# Een wandeling door de Digital Twin

Bart E. Kloostra

# EEN WANDELING DOOR DE DIGITAL TWIN

Bachelorscriptie: Een onderzoek naar beloopbaarheid in de Digital Twin

Bart E. Kloostra (3024423)
Geo Media & Design
Amersfoort, 8 augustus 2021
Aeres Hogeschool Almere
Afstudeerdocent: Jan Willem van Eck

**DISCLAIMER:** Dit rapport is gemaakt door een student van Aeres Hogeschool als onderdeel van zijn/haar opleiding. Het is géén officiële publicatie van Aeres Hogeschool. Dit rapport geeft niet de visie of mening van Aeres Hogeschool weer. Aeres Hogeschool aanvaardt geen enkele aansprakelijkheid voor enige schade voortvloeiend uit het gebruik van de inhoud van dit rapport.

# Voorwoord

Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van de afstudeerfase van de opleiding Geo Media en Design. Deze studie volg ik sinds 2016 aan Aeres Hogeschool Almere. Tijdens de minor Growing Green Cities die ik volgde aan Aeres Hogeschool Almere ben ik geïnteresseerd geraakt in het thema lopen. Ik heb mij toen verwonderd over de vele positieve effecten van lopen. Vanaf dat moment ben ik intrinsiek gemotiveerd geweest om iets te gaan doen met het thema lopen. Tijdens mijn zoektocht naar een probleemstelling heb ik de reikende hand gekregen van Martine de Vaan, kwartiermaker van City Deal: Ruimte voor Lopen, Martin Goossen, senior researcher recreation and tourism at Wageningen Environmental Research en Joop Machielse, senior-adviseur fysieke leefomgeving. Met hun waardevolle inzichten en adviezen heb ik een probleemstelling gevonden waar ik met mijn studieachtergrond onderzoek naar kan doen.

Daarnaast wil ik André Nagelhout bedanken voor zijn hulp bij het zetten van de eerste stappen in dit vooronderzoek. Ook Jan Willem van Eck verdient het om bedankt te worden voor het bieden van sturing en inspiratie. Tijdens onze zogeheten afstudeerkringen, sessies georganiseerd door mijn hogeschool waarin we met docenten en studenten over onze scriptie sparren, heb ik zeer veel gehad aan de feedback van Karin Wilterdink. Ook dankzij de feedback van Karin Blok vanuit haar rol als tweede beoordelaar, is dit afstudeerwerkstuk geworden wat het is. Als laatste wil ik Reijn van Rooijen bedanken voor het bieden van hulp met de digital twin software van Tygron.

Ik wens u veel leesplezier.

# Inhoudsopgave

Samenvatting ..... 6

Summary ..... 7

Hoofdstuk 1. Inleiding ..... 8

1.1 Het belang van een beter loopklimaat ..... 8

1.2 Lopen in Nederland ..... 9

1.3 Wat is beloopbaarheid en is het meetbaar? ..... 10

1.4 De digital twin ..... 11

1.5 De kern van dit onderzoek ..... 12

1.6 Knowledge gap ..... 13

1.7 Leeswijzer ..... 14

Hoofdstuk 2. Materiaal en methode ..... 15

2.1 Verantwoording van data en haalbaarheid onderzoek ..... 15

2.2 Onderzoeksmethode en materiaal ..... 15

2.3 Beloopbaarheid ..... 16

2.4 Stedelijke transformatie ..... 16

2.5 De digital twin ..... 17

2.6 Het toepassen van de digital twin ..... 17

2.7 Afbakening ..... 18

2.8 Planning ..... 18

Hoofdstuk 3: Resultaten ..... 19

3.1 Gegevensverzameling ..... 19

3.2 Deelvraag 1: *Wat is beloopbaarheid en hoe is het te berekenen?* ..... 19

3.3 Deelvraag 2: *Wat zijn voorbeelden van stedelijke transformatie en welke indicatoren van beloopbaarheid worden hierdoor mogelijk beïnvloed?* ..... 25

3.4 Deelvraag 3: *Hoe kan een digital twin gebruikt worden om beloopbaarheid aan te tonen?*.....29

3.5 Deelvraag 4: *Hoe is een stedelijke transformatie toe te passen in een digital twin?*.33

Hoofdstuk 4: Discussie.....36

Hoofdstuk 5: Conclusie en aanbevelingen.....39

Bronnenlijst.....42

Bijlage 1: Termen die voorkomen in de definities van beloopbaarheid .....1

# Samenvatting

Fysieke inactiviteit is verantwoordelijk voor gemiddeld 1-3% van de nationale zorgkosten (World Health Organization, 2019). Volgens het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu is te weinig bewegen een van de redenen dat de Nederlandse zorgkosten van 84 miljard in 2018 naar 174 miljard in 2040 zullen stijgen (de Vaan., 2019). Gelukkig zit er een positieve trend in het aantal lopende mensen. Een goede ontwikkeling, want uit onderzoek is gebleken dat lopen goed is voor de mens (Damen et al., 2020). In Nederland wordt de laatste jaren nagedacht over het verbeteren van het loopklimaat, of wel beloopbaarheid, van steden.

In dit onderzoek is inzicht verkregen in de onderwerpen beloopbaarheid en stedelijke transformatie en in de mogelijkheid van het gebruik van een digital twin voor het aantonen en manipuleren van beloopbaarheid in een digitale simulatie. De hoofdvraag luidt: '*Hoe kan een digital twin het effect van stedelijke transformatie op beloopbaarheid* aantonen?'. Het Tygron Platform, een bekende digital twin in Nederland, is gebruikt om deze vraag te beantwoorden.

Er zijn inconsistenties in het definiëren en berekenen van beloopbaarheid. Dit leidt tot onduidelijkheden over de richtlijnen die beleidsmakers moeten gebruiken om beloopbaarheid te verbeteren (Frank et al., 2021). De term beloopbaarheid is veelomvattend en dit maakt het lastig om een universele definitie te bedenken. Beloopbaarheid is op verschillende manieren te berekenen, maar de nieuwe rekenmethode van Goossen et al. (2021) lijkt veel potentie te hebben in Nederland. Daarnaast kunnen stedelijke transformaties zeker een bijdrage leveren aan het verbeteren van de beloopbaarheid van steden. Verder kan een digital twin, met een persoon aan het roer die beschikt over de juiste kennis, een krachtige verbinding vormen tussen beloopbaarheid en stedelijke transformatie. Een digital twin heeft namelijk het vermogen om beloopbaarheid aantoonbaar te maken en te simuleren wat er gebeurt als stedelijke elementen van een stad worden getransformeerd. Aanvullend onderzoek zou kunnen uitwijzen welke digital twins er nog meer zijn en welke het meest geschikt is om de 'wetenschap van het lopen' in de nabije toekomst te ondersteunen.

# Summary

Physical inactivity is responsible for an average of 1-3% of the national health care costs (World Health Organization, 2019). According to the National Institute for Public Health and the Environment, too little exercise is one of the reasons that healthcare costs will rise from 84 billion in 2018 to 174 billion in 2040 (de Vaan., 2019). Fortunately, there is a positive trend in the number of people using walking as a modality. A good development, because research has shown that walking is good for humans (Damen et al., 2020). In recent years, the Netherlands has been contemplating of improving the walking climate of cities, or in other words, the walkability of cities.

In this research, insight was gained into the topics of walkability and urban transformation and the possibility of using a digital twin to demonstrate and manipulate walkability in a digital simulation. The research question is: 'How can a digital twin demonstrate the effect of urban transformation on walkability?'. The Tygron Platform, a well-known digital twin in the Netherlands, was used to answer this question.

There are inconsistencies in defining and calculating walkability. This leads to a lack of clarity about the guidelines policymakers should use to improve walkability (Frank et al., 2021). The term walkability is comprehensive, and thus it is difficult to come up with a universal definition. Walkability can be calculated in different ways, but the new calculation method of Goossen et al. (2021) seems to have a lot of potential in the Netherlands. In addition, urban transformations can certainly contribute to improving the walkability of cities. Furthermore, a digital twin, with a person at the helm who has the proper knowledge, can form a powerful connection between walkability and urban transformation. A digital twin has the ability to demonstrate walkability and simulate what happens when urban elements of a city are transformed. Additional research should show which other digital twins there are and which one is most suitable to support the ‘science of walking’ in the near future.

# Hoofdstuk 1. Inleiding

## 1.1 Het belang van een beter loopklimaat

Volgens de World Health Organization (WHO) bedragen de jaarlijkse globale kosten van fysieke inactiviteit van mensen 68 miljard dollar (omgerekend ~54,3 miljard euro) in 2013. Fysieke inactiviteit is verantwoordelijk voor gemiddeld 1-3% van de nationale zorgkosten (World Health Organization, 2019). Daarnaast is volgens het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu te weinig bewegen een veroorzaker van gezondheidsklachten in Nederland en hierdoor een van de redenen dat de zorgkosten zullen stijgen van 84 miljard in 2018 naar 174 miljard in 2040 en van 5.000 naar bijna 10.000 euro per persoon per jaar (de Vaan., 2019).

Er zijn niet alleen maar donkere vooruitzichten, want de ruimtelijke aspecten van sociaaleconomische gezondheidsachterstanden lijken steeds belangrijker te worden in de ogen van gemeenten, mede door de invoering van de nieuwe Omgevingswet (Velze et al., 2020). Deze wet maakt het starten van ruimtelijke projecten eenvoudiger door het bundelen en vereenvoudigen van regels. De verwachting is dat de invoering van deze wet een positieve invloed zal hebben op fysieke activiteit, zoals lopen. Volgens het CROW, een stichting zonder winstoogmerk die zich als kennisplatform bezighoudt met de kwaliteit van infrastructuur, openbare ruimte en verkeer en vervoer in Nederland, zal het aantal mensen dat loopt in de toekomst toenemen. Dit komt volgens CROW onder andere door vergrijzing, trek naar de stad, de informatisering die het mogelijk maakt om verschillende vervoersmiddelen te gebruiken (waar lopen bijna altijd onderdeel van is) en de toenemende aandacht voor een gezonde levensstijl (CROW, z.d.).

Er zit dus een positieve trend in het aantal lopende mensen (CROW, z.d.). Een goede ontwikkeling, want uit onderzoek is gebleken dat lopen goed is voor de mens (Damen et al., 2020). Zo heeft het invloed op onze fysieke en mentale gezondheid. Het is bloeddrukverlagend, het zorgt voor gewichtsverlies en het verkleint de kans op coronaire hartziekte. Daarnaast is lopen stress verlagend en het vermindert angst en depressiviteit. Lopen wordt zelfs gebruikt als therapeutische behandeling voor psychologische verwerking (Damen et al., 2020).

Lopen zorgt voor een betere samenwerking tussen mensen en het kan een positief effect hebben op productiviteit bij werkzaamheden die concentratie vergen. Ook helpt lopen bij het verhogen van waarneembare creativiteit, welzijn en algemene stemming (Damen et al., 2020). Onze fysieke omgeving speelt ook een rol in de positieve effecten van lopen. Zo kan de aanwezigheid van natuurlijke elementen in onze fysieke omgeving onze stemming verbeteren en het kan restauratieve effecten hebben op vermoeidheidsverschijnselen (Damen et al., 2020).

Het stimuleren van mensen om lopen als vrijetijdsbesteding of als vervoersmiddel te gaan gebruiken kan de publieke en private gezondheid verbeteren. Lopen heeft (in)direct een positieve invloed op de sociale cohesie en leefbaarheid van woonplaatsen. Daarnaast zullen hierdoor problemen zoals verkeersopstoppingen, luchtvervuiling en CO2-uitstoot verminderen. De economie en vastgoedmarkt zullen door meer mensen te laten lopen ook positief worden beïnvloed (Hall & Ram., 2018). Hall & Ram beweren dat lopen als vorm van transport hierdoor bijdraagt aan alle drie de pilaren van duurzaamheid (economie, samenleving en milieu (Cato., 2009)).

Er lijkt dus overduidelijk bewijs te zijn voor het feit dat het aanzetten tot vaker lopen kan leiden tot een verbetering van diverse aspecten van onze maatschappij. Het is daarom aannemelijk dat lopen en het verbeteren van mogelijkheden tot lopen, in de toekomst meer aandacht zal krijgen.

## 1.2 Lopen in Nederland

Mobiliteit van de voetganger is een onderwerp dat niet altijd de nodige aandacht krijgt, want dit wordt wereldwijd niet zo vaak gemeten als de mobiliteit van gemotoriseerde voertuigen. Dit leidt tot een onderschatting van het belang van lopen (Dörrzapf et al. 2019). Gelukkig blijken er steeds meer gevallen te zijn waarin het belang van lopen wordt benadrukt.

Volgens cijfers van de GGD had in 2019 maar liefst 40% van de inwoners van Amsterdam overgewicht; een goede aanleiding voor Gemeente Amsterdam om na te denken over de beweegvriendelijkheid van de stad. Onderzoekers van Amsterdam Public Health (APH), GGD, en het Rijksinstituut voor de Volksgezondheid en Milieu en Gemeente Amsterdam hebben om deze reden een tweejarig onderzoek gedaan naar de beloopbaarheid van de stad. In dit onderzoek kregen 150 Amsterdammers een gps die ze mee moesten nemen tijdens hun wandelingen in de stad. Een belangrijke constatering van dit onderzoek is dat Amsterdammers niet te pushen zijn om goed gedrag te vertonen. De kunst is om ze te verleiden te gaan lopen, oftewel ‘nudgen’ (Sevil, 2019).

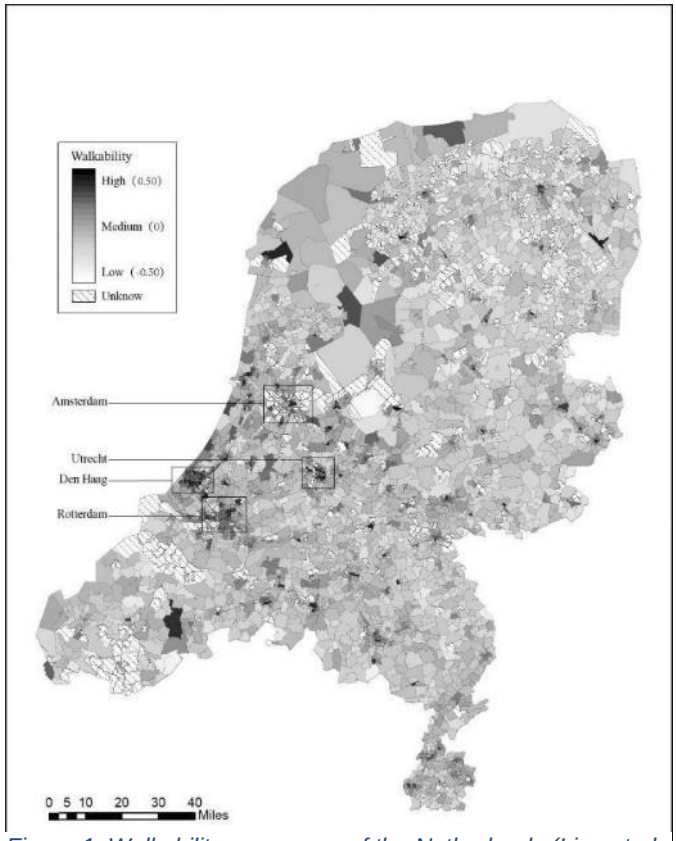
Gemeente Tilburg is ook actief op het gebied van lopen. Deze gemeente is de drijfveer achter de zogenoemde loopagenda 2020-2023. In deze agenda staan manieren beschreven om het loopklimaat in Tilburg te verbeteren. Ook heeft Gemeente Tilburg een app ontwikkeld waarin wandelingen te vinden zijn die een specifiek thema hebben en die vanuit deze app worden ondersteund met achtergrondinformatie (Gemeente Tilburg, 2020).

Daarnaast is er de City Deal: Ruimte voor Lopen. In dit samenwerkingsverband gaan mensen zich de komende vier jaar op het loopbeleid in Nederland richten en hiermee experimenten in de gebouwde omgeving bijvoorbeeld in de vorm van stedelijke transformatie (oftewel het veranderen van de stedelijk structuur). Vier van de betrokken partijen zijn onderdeel van de Rijksoverheid en nog vier zijn kennisinstellingen en private partijen. Daarnaast zijn er acht maatschappelijke organisaties betrokken en acht provincies en gemeenten (City Deal: Ruimte voor Lopen, 2021).

Bovenstaande is zeker niet alles wat er in Nederland gebeurt op het gebied van lopen. Wie een zoekopdracht doet op het internet naar bijvoorbeeld: “walkability Nederland”, krijgt tientallen resultaten over onderzoeken en artikelen over lopen in Nederland. Daarnaast is het feit dat er veel gebeurt op het gebied van lopen in Nederland, en dat de City Deal: Ruimte voor Lopen zoveel diverse partners heeft, een aanwijzing dat het verbeteren van het loopklimaat geen ondergeschikte zaak is in Nederland; het is in volle vaart aan de gang.

## 1.3 Wat is beloopbaarheid en is het meetbaar?

De term beloopbaarheid is volgens onderzoek van Forsyth (2015) niet de enige term waar onduidelijkheid over is. Hetzelfde geldt voor de termen ‘gemeenschap’, ‘cultuur’ en ‘buurt’ in sociologische studies en de term ‘buitenwijken’ in studies over urbanisme. Het definiëren van de term beloopbaarheid lijkt een lastige zaak. Volgens het onderzoek van Liao et al. (2020) zijn er meerdere manieren om beloopbaarheid te meten, wat indirect betekent dat er meerdere definities aan de term beloopbaarheid gekoppeld zijn. Een manier is om beloopbaarheid te meten op subjectiviteit; dus aan de hand van perceptie van mensen een score bepalen. Daarnaast kan het objectief worden berekend, waarbij de gebouwde omgeving wordt gebruikt als meeteenheid. De data gedreven rekenmethode is er een die gebaseerd is op empirische validatie, ofwel op waarnemingen die aan de hand van experimenten zijn gevalideerd. Als laatste is er de theorie gedreven benadering. Hierin wordt aan de hand van theorie een rekenmethode bepaald. Een veelgebruikt voorbeeld hiervan is de Walkability Index ontworpen door Frank et al. in 2005 (Liao et al., 2020). De Walkability Index is echter voor Amerikaanse steden ontworpen en niet alle steden ter wereld zijn gebouwd zoals die in de Verenigde Staten. De typische Europese stad heeft een oud centrum, middeleeuwse gebouwen en smalle straten. Amerikaanse steden hebben daarentegen over het algemeen een lage bevolkingsdichtheid (Grasser et al., 2016). Het ontwerpen van een universele methode voor het berekenen van beloopbaarheid lijkt dus onmogelijk. Liao et al. 2020 zetten hier eveneens hun vraagtekens bij: “*When systematic differences exist between regions, the question arises whether the goal of developing a universally applicable method to measure walkability should be abandoned and replaced by a practice where local estimation and validation of a model is an integral part of the application of walkability analysis”* (Liao et al., 2020).

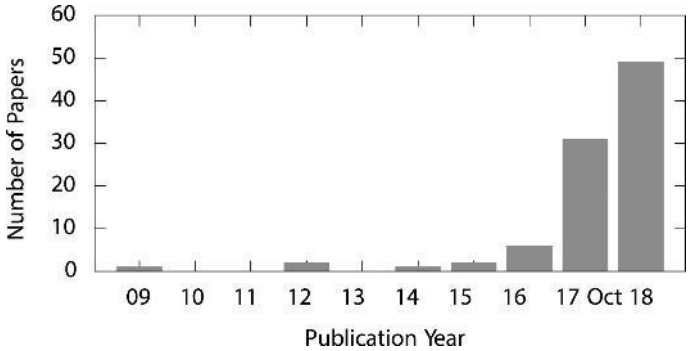



*Figuur 1: Walkability score map of the Netherlands (Liao et al., 2020).*

Het meten van de beloopbaarheid is mogelijk maar lijkt geen eenvoudig proces. Een indicatie hiervoor is het feit dat Martin Goossen in zijn literatuuronderzoek 160 indicatoren heeft gevonden die in meer en mindere mate invloed hebben op de beloopbaarheid. Daarnaast is recentelijk een poging gedaan om de beloopbaarheid van Nederlandse buurten te berekenen. In het onderzoek van Liao et al. (2020) is een kaart gemaakt (Figuur 1) van de beloopbaarheid van buurten in Nederland. Aan de hand van de kaart is te concluderen dat de gebieden met een hoge mate van urbanisatie ook een hogere beloopbaarheidsscore hebben. Hoewel volgens Liao et al. de berekeningen die gebruikt zijn voor de kaart niet volledig correct zijn, lijkt het wel een goede opzet voor een berekening van de beloopbaarheid van Nederland in zijn volledigheid. “*Based on the results we identify ways to improve existing indices to measure walkability*” (Liao et al., 2020).

## 1.4 De digital twin

Zoals eerder benoemd is ‘beloopbaarheid’ een term zonder een vaste definitie en volgens recent onderzoek van Jones et al. (2020) is dat voor de term ‘digital twin’ niet anders. Net als de term ‘beloopbaarheid’ is de term ‘digital twin’ steeds vaker terug te vinden in publicaties. Het aantal papers dat is geschreven over het onderwerp ‘digital twin’ is in de afgelopen 5 jaar gestegen zoals in figuur 2 te zien is (Jones et al., 2020).



*Figuur 2: Aantal publicaties over digital twins (Jones et al., 2020)*

Wat echter ontbreekt is consistentie in de omschrijving van het digital twin concept. Hier hangt volgens Jones et al. (2020) een risico aan vast, namelijk dat het digital twin concept verwatert en dat uit het oog wordt verloren waar het concept in eerste instantie voor bedoeld was. In het onderzoek van Jones et al. (2020) is gekeken naar 92 publicaties met als onderwerp digital twin. Hieruit is een lijst met 13 karakteriserende eigenschappen naar voren gekomen om de digital twin te definiëren. Daarnaast is geconstateerd dat er 7 knowledge gaps en onderwerpen zijn die in de toekomst behandeld moeten worden om de digital twin te realiseren (Jones et al. 2020). Het lijkt erop dat het werk van Jones et al. een goede basis vormt voor verder onderzoek naar digital twins.

Het concept digital twin is bedacht om de levenscyclus van een product op een virtuele manier te ondersteunen. De basis van informatie die ingevoerd zou worden in de digital twin, zou afkomstig zijn van de productlevenscyclus theorie die door Theodore Levitt is bedacht (Jones et al. 2020). Deze theorie houdt in dat een product van het moment dat het wordt uitgevonden tot het einde van het product bepaalde levensfases doorloopt. De snelheid waarin het product de fases doorloopt is afhankelijk van bijvoorbeeld marketingstrategieën (Diepeveen, 2014). De digital twin zou in deze context bedoeld zijn om een virtuele kopie te vormen van een product, waarin gemodelleerd, getest en geoptimaliseerd kan worden om bijvoorbeeld de levenscyclus van het product te voorspellen (Jones et al. 2020). In de context van de gebouwde omgeving kan dit ogenschijnlijk veel betekenen. Het is dus een logisch gevolg dat er de afgelopen jaren veel digital twins zijn ontworpen voor de stedelijke omgeving. Het Tygron Geodesign-platform biedt bijvoorbeeld zo’n digital twin. Deze digital twin kan volgens Tygron data, analyses en visualisaties uitvoeren op een drie dimensionale kopie van Nederland en alles up-to-date houden tijdens de verschillende fases van een project. Ook kan de software van Tygron in verschillende vormen samenwerking verbeteren tussen afdelingen en organisaties (Tygron., 2021). Niet alleen Tygron houdt zich bezig met digital twin in de stedelijke omgeving, maar ook organisaties zoals CGI Nederland, Argaleo en Geonovum, om even een paar voorbeelden te noemen.

Schijnbaar zijn er dus overeenkomsten te vinden in de termen ‘beloopbaarheid’ en ‘digital twin’. Het is een goed voorteken voor dit afstudeeronderzoek waarin naar de kracht van de combinatie van de twee begrippen wordt gezocht.

## 1.5 De kern van dit onderzoek

Digitalisering van beleid lijkt steeds vaker te gebeuren. Het is daarom geen vergezochte gedachte om een digital twin toe te passen om beloopbaarheid aan te tonen; zeker als het ook mogelijk is hiermee de effecten van bepaalde vormen van stedelijke transformatie op beloopbaarheid te voorspellen. In dit onderzoek is daarom gekeken naar verschillende aspecten rondom de toepassing van de digital twin op het gebied van beloopbaarheid. Allereerst is onderzocht wat beloopbaarheid precies is, en hoe dit te kwantificeren is. Daarna is de focus gelegd op de vormen van stedelijke transformatie. Wat is dat, en wat voor effect heeft het op beloopbaarheid? Nadat deze onderdelen waren onderzocht, was er een vruchtbare basis gelegd voor het toepasbaar maken van de vergaarde kennis. Vervolgens werd het tijd om in een digital twin de beloopbaarheid van een stad aan te gaan tonen. Daarna is gekeken naar het toepassen van een stedelijke transformatie in een digital twin. Tot slot is bepaald of het mogelijk is om in een digital twin het effect van een vorm van stedelijke transformatie op beloopbaarheid aan te tonen.

In dit afstudeeronderzoek is geen sprake van een externe opdrachtgever. Wel is er veel moeite gestoken in de zoektocht naar een vraagstelling. Verschillende partijen zijn geraadpleegd. Zo zijn onder andere de docenten van Aeres Hogeschool Almere, Jan Willem van Eck, André Nagelhout en Frank Braakhuis gevraagd voor hun kijk op het thema beloopbaarheid. Daarna is oud stagebegeleider Joop Machielse, senior-adviseur fysieke leefomgeving (inmiddels gepensioneerd) bij Provincie Utrecht, benaderd met de vraag of de provincie bezig is met beloopbaarheid. Via Machielse is er toen dialoog ontstaan met Martin Goossen. Ook is Martine de Vaan, kwartiermaker van City Deal: Ruimte voor Lopen benaderd. De Vaan heeft zelf een onderwerp aangedragen binnen het thema beloopbaarheid, echter sloot dit niet nauw genoeg aan bij de studierichting van Geo Media en Design. Na die conclusie is op advies van de Vaan wederom contact opgenomen met Martin Goossen. Goossen heeft toen waardevolle inzichten geboden in de actuele vragen rondom beloopbaarheid. Dat heeft, samen met een voorkeur om de digital twin te betrekken in dit onderzoek, de basis gevormd voor dit afstudeeronderzoek.

Martin Goossen, senior onderzoeker recreatie en toerisme bij Wageningen Environmental Research, doet in een team onderzoek naar de factoren die bepalen of mensen wel of niet gaan lopen en naar hoe deze berekend en gekwantificeerd kunnen worden in de vorm van een beloopbaarheidsscore. Volgens het literatuuronderzoek van Goossen et al. (2021) zijn er 160 factoren die invloed hebben op de beloopbaarheid van een stad. Echter, er is maar voor 65% van deze factoren data beschikbaar. Met de beschikbare data zijn Goossen et al. met een selectie van wegdelen uit de Basisregistratie Grootschalige Topografie (BGT), welke overigens open source is, berekeningen aan het maken op alle wegvakonderdelen die zijn benoemd als ‘voetpad’. In de gevallen dat een voetpad in de omgeving ontbreekt, wordt de berekening uitgevoerd op een fietspad. Wanneer zowel een voetpad als fietspad ontbreekt, wordt een rijbaan gebruikt. De selectie van BGT-objecten waar Goossen mee werkt is gebaseerd op een bufferzone (lees straal) van 300m rondom OV-knooppunten in Provincie Utrecht. Alle buurten die zich helemaal of gedeeltelijk in de bufferzone bevinden zijn meegenomen in de selectie. Nadat van elk voetpad (en de nodige fietspaden en rijbanen) de beloopbaarheid is berekend, kan een gemiddelde worden bepaald van de beloopbaarheid rondom OV-knooppunten per buurt of gemeente en van de OV-knooppunten zelf (Goossen et al., 2021) De data afkomstig uit dit onderzoek zijn geschikt om beloopbaarheid mee aan te tonen in een digital twin.

Er is in dit onderzoek niet zelf berekend wat de beloopbaarheid van een stad is. Wel is gekeken naar de verschillende rekenmethodes. Er is in dit afstudeeronderzoek ook niet gekeken naar het verzamelen van de ontbrekende indicatoren voor het bepalen van beloopbaarheid, maar wel naar het inzetten van deze indicatoren om in een digital twin beloopbaarheid aan te tonen.

In het onderzoek van Goossen zijn er binnen Provincie Utrecht betrokkenen van twee aparte afdelingen: de afdeling mobiliteit, waarin de focus ligt op het beter bereikbaar maken van OV-knooppunten voor voetgangers; en de afdeling leefomgeving, waarin gestreefd wordt naar groenere en aantrekkelijkere straten. Volgens Goossen is het voor Provincie Utrecht interessant om te weten wat de gebruiksmogelijkheden zijn van de digital twin. Provincie Utrecht zal mogelijk bij het concluderen dat de digital twin een aanwinst kan zijn in het maken van beleid, aan verschillende gemeenten adviseren om gebruik te gaan maken van een dergelijke tool. Hieruit is te concluderen dat het gaat om een sectoraal vraagstuk. Deze sector is ook de doelgroep voor dit afstudeeronderzoek.

## 1.6 Knowledge gap

De digital twin is volgens Goossen de moeite waard om te onderzoeken omdat beleidsmakers hier in de toekomst wellicht inzichten mee kunnen verkrijgen om het beleidsproces van de leefomgeving te ondersteunen. Een digital twin tool zou mogelijk inzicht kunnen geven in het positieve en negatieve effect van transformatie van de stedelijke omgeving op beloopbaarheid. Als dit het geval is kan de digital twin gezien worden als hulpmiddel, bijvoorbeeld als gesprektool, bij het maken van beleid rondom beloopbaarheid. Eigenlijk zijn er drie onderwerpen binnen dit afstudeeronderzoek; de digital twin, beloopbaarheid en de stad. Beloopbaarheid en de stad staan direct in verband met elkaar. Maar wat gebeurt er als er een digital twin tussen wordt gezet? Wordt het daarmee mogelijk om in de virtuele omgeving van de digital twin de effecten van het veranderen van de stad op beloopbaarheid te voorspellen? Dat zou wellicht kunnen, dus is daar onderzoek naar gedaan in dit afstudeeronderzoek.

### 1.6.1 Vraagstelling

In het licht van bovenstaande is de volgende hoofdvraag geformuleerd:

*Hoe kan een digital twin het effect van stedelijke transformatie op beloopbaarheid* aantonen?

Het antwoord op deze hoofdvraag wordt met het beantwoorden van de volgende deelvragen verkregen:

1. *Wat is beloopbaarheid en hoe is het te berekenen?*
2. *Wat zijn voorbeelden van stedelijke transformatie en welke indicatoren van beloopbaarheid worden hierdoor beïnvloed?*
3. *Hoe kan een digital twin gebruikt worden om beloopbaarheid aan te tonen?*
4. *Hoe is een stedelijke transformatie toe te passen in een digital twin?*

### 1.6.2 Doelstelling

Het concept digital twin en beloopbaarheid lijken enorm in opkomst te zijn. Echter lijken beide onderwerpen gedeeltelijk in de kinderschoenen te staan. Het doel van dit onderzoek is daarom om inzicht te geven in de concepten, definities en invalshoeken van deze onderwerpen en in de mogelijkheid van het toepassen van een digital twin op het gebied van beloopbaarheid in de stedelijke omgeving. Hoe belangrijk zijn de elementen van een stad eigenlijk en wat voor invloed heeft het veranderen van deze elementen op de beloopbaarheid? En is het mogelijk om de elementen van een stad te veranderen met

behulp van een digital twin? En is het effect van stedelijke transformatie op beloopbaarheid aan te tonen in een digital twin? Het doel is om hier een antwoord op te vinden.

## 1.7 Leeswijzer

In deze inleiding is ingegaan op het theoretisch kader, de knowlegde gap en wat dit onderzoek kan betekenen in de beroepspraktijk. Het tweede hoofdstuk gaat dieper in op de methode van onderzoeken. Daarna komen de onderzoeksresultaten aan bod in Hoofdstuk 3: Resultaten. Vervolgens wordt in Hoofdstuk 4: Discussie bekeken waarin een brug wordt geslagen met de theorie en praktijk. Tevens wordt er in dit hoofdstuk een kritische blik geworpen op het uitgevoerde onderzoek. Dan volgt Hoofdstuk 5: Conclusie en aanbevelingen waarin antwoord wordt gegeven op de deelvragen en hoofdvraag. Daarnaast worden er aanbevelingen gedaan. Tot slot volgt een bronnenlijst.

# Hoofdstuk 2. Materiaal en methode

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe het onderzoek zal verlopen en hoe het antwoord op de deelvragen wordt verkregen. Hiermee kan vervolgens antwoord worden gegeven op de hoofdvraag:
'*Hoe kan een digital twin het effect van stedelijke transformatie op beloopbaarheid* aantonen?'.

## 2.1 Verantwoording van data en haalbaarheid onderzoek

Verantwoording van data
De data die gebruikt zijn in dit onderzoek zijn uitsluitend afkomstig uit wetenschappelijke bronnen. Hiermee is de betrouwbaarheid van de data gewaarborgd. Martin Goossen, werkzaam bij de Universiteit van Wageningen en contacten bij Provincie Utrecht en Gemeente Huizen (door eerdere en huidige functies bij deze organisaties) waren ook potentiële bronnen voor data. Er is via deze kanalen alleen gezocht naar wetenschappelijke bronnen, dus geen eigen interpretaties. Er is uiteindelijk alleen gebruik gemaakt van data die geleverd zijn door Martin Goossen.

Bij vragen
Wanneer er vragen waren werd er contact opgenomen met de afstudeerdocent of Martin Goossen. Ook is het boek: "Baarda, B., & Bakker, E. (2013). *Basisboek kwalitatief onderzoek* (3de ed.). Noordhoff." geraadpleegd wanneer de vraag ging over de uitvoering van dit onderzoek. Daarnaast is het boek "Oosterbaan, W. (2014). *Een leesbare scriptie* (17de ed.). Bert Bakker." van pas gekomen bij vragen over bijvoorbeeld de schrijfstijl van dit afstudeeronderzoek.

Haalbaarheid onderzoek
Om de haalbaarheid te waarborgen is gebruik gemaakt van een planning in tabelvorm waarin de taken, tijdsduur en progressie werden aangegeven. Elke dag dat er aan dit onderzoek gewerkt is, werd de planning herzien en werd op dat moment gekeken of het nog haalbaar was. Ook is er deelgenomen aan de zogeheten 'scriptie schrijfdagen' die worden aangeboden door Aeres Hogeschool Almere. Tijdens de schrijfdagen kregen studenten de mogelijkheid om te sparren en elkaar te inspireren en motiveren.

Het gebruik van het Tygron Platform
Om antwoord te geven op de hoofdvraag, was het nodig om gebruik te maken van een digital twin. Door het volgen van de studie Geo Media en Design aan Aeres Hogeschool Almere, was het een mogelijkheid om toegang te krijgen tot de digital twin van Tygron en deze te gaan gebruiken voor het inladen van data en dergelijke. Daarnaast is tijdens de studie Geo Media en Design veel aandacht besteed aan het gebruiken van het Tygron Platform. Door deze voorsprong in ervaring met dit programma is de voorkeur uitgegaan naar deze digital twin.

## 2.2 Onderzoeksmethode en materiaal

Dit kwalitatieve onderzoek bestaat deels uit literatuuronderzoek en toegepast onderzoek met ruimte voor open vraagstelling. In dit onderzoek is geen sprake van een verwacht antwoord. Er wordt gebruik gemaakt van informatie uit bestaande wetenschappelijke artikelen en onderzoeken (Baarda & Bakker, 2013). Met het literatuuronderzoek is een basis gelegd voor het onderzoeken van een mogelijke

toepassing van de digital twin. Na het uitvoeren van het literatuuronderzoek, is toegepast onderzoek gedaan naar de methodiek achter het gebruiken van de digital twin.

De wetenschappelijke artikelen voor dit onderzoek zijn verzameld met behulp van de zoekfunctie op de website van Google Scholar, waarvan de meeste afkomstig zijn van Researchgate. Dit omdat het via Aeres Hogeschool Almere mogelijk is om in te loggen en toegang te vragen tot sommige wetenschappelijke artikelen. De bronnen die al zijn gebruikt en nader te onderzoeken zijn, zijn in een lijst gezet betiteld als 'Nog niet geraadpleegd, maar nader te onderzoeken'. Daarnaast is het mogelijk dat via het onderzoek van Martin Goossen wetenschappelijke artikelen te achterhalen waren over (een rekenmethode voor) beloopbaarheid. Hiervoor is Goossen persoonlijk benaderd. In april 2021 is er een webinar georganiseerd over de digital twin door Geonovum. Hierin hebben partijen, zoals Tygron, Argaleo, Gemeente Rotterdam, VU Amsterdam en Kadaster, de kans gekregen om iets te presenteren over de digital twin. Er zijn video opnamen gemaakt van de presentaties. Deze presentaties zouden mogelijk gebruikt worden als bron van informatie, mits de informatie relevant is.

## 2.3 Beloopbaarheid

**Deelvraag 1:** *Wat is beloopbaarheid en hoe is het te berekenen?*

Om meer duidelijkheid te creëren over de term beloopbaarheid is gezocht naar een aantal bestaande definities en concepten. Daarnaast zijn methodes voor het berekenen van beloopbaarheid opgezocht en benoemd. Er is gezocht naar de meest recente (en meest correcte) rekenmethodes. Ook is per rekenmethode gekeken naar de indicatoren die van belang zijn bij het berekenen van beloopbaarheid. Een nuttige bron van informatie voor deze deelvraag was het onderzoek van Goossen et al. (2021). Uit het onderzoek van Goossen et al. is een rekenmethode herleid waarmee onder andere informatie is gevonden over de indicatoren die beloopbaarheid bepalen. Verder is er gezocht naar informatie in wetenschappelijke artikelen over beloopbaarheid. De verzamelde informatie is op een beschrijvende wijze verwerkt tot tekst en wanneer nodig is er een analyse gedaan. Naar verwachting waren er veel recent gepubliceerde wetenschappelijke artikelen te vinden over beloopbaarheid. Het kon dus zijn dat een artikel relatief weinig was geciteerd door anderen. Daarom is niet gekeken naar het aantal citaties van een artikel. Minder recente wetenschappelijk artikelen zijn ook betrokken in de zoektocht naar definities van beloopbaarheid, omdat hiermee een breed kader kon worden geschetst van de term. De wetenschappelijke artikelen over de rekenmethode van beloopbaarheid zijn wel actueel.

De volgende zoekwoorden zijn gebruikt voor het vinden van relevante wetenschappelijke artikelen: beloopbaar(heid), loopbeleid, lopen (in steden), (measuring) walkability, walkscore, walking (in cities), walkable. De wetenschappelijke artikelen kunnen in zowel Nederlands als Engels geschreven zijn. De resultaten zijn als het nodig was naar het Nederlands vertaald.

## 2.4 Stedelijke transformatie

**Deelvraag 2:** *Wat zijn voorbeelden van stedelijke transformatie en welke indicatoren van beloopbaarheid worden hierdoor mogelijk beïnvloed?*

Om een antwoord op deze deelvraag te geven is gezocht naar voorbeelden van stedelijke transformaties in Nederland. Er is gezocht naar de meerdere invalshoeken van stedelijke transformatie. Dus bijvoorbeeld hoe verschillende overheden (gemeenten) in Nederland zijn omgegaan met het toepassen

van stedelijke transformaties. Daarnaast is gekeken naar de mogelijke invloeden van stedelijke transformatie op de indicatoren van beloopbaarheid. De vraag was welke vormen van stedelijke transformatie op welke indicatoren invloed hebben. De verzamelde informatie is beschreven aan de hand van voorbeelden.

De informatie over stedelijke transformatie is gezocht in wetenschappelijke artikelen over bijvoorbeeld stedelijke veranderingen uit het verleden of beloopbaarheid, maar ook op websites en publicaties van gemeenten. De informatie voor het vormen van een antwoord op deze deelvraag is ook verkregen uit het onderzoek van Goossen et al. (2021). Bij een gebrek aan genoeg informatie is verder gezocht naar wetenschappelijke artikelen over beloopbaarheid. Aangezien stedelijke transformatie geen nieuw onderwerp is, is de norm van wetenschappelijke artikelen van maximaal tien jaar oud aangehouden. Ook voorbeelden die worden aangehaald zijn niet ouder dan tien jaar.

De volgende zoektermen zijn gebruikt om relevante wetenschappelijk artikelen en voorbeelden te vinden: stedelijke transformatie/ingreep, stedelijke transformatie/veranderingen, urban (transformation), planologie, ruimtelijke ordening, stedelijke transities, stedelijke ontwikkeling, gebiedsontwikkeling.

## 2.5 De digital twin

**Deelvraag 3:** *Hoe kan een digital twin gebruikt worden om beloopbaarheid aan te tonen?*

Er is voor het beantwoorden van de deelvraag toegepast onderzoek gedaan naar een digital twin. Er is gekeken welke stappen gezet moesten worden om de beloopbaarheid van een stedelijk gebied aan te tonen in een digital twin. Hiervoor zijn data over beloopbaarheid ingeladen in een digital twin. De data over beloopbaarheid die zijn ingeladen in het Tygron Platform, is afkomstig uit het onderzoek van Goossen et al. (2021). Het betreft een selectie van data rond het OV-knooppunt in Breukelen. Daarna is gekeken naar de vormen waarin deze data gevisualiseerd konden worden in een digital twin. De verzamelde informatie is verwerkt tot tekst, welke aan de hand van afbeeldingen is ondersteund.

Informatie over de te zetten stappen om beloopbaarheid aan te tonen, is opgehaald van de website en de wiki-pagina van het digital twin product dat gebruikt is (Tygron Platform). Ook het personeel van Tygron is benaderd wanneer dat nodig was. Het gaat hier om een explorerende vraag waarbij gedurende het onderzoek is gekeken naar de beste volgende stap die gezet kon worden.

## 2.6 Het toepassen van de digital twin

**Deelvraag 4:** *Hoe is een stedelijke transformatie toe te passen in een digital twin?*

Om een antwoord te geven op deze deelvraag is exploratief onderzoek gedaan naar het toepassen van een stedelijke transformatie in een digital twin. Er is gekeken naar de methodiek van het veranderen van een onderdeel in de stedelijke structuur in een digital twin. Onderzocht is welke handelingen verricht moesten worden in de digital twin om een stedelijke transformatie teweeg te brengen. Het ging in deze vraag niet om welke stedelijke transformaties toegepast kunnen worden, maar om de manier waarop. Het toepassen van een stedelijke transformatie is in veel gevallen hetzelfde. Als voorbeeld voor een stedelijke transformatie zijn er loofbomen geplaatst. Als resultaat is toegelicht hoe dit in een digital twin in zijn werking gaat en wat erbij komt kijken. Net als bij deelvraag 3 wordt het antwoord op deelvraag 4 visueel ondersteund met afbeeldingen.

Voor het beantwoorden van deze deelvraag is gebruik gemaakt van de digital twin van Tygron. Als bron voor informatie is gekeken naar handleidingen en video's over het gebruik van deze digital twin. Ook de wiki-pagina van het product is wanneer nodig geraadpleegd. En net als bij deelvraag 3 is ook persoonlijk contact opgenomen met het personeel van Tygron.

## 2.7 Afbakening

In het toegepaste deel van dit onderzoek is uitsluitend gebruik gemaakt van data over Nederland, dit omdat het testgebied voor het aantonen van beloopbaarheid en stedelijke transformatie zich in Nederland bevindt. De reden van deze beperking is het feit dat de digital twin Tygron alleen in de Nederlandse context te gebruiken is. Ook de data die zijn gebruikt om beloopbaarheid mee aan te tonen was specifiek te gebruiken voor Nederland.

De literatuur over beloopbaarheid is niet beperkt tot de Nederlandse context. Dit omdat dit onderwerp wereldwijd wordt onderzocht. De voorbeelden van stedelijke transformatie zijn echter wel specifiek in Nederland gezocht.

## 2.8 Planning

De deadline voor het inleveren van dit vooronderzoek was dinsdag 11 mei 2021. Als het vooronderzoek werd goedgekeurd, zou de volgende deadline 7 juni 2021 zijn. Dit betekende dat er krap een maand tijd was om het afstudeeronderzoek, zoals die beschreven stond in de vorige versie van dit vooronderzoek, af te ronden en in te leveren. Voor 7 juni 2021 moest het eerst nagekeken worden door de afstudeerdocent Jan Willem van Eck en beoordeeld zijn met een voldoende voordat het op 7 juni 2021 ingeleverd mocht worden bij Studentzaken. Het leek onrealistisch dat de deadline van 7 juni 2021 gehaald ging worden. Wel was het streven dat op 7 juni 2021 in ieder geval deelvraag 1 en 2 beantwoord waren.

De deadline voor dit afstudeerwerkstuk is 9 augustus 2021. Het verbeterde vooronderzoek, is op 16 juni 2021 ingeleverd. Het streven om op 9 juli 2021 klaar te zijn met het literatuuronderzoek van deelvraag 1 en 2 is niet gelukt door de onverwachte vertraging bij het vooronderzoek. Afhankelijk van de behoefte eraan, zijn er tussentijdse feedbackmomenten ingepland met de afstudeerdocent. Ook is er goed contact gehouden over de voortgang van het onderzoek.

# Hoofdstuk 3: Resultaten

## 3.1 Gegevensverzameling

De gegevens zijn verzameld uit wetenschappelijke artikelen en soms aangevuld met niet-wetenschappelijk artikelen zoals websites. Daarnaast is voor het toegepaste onderzoek van deelvraag 3 en 4 gebruik gemaakt van de digital twin Tygron Platform. De resultaten voor die deelvragen zijn verzameld met behulp van het Tygron Platform, de Tygron Support Wiki en met hulp van het Tygron Support Team.

## 3.2 Deelvraag 1: *Wat is beloopbaarheid en hoe is het te berekenen?*

Er is literatuuronderzoek gedaan naar de verschillende definities van beloopbaarheid om een goed beeld te krijgen van de betekenis van beloopbaarheid. De gevonden definities zijn vertaald, geciteerd en geanalyseerd. De kenmerkende termen en zinnen voorkomend in de zes definities van beloopbaarheid zijn in een schema gezet. Geprobeerd is om de termen en zinnen met een bepaalde gelijkenis in dezelfde kolom te zetten om de verbanden tussen de definities te ontdekken. Het schema is te zien in bijlage 1.

In het onderzoek van Frank et al. (2021) komen twee rekenmethoden voor beloopbaarheid naar voren. Deze twee rekenmethoden zijn als resultaat opgenomen. De rekenmethode gebruikt in het onderzoek van Goossen et al. (2021) is ook als resultaat opgenomen. De drie rekenmethoden die zijn opgenomen in de resultaten zijn niet alle rekenmethoden die er bestaan. Het zijn drie relevante rekenmethoden omdat ze in het afgelopen jaren zijn bijgewerkt/verbeterd of zijn bedacht.

### 3.2.1 Definities van beloopbaarheid

1. *Beloopbaarheid kan volgens Carr et al. (2011) worden gedefinieerd als het vermogen van een buurt om fysieke activiteit in een levensstijl te ondersteunen* (geciteerd in Hall & Ram., 2018).
2. *Gezamenlijk kunnen deze functies die verschillende vormen van fysieke activiteit bevorderen (zoals wandelen) worden aangeduid als 'beloopbaarheid in de buurt' en omvatten ze vaak toegang tot wandelbestemmingen zoals winkels en parken, en kenmerken van gemeenschapsontwerp zoals straatconnectiviteit en trottoirtoegang, aldus Duncan et al. (2011)* (geciteerd in Hall & Ram., 2018).
3. *Volgens Haina et al. (2015) zijn de variabelen die ontwerp, diversiteit en dichtheid het beste weergeven, straatconnectiviteit, mix van landgebruik en woondichtheid (gezamenlijk aangeduid als beloopbaarheid van de buurt)* (geciteerd in Hall & Ram., 2018).
4. *We definiëren beloopbaarheid als de mate waarin een gebied op loopafstand van een accommodatie, wandeltochten van de accommodatie naar andere bestemmingen aanmoedigt. Het interageert met de wandelvoorkeuren en -mogelijkheden van de gebruikers van het pand om de timing, hoeveelheid en afstand van wandeltochten die plaatsvinden te produceren. Verschillende fysieke en sociale kenmerken van het gebied rond een woning kunnen de beloopbaarheid beïnvloeden. Als zodanig is het een multidimensionaal construct dat is samengesteld uit verschillende factoren die samen één enkel theoretisch concept vormen.*

*Bijdragende kenmerken zijn onder meer stedelijke dichtheid, vermenging van landgebruik, straatconnectiviteit (d.w.z. de directheid van verbindingen en de dichtheid van verbindingen), verkeersvolume, afstand tot bestemmingen, trottoirbreedte en continuïteit, stadsblokgrootte, topografische helling, waargenomen veiligheid en esthetiek […] aldus Pivo and Fisher (2011)* (geciteerd in Hall & Ram., 2018).

5. *Beloopbaarheid wordt volgens Abley (2005) en Reyer et al. (2014) in verschillende disciplines op verschillende manieren gedefinieerd. De essentie ervan wordt hier gedefinieerd als "de mate waarin de gebouwde omgeving wandelvriendelijk is"* (geciteerd in Hall & Ram., 2018).
6. *Het faciliteren van beloopbare steden betreft niet alleen het voorzien van trottoirs. Tal van andere zaken spelen een rol, zoals veilige en gendergelijke openbare ruimten en straten, een natuurlijke afwisseling van ervaringen onderweg en een breed scala aan stedelijke functies en activiteiten op korte afstand.* (Van Nes, 2021)

### 3.2.2 Rekenmethode 1: Original Airline Walk Score & "Street Smart" Walk Score

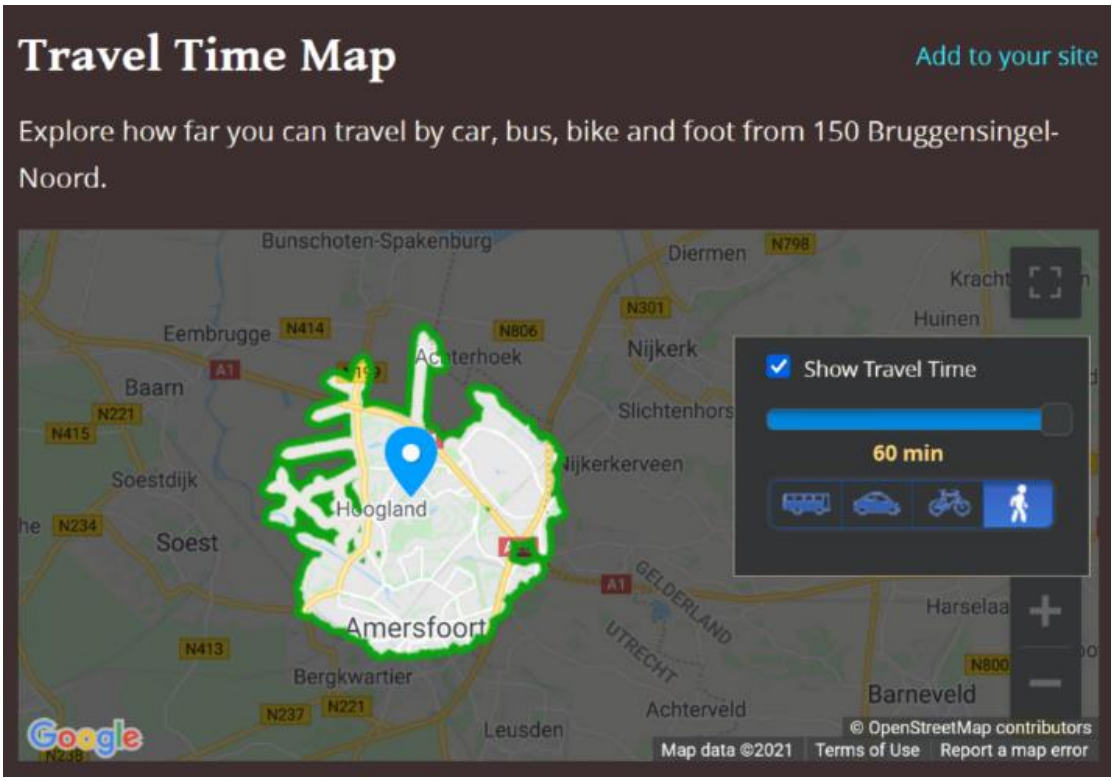
Walk Score is bedoeld om afstand tot een bestemming (nabijheid) te berekenen. Tot 2010 ging het algoritme van Walk Score uit van de hemelsbrede afstand tot een bestemming, genaamd ‘Original Airline Walk Score’ (OA-WS). Deze rekenmethode had echter gebreken. De OA-WS methode is verbeterd door een netwerk gebaseerde manier van afstand berekenen toe te voegen, wat inhoudt dat de afstand gebaseerd is op de lengte van wegen tot een bestemming in plaats van de hemelsbrede afstand tot een bestemming. Een voorbeeld van de netwerk gebaseerde manier om afstand te berekenen is te zien in figuur 3. Deze verbeterde rekenmethode wordt ook wel ‘"Street Smart" Walk Score’ (SS-WS) genoemd (Frank et al., 2021).

De rekenmethode van Walk Score gebruikt de afstand vanaf een startpunt tot een eindpunt in negen verschillende categorieën; supermarkten, restaurants, cafés, algemene winkels, banken, parken, scholen, entertainment locaties en boekhandels. Bij zes van de negen categorieën wordt gekeken naar de dichtstbijzijnde locatie. Bij de overige drie categorieën wordt een opsomming gemaakt van meerdere locaties. Bij restaurants wordt gekeken naar de tien dichtstbijzijnde, bij cafés de twee dichtstbijzijnde en bij winkels de vijf dichtstbijzijnde (Frank et al., 2021).

Vervolgens wordt per categorie een voorzienings-score bepaald van 0 tot 100 die aan de hand van gepubliceerd bewijs wordt gewogen. De gewogen voorzienings-scores worden opgesomd om de Walk Score (van 0 tot 100) te bepalen. Als laatst wordt er een 0 tot 5% vermindering van score in rekening gebracht, die is gebaseerd op de gemiddelde lengte van een stadsblok en de dichtheid van kruispunten binnen een straal van 1.5 mijl (2.4km). Een hogere score betekent dat de bereikbaarheid van voorzieningen goed is en hiermee ook de aantrekkelijkheid om te gaan lopen (Frank et al., 2021).

De databronnen die worden gebruikt voor deze rekenmethode zijn: Google, OpenStreetMap (Frank et al., 2021), Education.com, U.S. Census en gebruikers (Hall & Ram., 2018).

Walk Score is publiek beschikbaar op de website (www.walkscore.com). Dit maakt de tool zeer toegankelijk tot een groot publiek. Dit publiek kan de tool gebruiken om de beloopbaarheid van een gebied rondom een huis te bekijken. Echter wordt de tool op dit moment alleen in de Verenigde Staten, Canada, Australië en Nieuw-Zeeland ondersteund. De tool is in Nederland wel te gebruiken, maar volgens Walk Score is de score dan wel minder accuraat (Walk Score., 2021). Bepaalde aspecten van het algoritme van deze rekenmethode zijn niet te achterhalen door eigendomsrechten. Dit komt doordat er een commerciële organisatie achter deze rekenmethode zit (Frank et al., 2021).




*Figuur 3: Voorbeeld van een netwerkafstand (Walk Score., 2021).*

### 3.2.3 Rekenmethode 2: Three-Dimensional Walkability Index (3D-WI)

Deze rekenmethode is bedoel om nabijheid en bereikbaarheid aan te tonen. Hiervoor worden objectieve gegevens verzameld binnen een netwerk-buffer van 1km rondom een woning. Deze objectieve gegevens bestaan uit de volgende vier indicatoren (Frank et al., 2021):

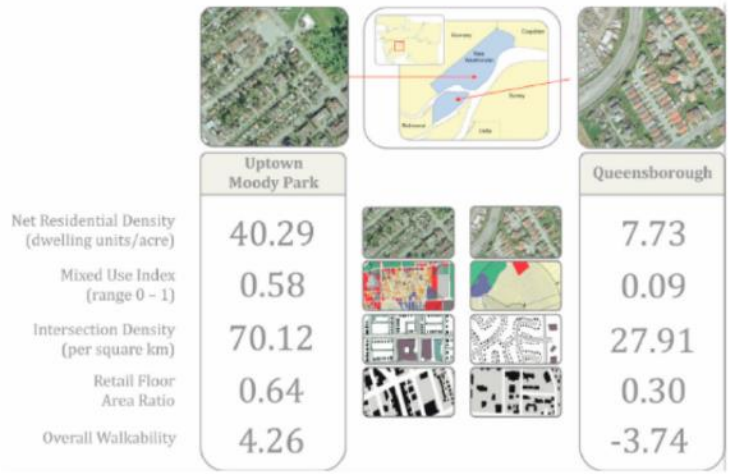
- Netto-woondichtheid (in wooneenheden)
- Dichtheid aan kruispunten (per km²)
- Mix van landgebruik (van 0 tot 1)
- Verhouding winkelvloer tot landoppervlakte

Volgens het onderzoek van Frank et al. (2021) zijn er vier indicatoren, maar volgens de website van Vancouver (2017), is er een vijfde; ‘compleetheid aan trottoirs’.

De Walkability Index is een middel om lichamelijke activiteit, chronische ziekte-uitkomsten en uitstoot van voertuigen te voorspellen. Daarnaast vormt deze rekenmethode een basis voor het bepalen van de 3D's (dichtheid, diversiteit en design) (Frank et al., 2021).

In de data voor de Walkability Index is vloeroppervlakte een variabele. Dit maakt het volgens Frank et al. (2021) mogelijk om een driedimensionaal rekenmodel te creëren waarin gebouwen met meerdere verdiepingen worden meegenomen in de berekeningen. Dit toont volgens Frank et al. (2021) de driedimensionale aard van wereld.

Om de uiteindelijke beloopbaarheidsscore te bepalen aan de hand van de vier indicatoren, kan er voor elke indicator een aparte index worden gemaakt (zie figuur 4). De resulterende beloopbaarheidsscore uit de vier aparte indexen, is onder andere aan de hand van de volgende formule vast te stellen (Dobesova & Krivk, 2012):




*Figuur 4: Een mogelijke manier om de gegevens voor de Walkability Index weer te geven (Frank et al., 2021)*

*Walkability Index = (2 * Dichtheid aan kruispunten) + Netto-woondichtheid + Mix van landgebruik + Verhouding winkelvloer tot landoppervlakte*

### 3.2.4 Rekenmethode 3: Loopscore

Deze methode van het berekenen van beloopbaarheid is gebruikt in een pilotstudie in 2021 waarin is gekeken naar de beloopbaarheid van buurten in een straal van 300 meter rondom OV-knooppunten in Provincie Utrecht. De buffer van 300 meter is gebaseerd op het feit dat mensen niet meer dan 200 meter tot 400 meter vanaf een bushalte willen lopen (Molster et al., 2020).

De aanpak bestaat uit drie stappen. Ten eerste is onderzoek gedaan naar de indicatoren die beloopbaarheid bepalen. De tien indicatoren van het project Healthy Streets zijn als basis gebruikt (City Deal: Ruimte voor Lopen., 2021). Dat zijn de volgende indicatoren:

1. Makkelijk over te steken
2. Schaduw & beschutting
3. Plaatsen om te stoppen en te rusten
4. Niet te lawaaierig
5. Mensen kiezen ervoor om te wandelen en te fietsen
6. Mensen voelen zich veilig
7. Visuele aantrekkelijkheid en genoeg te doen
8. Mensen voelen zich ontspannen
9. Schone lucht
10. Mensen voelen zich welkom

Daarnaast is er gekeken naar 35 (inter)nationale artikelen en boeken om een volledige verzameling aan indicatoren voor beloopbaarheid te maken. De indicatoren zijn dus voor een deel gebaseerd op

Nederlandse onderzoeken. Na dit literatuuronderzoek is bepaald dat beloopbaarheid aan de hand van 160 (fysieke en sociale) indicatoren is vast te stellen. De indicatoren zijn onder te verdelen in 9 hoofdindicatoren zoals te zien is in tabel 1 (Goossen et al., 2021).

*Tabel 1: Hoofdindicatoren en bijbehorende subindicatoren van de Loopscore (Goossen et al., 2021)*

| Hoofdindicator | Aantal subindicatoren |
|---|---|
| Infrastructuur | 11 |
| Omgevingskwaliteit | 8 |
| Directheid van voorzieningen | 9 |
| Toegankelijkheid | 32 |
| Levendigheid | 12 |
| Allure | 5 |
| Veiligheid | 23 |
| Aantrekkelijkheid | 54 |
| Bewegwijzering | 6 |
| **Totaal** | **160** |

Volgens het onderzoek van Goossen et al. (2021) heeft er geen weging plaatsgevonden voor de indicatoren. In het Excel-bestand waar de loopscores in worden berekend is wel plaats gemaakt voor een weging naar belangrijkheid per indicator. Ook in de aanbevelingen uit het onderzoek van Goossen et al. (2021) wordt benoemd dat een weging van indicatoren van belang is (Goossen et al., 2021).

Ten tweede is gekeken naar de beschikbaarheid van (open) data per indicator. Hieruit is gebleken dat maar voor 73 procent van de indicatoren data beschikbaar zijn. In de pilotstudie zijn 103 indicatoren (64%) gekoppeld aan 151 buurten verspreid over 19 gemeenten in de provincie Utrecht

De data moeten een zo laag mogelijk schaalniveau hebben: straat, stoep of wandelpad-niveau. In deze stap wordt ook aan de hand van een algoritme een score bepaald die iets zegt over het gemak en de aantrekkelijkheid van lopen in een gebied (Goossen et al., 2021). De derde stap is het maken van een netwerkanalyse in GIS om de wegdelen (ook wel ‘loopmogelijkheden’) vast te stellen (City Deal: Ruimte voor Lopen., 2021). Volgens Goossen et al. (2021) zijn er in totaal voor 81.763 wegdelen data verzameld.

Na het toetsen van alle wegdelen op beloopbaarheidsindicatoren in een straal van 300 meter rondom OV-knooppunten in Provincie Utrecht, is het resultaat een loopscore per loopmogelijkheid. Vervolgens wordt er een gemiddelde berekend van alle loopmogelijkheden per buurt. Dit gemiddelde wordt als basis genomen. Loopmogelijkheden die onder het gemiddelde zitten krijgen een negatieve score en loopmogelijkheden boven het gemiddelde een positieve score (Goossen et al., 2021).

De data die zijn gebruikt in deze pilotstudie zijn afkomstig van de Basisregistratie Grootschalige Topografie (BGT), Bestand Bodemgebruik (BBG), Openstreetmap, Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG), data van het RIVM, provincie Utrecht, WENR en andere instituten (Goossen et al., 2021).

De rekenmethode van dit project levert een score op die gebaseerd is op de gemiddelde score van wegdelen in een specifiek gebied. Niet alle indicatoren zijn met een soortgelijke meeteenheid uit te

drukken. De onvergelijkbare meeteenheden (zoals een percentage, index, of ja/nee situatie) kunnen vergeleken worden door gebruik te maken van de standaarddeviaties en deze te vergelijken met het gemiddelde. Het resultaat levert een z-score per indicator op. Een z-score die onder de 0 zit, zit onder het gemiddelde en een z-score boven de 0 zit erboven. Elke hoofdindicator krijgt ook een z-score die wordt berekend door het gemiddelde te nemen van alle z-scores van de indicatoren die onder de betreffende hoofdindicator vallen (Goossen et al., 2021).

De rekenmethode van Goossen et al. (2021) maakt het mogelijk om de effecten van stedelijke transformatie te voorspellen door het grote aantal indicatoren die individueel aan te passen zijn. Een opmerking terzijde is dat er nog geen weging heeft plaatsgevonden voor de indicatoren. Dit betekent dat een hoofdindicator zoals aantrekkelijkheid (eerder benoemd als categorie) zwaar meeweegt in de uiteindelijke loopscore, door het grote aantal (54) subindicatoren.

De formule gebruikt in het onderzoek van Goossen et al. (2021) voor het berekenen van de loopscore is:
$Z = (X - \mu) / \sigma$

Z = z-score
X = score van loopmogelijkheid op een indicator
μ = gemiddelde per ruimtelijke eenheid (gemeente of provincie) van loopmogelijkheden op een indicator
σ = standaarddeviatie per ruimtelijke eenheid (gemeente of provincie) van loopmogelijkheden op een indicator

## 3.3 Deelvraag 2: *Wat zijn voorbeelden van stedelijke transformatie en welke indicatoren van beloopbaarheid worden hierdoor mogelijk beïnvloed?*

De volgende voorbeelden en informatie zijn verzameld met behulp van het onderzoek van Goossen et al. (2021), uit andere wetenschappelijke artikelen en de zoekmachine van Google.

### 3.3.1 Het Ledig Erf in Utrecht

Een voorbeeld van stedelijk ingrijpen is het autoluw maken van een stad. In het onderzoek van Goossen et al. (2021) is daar een voorbeeld van behandeld. Het college is gemeente Utrecht wil het Ledig Erf in Utrecht zodanig veranderen dat het gebied prettiger wordt voor bewoners bezoekers en passanten. Het gebied wordt ingericht met het oog op voetgangers en fietsers. In de nieuwe inrichting is geen ruimte meer voor doorgaand autoverkeer, waarmee het Ledig Erf als autoluw beschouwd kan worden. Het Ledig Erf is op dit moment niet voetgangersvriendelijk, zoals te zien is aan het smalle voetpad in figuur 5 en de mensen die over het fietspad en de rijbaan lopen in figuur 6.

*Figuur 5: Een voorbeeld van een te smal voetpad op het Ledig Erf in Utrecht (Google., 2021)*

*Figuur 6: Mensen lopen over het fietspad en de rijbaan op het Ledig Erf (Google., 2021)*

De vijf voetpaden (ook wel ‘loopmogelijkheden’ genoemd) op het Ledig Erf worden in de toekomst getransformeerd naar een voetgangersgebied. Volgens het onderzoek van Goossen et al. (2021) hebben de aanpassingen aan het Ledig Erf de volgende invloed op de beloopbaarheid. Ten eerste gaat de geluidsbelasting naar beneden omdat er geen doorgaand verkeer meer zal rijden en omdat er een verkeersdrempel komt. Ook de maximumsnelheid van het gebied gaat omlaag van 50 naar 30 km/u, wat de veiligheid positief beïnvloedt. De verblijfskwaliteit wordt beter door de plaatsing van bankjes, waarna het officieel een plein zal zijn. Het Ledig Erf krijgt ook een groenere uitstraling door extra bomen en plantenbakken. De plaatsing van bomen zorgt tegelijkertijd voor meer verkoeling. De aanwezige verkeerseilanden worden weggehaald en het Ledig erf wordt beter verlicht (Goossen et al., 2021).

Het college van Gemeente Utrecht heeft aangegeven een ‘veilig voetgangersgebied’ te willen creëren. De stedelijke transformatie in het voorbeeld van het Ledig Erf zijn niet bepaald door het college van Gemeente Utrecht, maar door Goossen et al. in een expert judgement (deskundigenverklaring). Goossen et al. doelden hiermee enkel op het schetsen van een scenario. Volgens Goossen kan het praktisch zijn om verschillende scenario’s te bedenken waarin bijvoorbeeld stedelijke transformatie worden gedaan die horen bij een klein of juist een groot kostenplaatje. De stedelijke transformatie die horen bij een klein kostenplaatje zijn volgens Goossen et al. (2021) in verband te brengen met bijvoorbeeld de groene en blauwe stedelijke kenmerken op micro niveau die te zien zijn in figuur 7. Groen en blauwe stedelijke kenmerken hebben betrekking op het groen in de stad en bijvoorbeeld het vermogen om regenwater af te

voeren. Door de maatregelen in te voeren via het Excel bestand uit het onderzoek van Goossen et al. (2021), is het mogelijk om te zien welke invloeden stedelijke transformatie hebben op de beloopbaarheid. Wanneer er met verschillende scenario's wordt gewerkt kan er een kosten-batenanalyse worden gedaan (Goossen et al., 2021)

Volgens het onderzoek van Goossen et al. (2021) heeft het veranderen van het Ledig Erf invloed op de hoofdindicatoren zoals te zien is in tabel 2.

| Micro niveau | Meso niveau | Macro niveau |
|---|---|---|
| stoeptegel groen | vijver (D) | recreatiegebied (D) |
| groene gevel | plantsoen (D) | bos (D) |
| bloembak, hangers (D) | park (D) | natuurgebied (D) |
| bomen (D) | sportterrein (D) | agrarisch terrein (D) |
| houtwal (D) | volkstuin (D) | gemengd landgebruik (D) |
| struiken (D) | begraafplaats (D) | |
| lage vegetatie (D) | | |
| voortuin | | |
| groen schoolplein | | |
| geurende plant, struik | | |
| oever, wadi (D) | <onderhoud> | |
| sloot, gracht, rivier (D) | risico wateroverlast (D) | |
| waterspeelplaats | verkoelend effect groenblauw (D) | |

*Figuur 7: Groen en blauwe stedelijke transformatie per ruimtelijk schaalniveau (Goossen et al., 2021)*

*Tabel 2: Gemiddelde score voor de vijf loopmogelijkheden op het Ledig Erf per hoofdindicator vóór en na de transformatie (Goossen et al., 2021)*

| **Hoofdindicator** | Score vóór transformatie | Score na transformatie |
|---|---|---|
| Infrastructuur | -0.13 | 0.35 |
| Omgevingskwaliteit | -23.0 | -14.6 |
| Directheid | 30.8 | 30.8 |
| Toegankelijkheid | -2.3 | -2.3 |
| Levendigheid | 3.7 | 20.0 |
| Allure | 12.8 | 12.8 |
| Veiligheid | 7.9 | 24.9 |
| Aantrekkelijkheid | -4.0 | 339.5 |
| Bewegwijzering | -3.0 | -3.0 |
| **Loopscore** | **22.8** | **408.4** |

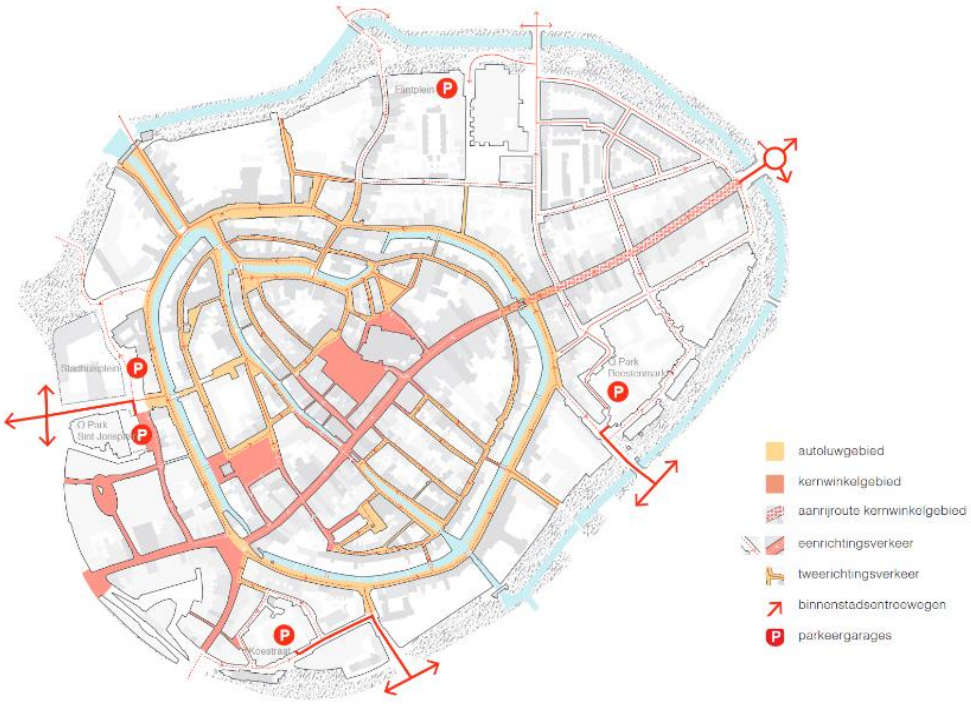
### 3.3.2 De Rotterdamse Mobiliteitsaanpak

Gemeente Rotterdam (2020) houdt zich bezig met de Rotterdamse Mobiliteitsaanpak (RMA) wat als doel heeft om de groei van de stad te faciliteren. Door de stad te verschonen en de mobiliteit te verbeteren draagt de RMA bij aan het bereikbaar maken van 50.000 woningen in 2040. Daarnaast draagt de RMA bij aan het creëren van een vitale economie met nieuwe, schone en efficiënte vervoerswijzen (Gemeente Rotterdam., 2020). Volgens het onderzoek van Goossen et al. (2021) is luchtkwaliteit een indicator voor beloopbaarheid. Dit betekent dat Gemeente Rotterdam met de RMA bijdraagt aan de verbetering van de beloopbaarheid van Rotterdam.

De RMA omvat ook experimenten zoals de Mobility Challenge Hoogkwartier (MCH). In dit experiment is gekeken naar de mobiliteit en leefbaarheid van de wijk Hoogkwartier. Uit buurtbijeenkomst kwam naar voren dat er in deze wijk behoefte was aan groene openbare plekken en een betere openbare ruimte. De genomen maatregelen waren bijvoorbeeld het plaatsen van extra groen, wat volgens de bewoners voor een fijnere en gezondere wijk zorgden. Daarnaast is de Hoogstraat in Hoogkwartier tijdens dit experiment éénrichtingsverkeer geworden. Bewoners vonden dat de Hoogstraat hierdoor veiliger was geworden en dat de straat fijner was om in te fietsen. De MCH is door het Erasmus Centre for Urban, Port and Transport (UPT), onderzoeksinstituut DRIFT en de Veldacademie uitgebreid gemonitord (Gemeente Rotterdam & Stadslab Hoogkwartier, 2020).

### 3.3.3 De autoluwe binnenstad van Amersfoort

De binnenstad van Amersfoort is onlangs (2021) autoluw geworden. Onder andere zijn de toegangswegen aangepast zodat het duidelijk is wanneer iemand de autoluwe zones van de binnenstad betreedt, de nieuwe toegangswegen zijn te zien op de kaart in figuur 8. Ook zijn er 2 camera’s geplaatst om sluipverkeer tegen te gaan. Als een voertuig een autoluwe zone betreedt maar geen vergunning heeft of niet is aangemeld via de desbetreffende webapplicatie ParkStart van ParkeerService, dan krijgt de bestuurder een bekeuring (Gemeente Amersfoort., 2021). Het autoluw maken van de binnenstad van Amersfoort leidt mogelijk tot een vermindering van geluidsoverlast, luchtvervuiling en een verbetering van fietser en voetgangersveiligheid. Ook het aanzicht van de straten is er volgens Brugt Groenevelt van Gemeente Amersfoort mooier op geworden (Kovi., 2021). Dit allemaal zijn positieve indicatoren in het onderzoek van Goossen et al. (2021). Dit wijst erop dat het autoluw maken van Amersfoort mogelijk zorgt voor een betere beloopbaarheid.




*Figuur 8: Een kaart met de veranderingen m.b.t. de autoluwe binnenstad van Amersfoort (Gemeente Amersfoort., 2020)*

### 3.3.4 Mobiliteit van vrouwen en gevoel van veiligheid

Volgens het onderzoek van Van Nes (2021) over indicatoren die mogelijk beloopbaarheid kunnen beïnvloeden, zorgen openbare toiletten voor meer mobiliteit van vrouwen. Daarnaast zorgen kale muren waar geen ramen in zitten voor een vermindering in het gevoel van veiligheid. Straten die onveilig aanvoelen voor mensen die erdoorheen lopen moedigen mensen aan tot het kopen van een auto. (Van Nes., 2021).

## 3.4 Deelvraag 3: *Hoe kan een digital twin gebruikt worden om beloopbaarheid aan te tonen?*

Zoals eerder benoemd is er via Aeres Hogeschool Almere toegang verkregen tot het Tygron Platform. Ook door eerdere ervaring met het Tygron Platform tijdens het volgen van de studie Geo, media en Design, is gekozen om de mogelijkheden van deze software op het gebied van lopen te gaan onderzoeken.

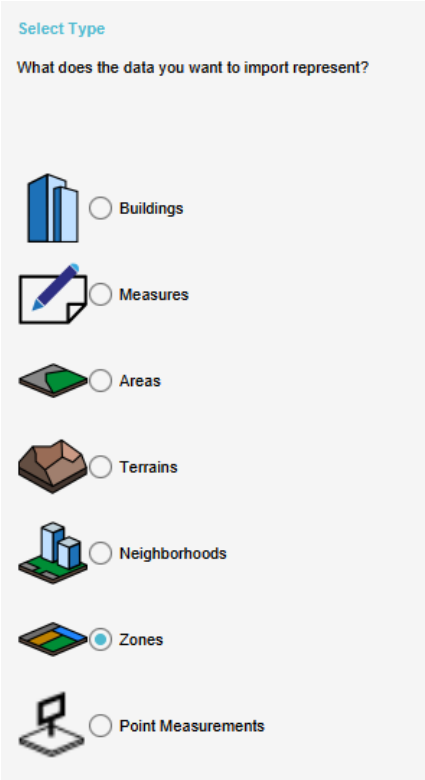
De data over beloopbaarheid die is ingeladen in het Tygron Platform bestaat uit een selectie van de data uit het onderzoek van Goossen et al. (2021) van het OV-knooppunt in Breukelen. Treinstation Breukelen heeft met 24% de minste voetpaden. Dit knooppunt heeft in verhouding wel het hoogste percentage rijbanen, namelijk 63% (Goossen et al., 2021) Dit heeft gezorgd voor een lage loopscore. Op advies van Goossen et al. (2021) is daarom voor het beantwoorden van deelvraag 3 gebruik gemaakt van de loopscore gebaseerd op de indicatoren die vallen onder de hoofdindicator Aantrekkelijkheid. Volgens Goossen et al. (2021) zijn meer dan de helft van de data voor de indicatoren van Aantrekkelijkheid gevonden en zijn de data relatief goed ingevuld. De loopscore van de selectie geeft daarom een goede indicatie van de hoofdindicator Aantrekkelijkheid.

### 3.4.1 Het inladen van data in het Tygron Platform

De wegdelen uit de data uit het onderzoek van Goossen et al. (2021) zijn gefilterd op de gemeentecode van Stichtse Vecht (GM1904) en daarna verrijkt met data van de loopscore (z-scores) uit het onderzoek van Goossen et al. (2021). De data zijn verrijkt door de loopscore te koppelen aan wegdelen afkomstig uit de Basisregistratie Grootschalige Topografie (BGT). Dit is bijvoorbeeld via QGIS te doen met de functie ‘Join attributes by field value’. Met deze functie wordt een identieke waarde van elk wegdeel gekoppeld aan dezelfde identieke waarde voor de z-scores. (QGIS, 2019).

Vervolgens is het mogelijk om de wegdelen inclusief de z-score te importeren in de ‘Editor’ modus van Tygron. Volgens de Tygron Support Wiki (2019) is de ‘Editor’ modus bedoeld om projecten mee te creëren en deze zodanig in te richten dat het in de buurt komt van de levensechte situaties waar de stakeholders van een project mee in aanraking komen.

Via de optie ‘Import New Geo Data’ onder het menu ‘Geo Import’ kan er een bestand worden geïmporteerd. Als eerst is het nodig om te bepalen waar de data die geïmporteerd gaat worden precies voor staan. Het is mogelijk om te kiezen uit de opties te zien in figuur 9. Voor het importeren van de wegdelen inclusief de z-scores is gekozen voor het type ‘Areas’ (of ‘gebieden’).




*Figuur 9: Selectiescherm voor type data (Tygron Platform LTS, 2021)*

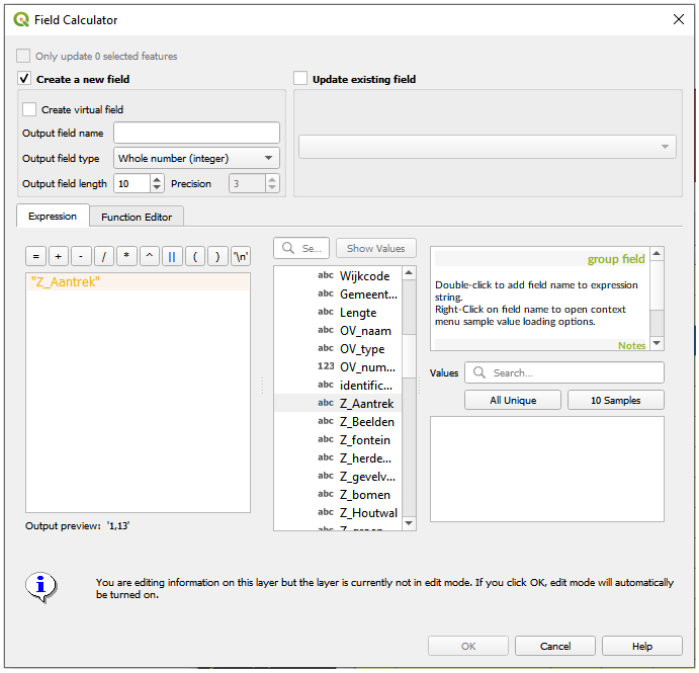
Daarna kunnen er, naast de optie om in de ‘Catalog Service’ te zoeken naar data, een paar verschillende bestandstypen worden geïmporteerd:

- GeoJSON
- I3S SLPK
- CityJSON/GML
- Web Feature Service (WFS)

Voor dit onderzoek zijn de wegdelen inclusief de z-scores uit het onderzoek van Goossen vanuit QGIS geëxporteerd als GeoJSON. Bij het importeren van de geo data is dus de optie GeoJSON gekozen waarna in een volgend scherm het betreffende GeoJSON bestand gekozen is van een lokale schijf. Vervolgens geeft het programma de optie om op de waarde of naam van attributen te filteren. Hiermee is het mogelijk om een selectie van Features (in dit geval wegdelen) te betrekken in de import. Een filtering op de functie ‘voetpad’ is hiermee mogelijk.

De GeoJSON kan ook gekoppeld worden aan een bestaand gebied, of het bestand kan als nieuw gebied worden geïmporteerd. Als deze keuze is gemaakt vraagt het programma hoe de Features (of losse delen) van het gebied genoemd moeten worden. De naam kan bepaald worden aan de hand van de attributen die horen bij een gebied, bijvoorbeeld de functie van een wegdeel. In dit voorbeeld zou dan gekozen worden voor de kolomnaam ‘functie’, waarna de wegdelen een naam krijgen gebaseerd op de waarden in die kolom. Dus bijvoorbeeld fietspad, voetpad, voetpad op trap, inrit en rijbaan lokale weg. Deze optie zou echter niet uniek zijn voor elk wegdeel, omdat er meerdere wegdelen zijn die voetpad als functie hebben. Tygron noteert de wegdelen dan als fietspad, fietspad (2), fietspad (3), fietspad (4), enzovoort. Hiermee is snel te zien wat de functies zijn van de geïmporteerde features als er na de import wordt gekeken naar de lijst met gebieden. Bij het maken van kaarten heeft het echter geen toegevoegde waarde, want hier kan vaak op basis van een naam of waarde van een attribuut worden gefilterd.

Tot slot moet bepaald worden welke attributen worden meegenomen in de import. Dus eigenlijk welke kolomnamen er uit het GeoJSON bestand moeten worden geïmporteerd. Een noemenswaardig aandachtspunt is dat volgens het Tygron Platform alleen nummers als attributen kunnen worden geïmporteerd. Na het inladen van de GeoJSON van wegdelen met een z-score werd opgemerkt dat de loopscore niet te importeren was als attribuut. Dit terwijl de z-score per wegdeel in Breukelen bestaat uit getallen tussen de -5 en 9 met maximaal twee decimalen. Wat hier werkelijk aan de hand is, is dat het datatype van een attribuut numeriek moet zijn. Een veld met een datatype als ‘integer’ of ‘floating point’ (ook wel ‘real’ genoemd in QGIS) is te importeren in het Tygron Platform als attribuut. Er zijn nog meer datatypes dan integer en floating point, maar deze twee zijn in dit onderzoek getest op werking. Voor dit onderzoek is het datatype van de z-score geconverteerd naar een floating point in de Field Calculator van QGIS. De expressie ‘Z_Aantrek’ (kolomnaam van de




*Figuur 10: Het converteren van de z-scores naar een numeriek datatype in de Field Calculator in QGIS (QGIS, 2019)*

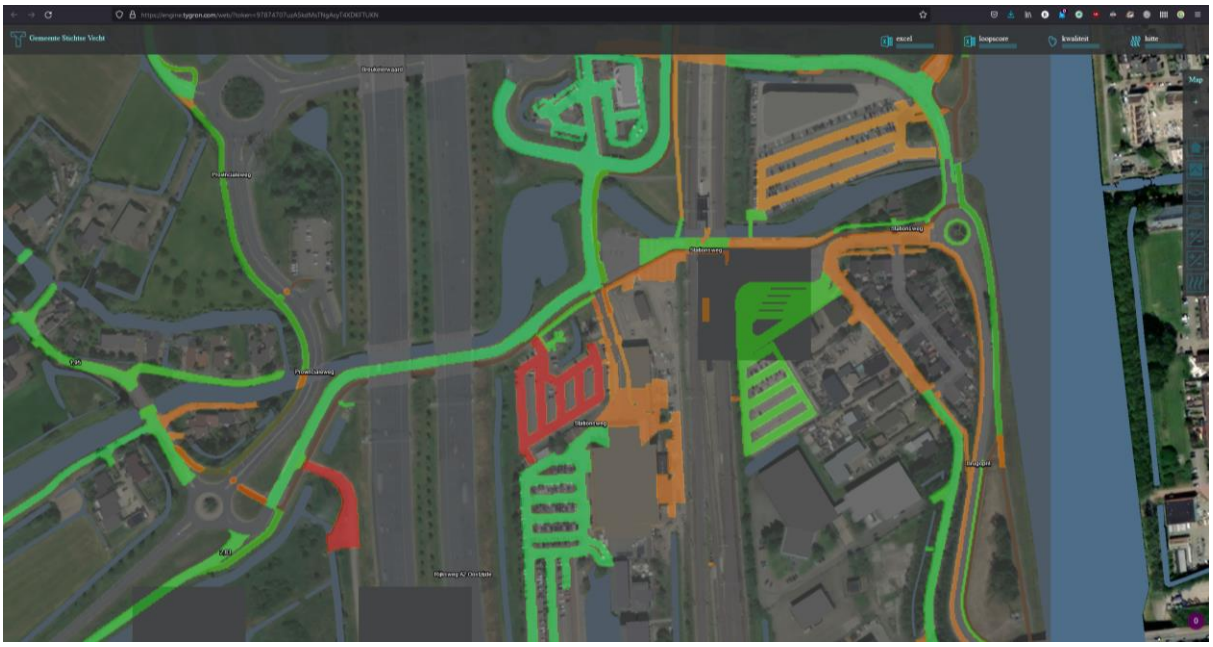
loopscore van de hoofdindicator Aantrekkelijkheid) is gebruikt om een nieuwe kolom toe te voegen aan het bestand waarin de z-scores zijn geconverteerd naar een numeriek datatype zoals in figuur 10 te zien is. Belangrijk is om het vakje linksboven in figuur 10 bij 'Create a new field' aan te vinken.

Na het converteren van het datatype van de kolom 'Z_Aantrek in de GeoJSON, is het bestand nog een keer geïmporteerd als geo data in Tygron. Geconstateerd is dat het mogelijk is om een rasterizatie te doen van de wegdelen met loopscore. De rasterizatie en het inkleuren van de wegdelen die in het GeoJSON bestand zaten gaat als volgt. Het begint bij het importeren zoals eerder in Hoofdstuk 3.4 beschreven is. Wanneer de bestanden als Area's zijn geimporteerd in Tygron. Dan is het mogelijk om via het menu Overlays een raster toe te voegen die de gemiddelde waarde van een attribuut kan weergeven. Na het aanklikken van het menu Overlays, is linksonder de optie te zien om verschillende nieuwe overlays toe te voegen. In dit geval is het nodig om de optie 'Avg' (gemiddeld) te kiezen in het keuzemenu waarna de knop 'Add' aangeklikt dient te worden. Dan verschijnt er een nieuwe overlay genaamd 'Gemiddelde waarde'. In het menu voor overlay verschijnt aan de rechterkant een optie op de Configuration Wizard te starten. In de Configuration Wizard is het mogelijk om te kiezen voor het visualiseren van een vaste waarde, of een gemiddelde waarde. In dit voorbeeld waarbij de GeoJSON van wegdelen met loopscore wordt gebruikt, is geen verschil te ontdekken tussen de twee opties. In de Configuration Wizard kan na deze optie gekozen worden welke attribuut er zichtbaar moet zijn in het raster. In dit geval is voor het attribuut met de loopscore gekozen.

Daarna kan gekozen worden uit welke laag (Area, Zone, Plot, etc.) het attribuut voor de loopscore gehaald moet worden. Het is mogelijk om van alle lagen de hoogste of de laagste waarde te gebruiken. Het eerst voorkomende attribuut met de naam van de loopscore kan ook gebruikt worden, of het is mogelijk om een specifieke laag te kiezen. In dit geval is er gekozen voor een specifieke laag, namelijk de laag 'Areas'. Als laatste kan de grootte van de cellen in het raster gekozen worden. Om een zo goed mogelijk beeld te schetsen van de loopscore van de wegdelen is gekozen voor de kleinst mogelijke celgrootte van 1 meter. Vervolgens zijn de loopscore in categorieën van bijvoorbeeld: Laag, Beneden gemiddeld, Gemiddeld, Boven gemiddeld en Hoog te zetten. Elke categorie is een kleur toe te wijzen. In deze poging tot aantonen van beloopbaarheid in een digital twin is gekozen voor groene tinten voor loopscores boven het gemiddelde en rode scores onder het gemiddelde zoals te zien is in figuur 11.

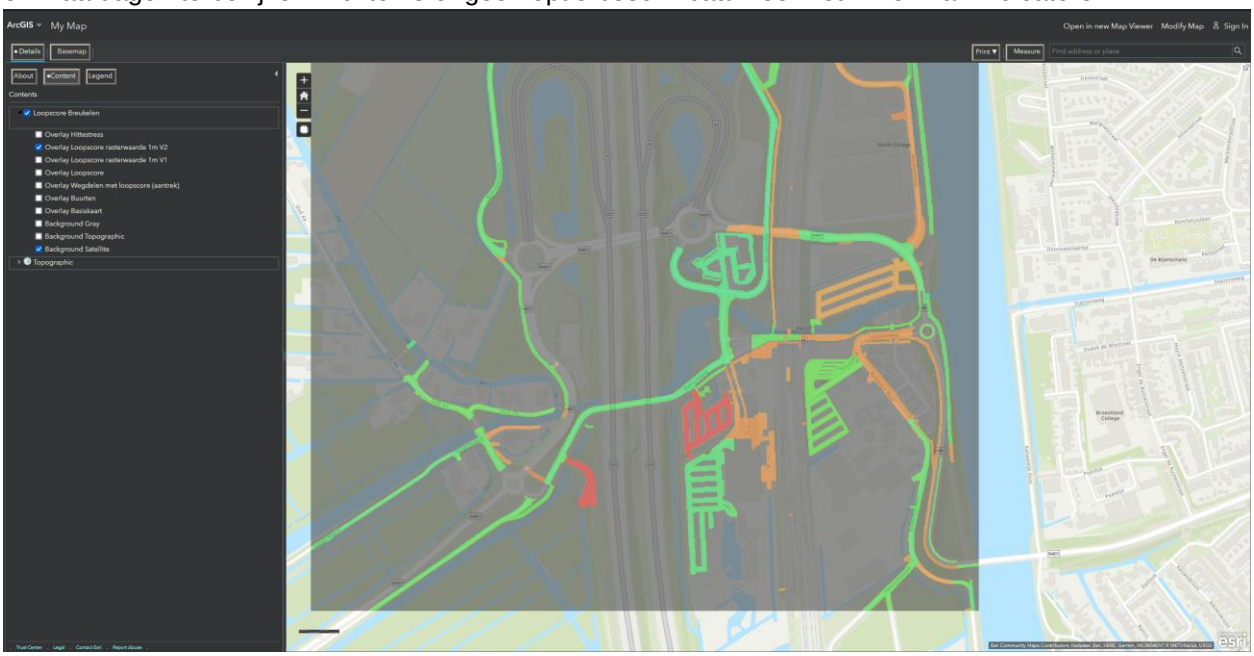
*Figuur 11: Resultaat van rasterizatie wegdelen met loopscore (Tygron Platform LTS, 2021)*

In het Tygron Platform is het mogelijk om een project in een webview te bekijken. Bij het kiezen van de optie “Show front page” onder het menu ‘Tools’ en de knop ‘Web Interface’, opent er automatisch in de standaard internetbrowser een webpagina met een 2D weergave van het Tygron project., zoals te zien in figuur 12. Hierin kun je de indicatoren en kaartlagen uit een Tygron project weergeven.




*Figuur 12: De Loopscore van Goossen et al. geopend in een tweedimensionale weergave in een internetbrowser vanuit het Tygron Platform (Tygron Platform LTS, 2021)*

Het is ook mogelijk om een project in een ArcGIS Viewer te bekijken (zie figuur 13). Het is hiervoor niet nodig om over inloggegevens van Esri te beschikken. Net als bij de Web Interface is het hierin mogelijk om kaartlagen te bekijken. Echter is er geen optie beschikbaar voor het inzien van indicatoren.




*Figuur 13: De Loopscore van Goossen et al. geopend in een ArcGIS Viewer vanuit het Tygron Platform (Tygron Platform LTS, 2021)*

## 3.5 Deelvraag 4: *Hoe is een stedelijke transformatie toe te passen in een digital twin?*

Voor het beantwoorden van deze deelvraag is net zoals bij deelvraag 3 gebruikt gemaakt van de Tygron Support wiki. Ook is contact opgenomen met de Tygron Support om hulp te krijgen bij het beantwoorden van deelvraag 4. Daarnaast is geëxperimenteerd met het Tygron Platform.

### 3.5.1 Stedelijke transformatie in het Tygron Platform

Er zijn drie soorten handelingen gevonden die verricht kunnen worden in een Tygron project: acties, maatregelen en upgrades. Om deze drie termen in de goede context te plaatsen is het handig om te bedenken dat een Tygron project in een sessie 'gespeeld' kan worden. In zo'n sessie wordt er gespeeld vanuit een stakeholder, bijvoorbeeld een woningcorporatie. In de sessie kan een woningcorporatie een 'actie' ondernemen, waarbij bijvoorbeeld 25 sociale huurwoningen worden gebouwd. Deze actie heeft invloed op de 'doelstelling' van een stakeholder. Stel dat de doelstelling van de woningcorporatie is dat er 50 sociale huurwoningen moeten worden gebouwd, dan is de doelstelling voor 50% bereikt, omdat er 25 van de 50 sociale huurwoningen zijn gebouwd. Een doelstelling is opgebouwd uit indicatoren, die dienen als hulpmiddel waarmee gebruikers kunnen inzien of ze vooruitgang boeken (Tygron Support Wiki., 2021).

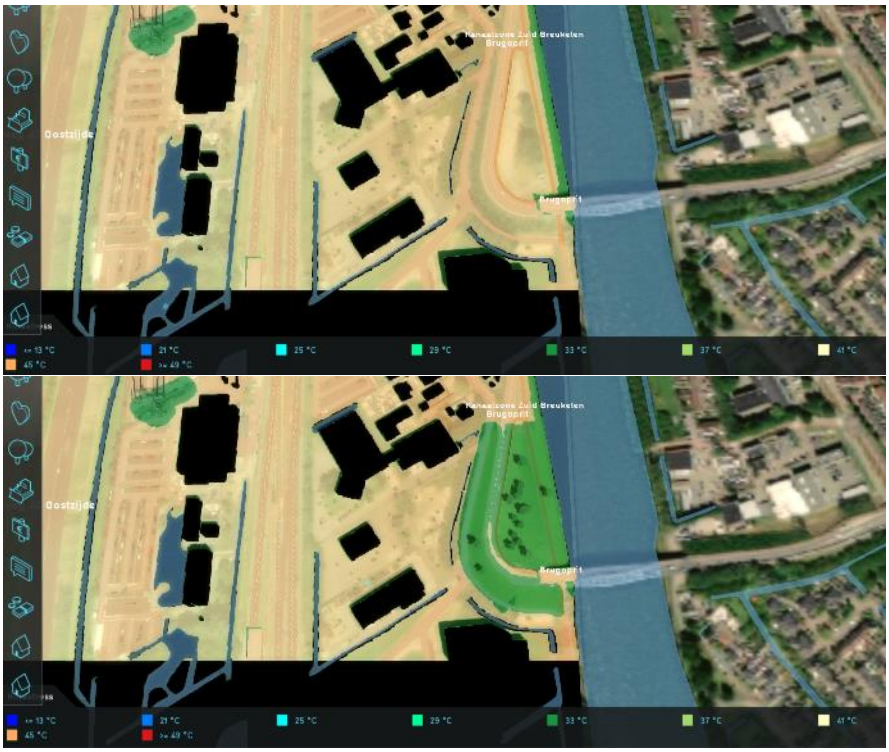
Een 'maatregel' is een verzameling van acties die in de 'Editor' modus van het Tygron Platform zijn gedefinieerd. In feite is een maatregel de uitvoering van een plan, waarbij bijvoorbeeld ruimtelijke effecten worden toegepast, specifieke kosten worden gemaakt of met eventuele andere effecten. Een maatregel kan geactiveerd worden door de gebruiker van een sessie, maar ook door bepaalde 'events' in een sessie zoals het beantwoorden van een bericht, of het bekijken van een 'cinematic' (video). De tijd die het kost om de bomen te plaatsen wordt ook meegenomen in de maatregel. Dit werkt zo om een sessie zo levensecht mogelijk te maken. Het is ook een optie om verschillende stakeholders te verbinden aan een maatregel (Tygron Support Wiki., 2021).

Het is mogelijk om zelf indicatoren te ontwerpen in Excel. Het is een vereiste om gebruik de maken van codes en een structuur die leesbaar zijn voor het Tygron Platform. De Green MKP (MileuKwaliteitsProfielen) is een indicator die speciaal door Provincie Utrecht is ontworpen voor het Tygron Platform. De indicator berekent voor een gekozen gebied hoeveel groen er aanwezig is. Vervolgens wordt een score gegeven aan het gekozen gebied (Tygron Support Wiki., 2021).
Na het vergaren van de bovenstaande kennis is een actie aangemaakt waarmee standaard loofbomen te plaatsen zijn. De plaatsing van bomen zorgt volgens het onderzoek van Goossen et al. (2021) voor meer verkoeling. Om deze verkoeling te laten zien zijn de bomen geplaatst op een plek waar sprake was van een relatief hoge PET (gevoelstemperatuur). Volgens het Tygron Platform is PET een van de indicatoren voor Hittestress (Tygron Support Wiki., 2021). Het plaatsen van de loofbomen is gedaan nabij de Brugoprit in Breukelen. De bomen zijn geplaatst in de felgroene vlakken die te zien zijn in figuur 14. Bij het kiezen van de locatie is ook te zien hoeveel oppervlakte er gebruikt wordt (8.700 m2) bij deze transformatie en wat kosten bedragen (€ 104.400, -). Ook dit is zichtbaar in figuur 14, aan de linkerzijde.

*Figuur 14: Het plaatsen van Loofbomen nabij de Brugoprit in het Tygron Platform (Tygron Platform LTS, 2021)*

Als er op de knop ‘Bouw’ wordt gedrukt, verschijnen de bomen op de kaart en wordt tegelijkertijd berekend wat het effect van de stedelijke transformatie is op de indicatoren, in dit geval ‘Hitte’. Het effect op de indicator Hitte is te zien in figuur 15. Het gaat om een verbetering van 1.5%. Deze verbetering is ook te zien in de kaart in figuur 16. Het bovenste deel van figuur 11 is vóór het plaatsen van bomen en het onderste deel is erna. Aan de legenda te zien gaat het om een daling van gevoelstemperatuur van ongeveer 8 °C.

*Figuur 15: Het effect van het plaatsen van loofbomen op de indicator Hitte (zichtbaar aan de linkerkant) (Tygron Platform LTS, 2021)*



*Figuur 16: Het verschil in gevoelstemperatuur voor (boven) en na (onder) de plaatsing van loofbomen (Tygron Platform LTS, 2021)*

# Hoofdstuk 4: Discussie

Het doel van dit onderzoek is geweest om inzicht te krijgen in de onderwerpen beloopbaarheid en stedelijke transformatie en het onderzoeken van de mogelijkheid van het gebruiken van een digital twin voor het aantonen en manipuleren van beloopbaarheid. De eerste deelvraag ging over de term beloopbaarheid en hoe het te berekenen is. Zoals eerder in de inleiding was aangegeven is beloopbaarheid lastig om te definiëren, zo blijkt ook uit de resultaten van deelvraag 1. Het feit dat er bij elke rekenmethode uitgegaan is van een andere betekenis van het begrip beloopbaarheid, lijkt te wijzen op een toekomst van onderzoeken waarin geprobeerd wordt om vast te stellen wat het begrip beloopbaarheid precies betekent. Maar voor een complex fenomeen als beloopbaarheid lijkt dit een goede zaak. Zelfs na dertig jaar onderzoek, zijn er volgens Frank et al. (2021) inconsistenties in het berekenen van beloopbaarheid. Deze inconsistenties hangen onder andere af van het type data dat wordt gebruikt, en of het gaat om objectieve of subjectieve data. Hierdoor kunnen verschillende rekenmethoden tegenstrijdige resultaten opleveren. Dit leidt tot onduidelijkheden over de richtlijnen die beleidsmakers moeten gebruiken om beloopbaarheid te verbeteren (Frank et al., 2021). Maar het hoort bij een ‘nieuw’ vakgebied zo te gaan. Verschillende onderzoeken zullen verschillende resultaten opleveren, maar uiteindelijk leidt dit tot een grote hoeveelheid aan kennis. Zo lang het in die onderzoeken gaat om systematisch verkregen, geordende en controleerbare kennis kan men spreken van de wetenschap van het lopen.

De rekenmethode van Goossen et al. (2021) lijkt veel potentie te hebben in Nederland. Deze rekenmethode is de meest recente die is gevonden. Op het moment dat deze zin is geschreven is de rekenmethode nog niet eens gepubliceerd. Een relatief groot onderzoek naar de indicatoren heeft een lijst opgeleverd met 160 indicatoren waarmee met behulp van algoritmes een loopscore kan worden bepaald. Het idee om in het onderzoek van Goossen et al. (2021) z-score te gebruiken lijkt slim bedacht. Want hiermee kunnen zowel kwalitatieve als kwantitatieve indicatoren worden meegenomen in de uiteindelijke loopscore. Het meten van de gebouwde omgeving op een objectieve manier, vergt volgens Frank et al. (2021) vier zaken. Toegang tot georuimtelijke databronnen, het gebruik van GIS-software, de technische mogelijkheid om met georuimtelijke data te rekenen en verstand van de methodologische problemen die hierbij komen kijken. Deze zaken lijken in het onderzoek van Goossen et al. (2021) op orde te zijn. Het enige wat nog moet gebeuren is een weging van indicatoren om het subjectieve onderdeel van de 160 indicatoren aan te laten sluiten op de realiteit. In het literatuuronderzoek naar de indicatoren is onder andere gebruik gemaakt van nationale bronnen. Als de weging (gedeeltelijk) gedaan wordt bij Nederlanders, dan zal de loopscore van Goossen et al. zeker een grote impact kunnen hebben op het gebied van lopen in Nederland, vooral als er gebruik wordt gemaakt van een gebruiksvriendelijk platform zoals een digital twin.

De voorbeelden van stedelijke transformatie lijken aan te tonen dat het aanpassen van steden een essentieel aspect is van het verbeteren van beloopbaarheid. Wat opvalt aan de resultaten is dat het verminderen van de aanwezigheid van de auto in de stad, of in ieder geval aanpassen van de aanwezigheid, een goede aanpak lijkt te zijn om steden beloopbaar te maken. Volgens Van Nes (2021) wordt het in sommige culturen gezien als moderniseren wanneer de ruimtelijke planning van een stad draait om de auto, met daartegenover culturen die nu de focus leggen op het toegankelijk maken van de stad voor voetgangers. Nederland kan wel gezien worden als een modern land en lijkt nu met dat laatste bezig te zijn. Het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2021) heeft kortgeleden gezegd de volgende ambitie te hebben: “*Een veilig, robuust, slim en duurzaam mobiliteitssysteem, waarbij gebruiker*

*en diens deur-tot-deur-reis centraal staat en de impact op de leefomgeving minimaal is."* (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2021). Het feit dat er gesproken wordt over de impact op de leefomgeving is mooi, want dat kan leiden tot een verbeterde loopbaarheid. Daarnaast worden volgens dit rapport de externe (buitenstedelijke) verplaatsingen het meeste met de auto gedaan. Maar de interne (binnenstedelijke) verplaatsingen gaan voor het grootste deel lopend of fietsend. Dit geldt voor zowel de centrale als perifere grootstedelijke gebieden in Nederland. Ook voor de niet stedelijke gebieden geldt dat er binnen de gemeente veel wordt gelopen en gefietst. De externe verplaatsingen worden ook in deze gebieden gedomineerd door de auto (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2021) Schijnbaar zal de auto zeker wel een belangrijk onderdeel moeten blijven van de infrastructuur, maar vooral in de gebieden die worden gebruikt voor externe verplaatsingen. De interne verplaatsen gaan nu al grotendeels (rond de 63%) fietsend of te voet. De hoop is dat het onderzoeken van beloopbaarheid gaat leiden tot meer aandacht voor de voetganger, en dat deze bachelor scriptie ook daaraan bijdraagt.

De digital twin van Tygron, ofwel het Tygron Platform, heeft potentie. De software is tot veel in staat. Het programma kan meerdere soorten data inlezen en verwerken tot iets bruikbaars. Het Tygron Platform lijkt een goede manier om beleidsmedewerkers inzage te geven in de beloopbaarheid van steden te creëren. Het creëren, simuleren en beïnvloeden van een levensechte situatie is mogelijk in het Tygron Platform. Zelfs als het gaat om complexe stedelijke transformaties. Deze digital twin maakt hiermee een mooie verbinding tussen de soms onbegrijpelijke data en de praktijk. Daarmee heeft het Tygron Platform mogelijk het potentieel om de problemen in het voeren van beleid over de leefomgeving te verhelpen, of in ieder geval te verminderen. Mits het Tygron platform blijft ontwikkelen en meebeweegt met de de verwachte toename van digital twins in Nederland. Volgens Rob van der Velde, directeur van Geonovum is het mogelijk dat er in de komende vijf jaar wel tienduizend digitale tweelingen zullen zijn in Nederland (Geonovum, 2021) . Een mooi gevolg hiervan zou zijn dat de digital twin, los van het Tygron Platform, open-source (publiekelijk toegankelijk) wordt. En dat de open-source digital twins aan bepaalde architectuur standaarden voldoen zodat de data en simulaties kunnen praten met die van andere digital twins. In dit scenario zou het Tygron Platform dan bijvoorbeeld nog steeds een unieke toegevoegde waarde hebben als gesprekstool bij het voeren van beleid of als hulpmiddel in de educatieve sector.

De doelgroep van dit afstudeeronderzoek kan met dit onderzoek vaststellen of het een rendabele keuze is om gebruik te gaan maken van een digital twin voor het berekenen, simuleren en beïnvloeden van een beloopbaarheidsscore.

De moeilijkheidsgraad van het werken met het Tygron Platform is onderschat. Hierdoor is het niet mogelijk geweest om data uit het onderzoek van Goossen et al. (2021) in te laden en deze te gebruiken als voorbeeld in het toepassen van stedelijke transformatie in het Tygron Platform. Een optimaal voorbeeld voor het toepassen van stedelijke transformatie, zou er een zijn die direct het effect van de transformatie aantoont op de loopscore van Goossen et al. (2021). Helaas is gebleken dat het te complex en tijdrovend is om de grote hoeveelheid data en algoritmes uit het onderzoek van Goossen et al. (2021) om te zetten naar iets wat te gebruiken is in het Tygron Platform. De verwachting was dat de eerdere ervaringen met het Tygron Platform tijdens de studie Geo, Media en Design genoeg handvatten hadden opgeleverd om tot in de diepte te onderzoeken wat er mogelijk is in het Tygron Platform. Een gevolg hiervan is dat het toegepaste onderzoek voor deelvraag 3 en 4 ook een stuk tijdrovender is geworden dan verwacht. Hierdoor is het er ook meer tijd gestoken in het afstruinen van de wiki pagina's van het Tygron Platform. Ook is er een vrij breed onderzoekskader gekozen. Het onderzoek had meer de focus kunnen leggen op alleen het toepassen van de digital twin van Tygron, maar het literatuuronderzoek in de eerst twee deelvragen lijkt geen overbodige resultaten te hebben opgeleverd.

Door eerdere feedback gegeven over het vooronderzoek van dit afstudeerwerkstuk over de omvang zijn er wel aanpassingen gedaan aan delen van deelvragen. Ook is hierdoor misschien de kwantiteit van de resultaten minder geworden. Bij het zoeken van definities van beloopbaarheid had namelijk ook gestopt kunnen worden bij de twintigste definitie. Maar bij de zesde is een weloverwogen keuze gemaakt om die zes te analyseren om genoeg tijd over te houden voor de resterende deelvragen. Ook bij de voorbeelden van stedelijke transformaties is daar rekening mee gehouden.

# Hoofdstuk 5: Conclusie en aanbevelingen

Het doel van dit onderzoek omvat het inzichtelijk maken van de onderwerpen beloopbaarheid en stedelijke transformatie en het onderzoeken van de mogelijkheid van het gebruiken van een digital twin voor het aantonen, manipuleren en voorspellen van beloopbaarheid.

Er zijn aan de hand van de analyse van de definities van beloopbaarheid een aantal dingen opgevallen. In alle definities is de focus gelegd op een gebouwde omgeving als gebied waarin gekeken kan worden naar beloopbaarheid. Daarnaast komt in vijf van de zes definities voor dat beloopbaarheid veelomvattend is. Een deel van de definitie uit een onderzoek van 2011 van Pivo & Fisher is daar een voorbeeld van: *"Als zodanig is het (beloopbaarheid) een multidimensionaal construct dat is samengesteld uit verschillende factoren die samen één enkel theoretisch concept vormen"* (geciteerd in Hall & Ram., 2018). Het is zelfs met de analyse van de definities lastig om een universele definitie te bedenken.

Beloopbaarheid is op verschillende manieren te berekenen. Het kan aan de hand van de rekenmethode van Walk Score, waarbij wordt gekeken naar de afstand tot bestemmingen in negen verschillende categorieën (Frank et al., 2021). De indicatoren voor de Walk Score zijn dus de afstanden tot negen typen stedelijke faciliteiten. Deze rekenmethode kan bijvoorbeeld nuttig zijn voor mensen die een huis willen kopen en geïnteresseerd zijn in de beloopbaarheid van de nabije omgeving van het huis. Het feit dat er eigendomsrechten berusten op de Walk Score geeft aan dat het hier gaat om een commercieel instrument.

Ook kan beloopbaarheid aan de hand van de Walkability Index worden berekend. Hierbij worden vier indicatoren apart bekeken waarna aan de hand van deze indicatoren een beloopbaarheidsscore vast wordt gesteld. De variabele 'verhouding winkelvloer tot landoppervlakte' maakt het mogelijk om een driedimensionaal aspect mee te nemen in het bepalen van beloopbaarheid (Frank et al., 2021).

De derde rekenmethode die is onderzocht, is de Loopscore van Goossen et al. (2021). Niet alleen de recentheid van het onderzoek naar deze rekenmethode, maar ook het feit dat er nationale bronnen zijn gebruikt bij het bepalen van de indicatoren maakt dat deze rekenmethode uitermate geschikt is voor Nederlandse overheden en instanties. De voorbeelden van het Ledig Erf geven aan dat er een meerwaarde zit in het gebruiken van de Loopscore bij het voorspellen van de kosten en baten van stedelijke transformatie.

Stedelijke transformatie komt voor in verschillende vormen. Het Ledig Erf, waar de auto na de transformatie voortaan te gast is, wordt volgens het onderzoek van Goossen et al. (2021) de beloopbaarheid aanzienlijk beter. Maar niet alleen door het verminderde autoverkeer wordt het er beter op. Ook de toevoeging van bomen zou volgens Goossen et al. (2021) leiden tot een betere beloopbaarheid. Ook in Rotterdam is aan de hand van een experiment vastgesteld dat bewoners zich veiliger voelde als de fietser en voetganger centraal staan in de stedelijke inrichting. Amersfoort heeft ook een poging gedaan om de auto minder ruimte te geven. Mogelijk heeft dit ook geleid tot een verbeterde beloopbaarheid.

Het is mogelijk om beloopbaarheid aan te tonen in een digital twin, in dit geval het Tygron Platform, mits de data goed worden voorbereid. Wanneer een GeoJSON ruimtelijke vormen (wegdelen) bevat waar een numerieke score aan gekoppeld is, dan is met behulp van een rasterizatie van 1 meter aan te tonen wat de beloopbaarheid is en hoe dit zich tussen de wegdelen tot elkaar verhoudt. Het resultaat is vervolgens

ook te zien in een externe viewer zoals een internetbrowser. Er kunnen verschillende soorten data worden ingeladen in het Tygron Platform en het kan op meerdere manieren worden gevisualiseerd. De gebruiker krijgt relatief veel ruimte om zelf te bepalen hoe en wat.

In het Tygron Platform kunnen maatregelen worden genomen in een projectgebied. Deze maatregelen bestaan uit acties. Het nemen van een actie kan inhouden dat er in een gekozen gebied bomen worden geplaatst. Wanneer een actie niet voldoende teweegbrengt, kan gebruik worden gemaakt van een maatregel waarin een verzameling acties kunnen worden geactiveerd. Dit wijst erop dat complexe stedelijke transformaties waarbij meerdere indicatoren worden beïnvloed dus in het Tygron Platform toe te passen zijn. De maatregelen moeten wel eerst worden ontworpen, in bijvoorbeeld een Excel bestand. Dit moet op een wijze gebeuren waardoor het Tygron Platform het Excel bestand kan begrijpen.

Om tot slot antwoord te geven op de hoofdvraag: '*Hoe kan een digital twin het effect van stedelijke transformatie op beloopbaarheid* aantonen?'. Met de juiste kennis over de term beloopbaarheid en de indicatoren en rekenmethode ervan, is het mogelijk om data te creëren zoals gedaan is in het onderzoek van Goossen et al. (2021). Ook is het met deze kennis mogelijk geworden om de rekenmethodes te beoordelen. Het vergt enige kennis over stedelijke transformatie om te bepalen welke indicatoren worden beïnvloed bij het transformeren van de stad. Geduld en verstand van GIS en het Tygron Platform (of soortgelijke digital twins) is nodig om vervolgens de data te kunnen kneden en klaar te maken voor het importeren ervan in een digital twin zoals het Tygron Platform. Na de rasterizatie van de data en het toewijzen van kleuren in de Editor modus van het Tygron Platform, is het mogelijk om in te zien welke wegdelen ten opzichte van elkaar hoog en laag scoren op het gebied van beloopbaarheid. Vervolgens kan in de Editor modus van het Tygron Platform een levensechte sessie worden ontworpen door het creëren van Actions, Indicatoren, Doelstellingen en/of Maatregelen, waarmee gebruikers van de sessie inzicht krijgen in de beloopbaarheid van een gebied vanuit een perspectief van een stakeholder (bijvoorbeeld een gemeente). Daarnaast krijgen gebruikers de mogelijkheid om in te zien wat de verschillende vormen van stedelijke transformatie opleveren op het gebied van beloopbaarheid. Hiermee vormt een digital twin een krachtige verbinding tussen beloopbaarheid en stedelijke transformatie.

Op basis van dit onderzoek kunnen de volgende aanbevelingen gedaan worden.

- Het is aanbevolen om op korte termijn andere digital twins te gaan onderzoeken en te vergelijken met het Tygron Platform. Wellicht zijn andere digital twins minder complex en hiermee minder moeilijk om te doorgronden. Belangrijk is wel om niet de kwaliteit van de digital twin uit het oog te verliezen. Gebruiksvriendelijkheid moet wel centraal staan.

- Het Tygron Platform moet op korte termijn de mogelijkheid hebben om georuimtelijke vlakken een kleur toe te wijzen op basis van een waarde, maar dan zonder rasterizatie. Er gaat bij een rasterizatie toch informatie verloren zoals de grenzen van een vlak.

- Het Tygron Platform moet op korte termijn, zoals in het punt hierboven is toegelicht, in staat zijn kleuren toe te wijzen aan vlakken op basis van een waarde, of de z-score moet omgezet worden naar een score van bijvoorbeeld 1 tot 100. Zodat in de rasterizatie de z-scores van nul, niet verloren gaan in rasterwaarden die automatisch een nul worden toegewezen omdat er geen data zijn gevonden in de cel van het raster.

- Houdt op de lange termijn rekening met de verwachte groei in de komende jaren van het aantal digital twins in Nederland en de mogelijkheid dat er een generieke taal ontstaat waarmee het mogelijk is om digital twins met elkaar te laten praten.

- De Green MKP indicator die is ontworpen door Provincie Utrecht kan op korte termijn als een goed startpunt dienen voor het ontwerpen van indicatoren die aansluiten bij de data uit het onderzoek van Goossen et al. (2021).

- Onderzoek op korte termijn de mogelijkheid voor het gebruiken van een webapplicatie om beloopbaarheid aan te tonen en te bewerken. Zo'n webapplicatie kan een stuk laagdrempeliger zijn en hiermee burgers de mogelijkheid geven om bijvoorbeeld deel te nemen aan de weging van indicatoren.

# Bronnenlijst


Baarda, B., & Bakker, E. (2013). *Basisboek kwalitatief onderzoek* (3de ed.). Noordhoff.

Baarda, B. (2014). Dit is onderzoek! Handleiding voor kwantitatief en kwalitatief onderzoek. Noordhoff uitgevers, Groningen.

Cato, M. S. (2009). *Green Economics.* Earthscan.

City Deal: Ruimte voor Lopen. (2021, 17 februari). *Ruimte voor Lopen*. Geraadpleegd op 8 mei 2021, van https://ruimtevoorlopen.nl/city-deal/

Damen, I., Lallemand, C., Brankaert, R., Brombacher, A., van Wesemael, P., & Vos, S. (2020). *Understanding Walking Meetings: Drivers and Barriers.* Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 1–10. https://doi.org/10.1145/3313831.3376141

Diepeveen, L. (2014, 20 maart). *De productlevenscyclus - duidelijke uitleg*. Marketingportaal. Geraadpleegd op 9 mei 2021, van https://www.marketingportaal.nl/marketing-verkoop/productlevenscyclus/

Dobesova, Z., & Krivk, T. (2012). Walkability Index in the Urban Planning: A Case Study in Olomouc City. *Advances in Spatial Planning*. Published. https://doi.org/10.5772/36587

Dörrzapf, L., Kovács-Győri, A., Resch, B., & Zeile, P. (2019). *Defining and assessing walkability: a concept for an integrated approach using surveys, biosensors and geospatial analysis.* Urban Development Issues, 62(1), 5–15. https://doi.org/10.2478/udi-2019-0008

Forsyth, A. (2015). *What is a walkable place? The walkability debate in urban design*. URBAN DESIGN International, 20(4), 274–292. https://doi.org/10.1057/udi.2015.22

Frank, L. D., Appleyard, B. S., Ulmer, J. M., Chapman, J. E., & Fox, E. H. (2021). *Comparing walkability methods: Creation of street smart walk score and efficacy of a code-based 3D walkability index.* Journal of Transport & Health, 21, 101005. https://doi.org/10.1016/j.jth.2020.101005

Gemeente Amersfoort. (2020). *Basiskaart automaatregelen* [Kaart]. https://www.amersfoort.nl/project/de-autoluwe-binnenstad.htm

Gemeente Amersfoort. (2021) De autoluwe binnenstad. (2021, 29 juli). Geraadpleegd op 15 juli 2021, van https://www.amersfoort.nl/project/de-autoluwe-binnenstad.htm

Gemeente Rotterdam. (2020). *Rotterdamse Mobiliteitsaanpak*. https://www.rotterdam.nl/wonen-leven/mobiliteitsaanpak/Rotterdamse-Mobiliteitsaanpak1.pdf

Gemeente Rotterdam & Stadslab Hoogkwartier. (2020). *Mobility Challenge Hoogkwartier*. https://mchoogkwartier.nl/uploads/200923MCH_Whitepaper_WT.pdf

Gemeente Tilburg (2020). *Gemeente stimuleert inwoners om vaker te wandelen*. (2020, 4 augustus). Geraadpleegd op 8 mei 2021, van https://www.tilburg.nl/actueel/nieuws/item/gemeente-stimuleert-inwoners-om-vaker-te-wandelen/

Geonovum. (2021, 26 april). Nationale Digitale Tweeling Infrastructuur (Rob van de Velde, Geonovum) [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=8MiUawv8zmo

Google. (2020) Google Streetview. *Voorbeeld van een te smal voetpad op het Ledig Erf in Utrecht*. Geraadpleegd op 13 juli 2021, van https://www.google.com/maps

Google. (2020) Google Streetview. *Mensen lopen over het fietspad en de rijbaan op het Ledig Erf in Utrecht.* Geraadpleegd op 13 juli 2021, van https://www.google.com/maps

Goossen, C.M., F. Rip, I. Staritsky, D. Thomas, 2021. *Beloopbaarheid gemeten; pilotstudie naar de mate van beloopbaarheid van ov-knooppunten en hun buurten in de provincie Utrecht.* Wageningen, Wageningen Environmental Research. Rapport 3101. https://research.wur.nl/en/publications/beloopbaarheid-gemeten-pilotstudie-naar-de-mate-van-beloopbaarhei

Grasser, G., van Dyck, D., Titze, S., & Stronegger, W. J. (2016). *A European perspective on GIS-based walkability and active modes of transport.* The European Journal of Public Health, 145–151. https://doi.org/10.1093/eurpub/ckw118

Hall, C. M., & Ram, Y. (2018). *Walk score® and its potential contribution to the study of active transport and walkability: A critical and systematic review*. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 61, 310–324. https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.12.018

Jones, D., Snider, C., Nassehi, A., Yon, J., & Hicks, B. (2020). *Characterising the Digital Twin: A systematic literature review.* CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 29, 36–52. https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2020.02.002

Kennisplatform CROW. (z.d.) *Duurzame mobiliteit - CROW - Voetgangersvriendelijke beleid*. (z.d.). Kennisplatform CROW. Geraadpleegd op 8 mei 2021, van https://www.crow.nl/duurzame-mobiliteit/home/systeemintegratie/voetganger/voetgangersvriendelijk-beleid

Kovi, I. (2021, 8 februari). Autoluw maken binnenstad komt traag op gang, maar ‘het gaat de goede kant op’. Destentor.nl. https://www.destentor.nl/amersfoort/autoluw-maken-binnenstad-komt-traag-op-gang-maar-het-gaat-de-goede-kant-op~af73a1fd/

Liao, B., van den Berg, P. E. W., van Wesemael, P. J. V., & Arentze, T. A. (2020). *Empirical analysis of walkability using data from the Netherlands.* Transportation Research Part D: Transport and Environment, 85(102390). https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102390

Metro Vancouver. (2017). *Walkability Index*. Metro 2040 Dashboard (2017). Geraadpleegd op 22 juli 2021, van http://www.metrovancouver.org/metro2040/complete-communities/connected-communities/walkability-index/Pages/default.aspx

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2021, januari). *Toekomstperspectief Automobiliteit 2040*. https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/rapporten/2021/01/14/bijlage-1-toekomstperspectief-automobiliteit-ienw/bijlage-1-toekomstperspectief-automobiliteit-ienw.pdf

Molster, A., Schuit, S., & Hendriks, M. (2020). *Loop! Tien ontwerpprincipes voor een loopvriendelijke omgeving.* Van Haren Publishing.

Oosterbaan, W. (2014). *Een leesbare scriptie* (17de ed.). Bert Bakker.

QGIS (3.10.1). (2019). [Geo informatiesysteem]. GNU General Public License. https://www.qgis.org/en/site/index.html

Sevil, M. (2019, 2 november). *Hoe krijgt Amsterdam zijn bewoners in beweging?* Het Parool. Geraadpleegd op 8 mei 2021, van https://www.parool.nl/nieuws/hoe-krijgt-amsterdam-zijn-bewoners-in-beweging~b5eb7f87/?referrer=https%3A%2F%2Fwww.ecosia.org%2F

Tygron Platform LTS (2021.10.6.1). (2021). [Digital twin software]. Tygron. https://www.tygron.com/nl

Tygron Support Wiki. *Action.* (2020). Geraadpleegd op 3 augustus 2021, van https://support.tygron.com/wiki/Action

Tygron Support Wiki. *Editor*. (2019). Geraadpleegd op 3 augustus 2021, van https://support.tygron.com/wiki/Editor

Tygron Support Wiki. *Green MKP (Indicator).* (2021). Geraadpleegd op 3 augustus 2021, van https://support.tygron.com/wiki/Green_MKP_(Indicator)

Tygron Support Wiki. *Measure*. (2021) Geraadpleegd op 3 augustus 2021, van https://support.tygron.com/wiki/Measure

Tygron Support Wiki. *Objective.* (2018). Geraadpleegd op 3 augustus 2021, van https://support.tygron.com/wiki/Objective

Tygron. *Tygron Geodesign-platform*. (z.d). Geraadpleegd op 9 mei 2021, van https://www.tygron.com/nl/

Vaan, M. (2019). *Towards a Weeting World: Naar een pluriform innovatie perspectief voor het verspreiden van walking meetings.* Thesis MBA Public & Private, 9.

Van Nes, A. (2021). *Spatial Configurations and Walkability Potentials. Measuring Urban Compactness with Space Syntax.* Sustainability, 13(11), 5785. https://doi.org/10.3390/su13115785

Velze, K. van, N. Pieterse, A.L. Martens, M.C. Breedijk & A.E.M. de Hollander. *Verdeling van gezondheid en leefomgevingskwaliteit over buurten.* Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving. (2020, oktober). Verdeling van gezondheid en leefomgevingskwaliteit over buurten (Nr. 2198). https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2020-verdeling-van-gezondheid-en-leefomgevingskwaliteit-over-buurten-2198_0.pdf

Walk Score (2021). *Get your walk score.* (z.d.). Geraadpleegd op 3 juli 2021, van https://www.walkscore.com/

World Health Organization. (2019). *Global Action Plan on Physical Activity 2018–2030: More Active People for a Healthier World* (1ste ed.) [E-book]. World Health Organization. https://books.google.nl/books?id=RnOyDwAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false

# Bijlage 1: Termen die voorkomen in de definities van beloopbaarheid

| Definitie | Jaar van definitie | Termen die voorkomen in de definitie | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2011 | Fysieke activiteit in een levensstijl | | Buurt | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 2011 | Verschillende vormen van fysieke activiteit | Gezamenlijk aangeduid als beloopbaarheid | Buurt | | Toegang tot wandelbestemmingen | Straatconnectiviteit | | | | | | | | | | |
| 3 | 2015 | | Gezamenlijk aangeduid als beloopbaarheid | Buurt | Ontwerp | | Straatconnectiviteit | (Woon)dichtheid | Mix van landgebruik | Diversiteit | | | | | | | |
| 4 | 2011 | | Multidimensionaal construct | Gebied rond accomodatie | Fysieke en sociale kenmerken van een gebied | (Afstand tot)wandelbestemmingen | Straatconnectiviteit | Stedelijk dichtheid, dichtheid van verbindingen | Vermenging van landgebruik | | Wandelvoorkeuren en -mogelijkheden van de gebruiker. Wandeltochten aanmoedigt | Waargenomen veiligheid en esthetiek | | Verkeersvolume | Trottoirbreedte | Stadsblokgrootte | Topografische helling |
| 5 | 2014 | | In verschillende disciplines op verschillende manieren gedefinieerd | Gebouwde omgeving | | | | | | | Wandelvriendelijk | | | | | | |
| 6 | 2021 | | Tal van zaken spelen een rol in het faciliteren van beloopbare steden | Steden | | Functies en activiteiten op korte afstand | | | Breed scala aan stedelijke functies en activiteiten | Natuurlijk afwisseling van ervaringen onderweg | | Veilige openbare straten en ruimten | Gendergelijke openbare straten en ruimten | | Trottoir | | |