

## **Duurzaamheidskompas Infrastructuur; De verkeershindermodule uitgelicht**

Janiek de Kruijff  
TNO  
Janiek.dekruijff@tno.nl

Teije Gorris  
TNO  
Teije.gorris@tno.nl

Adam Pel  
TU Delft  
A.J.Pel@tudelft.nl

**Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk  
22 en 23 november 2012, Amsterdam**

## Samenvatting

Naast directe kosten hebben wegwerkzaamheden ook indirecte, maatschappelijke kosten. In aanbestedingen worden deze kosten voor de maatschappij vaak genegeerd. Om inzicht te krijgen in deze kosten wordt het duurzaamheidskompas ontwikkeld. Het duurzaamheidskompas project van een consortium van TNO, aannemers en adviesbureaus heeft als doel een instrument te ontwikkelen dat de totale kosten van een project in de Weg- en Waterbouw Sector berekend. In deze paper beschrijven we de opzet van de verkeershindermodule van het Duurzaamheidskompas.

Voor een succesvolle implementatie van het duurzaamheidskompas in de praktijk is het zaak dat het instrument voldoet aan de eisen van de beoogde gebruikers. Het kompas moet aan de volgende eisen voldoen: (1) gebruiksvriendelijk zijn, (2) een lage rekentijd hebben, (3) geen complexe invoerparameters hebben, (4) betrouwbare resultaten hebben en (5) de impact op het netwerk kunnen berekenen.

De invoerparameters zijn verdeelt in 2 sets. De eerste set schetst de verkeerssituatie en de tweede set beschrijft hoe het project eruit ziet. Op basis van de invoerparameters worden de verkeersvraag en de capaciteit van de route waar de wegwerkzaamheden zullen plaatsvinden en twee alternatieven routes gerekend.

Om hinder te vermijden die gegeneerd wordt door de wegwerkzaamheden zullen weggebruikers mogelijk een andere route kiezen of op een ander tijdstip vertrekken. Om deze verdeling te berekenen wordt een logit model gebruikt. De verdeling heeft impact op de reistijd voor de verschillende routes. De reistijd wordt bepaald door de rijdtijd en wordt berekend met de BPR functie, waarbij de reistijd hoger is wanneer de verkeersvraag de capaciteit nadert. De wachttijd die mogelijk ontstaat door congestie wordt opgeteld bij de rijdtijd om tot de totale reistijd te komen. De verkeershinder van een project bestaat uit het verschil in reistijd in de situatie voor en tijdens de werkzaamheden. De verkeershindermodule berekent beide situaties.

Een gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd om parameters met hoge impact en hoge onzekerheid te identificeren. Deze parameters zijn: (1) parameters ( $\beta$  en  $\mu$ ) in het logit model, (2) capaciteit per rijstrook op snelweg, (3) capaciteitsreductie van de afzettingsvariant en (4) percentage voertuigen dat niet afwijkt van de hoofdroute.

De volgende stappen in de ontwikkeling van de verkeershindermodule is een uitgebreide validatie om de kwaliteit van de resultaten te bepalen. Dit wordt gedaan door een vergelijking met een dynamisch verkeersmodel voor projecten met verschillende resultaten. Daarnaast zullen de functionaliteiten van de module worden uitgebreid en ten slotte moet de module gekoppeld worden aan de andere modules in het duurzaamheidskompas.

## **1 Inleiding**

Bij wegwerkzaamheden worden verschillende (maatschappelijke) kosten gemaakt. In de aanbesteding van deze werkzaamheden wordt vaak gekozen voor de offerte met de laagste prijs (directe kosten). Andere, maatschappelijke, kosten zoals hinder voor de weggebruiker worden hierdoor genegeerd. Hoewel het vaak mogelijk is om het werk slimmer te organiseren en daarmee de impact voor de weggebruikers te minimaliseren, wordt dit vaak achterwegen gelaten. De oorzaak hiervan ligt in het ontbreken van een stimulans om deze maatschappelijke kosten terug te dringen en/of de extra kosten die hiermee gemoeid zijn te verantwoorden. De hogere kosten zouden immers de kans om de aanbesteding te winnen verkleinen.

De maatschappelijke kosten van verkeershinder – of meer breder: ‘duurzaamheid’ - kunnen meer aandacht krijgen wanneer er in aanbestedingen verder gekeken wordt dan enkel de directe kosten van een werk. De EMVI-systematiek (Economisch Meest Voordelige Inschrijving) is een manier om criteria zoals verkeershinder en duurzaamheid mee te nemen in de beoordeling (Rijkswaterstaat, 2011).

De sector, zowel aanbestedende als aannemende partijen, zijn gebaat bij een methode die duurzaamheidsindicatoren voor werkzaamheden efficiënt, tegen lage kosten en integraal kan berekenen tijdens het aanbestedingsproces. Het duurzaamheidskompas project van een consortium van TNO, aannemers en adviesbureaus heeft als doel een instrument te ontwikkelen (‘Duurzaamheidskompas’) dat hiervoor gebruikt kan worden. Hiermee wil dit consortium een bijdrage leveren aan de verduurzaming van de Weg- en Waterbouw Sector (TNO, 2012).

In deze paper beschrijven we de opzet van de verkeershindermodule van het Duurzaamheidskompas. We beschrijven achtereenvolgens de eisen voor de module, enkele functionaliteiten en enkele discussiepunten met betrekking tot de ontwikkeling van de verkeershindermodule.

## **2 Pakket van Eisen**

Voor een succesvolle implementatie van het duurzaamheidskompas in de praktijk is het zaak dat het instrument voldoet aan de eisen van de beoogde gebruikers. Op basis van literatuur en een workshop met gebruikers hebben we een pakket van eisen opgesteld (TNO, 2012). Hieronder beschrijven we de belangrijkste eisen met betrekking tot de verkeershindermodule:

- gebruiksvriendelijk;
- rekentijd;
- invoerparameters;
- betrouwbaarheid;
- impact op het netwerk.

### *Gebruiksvriendelijk*

Het instrument moet op de eerste plaats gebruikersvriendelijk zijn. We bedoelen hiermee dat gebruikers geen specifieke vaardigheden in verkeersmodellering nodig hebben. Het inzetten van een verkeersmodel vraagt doorgaans specifieke expertise, en kost veel geld en tijd. Een ontwerper zou met zijn eigen kennis en vaardigheden alle stappen van de tool moeten kunnen doorlopen om tot de gegenereerde verkeershinder van zijn ontwerp te komen.

### *Rekentijd*

In een ontwerpproces bestaat de behoefte om snel inzicht te krijgen in de effecten van een ontwerpvariant of aanpassing in het ontwerp. Het is daarom nodig dat de rekentijd van de tool laag is. Eerder in orde grootte van enkele minuten dan uren, dagdelen of dagen. Hiermee wordt het mogelijk om sneller meerdere varianten door te rekenen en daarmee te komen tot een zo groot mogelijke reductie van verkeershinder.

### *Invoerparameters*

Verkeersmodellen vragen doorgaans om veel en gedetailleerde invoerparameters. Om de gebruiksvriendelijkheid te vergroten is het nodig de hoeveelheid en complexiteit van de benodigde invoerparameters van de tool te beperken. Dit draagt tevens bij aan het verkorten van de voorbereidingstijd van het rekenwerk. Het toepassen van verkeersmodellen vraagt doorgaans een grote voorbereidingstijd. Daarmee wordt ook de tijd verkort om de benodigde informatie te verkrijgen. Het kan namelijk voorkomen dat bepaalde informatie niet direct voorhanden is. De verkeershindermodule moet kunnen omgaan met een beperkte informatie beschikbaarheid.

### *Betrouwbaarheid*

Aangezien de resultaten van de tool gebruikt gaan worden in het aanbestedingsproces is het noodzakelijk dat de resultaten van de tool betrouwbaar en eerlijk zijn. Zeker wanneer de gunning direct afhangt van de output van de verkeershindermodule.

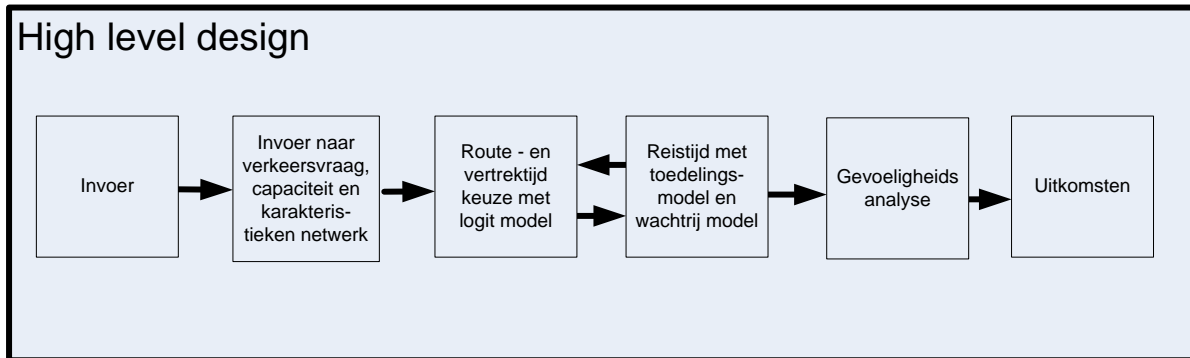
### *Impact op het netwerk*

Verkeershinder als gevolg van werkzaamheden is zelden alleen terug te vinden op het traject waar gewerkt wordt. Wanneer alternatieve routes voorhanden zijn om de hinder te ontlopen, zullen deze ook meer gebruikt worden. Dit betekent dat de werkzaamheden ook impact hebben op andere trajecten, naast het traject van de werkzaamheden zelf. Ook de terugslag van files heeft impact op het netwerk. Een verkeershindermodule moet de impact van werkzaamheden op andere delen in het netwerk zoveel mogelijk meenemen.

We zien dat een aantal eisen tegenstrijdig met elkaar zijn. Aan de ene kant wordt geëist dat de tool snel, gebruiksvriendelijk en een lage complexiteit heeft en aan de andere kant moeten de resultaten betrouwbaar zijn. Normaal gesproken worden de meest betrouwbare resultaten gegenereerd door de methoden die precies de tegenovergestelde eigenschappen hebben. Hoe aan deze conflicterende eisen antwoord is gegeven, wordt toegelicht in het volgende hoofdstuk.

### 3 Functionaliteiten

Er zijn verschillende stappen nodig om op basis van de invoerparameters de verkeershinder van een ontwerp te berekenen. Figuur 1 geeft het stappenplan op hoofdlijnen (high level design) weer van de verkeershindermodule. Vervolgens geven we een nadere toelichting op de verschillende stappen.



**Figuur 1 - high level design**

#### 3.1 Invoer parameters

De eerste stap in de ontwikkeling van de tool is de keuze voor de invoer parameters. Om de uitkomsten van projecten van verschillende aannemers vergelijkbaar te houden, zijn de parameters in twee sets opgedeeld. De eerste set parameters beschrijft de huidige verkeerssituatie rond het project. Deze parameters zijn daarom voor alle projectvoorstellen hetzelfde. Het ligt voor de hand dat dergelijke gegevens door een aanbestedende partij worden ingevoerd. Dit is nodig om de projecten eerlijk met elkaar te kunnen vergelijken. De tweede set parameters beschrijft de kenmerken van het ontwerp van het project. Dit zijn de invoer parameters die door de aannemers worden ingevoerd op basis van hun projectvoorstel.

De volgende parameters zijn nodig om verkeerssituatie te duiden (set 1):

- wegtype en situering hoofdroute en alternatieve routes;
- lengte hoofdroute en alternatieve routes;
- snelheid hoofdroute en alternatieve routes;
- aantal rijstroken;
- capaciteit beperkende factoren op hoofdroute (kruisingen, weefvakken, ed);
- kwaliteit alternatieve routes;
- drukte op alternatieve routes;
- verkeersvraag voor hoofdroute.

De volgende parameters zijn nodig voor het project (set 2):

- afzettingsstrategie;
- maximum snelheid tijdens wegwerkzaamheden;
- lengte van het werkvak;
- uren op de dag waarop gewerkt wordt;
- duur van de werkzaamheden in week- en weekenddagen.

Bij het ontwerp van de verkeershindermodule gaan we er vanuit dat het netwerk bestaat uit een hoofdroute, waar de wegwerkzaamheden plaatsvinden, en dat er enkele alternatieve routes zijn. Het verkrijgen van informatie over de verkeersvraag op de hoofdroute en het invoeren daarvan vraagt de grootste aandacht. Hiervoor kunnen verschillende databronnen gebruikt worden, bijvoorbeeld lusdata of andere telgegevens. Deze gegevens zijn in voertuigen per uur, en worden vaak per minuut, per 5 minuten of per uur opgeslagen.

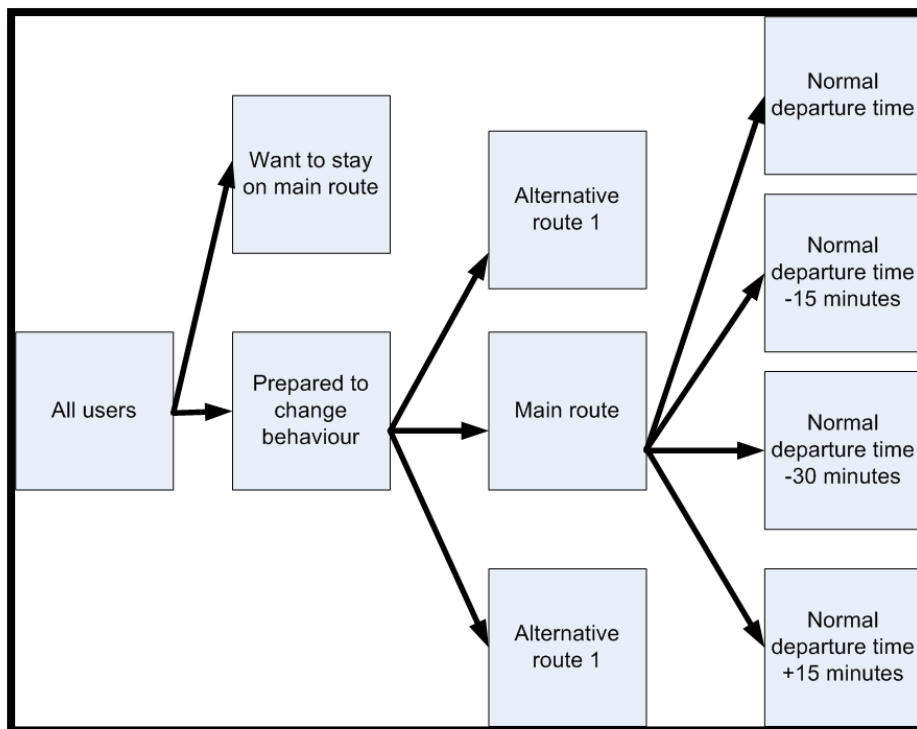
De verkeersvraag van de alternatieve routes hoeft niet te worden ingevoerd. Deze wordt geschat aan de hand van de verkeersvraag op de hoofdroute, de capaciteit van de alternatieve routes en de drukte op de alternatieve routes. Er wordt aangenomen dat de verdeling van de verkeersvraag over de dag hetzelfde is op alle routes in het netwerk. Daarnaast hangt de verkeersvraag af van de capaciteit van - en de drukte op de alternatieve routes. Door met de capaciteit rekening te houden is de verkeersvraag realistisch voor het type weg van de alternatieve route. Daarnaast geeft de drukte op de alternatieve route aan wat de verhouding is tussen de capaciteit en de verkeersvraag.

De overige situatie parameters (lengte, snelheid, wegtype, aantal rijstroken, capaciteit beperkende factoren) worden gebruikt om de capaciteit op de routes te bepalen. Daarnaast geven we via een 'kwaliteitsindicator' aan wat de kwaliteit is van alternatieve routes. Een alternatieve route met goede kwaliteit is goed vergelijkbaar met de hoofdroute, terwijl een alternatieve route met lage kwaliteit niet wenselijk is ten opzichte van de hoofdroute. Deze indicator gebruiken we in de toedeling van het verkeer over de verschillende routes.

Via de projectparameters proberen we een zo volledig beeld te schetsen van de gegenereerde capaciteitsreductie door het project. De meest gangbare afzettingsvarianten (bijvoorbeeld versmalde rijstroken, afsluiten van één of meerdere rijstroken, etc.) zijn als keuze mogelijk. Naast capaciteitsreductie zorgt ook een verlaagde maximum snelheid voor vertraging. Hoe hoger het verschil tussen de huidige snelheid en de snelheid tijdens de wegwerkzaamheden, hoe hoger de verliestijd op het traject. Ook is het nodig aan te geven op welk moment en op welke dagen deze capaciteitsreductie wordt veroorzaakt.

### *3.2 Routekeuze*

In de vorige stap zijn de karakteristieken van de verkeerssituatie rond het project en van het project zelf bepaald. In deze stap wordt de distributie tussen de verschillende routes berekend. Om hinder te vermijden zullen weggebruikers mogelijk een andere route kiezen of een ander tijdstip vertrekken. Om deze distributies te berekenen is gebruik gemaakt van het logit model. De keuzes in het logit model zijn weergegeven in Figuur 2.



**Figuur 2 - Mogelijkheden logit model**

Er wordt aangenomen dat de verkeersvraag op de alternatieve routes enkel kan veranderen door een toename van verkeer vanuit de hoofdroute. Secundaire effecten (het verkeer op deze alternatieve route wijkt nu uit om congestie op de alternatieve route te ontlopen) worden niet meegenomen. Dit is om de complexiteit aanvaardbaar te houden.

Hoewel een gedeelte van de weggebruikers bereid zal zijn af te wijken van het huidige gedrag, zal dit niet voor elke weggebruiker het geval zijn. Vrachtwagens die niet geschikt zijn voor de alternatieve routes of mensen die anders hun bestemming niet kunnen bereiken zijn voorbeelden van voertuigen die op de hoofdroute zullen blijven. Voor de andere voertuigen is het in principe mogelijk te switchen van route of vertrektijd.

De kans dat een voertuig zal switchen van route hangt af van het verschil in reistijd en de kwaliteit van de route. Wanneer de alternatieve route goed vergelijkbaar is met de hoofdroute (hoge kwaliteit alternatieve route), zullen meer weggebruikers deze route kiezen dan wanneer de route een slecht alternatief zou zijn.

Het is ook mogelijk dat weggebruikers een ander vertrektijdstip kiezen. Het aandeel van deze groep hangt af van de reistijd op de verschillende vertrektijdstappen (per 15 minuten). Voor elke weggebruiker blijft het wenselijk om op de normale route te rijden met de normale vertrektijd.

Resultaat van deze stap is de initiële verdeling van de verkeersvraag over de verschillende routes en vertrektijdstappen.

### *3.3 Reistijd*

De volgende stap is het berekenen van de reistijd op de verschillende routes. De reistijd is nodig om te bepalen wat de verkeershinder is. De verkeershinder van een project bestaat uit het verschil in reistijd in de situatie voor en tijdens de werkzaamheden. De verkeershindermodule berekent beide situaties.

De reistijd wordt bepaald door twee factoren. Ten eerste de tijd die nodig is om de route rijdend af te leggen. De snelheid die gereden kan worden hangt af van de drukte op de weg. Deze rijdtijd wordt bepaald met de BPR functie. Hoe drukker het is op een wegvak, hoe lager de gereden snelheid. Wanneer de capaciteit van een weg wordt gereduceerd door wegwerkzaamheden zal het sneller drukker op de weg zijn. De impact van deze capaciteitsreductie hangt af van de gekozen afzettingsvariant en de gekozen werkuren.

Naast deze rijdtijd is er een mogelijke wachttijd. Wanneer de intensiteit op de weg de capaciteit nadert zal er congestie ontstaan ter plaatse van de capaciteitsreducerende afzetting. De wachttijd in deze wachtrij is extra reistijd. De rijdtijd en de wachttijd samen is de totale reistijd. De totale verkeershinder wordt uitgedrukt in voertuig verliesuren.

Of er congestie ontstaat hangt af van de initiële verdeling van de verkeersvraag. Deze verdeling zorgt voor een nieuwe situatie met nieuwe reistijden per alternatief. Dit kan de verdeling tussen de verschillende routes beïnvloeden. Daarom worden er een aantal iteraties gedaan tussen het logit model en het berekenen van de reistijden. De nieuwe reistijden worden als nieuwe input gegeven voor het logit model, waardoor een nieuwe verdeling van de verkeersvraag gemaakt kan worden, totdat er evenwicht is. Dit evenwicht reflecteert de situatie waarin weggebruikers bekend zijn met de verkeerssituatie en hierop adequaat reageren.

Het resultaat van deze stap is een verdeling van de verkeersvraag en de reistijd per alternatief per tijdstap, en de verkeershinder gegenereerd door het ingevoerde project.

### *3.4 Gevoeligheidsanalyse*

Het resultaat van een berekening - verkeershinder van een project – geeft nog geen inzicht in de betrouwbaarheid van de verkeershindermodule. Er zijn veel parameters die het resultaat beïnvloeden. Wanneer parameters grote impact op het resultaat hebben en de invoer ervan onzeker is, dan zijn de resultaten in mindere mate betrouwbaar. Om deze parameters te identificeren is een gevoeligheidsanalyse gedaan.

Om de impact van per parameter te bepalen is elke parameter onderzocht. De waarde van elke gebruikte parameter is gevarieerd binnen een realistische bandbreedte. Door elke andere parameter gelijk te houden is gekeken wat de impact van de onderzochte parameter is. Wanneer er een groot verschil is in output voor de verschillende waarden van de onderzochte parameter is geconcludeerd dat de parameter een grote impact op de resultaten heeft.

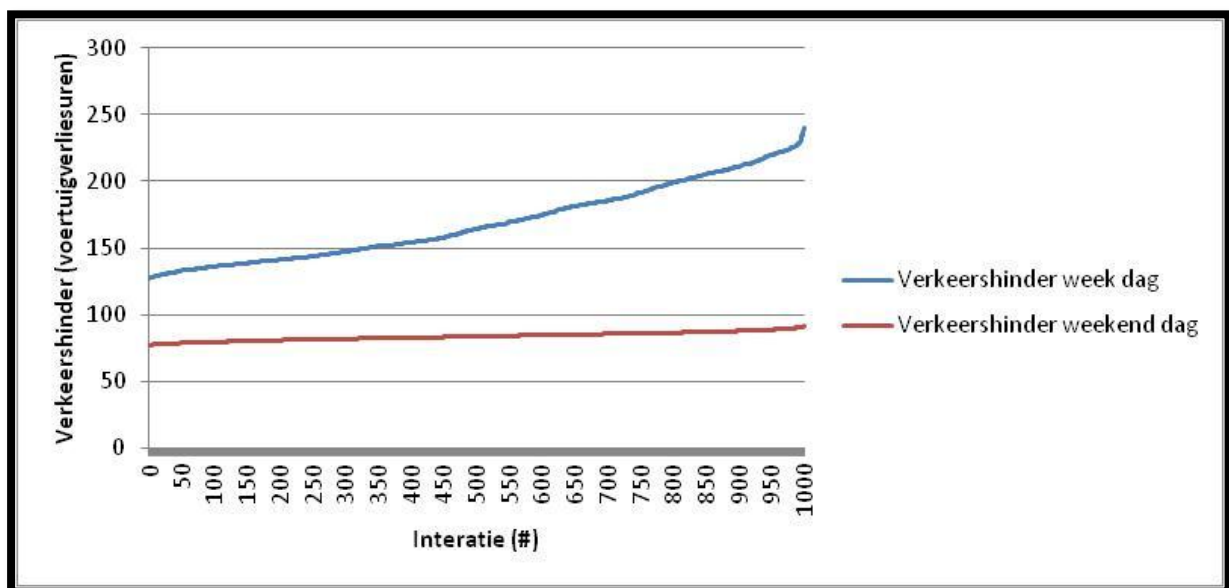
Op basis van deze analyse komen we voornamelijk tot de conclusie dat de volgende parameters hoge impact en hoge onzekerheid hebben:



- parameters ( $\beta$  en  $\mu$ ) in logit model;
- capaciteit per rijstrook op snelweg;
- capaciteitsreductie van de afzettingsvariant;
- percentage voertuigen dat niet afwijkt van de hoofdroute.

Om de betrouwbaarheid van de tool te vergroten is binnen de tool op deze parameters een bandbreedte gezet. Hierdoor heeft de parameter geen vaste waarde, maar houdt de tool rekening met de volledige opgegeven bandbreedte aan mogelijke waarden voor deze parameter.

De output van de verkeershindermodule (het aantal voertuigverliesuren van een project) wordt gepresenteerd in een bandbreedte. Hiervoor gebruiken we de Monte Carlo methode. Per project worden voor 1000 combinaties tussen de 4 genoemde parameters (met grote onzekerheid en impact) de verkeershinder berekend. Ondanks het feit dat 1000 iteraties worden uitgevoerd, blijft de rekentijd rond de 30 seconden per project. Figuur 3 geeft de grafiek voor de verkeershinder van een project voor een week dag en een weekend dag. De 1000 resultaten zijn oplopend gesorteerd om een overzichtelijke grafiek te krijgen.



**Figuur 3 – Verkeershinder per iteratie**

Naast de visuele weergave in de grafiek wordt de output ook met kengetallen gepresenteerd. In Tabel 1 wordt de verkeershinder in voertuigverliesuren gegeven als gemiddelde, als mediaan, als 95% betrouwbaarheidsinterval en als 80% betrouwbaarheidsinterval. Het presenteren van de output in de vorm van een bandbreedte is in dit geval betrouwbaarder dan wanneer de output een enkel getal zou zijn, dit gezien de grote onzekerheden en onvoorspelbare factoren die meespelen in het bepalen van de verkeershinder.

Output Parameter		Week dag	Weekend dag
<b>Mediaan</b>		164 vvu	84 vvu
<b>Gemiddelde</b>		169 vvu	84 vvu
<b>95% interval</b>	Laag	131 vvu	78 vvu
	Hoog	223 vvu	89 vvu
<b>80% interval</b>	Laag	136 vvu	79 vvu
	Hoog	211 vvu	88 vvu

**Tabel 1 - Kengetallen**

#### **4 Discussie**

We hebben een eerste aanzet gemaakt met de ontwikkeling van een verkeershindermodule als onderdeel van een Duurzaamheidskompas Infrastructuur. In dit hoofdstuk bespreken we enkele discussiepunten.

In het vorige hoofdstuk hebben we de opzet van de verkeershindermodule beschreven. Het is nu zaak om inzicht te krijgen in de kwaliteit van de module en na te gaan op welke wijze validatie en kalibratie mogelijk zijn. Dit vraagt om passend vergelijkingsmateriaal: zowel voor wat betreft gegevens (verkeersgegevens voor en tijdens werkzaamheden) als andere methoden om verkeershinder te berekenen.

In de volgende stappen van het project Duurzaamheidskompas zullen we samen met de partners in eerste instantie enkele praktijkcases benoemen en doorrekenen. Daarbij proberen we zoveel mogelijk benodigde verkeersgegevens in beeld te krijgen om een vergelijking te kunnen maken met de output van de verkeershindermodule.

Ook maken we een opzet waarin we de resultaten van de verkeershindermodule vergelijken met de output van andere methoden (bijvoorbeeld een dynamisch verkeersmodel). Deze vergelijkingen moeten inzichtelijk maken hoe betrouwbaar de verkeershindermodule is wanneer deze wordt toegepast in andere cases (andere dan de cases benoemd in overleg met de projectpartners). De tool zal gevalideerd moeten worden op meerdere projecten. Ook moet de variatie tussen de projecten voldoende groot zijn, zodat goed gekeken kan worden in welke gevallen de resultaten voldoen en in welke gevallen niet. Variatie kan gemaakt worden in de locatie van de weg, binnen of buiten de Randstad. Ook kan gekeken worden naar plekken met veel op- en afritten, zoals bijvoorbeeld een Ring, of weinig. Ten slotte kan er gevarieerd worden op de potentiële alternatieve routes.

We zijn de ontwikkeling van de verkeershindermodule gestart met inzichtelijk te maken wat de gebruikerseisen zijn ten aanzien van dergelijke tool. In de volgende stappen van het project Duurzaamheidskompas is hiervoor nadrukkelijk aandacht. Daarin presenteren we de huidige opzet en ga we na in hoeverre de tool voldoet. Vooruitlopend daarop verwachten we dat er op een aantal onderdelen verdere ontwikkeling nodig is.

Aan de invoerkant bijvoorbeeld zou het mogelijk moeten zijn om innovatieve afzettingsstrategieën in te voeren. Op dit moment is het enkel mogelijk om een van de veelgebruikte strategieën te kiezen. De keuze voor een strategie die niet in de lijst staat zou het verschil kunnen maken tussen twee aannemers.

Ook zijn er waarschijnlijk verbeteringen nodig ten aanzien van de invoer van verkeersvraag. In de huidige opzet vooronderstellen we dat een opdrachtgever deze gegevens beschikbaar maakt. Voor een opdrachtgever (ook een gebruiker van de verkeershindermodule) is het ook zaak dat de module gebruikersvriendelijk is. Een mogelijke oplossingsrichting is een koppeling met het NDW of het opzetten van een database van generieke sets van verkeersintensiteiten.

Daarnaast zijn er verbeteringen mogelijk in de presentatie van de output. De verkeershindermodule is uiteindelijk bedoeld om te komen tot meer duurzame infrastructuurprojecten. Onderdeel van de output zou kunnen bestaan uit suggesties aan gebruikers hoe het project duurzamer uitgevoerd, gepland of gefaseerd kan worden. Dat zou kunnen door per onderdeel van het project inzichtelijk te maken wat de bijdrage is aan de totale verkeershinder.

Ten slotte is er de mogelijkheid om de tool in te zetten op wegwerkzaamheden in het onderliggend wegennet. Op dit moment zijn alleen projecten op het hoofdwegennet geschikt, maar ook op het onderliggend wegennet liggen kansen om de tool te implementeren.

Naast de mogelijkheden om de verkeershindermodule te verbeteren is het ook nodig om de integratie met de andere modules binnen het duurzaamheidskompas te realiseren. Een van de modules richt zich op het berekenen van de ecologische voetafdruk van de gebruikte materialen over de gehele levens duur. Interessante aanknopingspunten tussen beide liggen op gebied de relatie tussen materiaalkeuze en onderhoudsbehoefte. Een innovatieve materiaal(samenstelling) kan leiden tot minder onderhoud over de gehele levensduur. Dat betekent minder verkeershinder. Daarnaast kunnen ook modules rond om luchtkwaliteit en geluidshinder worden gekoppeld aan de verkeershindermodule.

De meerwaarde van het Duurzaamheidskompas zit in het totale beeld van duurzaamheid van een project en het inzichtelijk maken van uitwisseleffecten tussen enerzijds verschillende duurzaamheidsaspecten onderling en anderzijds de uitwisseleffecten tussen directe kosten en maatschappelijke kosten.

## **5 Acknowledgement**

Dit paper is een bewerking van de afstudeerscriptie van Janiek de Kruijff in de studie Transport, Infrastructure and Logistics aan de Technische Universiteit Delft (Kruijff, 2012). De afstudeerstage die hierbij hoorde is gedaan bij TNO, afdeling Smart Mobility. De afstudeerstage en de ontwikkeling van de verkeershindermodule zijn onderdeel van het project Duurzaamheidskompas. Het project Duurzaamheidskompas is een TNO Cofinancieringsproject waarin een consortium van bedrijven samenwerkt aan kennis- en productontwikkeling. Het consortium van het project Duurzaamheidskompas bestaat

naast TNO uit Tauw, Movares, Dura Vermeer, Heijmans, BAM Wegen, Strukton, MNO Vervat / Boskalis, Oosterhof Holman, MKB Infra, Goudappel, DGBC (TNO, 2012).

## **6 Bibliografie**

Kruijff, J. d. (2012). *Traffic hindrance during road works - a quick-scan tool to calculate traffic hindrance during road works*. Delft.

Rijkswaterstaat. (2011). *Handleiding EMVI Rijkswaterstaat 2011* .

TNO. (2012). *Outcomes of the workshop sustainability compass*. Delft.

TNO. (2012). *Projectvoorstel duurzaamheidskompas fase 2*. Delft.