).

CARLA (Martin-Luther-University): Ethics committee of the Medical Faculty of Martin-Luther-University and the state data privacy commissioner of Saxony-Anhalt (approval number: 164/12.10.05/1).

RECALL (University Clinics Essen): Ethics committee of the Medical Faculty of the University Duisburg-Essen (approval number: 99-69-1200).

DHS (University of Münster): Ethics committee of the University of Münster and the Westphalian Chamber of Physicians in Münster (approval number: 3VIBerger).

SHIP (Ernst-Moritz-Arndt University Greifswald): Ethics committee of the Medical Faculty of the Ernst-Moritz-Arndt University Greifswald (approval number: III UV 73/01/BB 39/09).

Consent for publication

Not applicable.

Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

Author details

¹Institute of Medical Epidemiology, Biometrics and Informatics, Martin-Luther-University Halle-Wittenberg, Magdeburger Straße 8, 06112 Halle (Saale), Germany. ²German Center for Diabetes Research (Deutsches Zentrum für Diabetisforschung DZD), Ingolstädter Landstraße 1, 85764 Neuherberg, Germany. ³Centre for Urban Epidemiology, University Clinics Essen, Hufelandstr. 55, 45122 Essen, Germany. ⁴Institute of Applied Health Research, University of Birmingham, Edgbaston, Birmingham B15 2TT, UK. ⁵German Cancer Research Center DKFZ (Deutsches Krebsforschungszentrum) Heidelberg, Im Neuenheimer Feld 280, 69120 Heidelberg, Germany. ⁶Institute of Geosciences and Geography, Martin-Luther-University Halle-Wittenberg, 06099 Halle (Saale), Germany. ⁷Institute for Community Medicine, University Medicine Greifswald, Ellernholzstr. 1-2, 17487 Greifswald, Germany. ⁸Institute of Epidemiology, Helmholtz Zentrum München, Ingolstädter Landstr. 1, 85764 Neuherberg, Germany. ⁹Institute of Health Economics and Health Care Management, Helmholtz Zentrum München, Ingolstädter Landstraße 1,

85764 Neuherberg, Germany. ¹⁰Institute of Epidemiology and Social Medicine, University of Münster, Albert-Schweitzer-Campus 1, 48149 Münster, Germany.

Received: 16 September 2019 Accepted: 27 December 2019

Published online: 13 January 2020

References

- Forouzanfar MH, Afshin A, Alexander LT, Anderson HR, Bhutta ZA, Biryukov S, et al. Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks, 1990–2015: a systematic analysis for the global burden of disease study 2015. *Lancet*. 2016;388(10053):1659–724.
- Bassett DR, Pucher J, Buehler R, Thompson DL, Crouter SE. Walking, cycling, and obesity rates in Europe, North America, and Australia. *J Phys Act Health*. 2008;5(6):795–814.
- Beaglehole R, Bonita R, Horton R, Adams C, Alleyne G, Asaria P, et al. Priority actions for the non-communicable disease crisis. *Lancet*. 2011;377(9775):1438–47.
- Richard L, Gauvin L, Raine K. Ecological models revisited: their uses and evolution in health promotion over two decades. *Annu Rev Public Health*. 2011;32:307–26.
- Althoff T, Hicks JL, King AC, Delp SL, Leskovec J. Large-scale physical activity data reveal worldwide activity inequality. *Nature*. 2017;547(7663):336.
- Cerin E, Nathan A, Van Cauwenberg J, Barnett DW, Barnett A. The neighbourhood physical environment and active travel in older adults: a systematic review and meta-analysis. *Int J Behav Nutr Phys Act*. 2017;14(1):15.
- Smith M, Hosking J, Woodward A, Witten K, MacMillan A, Field A, et al. Systematic literature review of built environment effects on physical activity and active transport—an update and new findings on health equity. *Int J Behav Nutr Phys Act*. 2017;14(1):158.
- Van Holle V, Deforche B, Van Cauwenberg J, Goubert L, Maes L, Van de Weghe N, et al. Relationship between the physical environment and different domains of physical activity in European adults: a systematic review. *BMC Public Health*. 2012;12(1):807.
- Garfinkel-Castro A, Kim K, Hamidi S, Ewing R. Obesity and the built environment at different urban scales: examining the literature. *Nutr Rev*. 2017;75(suppl_1):51–61.
- Martin A, Ogilvie D, Suhrcke M. Evaluating causal relationships between urban built environment characteristics and obesity: a methodological review of observational studies. *Int J Behav Nutr Phys Act*. 2014;11(1):142.
- Oliver M, Mavoa S, Badland H, Parker K, Donovan P, Kearns RA, et al. Associations between the neighbourhood built environment and out of school physical activity and active travel: an examination from the kids in the City study. *Health Place*. 2015;36:57–64.
- Den Braver N, Lakerveld J, Rutters F, Schoonmade L, Brug J, Beulens J. Built environmental characteristics and diabetes: a systematic review and meta-analysis. *BMC Med*. 2018;16(1):12.
- Chandrase M, Rachele J, Gunn L, Kavanagh A, Owen N, Turrell G, et al. Built environment and cardio-metabolic health: systematic review and meta-analysis of longitudinal studies. *Obes Rev*. 2019;20(1):41–54.
- Van Dyck D, Cerin E, Conway TL, De Bourdeaudhuij I, Owen N, Kerr J, et al. Perceived neighborhood environmental attributes associated with adults' transport-related walking and cycling: findings from the USA, Australia and Belgium. *Int J Behav Nutr Phys Act*. 2012;9(1):70.
- Christiansen LB, Cerin E, Badland H, Kerr J, Davey R, Troelsen J, et al. International comparisons of the associations between objective measures of the built environment and transport-related walking and cycling: IPEN adult study. *J Transp Health*. 2016;3(4):467–78.
- Sundquist K, Eriksson U, Mezuk B, Ohlsson H. Neighborhood walkability, deprivation and incidence of type 2 diabetes: a population-based study on 512,061 Swedish adults. *Health Place*. 2015;31:24–30.
- Kartschmit NSR, Sheldon MP, Moebus S, Greiser KH, Hartwig S. Walkability, physical activity and body mass index: Analyses of cross-sectional data of 5 German cohorts. Bremen: 13. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Epidemiologie; 2018.
- Lamb KE, White SR. Categorisation of built environment characteristics: the trouble with tertiles. *Int J Behav Nutr Phys Act*. 2015;12(1):19.
- Brown BB, Yamada I, Smith KR, Zick CD, Kowaleski-Jones L, Fan JX. Mixed land use and walkability: variations in land use measures and relationships with BMI, overweight, and obesity. *Health Place*. 2009;15(4):1130–41.

20. Brownson RC, Hoehner CM, Day K, Forsyth A, Sallis JF. Measuring the built environment for physical activity: state of the science. *Am J Prev Med*. 2009; 36(4):S99–S123 e12.
21. Berger K. DHS: the Dortmund health study. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz*. 2012;55(6–7):816–21.
22. Erbel R, Eisele L, Moebus S, Dragano N, Möhlenkamp S, Bauer M, et al. Die Heinz Nixdorf Recall Studie. *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz*. 2012;55(6–7):809–15.
23. Greiser KH, Kluttig A, Schumann B, Kors JA, Swenne CA, Kuss O, et al. Cardiovascular disease, risk factors and heart rate variability in the elderly general population: design and objectives of the CARdiovascular disease, living and ageing in Halle (CARLA) study. *BMC Cardiovasc Disord*. 2005;5(1):33.
24. Greiser KH, Kluttig A, Schumann B, Swenne CA, Kors JA, Kuss O, et al. Cardiovascular diseases, risk factors and short-term heart rate variability in an elderly general population: the CARLA study 2002–2006. *Eur J Epidemiol*. 2009;24(3):123.
25. Holle R, Happich M, Löwel H, Wichmann H-E, Group riftMKS. KORA-a research platform for population based health research. *Das Gesundheitswesen*. 2005;67(5 01):19–25.
26. John U, Hensel E, Lüdemann J, Piek M, Sauer S, Adam C, et al. Study of health in Pomerania (SHIP): a health examination survey in an east German region: objectives and design. *Sozial-und Präventivmedizin*. 2001;46(3):186–94.
27. Volzke H, Alte D, Schmidt CO, Radke D, Lorbeer R, Friedrich N, et al. Cohort profile: the study of health in Pomerania. *Int J Epidemiol*. 2010;40(2):294–307.
28. Lewis D, Mateos P, Longley P. Choice and the composition of general practice patient registries, 2009.
29. Schneider SL. Applying the ISCED-97 to the German educational qualifications. In: *The international standard classification of education*, Edited by: Schneider SL. Mannheim: MZES; 2008. p. 77–102.
30. Spiegelman D, Hertzmark E. Easy SAS calculations for risk or prevalence ratios and differences. *Am J Epidemiol*. 2005;162(3):199–200.
31. Zou G. A modified poisson regression approach to prospective studies with binary data. *Am J Epidemiol*. 2004;159(7):702–6.
32. SAS Institute 2017. Cary, North Carolina, USA.
33. Auchincloss AH, Roux AVD, Mujahid MS, Shen M, Bertoni AG, Carnethon MR. Neighborhood resources for physical activity and healthy foods and incidence of type 2 diabetes mellitus: the multi-ethnic study of atherosclerosis. *Arch Intern Med*. 2009;169(18):1698–704.
34. Booth GL, Creatore MI, Moineddin R, Gozdyra P, Weyman JT, Matheson FI, et al. Unwalkable neighborhoods, poverty, and the risk of diabetes among recent immigrants to Canada compared with long-term residents. *Diabetes Care*. 2013;36(2):302–8.
35. Glazier RH, Creatore MI, Weyman JT, Fazli G, Matheson FI, Gozdyra P, et al. Density, destinations or both? A comparison of measures of walkability in relation to transportation behaviors, obesity and diabetes in Toronto, Canada. *PLoS One*. 2014;9(11):e85295.
36. Creatore MI, Glazier RH, Moineddin R, Fazli GS, Johns A, Gozdyra P, et al. Association of neighborhood walkability with change in overweight, obesity, and diabetes. *Jama*. 2016;315(20):2211–20.
37. Christine PJ, Auchincloss AH, Bertoni AG, Carnethon MR, Sánchez BN, Moore K, et al. Longitudinal associations between neighborhood physical and social environments and incident type 2 diabetes mellitus: the multi-ethnic study of atherosclerosis (MESA). *JAMA Intern Med*. 2015;175(8):1311–20.
38. Tran MC, Schmidt JA. Walkability aus Sicht der Stadt-und Verkehrsplanung. In: Buksch J, Schneider S, editors. *Walkability. Ein Handbuch zur Bewegungsförderung in der Kommune*. Bern: Verlag Hans Huber; 2014.
39. Paquet C, Coffee NT, Haren MT, Howard NJ, Adams RJ, Taylor AW, et al. Food environment, walkability, and public open spaces are associated with incident development of cardio-metabolic risk factors in a biomedical cohort. *Health Place*. 2014;28:173–6.
40. Müller-Riemenschneider F, Pereira G, Villanueva K, Christian H, Knuijan M, Giles-Corti B, et al. Neighborhood walkability and cardiometabolic risk factors in Australian adults: an observational study. *BMC Public Health*. 2013; 13(1):755.
41. Dendup T, Feng X, Clingan S, Astell-Burt T. Environmental risk factors for developing type 2 diabetes mellitus: a systematic review. *Int J Environ Res Public Health*. 2018;15(1):78.
42. Naska A, Orfanos P, Trichopoulos A, May A, Overvad K, Jakobsen MJ, et al. Eating out, weight and weight gain. A cross-sectional and prospective analysis in the context of the EPIC-PANACEA study. *Int J Obes (Lond)*. 2011; 35(3):416.
43. Eze IC, Hemkens LG, Bucher HC, Hoffmann B, Schindler C, Künzli N, et al. Association between ambient air pollution and diabetes mellitus in Europe and North America: systematic review and meta-analysis. *Environ Health Perspect*. 2015;123(5):381–9.
44. Margolis KL, Qi L, Brzyski R, Bonds DE, Howard BV, Kempainen S, et al. Validity of diabetes self-reports in the Women's Health Initiative: comparison with medication inventories and fasting glucose measurements. *Clin Trials*. 2008;5(3):240–7.
45. Molenaar EA, Ameijden EJV, Grobbee DE, Numans ME. Comparison of routine care self-reported and biometrical data on hypertension and diabetes: results of the Utrecht health project. *Eur J Publ Health*. 2006;17(2): 199–205.

Publisher's Note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Ready to submit your research? Choose BMC and benefit from:

- fast, convenient online submission
- thorough peer review by experienced researchers in your field
- rapid publication on acceptance
- support for research data, including large and complex data types
- gold Open Access which fosters wider collaboration and increased citations
- maximum visibility for your research: over 100M website views per year

At BMC, research is always in progress.

Learn more biomedcentral.com/submissions



Anhang Publikation 2

Additional file

Table 1. Association between walkability and T2D by age group.

	Prevalent T2D			Incident T2D		
	n	RR	95 % CI	n	RR	95 % CI
Impedance						
20 - 40 years	3013	1.01	0.71, 1.44	2286	1.20	0.97, 1.48
41 - 60 years	6900	0.92	0.83, 1.02	5709	0.94	0.85, 1.03
over 61 years	6095	1.07	1.00, 1.14	4110	1.02	0.94, 1.12
Transit stations						
20 - 40 years	3013	1.17	0.81, 1.69	2286	0.78	0.55, 1.11
41 - 60 years	6900	1.10	0.98, 1.23	5709	1.10	0.99, 1.22
over 60 years	6095	1.00	0.93, 1.09	4110	1.05	0.95, 1.16
Points of interest						
20 - 40 years	3013	1.15	0.82, 1.62	2286	0.85	0.66, 1.11
41 - 60 years	6900	1.15	1.05, 1.28	5709	1.03	0.94, 1.13
over 60 years	6095	1.01	0.94, 1.08	4110	1.02	0.94, 1.12

Adjusted models are controlled for sex, education, and cohort. T2D, type 2 diabetes; RR, relative risk; CI, confidence interval. RR are from modified Poisson regression models and reported per 1 standard deviation of walkability measures. RR over 1 indicate higher risk of T2D in areas with more transit stations and POI (indicators of better walkability). RR over 1 indicate higher risk of T2D in areas with higher impedance (indicator of poorer walkability).

Table 2. Association between walkability and T2D adjusted for practicing sports.

	Prevalent T2D (n=15919)		Incident T2D (n = 12040)	
	RR	95 % CI	RR	95 % CI
Impedance	1.02	0.97, 1.08	1.00	0.94, 1.07
Transit stations	1.03	0.96, 1.10	1.05	0.98, 1.13
POI	1.05	0.99, 1.11	1.01	0.95, 1.08

Adjusted models are controlled for sex, age at baseline, education, practicing sports, and cohort. T2D, type 2 diabetes; RR, relative risk; CI, confidence interval. RR are from modified Poisson regression models and reported per 1 standard deviation of walkability measures. RR over 1 indicate higher risk of T2D in areas with more transit stations and POI (indicators of better walkability). RR over 1 indicate higher risk of T2D in areas with higher impedance (indicator of poorer walkability).

2.5 Poster 1: Walkability und Zufußgehen und Fahrradfahren bei Personen über 64 Jahre

Poster Number: PO.T306
 IAGG-ER - International Association of Gerontology and Geriatrics for the European Region Conference 23rd – 25th of May 2019

imebi Martin-Luther-University Halle-Wittenberg, Medical Faculty
 Institute of Medical Epidemiology, Biometrics and Informatics
 Head: Prof. Dr. Rafal Mikolajczyk
 rafal.mikolajczyk@uk-halle.de



Neighborhood Walkability and its association with walking and cycling behavior among adults aged 65 years and older: A cross-sectional analysis of pooled data from two German cohort studies

Nadja Kartachmit¹, Mark Patrick Sheldon², Karin Halina Greiser⁴, Saskia Hartwig³, Detlef Thüchsen³, Ulrike Stentszel³, Neelje van den Berg³, Rafal Mikolajczyk¹, Andreas Wienke¹, Alexander Klitting³, Gavin Rudge³
¹Martin-Luther-University Halle-Wittenberg, Germany; ²University of Birmingham, England; ³University Medicine Greifswald, Germany; ⁴German Cancer Research Center DKEZ, Heidelberg, Germany
⁵DZD - German Center for Diabetes Research

Background	Results																																					
<p>Characteristics of the built environment could promote active and healthy aging by enhancing walking and cycling behavior in older adults.</p> <p style="background-color: #92d050; text-align: center;">Objectives</p> <p>To examine the relationship of walkability with walking and cycling (assessed with items of the Baecke questionnaire [1]) in adults aged 65 years and older.</p> <p style="background-color: #92d050; text-align: center;">Study Population</p> <p>Pooled cross-sectional data of two German cohort studies:</p> <ul style="list-style-type: none"> CARLA study in the city of Halle (Saale) (n=835) SHIP study in the city of Greifswald and surroundings (n=566) <p style="background-color: #92d050; text-align: center;">Walkability Measures</p> <p>Creation of three walkability layers using OpenStreetMap information and ESRI version 10.1 and 10.4 (Redlands, California, USA, 2012)</p> <ul style="list-style-type: none"> Points of interest Transit stations Impedance, restrictions to walking/cycling, e.g. due to geographical barriers (Figure 1) <p>within 640 meter radius</p> <p>Each measure assigned to participant's addresses</p>	<ul style="list-style-type: none"> Right skewed distribution of walkability measures (Figure 2) Higher proportion of people who walk often/very often when compared to people who cycle often/very often (Table 1) No nonlinear associations between walkability measures and outcomes Higher number of points of interest and transit stations are associated with higher odds, higher impedance associated with lower odds of walking very often/often (Table 2) No association between walkability and cycling (Table 2) 																																					
<p>Figure 1. Impedance layer of (A) Greifswald (B) Halle. Lighter areas represent less walkable areas when compared to darker areas. Boundaries, transport network, and points of interest were provided by Geofabrik Germany</p>	<p>Figure 2. Distributions of (A) impedance score (B) points of interest (C) transit stations (D) age</p>																																					
<p>Table 1. Sample characteristics (n=1401)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>n (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Females</td><td>795 (56.7)</td></tr> <tr><td>Males</td><td>606 (43.3)</td></tr> <tr><td>9/10 years of education</td><td>234 (16.7)</td></tr> <tr><td>12/13 years of education</td><td>571 (40.8)</td></tr> <tr><td>14-17 years of education</td><td>297 (21.2)</td></tr> <tr><td>18+ years of education</td><td>299 (21.3)</td></tr> <tr><td>Walking very often/often</td><td>958 (68.4)</td></tr> <tr><td>Walking sometimes/seldom/never</td><td>443 (31.6)</td></tr> <tr><td>Cycling very often/often</td><td>385 (27.5)</td></tr> <tr><td>Cycling sometimes/seldom/never</td><td>1016 (72.5)</td></tr> </tbody> </table>		n (%)	Females	795 (56.7)	Males	606 (43.3)	9/10 years of education	234 (16.7)	12/13 years of education	571 (40.8)	14-17 years of education	297 (21.2)	18+ years of education	299 (21.3)	Walking very often/often	958 (68.4)	Walking sometimes/seldom/never	443 (31.6)	Cycling very often/often	385 (27.5)	Cycling sometimes/seldom/never	1016 (72.5)	<p>Table 2. Association between walkability measures (per one standard deviation) and walking and cycling</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Walking very often/often^a</th> <th>Cycling very often/often^b</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Odds Ratio (95% CI)</th> <th>Odds Ratio (95% CI)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Impedance</td><td>0.96 (0.94, 0.98)</td><td>0.99 (0.96, 1.01)</td></tr> <tr><td>Transit stations</td><td>1.06 (1.02, 1.09)</td><td>0.99 (0.96, 1.02)</td></tr> <tr><td>Points of interest</td><td>1.04 (1.02, 1.07)</td><td>0.99 (0.97, 1.02)</td></tr> </tbody> </table> <p>CI, Confidence Interval; standard deviation points of interest: 4.7; transit stations: 2.8; impedance: 320. ^awhen compared to people walking sometimes/seldom/never ^bwhen compared to people cycling sometimes/seldom/never</p>		Walking very often/often ^a	Cycling very often/often ^b		Odds Ratio (95% CI)	Odds Ratio (95% CI)	Impedance	0.96 (0.94, 0.98)	0.99 (0.96, 1.01)	Transit stations	1.06 (1.02, 1.09)	0.99 (0.96, 1.02)	Points of interest	1.04 (1.02, 1.07)	0.99 (0.97, 1.02)
	n (%)																																					
Females	795 (56.7)																																					
Males	606 (43.3)																																					
9/10 years of education	234 (16.7)																																					
12/13 years of education	571 (40.8)																																					
14-17 years of education	297 (21.2)																																					
18+ years of education	299 (21.3)																																					
Walking very often/often	958 (68.4)																																					
Walking sometimes/seldom/never	443 (31.6)																																					
Cycling very often/often	385 (27.5)																																					
Cycling sometimes/seldom/never	1016 (72.5)																																					
	Walking very often/often ^a	Cycling very often/often ^b																																				
	Odds Ratio (95% CI)	Odds Ratio (95% CI)																																				
Impedance	0.96 (0.94, 0.98)	0.99 (0.96, 1.01)																																				
Transit stations	1.06 (1.02, 1.09)	0.99 (0.96, 1.02)																																				
Points of interest	1.04 (1.02, 1.07)	0.99 (0.97, 1.02)																																				
<p style="background-color: #92d050; text-align: center;">Statistical Analysis</p> <ul style="list-style-type: none"> Generalized additive models to examine association between each walkability measure and outcomes Nonlinearities checked based on Akaike Information Criterion (AIC); difference in AIC ≥ 10 comparing models with linear vs. nonlinear terms considered meaningful Adjustment for sex, age, education, and cohort Walkability measures were log-transformed and z-standardized 	<p style="background-color: #92d050; text-align: center;">Discussion</p> <p>While our results support an effect of the walkability measures with walking, we could not show this for cycling. This might be due to the fact that the distances that can easily be covered by cycling are higher than captured by the defined cut points, or that other measures, such as availability of cycle paths, would better describe the association of cycling and environmental factors.</p>																																					

[1] Baecke JA, Burema J, Frijters JE. 1982. A short questionnaire for the measurement of habitual physical activity in epidemiological studies. The American Journal of Clinical Nutrition 36:936-942.



This poster presents independent research funded by the National Institute for Health Research (NIHR) Collaborations for Leadership in Applied Health Research and Care the West Midlands. The views expressed are those of the author(s) and not necessarily those of the NIHR or the Department of Health.

2.6 Poster 2: Walkability und prävalenter und inzidenter Diabetes

German Association for Medical Informatics, Biometry and Epidemiology (GMDS)
Annual Conference in Dortmund, 08 - 11 September 2019
Correspondence to: alexander.kluttig@uk-halle.de



Walkability and its association with prevalent and incident diabetes among adults in different regions of Germany: Results of pooled data from five German cohorts

Nadja Kartschmit^{1,4}, Mark Patrick Sheldon², Robynne Sutcliffe³, Susanne Moebus⁵, Karin Halina Greiser^{4,1}, Saskia Hartwig^{1,8}, Detlef Thürkow¹, Ulrike Stentzel⁶, Neeltje van den Berg⁷, Kathrin Wolf⁶, Werner Maier⁵, Uta Slomiany³, Corinna Köhnke⁷, Rafał Mikołajczyk^{1,8}, Andreas Wienke¹, Alexander Kluttig¹ and Gavin Rudge²

¹Martin-Luther-University Halle-Wittenberg, Germany; ²University of Birmingham, Great Britain; ³University Clinic Essen, Germany; ⁴German Cancer Research Center DKFZ Heidelberg, Germany; ⁵University Medicine Greifswald, Germany; ⁶Helmholtz Zentrum München, Neuherberg, Germany; ⁷University of Münster, Germany; ⁸German Center for Diabetes Research (Deutsches Zentrum für Diabetisforschung DZD)

Background and aim

Walkable neighborhoods, characterized by high land-use mix and street connectivity, may increase physical activity and hence decrease the risk for type 2 diabetes (T2D). We aimed to investigate the association between walkability and prevalent and incident T2D.

Study population

Pooled cross-sectional and longitudinal data from five German cohorts in different regions of the country
Heinz Nixdorf Recall Study (West)
Dortmund Health Study (West)
Cooperative Health Research in the Region of Augsburg Survey (South)
Cardiovascular Disease Living and Ageing in the City of Halle Study (East)
Study of Health in Pomerania (North-East)

Walkability measures

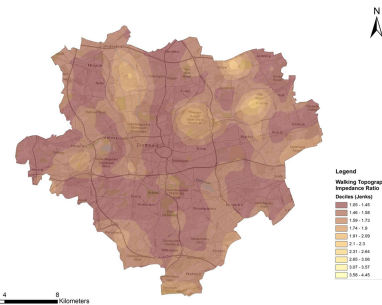
Creation of three walkability layers for each of the study areas using OpenStreetMap information and ESRI version 10.1 and 10.4 (Redlands, California, USA, 2012)

Points of interest (POI) - including cash machines, banks, bars, beer gardens, cafés, fast food restaurants, pharmacies, pubs, restaurants, and post offices

Transit stations - including bus stops, tram stops, subway entrances, bus stations, and ferry terminals

Impedance - restrictions to walking due to physical barriers such as rivers or the absence of intersections and pathways (Figure 1) within 640 meter radius

Each measure was assigned to participants' baseline addresses



© OpenStreetMap Contributors

Figure 1. Impedance layer of Dortmund.

Lighter areas represent less walkable areas when compared to darker areas. Boundaries, transport network, and points of interest were provided by Geofabrik Germany

Statistical analysis

Participant characteristics summarized as mean (standard deviation [SD]) for normally distributed continuous variables and median (interquartile range) for non-normally distributed variables

Modified Poisson regression models with robust error variance

Adjustment for education, sex, age at baseline, and cohort.

Walkability measures were log-transformed and z-standardized

Results and discussion

Of the 16,008 baseline participants, 1,256 participants had prevalent T2D. Participants free from T2D at baseline were followed over a mean of 9.2 years (SD: 3.5, minimum: 1.6, maximum: 14.8 years). Of these, 1,032 participants developed T2D (Table 1).

Table 1. Characteristics of participants

		Prevalent T2D at baseline (N = 1,256)	No T2D at baseline (N = 14,752)	Incident T2D during follow-up (N = 1,032)	No T2D during follow-up (N = 11,073)
Male	n (%)	707 (56.3)	7231 (49.0)	588 (57.0)	5271 (47.6)
Age	mean (SD)	63.9 (9.8)	53.5 (13.9)	59.0 (9.9)	52.9 (13.4)
Education					
9-10 years	n (%)	260 (20.7)	1598 (10.8)	112 (10.9)	1012 (9.1)
12-13 years	n (%)	613 (48.8)	7722 (52.3)	575 (55.7)	5731 (51.8)
14-17 years	n (%)	218 (17.4)	2786 (18.9)	189 (18.3)	2168 (19.6)
≥ 18 years	n (%)	165 (13.1)	2646 (17.9)	156 (15.1)	2162 (19.5)
Impedance	mean (SD)	1623.9 (307.4)	1616.1 (289.9)	1615.3 (267.1)	1616.5 (288.6)
Transit stations	median (Q1-Q3)	4.6 (2.7-6.9)	4.3 (2.3-6.9)	4.7 (2.5-7.1)	4.3 (2.4-6.9)
POI	median (Q1-Q3)	5.0 (2.3-10.1)	4.8 (2.1-9.5)	5.3 (2.6-9.8)	4.8 (2.2-9.0)

T2D, type 2 diabetes; SD, standard deviation; Q, quartile, POI, points of interest

Overall, we found no associations between walkability measures and prevalent and incident T2D with all estimates close to one. The relatively homogenous walkability in our population might explain the lack of association with T2D. There are some limitations of the walkability measures. Variety of POI was not explicitly taken into account and bus and tram stops might be very different in quality, according to high or low frequency routes. While impedance indicates lack of walkable streets, it can include rivers and forests which might be on the other hand highly attractive for walking.

Table 2. Association between T2D and walkability

	Prevalent T2D (N = 16,008)		Incident T2D (N = 12,105)	
	RR	95 % CI	RR	95 % CI
Impedance				
Crude	1.02	0.97, 1.08	1.00	0.94, 1.05
Adjusted	1.03	0.97, 1.09	1.00	0.94, 1.06
Transit stations				
Crude	1.05	0.99, 1.10	1.07	1.01, 1.13
Adjusted	1.03	0.97, 1.10	1.05	0.98, 1.13
POI				
Crude	1.04	0.99, 1.09	1.06	0.99, 1.12
Adjusted	1.05	0.99, 1.11	1.01	0.95, 1.08

T2D, type 2 diabetes; RR, relative risk; CI, confidence interval, POI, points of interest. RR are from modified Poisson regression models and reported per 1 standard deviation of walkability measures. Adjusted models are controlled for sex, age at baseline, education, and cohort.



Kapitel 3

Diskussion

3.1 Diskussion mit Ergebnissen des Forschungsstandes

Walkability und körperliche Aktivität

Zahlreiche systematische Übersichtsarbeiten zeigten einen Zusammenhang zwischen höherer Anzahl an Haltestellen und Interessenpunkten und gesteigertem Bewegungsverhalten, was sich mit den Ergebnissen dieser Arbeit deckt. Die Prävalenz zu Fuß zu gehen/mit dem Fahrrad zu fahren nahm mit steigender Impedanz ab [77]. Dies ist konsistent mit der Annahme, dass Impedanz ein Maß für fehlende Konnektivität darstellt [34, 40].

Die aus der Tradition der Verkehrs- und Stadtplanung stammenden Walkability Maße scheinen auch in Deutschland mit dem Bewegungsverhalten assoziiert zu sein.

Eine Analyse der KORA Kohorte zeigte, dass die Assoziation der Walkability Maße mit dem Zufußgehen und dem Fahrradfahren vergleichbar waren, wenn auch die Assoziationen mit dem Fahrradfahren weniger präzise waren. Eine weitere Analyse zeigte, dass in der Altersgruppe der über 64 Jahre alten Personen die Walkability Maße mit dem Zufußgehen assoziiert waren, jedoch nicht mit dem Fahrradfahren [78]. In unserer Analyse gaben lediglich 27% an, oft und sehr oft Fahrrad zu fahren. Ältere Personen könnten unabhängig von der Walkability das Fahrrad eher selten nutzen. Die Erkenntnisse decken sich mit bisheriger Forschung und zeigen, dass die Art der Bewegung und das Alter bei der Assoziation zwischen Walkability und Bewegungsverhalten berücksichtigt werden müssen [35, 40, 44].

Walkability und Body Mass Index

In Einklang mit einigen bisherigen Forschungsergebnissen [53, 54] war die Assoziation zwischen Walkability und BMI nicht konsistent [77]. Dieser Zusammenhang, der in Studien aus Nordamerika und Australien beobachtet wurde, ist auch in unserer Studie zu sehen. Zu erwarten gewesen wäre, dass in deutschen Städten mit kürzeren Distanzen und zentralem Stadtkern, in der häufiger Strecken zu Fuß oder mit dem Fahrrad zurückgelegt werden, der BMI bei besserer Walkability geringer ist. Das dies in unserer Studie nicht bestätigt werden kann, könnte mehrere Gründe haben:

Der nur leichte Anstieg an Bewegung in Form von Gehen und Fahrradfahren durch Walkability könnte nicht stark genug sein, um den BMI zu beeinflussen. Nicht nur die Dauer, sondern auch die Intensität der Bewegung beeinflussen den BMI. Außerdem bestimmen außer Bewegung auch andere Faktoren den BMI [79, 80]. Ernährung könnte zum Beispiel eine wichtigere Rolle für den BMI spielen als Bewegung [81].

Zudem unterschieden sich die Zusammenhänge zwischen Walkability und BMI in den einzelnen Kohorten. Die urbanen Kohorten wiesen auf eine Erhöhung des BMI mit steigender Anzahl von Haltestellen hin. Eine hohe Anzahl von Haltestellen ist eher in urbanen Gebieten gegeben. Urbane und rurale Gebiete könnten sich bezüglich der Assoziation zwischen den gemessenen Walkability Indikatoren und dem BMI unterscheiden.

Das Food Environment ist ein wichtiger Faktor, der sowohl mit Urbanität und Walkability als auch mit Übergewicht und einem erhöhten Diabetes Typ 2 Risiko einhergehen könnte [82–84]. Dies könnte für die fehlenden Assoziationen verantwortlich sein. Food Environment bezieht sich auf die ökonomischen, soziokulturellen, politischen und physischen Gegebenheiten, die die Wahl von Nahrungsmitteln beeinflussen [85].

Walkability und Diabetes Typ 2

In Bezug auf Diabetes Typ 2 deuten die Ergebnisse auf eine fehlende Assoziation mit Walkability in den untersuchten Regionen hin [86, 87]. Somit weichen einige vorangegangene Studien aus Nordamerika und Australien mit den Ergebnissen dieser Studie ab [67, 69, 71]. Ein Vergleich mit Studien zum Zusammenhang mit Diabetes ist nur bedingt möglich, da im Gegensatz zu unserer Studie die meisten Studien Scores nutzen [36, 59, 60].

Eine Studie aus Schweden zeigte keinen bedeutenden Zusammenhang zwischen einem

Walkability Index sowie dessen einzelnen Komponenten und Diabetes Inzidenz in der Stadt Stockholm. Zu beachten ist allerdings, dass die Studie aus Stockholm nur Probanden mit medikamentös behandeltem Diabetes eingeschlossen hat, was zu diesem Nullergebnis geführt haben könnte [61].

In Anbetracht der schwachen und inkonsistenten Assoziationen zwischen Walkability und BMI sind die nicht vorhandenen Assoziationen mit Diabetes Typ 2 in dieser Studie plausibel. Die schwachen, beziehungsweise inkonsistenten Assoziationen mit dem BMI könnten keine Auswirkungen auf das Diabetes Typ 2 Risiko haben, ein in der kausalen Kette entfernterer Endpunkt als der BMI.

Auch wenn Walkability zu einem gesteigerten Bewegungsverhalten beitragen könnte, so gibt es andere Faktoren, die mit den klassischen Walkability Maßen einhergehen und die die positiven Auswirkungen von Bewegung abschwächen könnten. Diese könnten zum Beispiel Verkehrslärm und Luftverschmutzung sein, welche das Diabetes Typ 2 Risiko erhöhen könnten [88, 89].

Es wurden verschiedene Regionen in die Studie eingeschlossen, um die Variabilität der Walkability Maße zu erhöhen. Trotzdem kann es sein, dass die Kontraste von Walkability innerhalb eines Landes wie Deutschland nicht groß genug sein könnten, um starke Unterschiede bezüglich der Endpunkte beobachten zu können [54]. Dies könnte ebenfalls die schwachen und inkonsistenten, beziehungsweise nicht vorhandenen Assoziationen erklären.

3.2 Stärken und Schwächen der Arbeit

Diskussion des Studiendesigns

Die wohl größte Stärke der Studie ist, dass unterschiedliche Städte und Regionen in Deutschland eingeschlossen wurden und somit ein großer Teil eines europäischen Landes abgedeckt wurde. Die meisten vorangegangenen Studien haben lediglich eine Stadt in einem Land eingeschlossen [49, 62, 90–92]. Zudem stammen die meisten Studien hauptsächlich aus Nordamerika und Australien [34, 50, 93]. Diese Studie ermöglichte es nun, die Zusammenhänge in Deutschland darzustellen.

Bis auf die Analyse zum inzidenten Diabetes, sind alle Analysen Querschnittsanalysen und es lag keine Information vor, wie lange die Probanden an ihrem Wohnort wohnten. Somit ist unklar, wie lange sie der Exposition einer guten oder schlechten Walkability ausgesetzt

waren. Querschnittsanalysen haben den Nachteil, dass sie in der Regel keine Aussage über kausale Zusammenhänge erlauben. Besser geeignet sind neben longitudinalen Studien auch experimentelle oder quasi-experimentelle Studien oder „natural experiments“ um den Effekt von Walkability auf das Bewegungsverhalten und Gesundheitsoutcomes zu untersuchen [94, 95]. Zudem wurde wegen des Querschnittsdesigns und der zeitlichen Differenz zwischen Erfassung von BMI und Walkability auf eine Mediatorenanalyse verzichtet [96, 97]. So kann die Studie keine Aussage darüber treffen, ob der geringere BMI in einigen Kohorten durch gesteigertes Bewegungsverhalten aufgrund von besserer Walkability oder anderen Faktoren entstanden ist.

Ein Schwachpunkt des Studiendesigns ist, dass als gegeben angenommen wird, dass Menschen gehen, beziehungsweise Fahrrad fahren, um in der näheren Umgebung liegende Haltestellen oder Interessenpunkte zu erreichen. Dies muss aber nicht zwangsläufig der Fall sein. Global Positioning System (GPS) Daten sind eine Möglichkeit, diese in der Studie nicht hinterfragte Annahme zu untersuchen. Die GPS Daten ermöglichen es, die von Probanden zurückgelegten Wegstrecken zu erfassen und zu untersuchen, wo Bewegung tatsächlich stattfindet. Daraufhin können die Merkmale der gebauten Umwelt dieser Strecken untersucht werden. Die Frage, welche Merkmale der gebauten Umwelt mit Bewegung assoziiert sind, kann somit aus einer anderen Richtung heraus beantwortet werden [98]. Allerdings ermöglicht auch dieses Verfahren nicht die Beantwortung der Frage, welche tatsächlichen Beweggründe die Wahl einer bestimmten Wegestrecke bestimmen. Quantitative Methoden sollten daher um qualitative Methoden ergänzt werden, wie Fokusgruppeninterviews oder Wegetagebücher, die diese Beweggründe identifizieren können [99–102]. Die vorliegende Studie kann diese Fragen nicht beantworten.

Diskussion der Messung von Walkability

In dieser Arbeit wurden Daten zum Wegenetz, Transportnetzwerk und den Interessenpunkten von OpenStreetMap (OSM) bereitgestellt. Zwar existieren Anleitungen, wie die Daten zu erfassen sind, diese können aber von jedem Nutzer individuell abgeändert werden. Die unter Umständen nicht gegebene Vollständigkeit und Aktualität der lizenzfreien Daten könnte bei OSM ein Problem darstellen. Studien zeigen allerdings, dass OSM Daten bereits mit Daten kommerzieller und amtlicher Geoinformationssysteme konkurrieren können. Nichtsdestotrotz ist Vollständigkeit in sehr ländlichen Gebieten teilweise nicht gegeben und es könnten Messfehler aufgetreten sein [103, 104].

Die Dichte an Interessenpunkten wurde innerhalb fußläufiger Polygone berechnet. So

bezieht sich die Dichte der Anlaufstellen auf die unmittelbare Umgebung der Probanden. Die Vielfalt an Interessenpunkten wurde bei der Dichteberechnung allerdings nicht berücksichtigt. Nicht nur die Dichte, sondern insbesondere die Diversität der Interessenpunkte beeinflusst allerdings das Bewegungsverhalten und dies wird mit dem in dieser Arbeit verwendeten Maß nicht abgebildet [105].

Ein Nachteil der Dichte an Haltestellen des ÖPNV als Walkability Maß ist, dass dieses Maß nicht die Wahl des Zielortes abbildet. Ein Wohnort nahe einer Hauptverkehrsroute könnte viele Haltestellen haben, die aber nur eine Route bedienen. Andererseits könnte ein Wohnort viele Haltestellen in der Nähe haben, welche allerdings mehrere Routen in unterschiedliche Richtungen bedienen und somit eine bessere Verkehrsanbindung darstellen. Die alleinige Dichte an Haltestellen kann zwischen diesen beiden oben genannten Zuständen nicht differenzieren. Zudem erlaubt die Dichte an Haltestellen keine Aussage über die Transportfrequenz. Haltestellen, die nicht häufig bedient werden, könnten nicht oft in Anspruch genommen werden und die Nutzung eines Autos trotz Anbindung an den ÖPNV notwendig machen und somit das transportbezogene Gehen reduzieren. Zusätzlich sind die unterschiedlichen Haltestellen nicht gewichtet worden, sodass zum Beispiel eine Bushaltestelle genauso viel Gewicht hat wie ein Gleis an einem Bahnhof.

Kreuzungsdichte wird am häufigsten genutzt, um das Vorhandensein, beziehungsweise das Nichtvorhandensein von Barrieren abzubilden [73]. Im Gegensatz zur Kreuzungsdichte ermöglicht das hier genutzte Impedanz Maß darzustellen, wie schwierig ein bestimmter Punkt in der näheren Umgebung zu erreichen ist. Hierfür werden Wege zu Zielpunkten in verschiedenen Richtungen vom Ausgangspunkt mit der Euklidischen Distanz zu diesen Zielpunkten verglichen [31]. Ob Impedanz ein zuverlässigeres Walkability Maß als Kreuzungsdichte ist, ist nicht untersucht worden und sollte Ziel weiterer Forschung sein. Die Berechnung der Walkability Maße erfolgte im Bereich von 640 Metern am Wohnort der Probanden, was als kurze Wegstrecke definiert wurde. Es existiert kaum Evidenz zu der Frage, wie eine kurze Wegstrecke zu definieren ist. Die Wahl von 640 Metern stützt sich lediglich auf eine Veröffentlichung aus England [106]. Ob für die deutsche Bevölkerung 640 Meter eine kurze Wegstrecke darstellen, ist unklar [107]. Zudem unterscheidet sich die Definition einer kurzen Wegstrecke auch von Umweltbedingungen, Sicherheitsaspekten und zwischen verschiedenen Altersgruppen [108].

Es herrschen sehr unterschiedliche Vorstellungen darüber, welche Indikatoren eine bewegungsfreundliche Umgebung ausmachen [18]. Die Ergebnisse der Arbeit könnten stark von den

genutzten Walkability Indikatoren beeinflusst sein. Insgesamt wurden lediglich drei Walkability Indikatoren betrachtet, die eher für das transportbezogene Gehen entscheidend sein könnten. Feinmerkmale sowie subjektiv erlebte Walkability als auch Indikatoren, die eher mit freizeitbezogener Bewegung oder dem Fahrradfahren in Verbindung stehen, wurden nicht berücksichtigt [109]. Die in dieser Arbeit berücksichtigten Grobmerkmale geben zwar Hinweise auf deren Zusammenhänge mit den untersuchten Endpunkten, können aber zu ungenau sein, um bestimmte Wirkmechanismen der gebauten Umwelt auf das Bewegungsverhalten zu beschreiben [17]. Zudem wurde nur die Walkability am Wohnort untersucht. Freizeitbezogenes Gehen findet auch häufig außerhalb der Wohnumgebung statt, was hier unberücksichtigt blieb. Im Hinblick auf das sozial-ökologische Modell könnte es zielführender sein, für verschiedene Aktivitäten dazu passende Walkability Indikatoren zu identifizieren und deren jeweiligen Beitrag zum Bewegungsverhalten zu bewerten [13].

Die wohl größte Limitation dieser Arbeit ist, dass die Erfassung der Exposition nach der Erfassung der untersuchten Endpunkte erfolgte. Die Informationen der Studienteilnehmer liegen zum Teil 10 Jahre vor der Erfassung der Walkability, was zu einer Fehlklassifikation der Walkability geführt haben könnte. Bei einer Veränderung der Walkability, die gleichermaßen in den unterschiedlichen Regionen erfolgte, sollte die Fehlklassifikation der Walkability die geschätzte Assoziation nicht zu sehr verzerrt haben.

Eine weitere Schwäche der Arbeit ist, dass nicht alle Adressen der Probanden geokodiert werden konnten und so ergaben sich fehlende Werte für die Walkability Indikatoren. Die meisten dieser Probanden kamen aus einer Kohorte (die rurale SHIP Kohorte), was zu einer Verzerrung der Ergebnisse geführt haben könnte.

Eine weitere Schwäche ist, dass die Walkability Maße, die in unserer Studie verwendet wurden, bisher nicht validiert worden sind. Ob zum Beispiel das Impedanz Maß tatsächlich konsistenter mit dem Bewegungsverhalten assoziiert ist als Kreuzungsdichte, soll Teil einer geplanten Validierungsstudie sein.

Diskussion der Messung der untersuchten Endpunkte

Eine Limitation auf Seite der Definitionen der Endpunkte ist, dass das Zuzußgehen/Fahrradfahren lediglich in zwei Kategorien aufgeteilt wurde und auf Selbstangaben beruhte. Bewegung mit einem Beschleunigungssensor zu messen, wäre wesentlich genauer gewesen und würde zusätzlich eine Verzerrung durch soziale Erwünschtheit ausschließen, die in Selbstangaben inhärent ist

[110]. Außerdem wurde die Intensität der Bewegung nicht berücksichtigt. Ob jemand für mehr als eine Stunde täglich mit hoher Intensität Fahrrad fährt oder lediglich für etwas über eine halbe Stunde gemächlich zu Fuß geht, kann unterschiedliche Auswirkungen auf Gesundheitsoutcomes haben [111]. Hier zeigt sich auch noch eine andere Schwäche: Aufgrund der Fragestellung im zugrundeliegenden Fragebogen konnten Zuzußgehen und Fahrradfahren nicht als getrennte Outcomes betrachtet werden, sondern wurden gemeinsam beurteilt. Einige Walkability Indikatoren könnten das Zuzußgehen fördern, jedoch nicht das Fahrradfahren. Die Analyse der Personen über 64 Jahre liefert hierfür Hinweise [87]. In der Sensitivitätsanalyse für die KORA Kohorte zeigte sich allerdings, dass die Schätzer für Zuzußgehen und Fahrradfahren vergleichbar waren, wenn auch die Schätzer für Fahrradfahren weniger präzise waren und die Konfidenzintervalle die 1 einschlossen. Eine weitere Schwäche ist, dass es nicht möglich gewesen ist, zwischen transport- und freizeitbezogenem Zuzußgehen und Fahrradfahren zu unterscheiden. Der Bereich in der Nähe eines Flusses zum Beispiel (repräsentiert durch ein hohes Maß an Impedanz), könnte für die transportbezogene Bewegung hinderlich sein, nicht aber für freizeitbezogene, da diese Strecke als geeignet zum Joggen oder Spaziergehen wahrgenommen werden könnte [15, 112, 113].

Als weiterer Endpunkt wurde der BMI betrachtet. Vorangegangene Studien zeigten, dass das Verhältnis des Taillenumfangs zur Körpergröße (Waist-to-Height-Ratio) oder auch der Taillenumfang bessere Prädiktoren für das Risiko kardio-metabolischer Erkrankungen sind als der BMI [114]. Der Vorteil der BMI Messung im Gegensatz zum Großteil vorhandener Studien ist, dass dieser in allen Kohorten mit anthropometrischen Methoden und nicht aus Selbstangaben berechnet worden ist.

Eine Schwäche der Studie ist, dass der prävalente und inzidente Diabetes auf Selbstangaben beruhte. Ergebnisse zahlreicher Studien konnten jedoch zeigen, dass die Validität des Diabetes beruhend auf Selbstangaben im Allgemeinen sehr hoch ist [115, 116]. Zudem lag die Information nicht vor, ob es sich um Diabetes Typ 1 oder 2 handelte. Es handelt sich lediglich bei 10% der Diabetes Fälle weltweit um Diabetes Typ 1 [117]. Diese fehlende Unterscheidung sollte die Ergebnisse nicht zu sehr beeinflusst haben. Zudem wurden bei der Berechnung des inzidenten Diabetes in einer Sensitivitätsanalyse alle Probanden unter 30 Jahren ausgeschlossen, um potenzielle Diabetes Typ 1 Fälle auszuschließen [118].

Diskussion der statistischen Analyse

Eine Stärke der Studie ist, dass die Walkability Indikatoren nicht kategorisiert und die Linearität in der Assoziation mit den Endpunkten geprüft worden ist. Vorangegangene Studien zeigten, dass der Zusammenhang zwischen Walkability und den untersuchten Endpunkten nicht linear sein könnte, weshalb die Linearität in diesen Assoziationen geprüft werden sollte [49, 91].

Obwohl bisherige Studien eher auf einen inkonsistenten Zusammenhang zwischen Walkability und BMI hinweisen, zeigten systematische Übersichtsarbeiten, dass ein Zusammenhang zwischen Walkability und Diabetes Typ 2 bestehen könnte. Dies erscheint auf den ersten Blick nicht plausibel.

Studien, die den BMI untersuchten, nutzten häufig einzelne Walkability Maße während Studien, die Diabetes Typ 2 untersuchten häufig Walkability Scores nutzten. Studien, die einen Score nutzen und beide Endpunkte betrachteten, konnten Zusammenhänge mit beiden Endpunkten zeigen [69, 71]. Cochrane et al. (2019) beschrieben, dass Walkability Scores stärker mit dem BMI assoziiert waren als einzelne Walkability Maße [90]. Das in dieser Studie ein inkonsistenter, beziehungsweise kein Zusammenhang zwischen Walkability und BMI und Diabetes Typ 2 gezeigt werden konnte, könnte daher auch an der Operationalisierung von Walkability in dieser Studie liegen.

In unserer Studie wurde bewusst kein Score genutzt, um Wirkmechanismen einzelner Maße auf Endpunkte wie Übergewicht und Diabetes Typ 2 untersuchen zu können. Nichtsdestotrotz könnte erst die Kombination der Maße einen Einfluss auf die Endpunkte haben und die Untersuchung einzelner Komponenten könnte sich als eher ungeeignet herausstellen, um Wirkmechanismen zu untersuchen.

Die Nachteile, die ein Score mit sich bringt, konnten durch die Untersuchung der Walkability Maße in unterschiedlichen Modellen umgangen werden. Um die Assoziation eines Walkability Indikators mit einem Endpunkt zu bestimmen, wurde das Modell nicht für die jeweils anderen Walkability Indikatoren adjustiert. Die Walkability Indikatoren teilen sich eine hohe Menge an Varianz. Multikollinearität bei gleichzeitigem Einschluss aller Maße in ein Modell stellt ein Problem dar. So kann nicht bewertet werden, wie viel ein Indikator unabhängig von den anderen Indikatoren zur Erklärung der Varianz des Endpunktes beiträgt [119]. Es ist äußerst schwierig zu bestimmen, wie viel ein Walkability Maß unabhängig von den anderen zum Bewegungsverhalten beiträgt, da sich die Maße bedingen können. Ohne Konnektivität wäre

es zum Beispiel nicht möglich, Interessenpunkte oder Haltestellen zu erreichen [33]. Es gibt keinen Konsensus darüber, wie die Komplexität der Wirkung der gebauten Umwelt in den Modellen abgebildet werden sollte, das heißt ob in Einzel- oder Multi-Umweltmodellen [91], mit verschiedenen Gewichtungen [22, 26] oder Interaktionen [120]. Weitere Forschung sollte hier ansetzen, um geeignete Methoden zu identifizieren, um dieses Problem anzugehen.

Eine Schwäche der Analyse ist, dass eine potenzielle Clusterung unbeachtet blieb. In einem Wohnquartier könnte es durch Clusterung zu ähnlichen Merkmalsausprägungen der Probanden bezüglich sozioökonomischen Status, aber auch zu ähnlicher Ausprägung der Walkability Indikatoren kommen. Mehrebenenmodelle können diese Clusterung berücksichtigen, indem das Wohnquartier als eine Ebene in der Analyse berücksichtigt wird. Dieser Mehrebenencharakter wurde in den vorliegenden Analysen aufgrund fehlender adäquater Information zum Wohnquartier unterschlagen, was zu einer verminderten Power geführt haben könnte [121]. Die wohnortbezogene Selbstselektion, beziehungsweise die Wohnortpräferenz wurde nicht berücksichtigt, da diese Information nicht vorhanden war. Die Wohnortpräferenz basiert auf ökonomischen, sozialen, und Lifestylefaktoren sowie auf Präferenzen bezüglich körperlicher Aktivität und Transport [95]. Zum Beispiel könnte die Anbindung an den ÖPNV als wichtiges Kriterium zur Wahl des Wohnortes beigetragen haben. Vorangegangene Studien zeigten, dass die Adjustierung für Selbstselektion nur geringe Veränderungen in den Assoziationen zwischen Walkability und Gesundheitsoutcomes bedeutete. Nichtsdestotrotz könnte das Fehlen dieser Information zu einer Verzerrung der Ergebnisse geführt haben [122].

Es ist nur für wenige Confounder adjustiert worden, was residuales Confounding sehr wahrscheinlich macht. Ein wichtiger Bestandteil des sozial-ökologischen Modells sind die verschiedenen Ebenen, die Bewegung wechselseitig beeinflussen. Die Einflussfaktoren der verschiedenen Ebenen des sozial-ökologischen Modells sind in komplexer Weise miteinander verflochten. Hier wird deutlich, dass neben Confoundern zahlreiche Mediatoren, Moderatoren und Interaktionen zwischen Variablen in der Beziehung zwischen Walkability und den verschiedenen Endpunkten existieren [16]. In den Analysen wurden diese Faktoren nicht berücksichtigt. Zum Beispiel könnten diese Faktoren der Besitz eines Autos, die persönliche Motivation und Volition, das soziale Umfeld, das Wissen um die Vorteile von Bewegung und das persönliche Sicherheitsempfinden sein [15, 109].

3.3 Schlussfolgerungen

In dieser Arbeit wurde der Zusammenhang von drei Walkability Maßen mit dem Zuzußgehen/Fahrrad fahren, BMI sowie inzidentem und prävalentem Diabetes Typ 2 untersucht. Hierzu wurden Daten von fünf Kohorten in verschiedenen Regionen und Städten in Deutschland ausgewertet. Es bestand ein schwacher Zusammenhang zwischen den drei Walkability Maßen und Zuzußgehen/Fahrradfahren. Der Zusammenhang mit dem BMI war zwischen den Kohorten inkonsistent und kein Zusammenhang bestand mit inzidentem und prävalentem Diabetes Typ 2.

Für diese Ergebnisse gibt es mehrere mögliche Erklärungen. Zum einen kann es sein, dass Walkability zwar das Bewegungsverhalten fördern kann, die geringen Auswirkungen aber nicht ausreichen könnten, um Gesundheitsoutcomes auf Populationsebene zu beeinflussen. Das gesteigerte Bewegungsverhalten könnte nicht ausreichen, um das Risiko von Übergewicht oder Diabetes Typ 2 zu senken, zumal diese Endpunkte noch von weiteren Faktoren außer der körperlichen Aktivität beeinflusst werden. Auf der anderen Seite muss bei der Interpretation der Ergebnisse die Methodik dieser Arbeit berücksichtigt werden. Erstens könnte die Homogenität der Walkability Maße in den Studienregionen für die beobachteten schwachen, beziehungsweise inkonsistenten und nicht vorhandenen Zusammenhänge verantwortlich sein. Zweitens bildet die hier zugrundeliegende einfache Kausalkette - Walkability \rightarrow gesteigerte körperliche Aktivität \rightarrow geringerer BMI \rightarrow geringeres Diabetes Typ 2 Risiko - die Realität nur sehr grob ab. Weder die Komplexität von Bewegungsverhalten noch die wechselseitige Interaktion von personenbezogenen und Umweltfaktoren, die im sozial-ökologischen Modell beschrieben werden, wird hierbei in ausreichender Weise berücksichtigt [13, 21]. Drittens wurden die Zusammenhänge lediglich für drei Walkability Maße untersucht, die einen geringen Teil des Gesamtkonzepts Walkability widerspiegeln. Andere Walkability Maße und auch die Kombination unterschiedlicher Maße könnten entscheidender für die untersuchten Endpunkte sein [109].

Was letztendlich eine bewegungsfreundliche Umgebung ausmacht, ist unzureichend erforscht und auch diese Arbeit liefert hierzu lediglich einen ersten Ansatzpunkt für den deutschen Kontext [18]. In den meisten Walkability Studien, diese Arbeit eingeschlossen, wurden im Vorhinein Maße als bewegungsfreundlich definiert. Wird ein Zusammenhang dieser Maße mit dem Bewegungsverhalten gefunden, wird dies einerseits dazu genutzt, die Validität der Maße

zu bestätigen und andererseits, um zu bekräftigen, dass Walkability das Bewegungsverhalten steigert. Die Frage der Walkability sollte allerdings auch aus einer anderen Perspektive heraus beantwortet werden. Qualitative Methoden wie Interviews oder Wegetagebücher sowie GPS Methoden sind vielversprechende Ansätze für die Beantwortung der Frage, was eine bewegungsfreundliche Umgebung ausmacht und weshalb welche Art der körperliche Aktivität ausgeübt wird [99–102]. Zukünftige Forschung sollte sich daher auch auf diese Methoden konzentrieren.

Um der Komplexität des Bewegungsverhaltens in Bezug auf die bebauten Umwelt gerechter zu werden, sollten in zukünftigen Studien Indikatoren eingeschlossen werden, die verschiedene Formen von Bewegung fördern, zum Beispiel Gehen und Fahrradfahren zur Transportzwecken oder sportliche Betätigung in der Freizeit, zum Beispiel Mannschaftssport. Dieses Konzept von „Moveability“ scheint eher dazu geeignet zu sein, Bewegungsverhalten und Gesundheitsoutcomes in der Bevölkerung erklären zu können und durch gezielte städteplanerische Maßnahmen fördern zu können [21, 123].

Werden Gesundheitsoutcomes wie zum Beispiel Übergewicht oder Diabetes Typ 2 betrachtet, könnten die drei untersuchten Walkability Maße zu kurz greifen. Hier sollte auch das Food Environment sowie Verkehrslärm und Luftqualität betrachtet werden, die sich ebenfalls auf das Risiko von Übergewicht und Diabetes Typ 2 auswirken und gleichzeitig mit traditionellen Walkability Maßen assoziiert sein könnten [88, 89]. Zudem könnte eine veränderte Kombination von Walkability Maßen anstelle der Veränderung einzelner Maße wirksamer sein, um Übergewicht und Diabetes Typ 2 auf Bevölkerungsebene entgegenzuwirken.

Insgesamt sollte sich zukünftige Forschung der konzeptionellen, datentechnischen und methodischen Weiterentwicklung von Walkability widmen [124].

Durch das Querschnittsdesign der Studie ist die Evidenz, dass die Modifizierung der bebauten Umwelt hin zu besserer Walkability das Bewegungsverhalten in der Bevölkerung fördern kann, schwach. Hier sollten longitudinale und quasi-experimentelle Designs das Ursache-Wirkungs-Prinzip untersuchen.

Es konnte mit dieser Arbeit für Deutschland gezeigt werden, dass drei traditionelle Walkability Maße konsistent mit gesteigertem Bewegungsverhalten assoziiert sind und der Walkability Ansatz Potenzial hat, das Bewegungsverhalten auf verhältnispräventiver Ebene zu beeinflussen. Die Assoziationen waren zwar schwach, doch in Anbetracht der Komplexität und den verschiedenen Einflussfaktoren von Bewegung sind starke Assoziationen auch nicht zu

erwarten gewesen. Zudem können auch schwache Assoziationen auf Populationsebene große Wirkung zeigen, da mit der bebauten Umwelt die gesamte Population erreicht werden kann. Gerade im Hinblick auf die abnehmende Alltagsaktivität in Deutschland kann Walkability ein Ansatzpunkt zur Bewegungsförderung auf Populationsebene sein. Diese verhältnispräventive Maßnahme hat den Vorteil, dass alle Bevölkerungsschichten erreicht werden, auch solche, die in verhaltenspräventiven Maßnahmen schwer zu erreichen sind. Hierdurch können ungleiche Mobilitäts- und Gesundheitschancen in deutschen Städten reduziert werden. Außerdem haben die Veränderungen der bebauten Umwelt den Vorteil, dass sie nachhaltig sind und über einen längeren Zeitraum wirken können [7]. Assoziationen mit Gesundheitsoutcomes, die mit dem Bewegungsverhalten zusammenhängen, konnten nicht in konsistenter Weise gezeigt werden. Dies zeigt, dass die Veränderung der Walkability lediglich eine von vielen Interventionen darstellen könnte, um das Problem von Bewegungsmangel, Übergewicht und Diabetes Typ 2 auf Bevölkerungsebene anzugehen. Von Interesse ist hierbei auch das Food Environment, welches beim Walkability Konzept mitgedacht werden muss. Wie im sozial-ökologischen Modell dargestellt, sind verschiedene und verhältnis- als auch verhaltenspräventive Interventionen notwendig, um Gesundheitsoutcomes auf Populationsebene zu verbessern [16].

Diese Arbeit bietet für Deutschland einen ersten Ansatzpunkt für weitere Forschung auf dem Gebiet der bebauten Umwelt. Nachfolgende Studien von hoher wissenschaftlicher Qualität sollten untersuchen, welche Maße in welcher Kombination auf unterschiedliche Formen des Bewegungsverhaltens wirken. Nur so ist es möglich, konkrete evidenzbasierte Empfehlungen für die Modifizierung der bebauten Umwelt für den deutschen Kontext ableiten zu können, welche Bewegung fördern und Gesundheitsoutcomes verbessern können.

Literatur

- [1] Warburton, D. E., Gledhill, N., Jamnik, V. K., Bredin, S. S., McKenzie, D. C., Stone, J., Charlesworth, S. und Shephard, R. J. “Evidence-based risk assessment and recommendations for physical activity clearance: Consensus Document 2011”. In: *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism* 36.S1 (2011), S266–S298. ISSN: 1715-5312.
- [2] Warburton, D. E. und Bredin, S. S. “Reflections on physical activity and health: what should we recommend?” In: *Canadian Journal of Cardiology* 32.4 (2016), S. 495–504. ISSN: 0828-282X.
- [3] World-Health-Organization. *Global recommendations on physical activity for health*. 2010. URL: https://www.who.int/dietphysicalactivity/factsheet_adults/en/.
- [4] Füzéki, E., Vogt, L. und Banzer, W. “Nationale Bewegungsempfehlungen für Erwachsene und ältere Erwachsene–Methodisches Vorgehen, Datenbasis und Begründung”. In: *Das Gesundheitswesen* 79.S 01 (2017), S20–S28. ISSN: 0941-3790.
- [5] Füzéki, E., Engeroff, T. und Banzer, W. “Health benefits of light-intensity physical activity: a systematic review of accelerometer data of the National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES)”. In: *Sports Medicine* 47.9 (2017), S. 1769–1793. ISSN: 0112-1642.
- [6] Warburton, D. E. und Bredin, S. S. “Health benefits of physical activity: a systematic review of current systematic reviews”. In: *Current Opinion in Cardiology* 32.5 (2017), S. 541–556. ISSN: 0268-4705.
- [7] Bucksch, J. und Schneider, S. “Walkability-Einführung und Überblick”. In: *Walkability. Das Handbuch zur Bewegungsförderung in der Kommune*. 2014, S. 15–26. ISBN: 3456953518.

- [8] Guthold, R., Stevens, G. A., Riley, L. M. und Bull, F. C. “Worldwide trends in insufficient physical activity from 2001 to 2016: a pooled analysis of 358 population-based surveys with 1·9 million participants”. In: *The Lancet Global Health* 6.10 (2018), e1077–e1086. ISSN: 2214-109X.
- [9] Ng, S. W. und Popkin, B. M. “Time use and physical activity: a shift away from movement across the globe”. In: *Obesity Reviews* 13.8 (2012), S. 659–680. ISSN: 1467-7881.
- [10] Hallal, P. C., Andersen, L. B., Bull, F. C., Guthold, R., Haskell, W., Ekelund, U. und Group, L. P. A. S. W. “Global physical activity levels: surveillance progress, pitfalls, and prospects”. In: *The Lancet* 380.9838 (2012), S. 247–257. ISSN: 0140-6736.
- [11] Blair, S. N. “Physical inactivity: the biggest public health problem of the 21st century”. In: *British Journal of Sports Medicine* 43.1 (2009), S. 1–2. ISSN: 0306-3674.
- [12] Richard, L., Gauvin, L. und Raine, K. “Ecological models revisited: their uses and evolution in health promotion over two decades”. In: *Annual Review of Public Health* 32 (2011), S. 307–326. ISSN: 0163-7525.
- [13] Sallis, J. F., Owen, N. und Fisher, E. “Ecological models of health behavior”. In: *Health Behavior: Theory, Research, and Practice* 5.43-64 (2015).
- [14] King, A. C. und Sallis, J. F. “Why and how to improve physical activity promotion: Lessons from behavioral science and related fields”. In: *Preventive Medicine* 49.4 (2009), S. 286–288. ISSN: 0091-7435.
- [15] Bucksch, J. und Schneider, S. “Walkability aus Sicht der Public Health”. In: *Walkability: Das Handbuch zur Bewegungsförderung in der Kommune*. 2014, S. 47–60. ISBN: 3456953518.
- [16] Sallis, J., Owen, N. und Fisher, E. “Ecological Models of Health Behavior”. In: *Health Behavior and Health Education: Theory, Research, and Practice*. 2008, S. 465–485.
- [17] Nelson, N., Wright, Lowry, R. und Mutrie, N. “Where is the Theoretical Basis for Understanding and Measuring the Environment for Physical ctivity?” In: *Environmental Health Insights* 3 (2008), S. 111–116.
- [18] Forsyth, A. “What is a walkable place? The walkability debate in urban design”. In: *Urban Design International* 20.4 (2015), S. 274–292. ISSN: 1357-5317.

- [19] Ewing, R. und Cervero, R. "Travel and the built environment: A meta-analysis". In: *Journal of the American Planning Association* 76.3 (2010), S. 265–294. ISSN: 0194-4363.
- [20] Lo, R. H. "Walkability: what is it?" In: *Journal of Urbanism* 2.2 (2009), S. 145–166. ISSN: 1754-9175.
- [21] Andrews, G. J., Hall, E., Evans, B. und Colls, R. "Moving beyond walkability: On the potential of health geography". In: *Social Science & Medicine* 75.11 (2012), S. 1925–1932. ISSN: 0277-9536.
- [22] Frank, L. D., Sallis, J. F., Saelens, B. E., Leary, L., Cain, K., Conway, T. L. und Hess, P. M. "The development of a walkability index: application to the Neighborhood Quality of Life Study". In: *British Journal of Sports Medicine* 44.13 (2010), S. 924–933. ISSN: 0306-3674.
- [23] Ewing, R. und Handy, S. "Measuring the unmeasurable: Urban design qualities related to walkability". In: *Journal of Urban Design* 14.1 (2009), S. 65–84. ISSN: 1357-4809.
- [24] Cerin, E., Conway, T. L., Cain, K. L., Kerr, J., De Bourdeaudhuij, I., Owen, N., Reis, R. S., Sarmiento, O. L., Hinckson, E. A. und Salvo, D. "Sharing good NEWS across the world: developing comparable scores across 12 countries for the Neighborhood Environment Walkability Scale (NEWS)". In: *BMC Public Health* 13.1 (2013), S. 309. ISSN: 1471-2458.
- [25] Pikora, T., Giles-Corti, B., Bull, F., Jamrozik, K. und Donovan, R. "Developing a framework for assessment of the environmental determinants of walking and cycling". In: *Social Science & Medicine* 56.8 (2003), S. 1693–1703. ISSN: 0277-9536.
- [26] Carr, L. J., Dunsiger, S. I. und Marcus, B. H. "Validation of Walk Score for estimating access to walkable amenities". In: *British Journal of Sports Medicine* 45.14 (2011), S. 1144–1148. ISSN: 0306-3674.
- [27] Maghelal, P. K. und Capp, C. J. "Walkability: A Review of Existing Pedestrian Indices". In: *Journal of the Urban & Regional Information Systems Association* 23.2 (2011). ISSN: 1045-8077.
- [28] Cervero, R. und Kockelman, K. "Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design". In: *Transportation Research. Part D, Transport and Environment* 2.3 (1997), S. 199–219. ISSN: 1361-9209.

- [29] Ewing, R. und Cervero, R. "Travel and the built environment: a synthesis". In: *Transportation Research Record* 1780.1 (2001), S. 87–114. ISSN: 0361-1981.
- [30] Handy, S. L., Boarnet, M. G., Ewing, R. und Killingsworth, R. E. "How the built environment affects physical activity: views from urban planning". In: *American Journal of Preventive Medicine* 23.2 (2002), S. 64–73. ISSN: 0749-3797.
- [31] Stangl, P. "Overcoming flaws in permeability measures: modified route directness". In: *Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability* 12.1 (2019), S. 1–14. ISSN: 1754-9175.
- [32] Forsyth, A., Oakes, J. M., Schmitz, K. H. und Hearst, M. "Does residential density increase walking and other physical activity?" In: *Urban Studies* 44.4 (2007), S. 679–697. ISSN: 0042-0980.
- [33] Zapata-Diomedes, B. und Veerman, J. L. "The association between built environment features and physical activity in the Australian context: a synthesis of the literature". In: *BMC Public Health* 16.1 (2016), S. 484. ISSN: 1471-2458.
- [34] Van Holle, V., Deforche, B., Van Cauwenberg, J., Goubert, L., Maes, L., Van de Weghe, N. und De Bourdeaudhuij, I. "Relationship between the physical environment and different domains of physical activity in European adults: a systematic review". In: *BMC Public Health* 12.1 (2012), S. 807. ISSN: 1471-2458.
- [35] Barnett, D. W., Barnett, A., Nathan, A., Van Cauwenberg, J. und Cerin, E. "Built environmental correlates of older adults' total physical activity and walking: a systematic review and meta-analysis". In: *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity* 14.1 (2017), S. 103. ISSN: 1479-5868.
- [36] Dendup, T., Feng, X., Clingan, S. und Astell-Burt, T. "Environmental risk factors for developing type 2 diabetes mellitus: a systematic review". In: *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15.1 (2018), S. 78.
- [37] Grasser, G., Van Dyck, D., Titze, S. und Stronegger, W. "Objectively measured walkability and active transport and weight-related outcomes in adults: a systematic review". In: *International Journal of Public Health* 58.4 (2013), S. 615–625. ISSN: 1661-8556.

- [38] Farkas, B., Wagner, D. J., Nettel-Aguirre, A., Friedenreich, C. und McCormack, G. R. “Evidence synthesis-A systematized literature review on the associations between neighbourhood built characteristics and walking among Canadian adults”. In: *Health Promotion and Chronic Disease Prevention in Canada: Research, Policy and Practice* 39.1 (2019), S. 1–14. ISSN: 2368-738X.
- [39] McCormack, G. R., Cabaj, J., Orpana, H., Lukic, R., Blackstaffe, A., Goopy, S., Hagel, B., Keough, N., Martinson, R. und Chapman, J. “A scoping review on the relations between urban form and health: a focus on Canadian quantitative evidence”. In: *Health Promotion and Chronic Disease Prevention in Canada: Research, Policy and Practice* 39.5 (2019), S. 187–200. ISSN: 2368-738X.
- [40] Cerin, E., Nathan, A., Van Cauwenberg, J., Barnett, D. W. und Barnett, A. “The neighbourhood physical environment and active travel in older adults: a systematic review and meta-analysis”. In: *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity* 14.1 (2017), S. 15. ISSN: 1479-5868.
- [41] Van Cauwenberg, J., De Bourdeaudhuij, I., De Meester, F., Van Dyck, D., Salmon, J., Clarys, P. und Deforche, B. “Relationship between the physical environment and physical activity in older adults: a systematic review”. In: *Health & Place* 17.2 (2011), S. 458–469. ISSN: 1353-8292.
- [42] Althoff, T., Hicks, J. L., King, A. C., Delp, S. L. und Leskovec, J. “Large-scale physical activity data reveal worldwide activity inequality”. In: *Nature* 547.7663 (2017), S. 336–339. ISSN: 1476-4687.
- [43] Smith, M., Hosking, J., Woodward, A., Witten, K., MacMillan, A., Field, A., Baas, P. und Mackie, H. “Systematic literature review of built environment effects on physical activity and active transport—an update and new findings on health equity”. In: *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity* 14.1 (2017), S. 158. ISSN: 1479-5868.
- [44] Muhs, C. D. und Clifton, K. J. “Do characteristics of walkable environments support bicycling? Toward a definition of bicycle-supported development”. In: *Journal of Transport and Land Use* 9.2 (2016), S. 147–188. ISSN: 1938-7849.

- [45] Cain, K. L., Millstein, R. A., Sallis, J. F., Conway, T. L., Gavand, K. A., Frank, L. D., Saelens, B. E., Geremia, C. M., Chapman, J. und Adams, M. A. “Contribution of streetscape audits to explanation of physical activity in four age groups based on the Microscale Audit of Pedestrian Streetscapes (MAPS)”. In: *Social Science & Medicine* 116 (2014), S. 82–92. ISSN: 0277-9536.
- [46] King, A. C., Sallis, J. F., Frank, L. D., Saelens, B. E., Cain, K., Conway, T. L., Chapman, J. E., Ahn, D. K. und Kerr, J. “Aging in neighborhoods differing in walkability and income: associations with physical activity and obesity in older adults”. In: *Social Science & Medicine* 73.10 (2011), S. 1525–1533. ISSN: 0277-9536.
- [47] Corseuil, M. W., Schneider, I. J. C., Silva, D. A. S., Costa, F. F., Silva, K. S., Borges, L. J. und d’Orsi, E. “Perception of environmental obstacles to commuting physical activity in Brazilian elderly”. In: *Preventive Medicine* 53.4-5 (2011), S. 289–292. ISSN: 0091-7435.
- [48] Kolbe-Alexander, T. L., Pacheco, K., Tomaz, S. A., Karpul, D. und Lambert, E. V. “The relationship between the built environment and habitual levels of physical activity in South African older adults: a pilot study”. In: *BMC Public Health* 15.1 (2015), S. 518. ISSN: 1471-2458.
- [49] Kerr, J., Emond, J. A., Badland, H., Reis, R., Sarmiento, O., Carlson, J., Sallis, J. F., Cerin, E., Cain, K. und Conway, T. “Perceived neighborhood environmental attributes associated with walking and cycling for transport among adult residents of 17 cities in 12 countries: the IPEN study”. In: *Environmental Health Perspectives* 124.3 (2016), S. 290–298. ISSN: 0091-6765.
- [50] Paulo Dos Anjos Souza Barbosa, J., Henrique Guerra, P., Oliveira Santos, C. de, Oliveira Barbosa Nunes, A. P. de, Turrell, G. und Antonio Florindo, A. “Walkability, overweight, and obesity in adults: a systematic review of observational studies”. In: *International Journal of Environmental Research and Public Health* 16.17 (2019), S. 3135.
- [51] Papas, M. A., Alberg, A. J., Ewing, R., Helzlsouer, K. J., Gary, T. L. und Klassen, A. C. “The built environment and obesity”. In: *Epidemiologic Reviews* 29.1 (2007), S. 129–143. ISSN: 0193-936X.

- [52] Booth, K. M., Pinkston, M. M. und Poston, W. S. C. “Obesity and the built environment”. In: *Journal of the American Dietetic Association* 105.5 (2005), S. 110–117. ISSN: 0002-8223.
- [53] Feng, J., Glass, T. A., Curriero, F. C., Stewart, W. F. und Schwartz, B. S. “The built environment and obesity: a systematic review of the epidemiologic evidence”. In: *Health & Place* 16.2 (2010), S. 175–190. ISSN: 1353-8292.
- [54] Mackenbach, J. D., Rutter, H., Compernelle, S., Glonti, K., Oppert, J.-M., Charreire, H., De Bourdeaudhuij, I., Brug, J., Nijpels, G. und Lakerveld, J. “Obesogenic environments: a systematic review of the association between the physical environment and adult weight status, the SPOTLIGHT project”. In: *BMC Public Health* 14.1 (2014), S. 233. ISSN: 1471-2458.
- [55] Thielman, J., Copes, R., Rosella, L. C., Chiu, M. und Manson, H. “Is neighbourhood walkability related to body mass index among different age groups? A cross-sectional study of Canadian urban areas”. In: *BMJ Open* 9.11 (2019). ISSN: 2044-6055.
- [56] Garfinkel-Castro, A., Kim, K., Hamidi, S. und Ewing, R. “Obesity and the built environment at different urban scales: examining the literature”. In: *Nutrition Reviews* 75.suppl₁ (2017), S. 51–61. ISSN: 0029-6643.
- [57] Yun, S., Zhu, B., Black, W. und Brownson, R. “A comparison of national estimates of obesity prevalence from the behavioral risk factor surveillance system and the National Health and Nutrition Examination Survey”. In: *International Journal of Obesity* 30.1 (2006), S. 164–170. ISSN: 1476-5497.
- [58] NCD-Risk-Factor-Collaboration. “Trends in adult body-mass index in 200 countries from 1975 to 2014: a pooled analysis of 1698 population-based measurement studies with 19· 2 million participants”. In: *The Lancet* 387.10026 (2016), S. 1377–1396. ISSN: 0140-6736.
- [59] Den Braver, N., Lakerveld, J., Rutters, F., Schoonmade, L., Brug, J. und Beulens, J. “Built environmental characteristics and diabetes: a systematic review and meta-analysis”. In: *BMC Medicine* 16.1 (2018), S. 12. ISSN: 1741-7015.

- [60] Chandrabose, M., Rachele, J., Gunn, L., Kavanagh, A., Owen, N., Turrell, G., Giles-Corti, B. und Sugiyama, T. “Built environment and cardio-metabolic health: systematic review and meta-analysis of longitudinal studies”. In: *Obesity Reviews* 20.1 (2019), S. 41–54. ISSN: 1467-7881.
- [61] Sundquist, K., Eriksson, U., Mezuk, B. und Ohlsson, H. “Neighborhood walkability, deprivation and incidence of type 2 diabetes: a population-based study on 512,061 Swedish adults”. In: *Health & Place* 31 (2015), S. 24–30. ISSN: 1353-8292.
- [62] Sallis, J. F., Cerin, E., Conway, T. L., Adams, M. A., Frank, L. D., Pratt, M., Salvo, D., Schipperijn, J., Smith, G. und Cain, K. L. “Physical activity in relation to urban environments in 14 cities worldwide: a cross-sectional study”. In: *The Lancet* 387.10034 (2016), S. 2207–2217. ISSN: 0140-6736.
- [63] Lamb, K. E. und White, S. R. “Categorisation of built environment characteristics: the trouble with tertiles”. In: *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity* 12.1 (2015), S. 19. ISSN: 1479-5868.
- [64] Wood, S. N. *Generalized additive models: an introduction with R*. Chapman und Hall/CRC, 2017. ISBN: 1498728340.
- [65] Booth, G. L., Creatore, M. I., Luo, J., Fazli, G. S., Johns, A., Rosella, L. C., Glazier, R. H., Moineddin, R., Gozdyra, P. und Austin, P. C. “Neighbourhood walkability and the incidence of diabetes: an inverse probability of treatment weighting analysis”. In: *Journal of Epidemiology and Community Health* 73.4 (2019), S. 287–294. ISSN: 0143-005X.
- [66] Howell, N. A., Tu, J. V., Moineddin, R., Chen, H., Chu, A., Hystad, P. und Booth, G. L. “The probability of diabetes and hypertension by levels of neighborhood walkability and traffic-related air pollution across 15 municipalities in Southern Ontario, Canada: A dataset derived from 2,496,458 community dwelling-adults”. In: *Data in Brief* 27 (2019), S. 104439. ISSN: 2352-3409.
- [67] Paquet, C., Coffee, N. T., Haren, M. T., Howard, N. J., Adams, R. J., Taylor, A. W. und Daniel, M. “Food environment, walkability, and public open spaces are associated with incident development of cardio-metabolic risk factors in a biomedical cohort”. In: *Health & Place* 28 (2014), S. 173–176. ISSN: 1353-8292.

- [68] Muller-Riemenschneider, F., Pereira, G., Villanueva, K., Christian, H., Knuiman, M., Giles-Corti, B. und Bull, F. "Neighborhood walkability and cardiometabolic risk factors in australian adults: An observational study". In: *BMC Public Health* 13.1 (2013), S. 1–9. ISSN: 1471-2458.
- [69] Glazier, R. H., Creatore, M. I., Weyman, J. T., Fazli, G., Matheson, F. I., Gozdyra, P., Moineddin, R., Shriqui, V. K. und Booth, G. L. "Density, destinations or both? A comparison of measures of walkability in relation to transportation behaviors, obesity and diabetes in Toronto, Canada". In: *PloS one* 9.1 (2014).
- [70] Ewing, R., Meakins, G., Hamidi, S. und Nelson, A. C. "Relationship between urban sprawl and physical activity, obesity, and morbidity—Update and refinement". In: *Health & Place* 26 (2014), S. 118–126. ISSN: 1353-8292.
- [71] Creatore, M. I., Glazier, R. H., Moineddin, R., Fazli, G. S., Johns, A., Gozdyra, P., Matheson, F. I., Kaufman-Shriqui, V., Rosella, L. C. und Manuel, D. G. "Association of neighborhood walkability with change in overweight, obesity, and diabetes". In: *JAMA* 315.20 (2016), S. 2211–2220. ISSN: 0098-7484.
- [72] Mather, F. J., White, L. E., Langlois, E. C., Shorter, C. F., Swalm, C. M., Shaffer, J. G. und Hartley, W. R. "Statistical methods for linking health, exposure, and hazards". In: *Environmental Health Perspectives* 112.14 (2004), S. 1440–1445. ISSN: 0091-6765.
- [73] Tran, M. und Schmidt, J. "Walkability aus Sicht der Stadt-und Verkehrsplanung". In: *Walkability. Ein Handbuch zur Bewegungsförderung in der Kommune*. Verlag Hans Huber, 2014, S. 61–71.
- [74] Pucher, J. und Buehler, R. "Making cycling irresistible: lessons from the Netherlands, Denmark and Germany". In: *Transport Reviews* 28.4 (2008), S. 495–528. ISSN: 0144-1647.
- [75] Forsyth, A. und Krizek, K. J. "Promoting walking and bicycling: assessing the evidence to assist planners". In: *Built Environment* 36.4 (2010), S. 429–446. ISSN: 0263-7960.
- [76] Bassett, D. R., Pucher, J., Buehler, R., Thompson, D. L. und Crouter, S. E. "Walking, cycling, and obesity rates in Europe, North America, and Australia". In: *Journal of Physical Activity and Health* 5.6 (2008), S. 795–814. ISSN: 1543-5474.

- [77] Kartschmit, N., Sutcliffe, R., Sheldon, M. P., Moebus, S., Greiser, K. H., Hartwig, S., Thürkow, D., Stentzel, U., Berg, N. van den, Wolf, K., Maier, W., Peters, A., Ahmed, S., Köhnke, C., Mikolajczyk, R., Wienke, A., Kluttig, A. und Rudge, G. “Walkability and its association with walking/cycling and body mass index among adults in different regions of Germany: a cross-sectional analysis of pooled data from five German cohorts”. In: *BMJ Open* 10.4 (2020). ISSN: 2044-6055. DOI: 10.1136/bmjopen-2019-033941. eprint: <https://bmjopen.bmj.com/content/10/4/e033941.full.pdf>. URL: <https://bmjopen.bmj.com/content/10/4/e033941>.
- [78] Kartschmit, N., Sutcliffe, R., Sheldon, M. P., Moebus, S., Greiser, K. H., Hartwig, S., Thürkow, D., Stentzel, U., Berg, N. van den, Wolf, K., Maier, W., Ahmed, S., Köhnke, C., Mikolajczyk, R., Wienke, A., Kluttig, A. und Rudge, G. “Walkability and its association with prevalent and incident type 2 diabetes among adults in different regions of Germany: An analysis of pooled data from 5 German cohorts.” In: *64. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie e.V. (gmds)*. 08.-11.09.2019. Dortmund. 2019. DOI: 10.13140/RG.2.2.15916.28806.
- [79] Rennie, K. L., Johnson, L. und Jebb, S. A. “Behavioural determinants of obesity”. In: *Best Practice & Research Clinical Endocrinology & Metabolism* 19.3 (2005), S. 343–358. ISSN: 1521-690X.
- [80] Hales, C. M., Fryar, C. D., Carroll, M. D., Freedman, D. S., Aoki, Y. und Ogden, C. L. “Differences in obesity prevalence by demographic characteristics and urbanization level among adults in the United States, 2013-2016”. In: *JAMA* 319.23 (2018), S. 2419–2429. ISSN: 0098-7484.
- [81] Miller, W. C., Kocaja, D. und Hamilton, E. “A meta-analysis of the past 25 years of weight loss research using diet, exercise or diet plus exercise intervention”. In: *International Journal of Obesity* 21.10 (1997), S. 941–947. ISSN: 1476-5497.
- [82] Frankenfeld, C. L., Leslie, T. F. und Makara, M. A. “Diabetes, obesity, and recommended fruit and vegetable consumption in relation to food environment sub-types: a cross-sectional analysis of Behavioral Risk Factor Surveillance System, United States Census, and food establishment data”. In: *BMC Public Health* 15.1 (2015), S. 491. ISSN: 1471-2458.

- [83] Cobb, L. K., Appel, L. J., Franco, M., Jones-Smith, J. C., Nur, A. und Anderson, C. A. “The relationship of the local food environment with obesity: a systematic review of methods, study quality, and results”. In: *Obesity* 23.7 (2015), S. 1331–1344. ISSN: 1930-7381.
- [84] Naska, A., Orfanos, P., Trichopoulou, A., May, A., Overvad, K., Jakobsen, M. U., Tjønneland, A., Halkjær, J., Fagherazzi, G. und Clavel-Chapelon, F. “Eating out, weight and weight gain. A cross-sectional and prospective analysis in the context of the EPIC-PANACEA study”. In: *International Journal of Obesity* 35.3 (2011), S. 416–426. ISSN: 1476-5497.
- [85] Swinburn, B., Sacks, G., Vandevijvere, S., Kumanyika, S., Lobstein, T., Neal, B., Barquera, S., Friel, S., Hawkes, C. und Kelly, B. “INFORMAS (International Network for Food and Obesity/non-communicable diseases Research, Monitoring and Action Support): overview and key principles”. In: *Obesity Reviews* 14 (2013), S. 1–12. ISSN: 1467-7881.
- [86] Kartschmit, N., Sutcliffe, R., Sheldon, M. P., Moebus, S., Greiser, K. H., Hartwig, S., Thürkow, D., Stentzel, U., Berg, N. van den, Wolf, K., Maier, W., Peters, A., Ahmed, S., Köhnke, C., Mikolajczyk, R., Wienke, A., Kluttig, A. und Rudge, G. “Walkability and its association with prevalent and incident diabetes among adults in different regions of Germany: results of pooled data from five German cohorts”. In: *BMC Endocrine Disorders* 20.1 (2020), S. 7. DOI: 10.1186/s12902-019-0485-x. URL: <https://doi.org/10.1186/s12902-019-0485-x>.
- [87] Kartschmit, N., Sheldon, M. P., Greiser, K. H., Hartwig, S., Thürkow, D., Stentzel, U., Berg, N. van den, Mikolajczyk, R., Wienke, A., Kluttig, A. und Rudge, G. “Neighborhood Walkability and its association with walking and cycling behavior among adults aged 65 years and older: A cross-sectional analysis of pooled data from two German cohort studies”. In: *IAGG-ER - International Association of Gerontology and Geriatrics for the European Region Conference 23-25.05.2019. Göteborg, Schweden*. 2019. DOI: 10.13140/RG.2.2.27240.90886.
- [88] Sakhvidi, M. J. Z., Sakhvidi, F. Z., Mehrparvar, A. H., Foraster, M. und Dadvand, P. “Association between noise exposure and diabetes: A systematic review and meta-analysis”. In: *Environmental Research* 166 (2018), S. 647–657. ISSN: 0013-9351.

- [89] Eze, I. C., Hemkens, L. G., Bucher, H. C., Hoffmann, B., Schindler, C., Künzli, N., Schikowski, T. und Probst-Hensch, N. M. “Association between ambient air pollution and diabetes mellitus in Europe and North America: systematic review and meta-analysis”. In: *Environmental Health Perspectives* 123.5 (2015), S. 381–389. ISSN: 0091-6765.
- [90] Cochrane, T., Yu, Y., Davey, R., Cerin, E., Cain, K. L., Conway, T. L., Kerr, J., Frank, L. D., Chapman, J. E. und Adams, M. A. “Associations of built environment and proximity of food outlets with weight status: Analysis from 14 cities in 10 countries”. In: *Preventive Medicine* 129 (2019), S. 105874. ISSN: 0091-7435.
- [91] Christiansen, L. B., Cerin, E., Badland, H., Kerr, J., Davey, R., Troelsen, J., Van Dyck, D., Mitáš, J., Schofield, G. und Sugiyama, T. “International comparisons of the associations between objective measures of the built environment and transport-related walking and cycling: IPEN adult study”. In: *Journal of Transport & Health* 3.4 (2016), S. 467–478. ISSN: 2214-1405.
- [92] Cerin, E., Cain, K. L., Conway, T. L., Van Dyck, D., Hinckson, E., Schipperijn, J., De Bourdeaudhuij, I., Owen, N., Davey, R. C. und Hino, A. A. F. “Neighborhood environments and objectively measured physical activity in 11 countries”. In: *Medicine and Science in Sports and Exercise* 46.12 (2014), S. 2253.
- [93] Chandrabose, M., Rachele, J., Gunn, L., Kavanagh, A., Owen, N., Turrell, G., Giles-Corti, B. und Sugiyama, T. “Built environment and cardio-metabolic health: systematic review and meta-analysis of longitudinal studies”. In: *Obesity Reviews* 20.1 (2019), S. 41–54. ISSN: 1467-7881.
- [94] Mayne, S. L., Auchincloss, A. H. und Michael, Y. L. “Impact of policy and built environment changes on obesity-related outcomes: a systematic review of naturally occurring experiments”. In: *Obesity Reviews* 16.5 (2015), S. 362–375. ISSN: 1467-7881.
- [95] McCormack, G. R. und Shiell, A. “In search of causality: a systematic review of the relationship between the built environment and physical activity among adults”. In: *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity* 8.1 (2011), S. 125. ISSN: 1479-5868.
- [96] Maxwell, S. E. und Cole, D. A. “Bias in cross-sectional analyses of longitudinal mediation”. In: *Psychological Methods* 12.1 (2007), S. 23. ISSN: 1939-1463.

- [97] Maxwell, S. E., Cole, D. A. und Mitchell, M. A. "Bias in cross-sectional analyses of longitudinal mediation: Partial and complete mediation under an autoregressive model". In: *Multivariate Behavioral Research* 46.5 (2011), S. 816–841. ISSN: 0027-3171.
- [98] Krenn, P. "Satellitengestützte Informationssysteme". In: *Walkability. Das Handbuch zur Bewegungsförderung in der Kommune* (2014), S. 179–188.
- [99] Winters, M., Voss, C., Ashe, M. C., Gutteridge, K., McKay, H. und Sims-Gould, J. "Where do they go and how do they get there? Older adults' travel behaviour in a highly walkable environment". In: *Social Science & Medicine* 133 (2015), S. 304–312. ISSN: 0277-9536.
- [100] Zeitler, E., Buys, L., Aird, R. und Miller, E. "Mobility and active ageing in suburban environments: Findings from in-depth interviews and person-based GPS tracking". In: *Current Gerontology and Geriatrics Research* 2012 (2012). ISSN: 1687-7063.
- [101] Mavoa, S., Oliver, M., Witten, K. und Badland, H. M. "Linking GPS and travel diary data using sequence alignment in a study of children's independent mobility". In: *International Journal of Health Geographics* 10.1 (2011), S. 64. ISSN: 1476-072X.
- [102] Montemurro, G. R., Berry, T. R., Spence, J. C., Nykiforuk, C., Blanchard, C. und Cutumisu, N. "'Walkable by willpower': Resident perceptions of neighbourhood environments". In: *Health & Place* 17.4 (2011), S. 895–901. ISSN: 1353-8292.
- [103] Sehra, S. S., Singh, J. und Rai, H. S. "A systematic study of OpenStreetMap data quality assessment". In: *2014 11th International Conference on Information Technology: New Generations*. IEEE, S. 377–381. ISBN: 1479931888.
- [104] Zielstra, D. und Zipf, A. "A comparative study of proprietary geodata and volunteered geographic information for Germany". In: *13th AGILE international conference on geographic information science*. Bd. 2010.
- [105] Christian, H. E., Bull, F. C., Middleton, N. J., Knuiaman, M. W., Divitini, M. L., Hooper, P., Amarasinghe, A. und Giles-Corti, B. "How important is the land use mix measure in understanding walking behaviour? Results from the RESIDE study". In: *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity* 8.1 (2011), S. 55. ISSN: 1479-5868.

- [106] Lewis, D., Mateos, P. und Longley, P. *Choice and the composition of general practice patient registers*. 2009.
- [107] Urban-Public-Transport-in-the-21th-Century. “Statistics Brief”. In: (2017).
- [108] Barnes, L. L., Wilson, R. S., Bienias, J. L., Mendes de Leon, C. F., Kim, H.-J. N., Buchman, A. S. und Bennett, D. A. “Correlates of life space in a volunteer cohort of older adults”. In: *Experimental aging research* 33.1 (2007), S. 77–93.
- [109] Kerr, J. “Definition and dimensions of walkability”. In: *Walkability. Das Handbuch zur Bewegungsförderung in der Kommune* (2014), S. 143–152.
- [110] Grimm, P. “Social desirability bias”. In: *Wiley International Encyclopedia of Marketing* (2010).
- [111] Moore, S. C., Patel, A. V., Matthews, C. E., Gonzalez, A. B. de, Park, Y., Katki, H. A., Linet, M. S., Weiderpass, E., Visvanathan, K. und Helzlsouer, K. J. “Leisure time physical activity of moderate to vigorous intensity and mortality: a large pooled cohort analysis”. In: *PLoS medicine* 9.11 (2012).
- [112] Sugiyama, T., Gunn, L. D., Christian, H., Francis, J., Foster, S., Hooper, P., Owen, N. und Giles-Corti, B. “Quality of public open spaces and recreational walking”. In: *American Journal of Public Health* 105.12 (2015), S. 2490–2495. ISSN: 1541-0048.
- [113] Spinney, J. E., Millward, H. und Scott, D. “Walking for transport versus recreation: a comparison of participants, timing, and locations”. In: *Journal of Physical Activity and Health* 9.2 (2012), S. 153–162. ISSN: 1543-5474.
- [114] Ashwell, M., Gunn, P. und Gibson, S. “Waist-to-height ratio is a better screening tool than waist circumference and BMI for adult cardiometabolic risk factors: systematic review and meta-analysis”. In: *Obesity Reviews* 13.3 (2012), S. 275–286. ISSN: 1467-7881.
- [115] Margolis, K. L., Qi, L., Brzyski, R., Bonds, D. E., Howard, B. V., Kempainen, S., Liu, S., Robinson, J. G., Safford, M. M. und Tinker, L. T. “Validity of diabetes self-reports in the Women’s Health Initiative: comparison with medication inventories and fasting glucose measurements”. In: *Clinical Trials* 5.3 (2008), S. 240–247. ISSN: 1740-7745.

- [116] Molenaar, E. A., Ameijden, E. J. V., Grobbee, D. E. und Numans, M. E. “Comparison of routine care self-reported and biometrical data on hypertension and diabetes: results of the Utrecht Health Project”. In: *The European Journal of Public Health* 17.2 (2007), S. 199–205. ISSN: 1464-360X.
- [117] International-Diabetes-Federation. *Type 1 Diabetes*. URL: <https://www.idf.org/aboutdiabetes/type-1-diabetes.html>.
- [118] Maahs, D. M., West, N. A., Lawrence, J. M. und Mayer-Davis, E. J. “Epidemiology of type 1 diabetes”. In: *Endocrinology and Metabolism Clinics* 39.3 (2010), S. 481–497. ISSN: 0889-8529.
- [119] Oliver, M., Witten, K., Blakely, T., Parker, K., Badland, H., Schofield, G., Ivory, V., Pearce, J., Mavoa, S. und Hinckson, E. “Neighbourhood built environment associations with body size in adults: mediating effects of activity and sedentariness in a cross-sectional study of New Zealand adults”. In: *BMC Public Health* 15.1 (2015), S. 956. ISSN: 1471-2458.
- [120] Lovasi, G. S., Grady, S. und Rundle, A. “Steps forward: review and recommendations for research on walkability, physical activity and cardiovascular health”. In: *Public Health Reviews* 33.2 (2011), S. 484. ISSN: 2107-6952.
- [121] Bock, C. und Diehl, K. “Statistische Modellierung und Verfahren”. In: *Walkability: Das Handbuch zur Bewegungsförderung in der Kommune*. Verlag Hans Huber, 2014, S. 189–198.
- [122] Cao, X., Mokhtarian, P. L. und Handy, S. L. “Examining the impacts of residential self-selection on travel behaviour: a focus on empirical findings”. In: *Transport Reviews* 29.3 (2009), S. 359–395. ISSN: 0144-1647.
- [123] Buck, C., Pohlabein, H., Huybrechts, I., De Bourdeaudhuij, I., Pitsiladis, Y., Reisch, L. und Pigeot, I. “Development and application of a moveability index to quantify possibilities for physical activity in the built environment of children”. In: *Health & Place* 17.6 (2011), S. 1191–1201. ISSN: 1353-8292.
- [124] Claßen, T. “Walkability aus Sicht der Medizinischen Geographie”. In: *Walkability: Das Handbuch zur Bewegungsförderung in der Kommune*. 2014, S. 93–103. ISBN: 3456853513.

Thesen

- (1) Walkability bezieht sich auf die gebaute Umwelt, zum Beispiel die Konnektivität von Straßen und die Entfernung von Haltestellen und Einkaufsmöglichkeiten.
- (2) Nachbarschaften mit guter Walkability können Bewegung fördern und so zu einem niedrigeren Body Mass Index (BMI) und einem geringeren Diabetes Typ 2 Risiko beitragen.
- (3) Da durch Maßnahmen zur Verbesserung der Walkability die gesamte Bevölkerung erreicht wird, können auch geringe Effektmaße bedeutsam sein.
- (4) Aktuelle Studien untersuchten Zusammenhänge zwischen Walkability, Bewegungsverhalten, BMI und Diabetes Typ 2 hauptsächlich in einzelnen Regionen oder Städten und vorrangig in Australien und Nordamerika.
- (5) In einer Stichprobe von 6.269 Probanden aus drei deutschen Kohortenstudien war höhere Impedanz (als Maß für geringe Konnektivität) in 640 Metern vom Wohnort assoziiert mit geringerer Prävalenz über 30 Minuten pro Tag zu Fuß zu gehen/mit dem Fahrrad zu fahren (Prävalenz-Ratio (PR): 0,95; 95% Konfidenzintervall (KI): 0,93; 0,97). Eine höhere Anzahl an Interessenpunkten und Haltestellen war mit einer höheren Prävalenz assoziiert (PR 1,03; 95% KI: 1,02; 1,05 für beide Maße).
- (6) In einer Stichprobe von 9.441 Probanden aus fünf deutschen Kohortenstudien war höhere Impedanz assoziiert mit höherem BMI (β : 0,15; 95% KI: 0,04; 0,25) und mehr Interessenpunkte mit geringerem BMI (β : -0,14; 95% KI: -0,24; -0,04). Keine Assoziation wurde gefunden zwischen Anzahl an Haltestellen und BMI (β : 0,005; 95% KI: -0,11; 0,12). Die Zusammenhänge waren zwischen den Kohorten inkonsistent.
- (7) In einer Stichprobe von 16.008 Probanden aus fünf deutschen Kohortenstudien betrugten

die relativen Risikoerhöhungen für Diabetes Typ 2 unter 7% und wiesen eher auf keine Assoziation hin.

- (8) Das gesteigerte Bewegungsverhalten könnte nicht stark genug sein, um Auswirkungen auf Übergewicht und Diabetes Typ 2 zu zeigen.
- (9) Bei der Interpretation der Ergebnisse müssen die Schwächen der einbezogenen Walkability Maße berücksichtigt werden.

Selbstständigkeitserklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe. Alle Regeln der guten wissenschaftlichen Praxis wurden eingehalten; es wurden keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und die den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht. Ich versichere, dass ich für die inhaltliche Erstellung der vorliegenden Arbeit nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- und Beratungsdiensten (Promotionsberater oder andere Personen) in Anspruch genommen habe. Niemand hat von mir unmittelbar oder mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen.

(Ort, Datum)

(Unterschrift)

Erklärung über frühere Promotionsversuche

Ich erkläre, dass ich mich an keiner anderen Hochschule einem Promotionsverfahren unterzogen bzw. eine Promotion begonnen habe. Ich erkläre, die Angaben wahrheitsgemäß gemacht und die wissenschaftliche Arbeit an keiner anderen wissenschaftlichen Einrichtung zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht zu haben.

(Ort, Datum)

(Unterschrift)

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Prof. Dr. Rafael Mikolajczyk und Dr. Alexander Kluttig für die Betreuung dieser Arbeit. Durch die wertvollen Ratschläge und die vielen konstruktiven Gespräche haben sie zum Gelingen dieser Arbeit wesentlich beigetragen. Die Zeit als Doktorandin unter ihrer Betreuung betrachte ich als große Bereicherung für mein Leben und meinen weiteren beruflichen Werdegang.

Weiterhin gilt mein herzlicher Dank Gavin Rudge, Mark Patrik Sheldon, Dr. Saskia Hartwig, Dr. Karin Halina Greiser und Dr. Detlef Thürkow. Ohne die Arbeit dieser Personen wäre dieses Forschungsprojekt nicht zustande gekommen. An dieser Stelle möchte ich mich außerdem herzlich bei Prof. Dr. Susanne Moebus bedanken, die eine hilfsbereite Ansprechpartnerin war.

Zudem gilt mein Dank allen Ko-Autoren der publizierten Artikel, ganz besonders Dr. Kathrin Wolf, PD Dr. Neeltje van den Berg, Dr. Ulrike Stentzel und Dr. Werner Maier. Bedanken möchte ich mich auch bei Dr. Robynne Sutcliffe, Salman Ahmed, Dr. Corinna Köhnke und apl. Prof. Dr. Andreas Wienke. Durch ihre Kommentare und Ratschläge haben sie wesentlich zum Gelingen der beiden Artikel beigetragen.

Außerdem danke ich meinen Mit-Doktoranden, die die Promotionszeit zu etwas ganz Besonderem gemacht haben und für die gegenseitige Unterstützung während dieser Zeit.

Abschließend möchte ich mich von Herzen bei meinen Eltern, Geschwistern und meiner gesamten Familie und meinen Freunden bedanken, die mich in den letzten drei Jahren begleitet und unterstützt haben.

También quiero agradecer a Cris por el acompañamiento, paciencia y apoyo, tanto emocional como profesional, desde el principio de mi doctorado. Además, por su ayuda con el trabajo en L^AT_EX. Gracias también a la *personita*, quien iluminó el final de mi doctorado.

