

**Microsimulatie op macroschaal:  
Het Nederlandse spoorwegnetwerk in OpenTrack**

ir. Alwin Pot  
Royal HaskoningDHV, Rail  
[alwin.pot@rhdhv.com](mailto:alwin.pot@rhdhv.com)

**Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk  
21 en 22 november 2013, Rotterdam**

## **Samenvatting**

### *Microsimulatie op macroschaal: het Nederlandse spoorwegnetwerk in OpenTrack*

Toegenomen drukte op het spoor met zowel reizigers- als goederentreinen vraagt continu om aanpassing van de infrastructuur en / of dienstregeling. Echter, er is door de voortdurende crisis minder financiële ruimte voor investeringen in extra sporen, uitbreiding van wisselstraten of seinverdichting. Tenslotte hebben in 2012 enkele ernstige (bijna-)ongevallen op het Nederlandse spoor een toegenomen behoefte aan kennis over het functioneren van het totale spoorstelsel gevraagd.

De ontwikkelingen in de ICT maken mogelijk dat er steeds beter aan deze informatiebehoefte kan worden voldaan. Enerzijds wordt hardware steeds sneller en krijgt steeds meer geheugen. Anderzijds is de software steeds beter in staat grote hoeveelheden data aan zowel de invoer- als de uitvoerkant te verwerken.

In simulatie van het spoorverkeer werd voorheen veel gebruik gemaakt van micromodellen met een beperkte scope voor toetsing van de veiligheid, opvolgingen en lokale capaciteit. Macromodellen werden ingezet voor het bepalen van de landelijke capaciteit om een globale indeling te maken voor treinpaden. Door bestaande micromodellen uit te breiden en landelijke informatie toe te voegen is een micromodel voor geheel Nederland ontstaan in OpenTrack. Hiermee kunnen de micro-analyses ook op landelijke schaal worden uitgevoerd om een aanvullend idee te geven van de kwaliteit van een dienstregeling.

Het ontwikkelde model is operationeel, maar staat nog in de kinderschoenen, dus de wensen en ontwikkelmogelijkheden zijn nog groot. Zo kan gedacht worden aan het bepalen van het effect van energiezuinig rijden op energieverbruik, veiligheid en capaciteit. Verder kan worden gedacht aan analyse van de robuustheid van de dienstregeling voor stochastische verstoringen. Wanneer meer alternatieve rijwegen zijn ingevoerd is het ook mogelijk bijsturingsscenario's, onderhoudsplannen etc. op grote schaal te toetsen. De ultieme toevoeging zou zijn om op basis van de werkelijke treindienst de treindienstleider bij te kunnen staan in het maken van keuzes voor bijsturing.

## **1. Inleiding**

### *1.1. Inleiding*

Computersmodellen hebben zich ontwikkeld van beperkte rekenaars tot uitgebreide planprogramma's en simulatoren die steeds meer details kunnen toepassen in steeds grotere omgevingen. Simulatie van treinverkeer met OpenTrack beperkte zich eerst tot losse lijnen, losse knopen of kleine netwerken, maar verschillende gebruikers hebben een toenemende hoeveelheid infrastructuur gebouwd en het aan elkaar geregen. Zo bestaat er een model van Noord-Italië, een model van Zwitserland en sinds kort is er ook een model van geheel Nederland.

### *1.2. Aanleiding*

In 2012 hebben een zwaar treinongeval bij Amsterdam en een bijna-ongeval bij Utrecht plaatsgevonden. Onder de aanbevelingen van de Onderzoeksraad voor Veiligheid naar aanleiding van het eerstgenoemde ongeluk behoort het opstellen van een conflictvrije planning en het consequent voldoen aan de plannormen (Onderzoeksraad voor Veiligheid, 2012). Hierdoor zou het aantal "geplande" roodseinnaderingen en daarmee potentieel gevaarlijke situaties geminimaliseerd worden. Het voldoen aan de plannormen wordt getoetst in de plansoftware DONNA van ProRail en teruggekoppeld middels conflictsignalering. Het gevolg (het al dan niet verwachten van een roodseinnadering) is niet zichtbaar, maar moet uit simulatie volgen.

### *1.3. Doel- en vraagstelling*

Dit paper heeft tot doel de ontwikkelingen rond het Nederlandse spoorstelsel te beschrijven en daarbij vooral in te gaan op de rol die ICT kan hebben als ondersteuning bij beslissingen.

In tijden van krappe budgetten kan toegevoegde kennis helpen om productiemiddelen efficiënter dan voorheen in te zetten. Kan een dergelijk micromodel op macroschaal ons vanaf nu helpen om de beperkte hoeveelheid geld voor aanleg en onderhoud van spoorwegen en het uitvoeren van treindiensten beter te besteden? Of is de tijd nog niet rijp en kunnen we het model nog niet goed voeden en is de overdaad aan data te groot om bruikbare informatie op te leveren?

Concreet is bij deze modelontwikkeling een aantal vragen te plaatsen:

Heeft een micromodel op een macroschaal toegevoegde waarde boven een macromodel?

Is een model van een dergelijke omvang al bruikbaar?

Welke beperkingen kleven er aan het gebruik van een micromodel op macroschaal?

Hoe kan het model verder benut gaan worden?

#### *1.4. Overzicht*

De volgende onderdelen zullen achtereenvolgens worden beschouwd:

Ten eerste is er een korte introductie in de ontwikkelingen in de spoorwereld, gevolgd door de ontwikkelingen in de ICT en applicaties die aan de basis staan van dit paper. Hierbij zal ook expliciet worden gemaakt wat OpenTrack en andere modellen kunnen en wat daarvoor nodig is. Daarna is een hoofdstuk gewijd aan de mogelijkheden om het model verder te benutten, opbouwend van de eenvoudige mogelijkheden tot vele stappen van het heden verwijderd.

Ter afsluiting worden conclusies geformuleerd en geanalyseerd of deze simulatie de enige juiste methode is, of dat er meerdere wegen zijn, die kunnen splitsen en samengaan.

## 2. Ontwikkelingen in het spoorverkeer

Over lange termijn bekeken groeit het spoorvervoer nog steeds. Weliswaar is door de crisis een vermindering van de groei van het reizigersaantal waar te nemen, maar de weg omhoog is bij het goederenvervoer al weer gevonden. Behalve autonome groei door een stijging van het inwonertal en de binnen- en buitenlandse consumptie, is de concurrentiepositie van het spoor op een aantal trajecten ook verbeterd. Zo worden er enkele nieuwe stations per jaar geopend, vaak ter ontsluiting van nieuwbouwwijken, of – minder vaak voorkomend – aan nieuwe lijnen, zoals Zuidbroek – Veendam en de Hanzelijn via Dronten en Kampen. Voor het goederenvervoer is de Betuweroute een enorme opsteker geweest en zal het effect nog groter worden, wanneer het derde spoor over de grens in Duitsland aangelegd is.

Door de hoge kwaliteit (frequentie en aantal zitplaatsen) en het aantal reizigers en de frequente goederentreinen is het algemeen bekend dat Nederland met Japan en Zwitserland in de top staat van dichtst bereden spoorwegnetwerken. Dit vraagt om continu scherp te blijven op de kwaliteit van de infrastructuur en de mogelijkheid daar alle gewenste treindiensten op te kunnen afwickelen.

Toch zijn er trajecten “overbelast” verklaard. Dat betekent dat de baanvakbelasting hoger dan wenselijk is en de gezamenlijke marge tussen alle treinen te laag bevonden wordt. Bij een probleemloze uitvoering van de treindienst is dit niet erg, maar als er wel verstoringen optreden, is er onvoldoende buffertijd om vertraging op te vangen. De vertraging vermindert te weinig en kan zich dus voortplanten in het omliggende netwerk. Uiteraard zal er worden ingegrepen bij calamiteiten, maar zelfs kleine verstoringen, zoals een stationnement dat langer duurt om een mindervalide reiziger te helpen, kan al voor problemen zorgen.

Tegelijkertijd staat het budget voor spoorvervoer voorturend onder druk. ProRail is grotendeels afhankelijk van de bijdrage van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu. Door de jarenlange krapte in de Rijksbegroting ontkomt ook ProRail er niet aan goed op de uitgaven te letten.

De vervoerders, inclusief NS, zijn commerciële bedrijven en gedreven om de kosten laag en de opbrengsten hoog te houden. Tevens zijn regionale lijnen aanbesteed door regionale overheden, waardoor zij meer invloed hebben gekregen op het treinaanbod en het ministerie er geen zeggenschap meer over heeft. Dit zou kunnen leiden tot te korte opvolgingen, omdat verschillende partijen daar commercieel belang bij hebben. ProRail heeft dan de taak om treinen in tijd voldoende uit elkaar te leggen voor een veilige doorgang, maar wel rekening te houden met de commerciële belangen.

Overigens gaan de kosten van het spoorverkeer niet alleen over “out-of-the-pocket money”, maar zeker ook over de impliciete kosten van veiligheid, punctualiteit etc. Onveiligheid kost namelijk geld wanneer slachtoffers niet meer mee volledig mee kunnen doen in de maatschappij, zorg nodig hebben, er onderzoek uitgevoerd dient te worden en het verkeer enkele uren stilgelegd wordt. De ongevallen uit 2012 zijn al in de inleiding benoemd, de zomer van 2013 kende een aantal ongevallen in Europa en Noord-Amerika. Dispunctualiteit kost geld, doordat mensen hun aansluitingen missen en vervolgens een kwartier of half uur minder productief kunnen zijn op die dag, maar ook doordat goederentreinen stilgezet worden voor drukke punten of slots missen aan de grens missen en pas een uren later hun goederen kunnen lossen.

### **3. Ontwikkelingen in het ICT**

Eerst zal de oorzaak voor het mogelijk worden van een landelijke simulatie worden belicht. Daarna zal worden ingegaan op de verschillende modellen die bestaan voor simulatie van spoorverkeer. Hiervoor wordt de hoofdverdeling in micro- en macromodellen gebruikt en telkens wordt een duo daaronder vallende programma's genoemd en beknopt beschreven.

#### *3.1. Wet van Moore*

In de ICT geldt / gold de wet van Moore over de tweejaarlijkse verdubbeling van de rekenkracht van computers. Hoewel aan de top van de chips een afzwakking van de groei lijkt te ontstaan, vinden de positieve effecten nog steeds hun weg naar de normale gebruikselektronica. Hierdoor beschikken personal computers en daarvan afgeleide kantoorhardware nog elk jaar over snellere hardware en meer werkgeheugen om modellen in te laden en berekeningen tussentijds op te slaan.

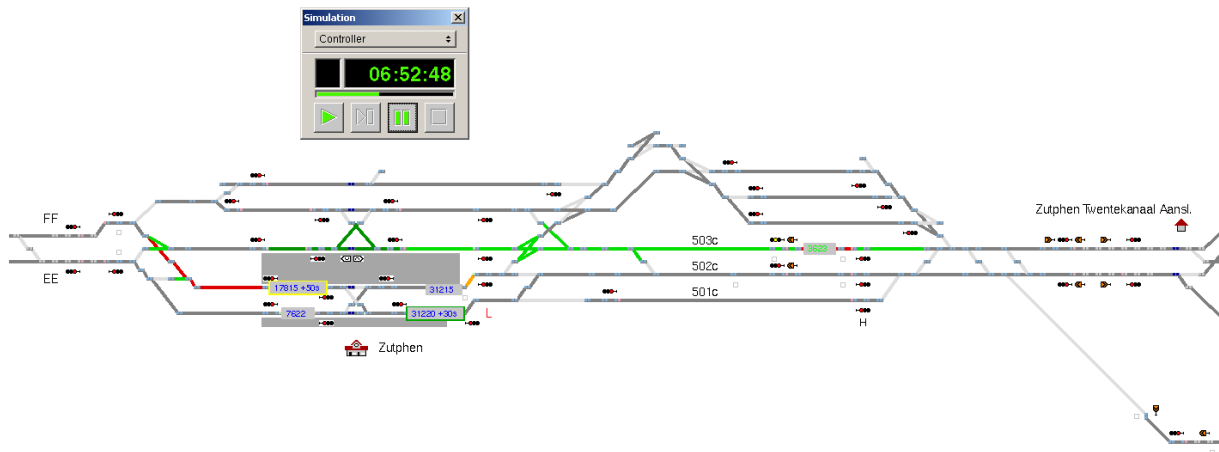
#### *3.2. Micromodellen*

Micromodellen kunnen veel details verwerken die in het spoorstelsel aanwezig zijn, zoals:

- kilometreringen van seinen, lassen en wissels;
- volledige seinbeeldrelaties en snelheidsborden;
- aanzet- en remcurves, eventueel ook in relatie tot hellingen;
- insteltijden, stopdoorschakelingen en halteertijden;
- rekening houden met spoorbezetting door andere treinen in het model;
- etc.

Vooraf in situaties waarbij treinen dichtbij elkaar komen (opvolgingen en overkruisingen), of elkaar zelfs kunnen inhalen, wordt het verschil met een hogere-ordemodel zichtbaar. In een micromodel kunnen kleine verstoringen middels snelheidsopdrachten aan andere treinen worden doorgegeven, terwijl deze door de grovere resolutie in een macromodel doorgaans niet aanwezig zijn (en niet als het goed is ook niet gewenst waren voor het doel van het macromodel).

*OpenTrack* wordt door ongeveer 150 organisaties wereldwijd gebruikt en kent een ruime support om nieuwe functies mogelijk te maken. Het kan vele bestandsformaten verwerken om infrastructuur, dienstregelingen en materieel te importeren en exporteren. Afhankelijk van de gewenste uitkomsten kan een model op met een hoge resolutie worden gebouwd of kunnen details worden weggelaten. Behalve gangbare tijd-weg- en wegsnelheidsdiagrammen, kunnen er ook spoorbezettingsdiagrammen, energieberekeningen etc. mee gemaakt worden.



Figuur 1: Uitsnede uit het Nederlandmodel (2013) in OpenTrack.

*FRISO* is ProRaileigen microsимулатiesoftware gebaseerd op een uniforme programmeertaal. Deze applicatie heeft als voordeel dat hij zeer goed aansluit op de bestaande databases voor infrastructuur en dienstregeling en geen noodzaak heeft compatibel te zijn met tientallen buitenlandse bestandsformaten. De (grafische) uitvoer is meer geënt op hetgeen planners en verkeersleiders gewend zijn. Ook op basis van deze rekenkern zou een landelijke simulatie mogelijk zijn.

### 3.3. Macromodellen

Macromodellen geven de spoorweginfrastructuur slechts weer als een systeem van "knopen" (vertakkingen en stations) en "pijpen". Waar een micromodel heel veel pijpjes heeft om elk element goed weer te geven en het afzonderlijke effect te kunnen berekenen, worden in een macromodel de karakteristieken over een pijp gegeneraliseerd, door met het aantal sporen en de gemiddelde snelheid etc. te rekenen. Hiermee kunnen bijvoorbeeld analyses over de spoorcapaciteit of snelle verwachtingen over de uitzaaiing van verstoringen worden gemaakt. Macromodellen hebben als voordeel dat ze zeer snel kunnen rekenen, maar daar staat tegenover dat ze niet gebruikt kunnen worden voor het analyseren van conflicten.

#### *PETER*

*PETER* is een door de TU Delft ontwikkeld macromodel, waarmee de stabiliteit van een dienstregeling op snelle en eenvoudige wijze berekend kan worden. Het gaat er echter niet vanuit dat treinen elkaar kunnen inhalen of deels worden opgeheven. Hierdoor kan de voortplanting van vertragingen grootschaliger zijn dan in de werkelijkheid. Echter, door de invoer zeer compact te houden is wel zeer snel een goed idee te verkrijgen over de uitzaaiing.

### *OnTime*

OnTime is een relatief nieuw mesoscopisch model dat in staat is de kwaliteit van een dienstregeling te bepalen. Het is in gebruik bij o.a. de Zwitserse en Belgische spoorwegen. De infrastructuur wordt hierbij toch deels geaggregeerd, waardoor er bij de berekening een grote snelheidswinst wordt geboekt (TrafIt, 2013). In deze context is het daarom onder de hogere-ordemodellen geplaatst.

### *3.4. Unicité*

De vraag kan ontstaan of met het bouwen van het gehele Nederlandse spoorwegnetwerk in een microsimulatiemodel iets unieks gemaakt is. Het gebouwde model is zeker niet uniek en de toepassing ervan ook niet. Wel komt de schaal in combinatie met de doelen waar het voor wordt toegepast zeer weinig voor. Zo gebruiken de Zwitserse spoorwegen OpenTrack om de kwaliteit van hun jaardienstregeling te berekenen.

Overigens hangt de rekensnelheid in het OpenTrackmodel vooral af van het aantal gelijktijdige treinbewegingen en niet zozeer van de complexiteit van infrastructuur of de grootte van de totale dienstregeling.



## 4. Toekomstige uitdagingen

Nu het gehele Nederlandse spoorwegnetwerk in een hoge resolutie te simuleren is en de eerste onderzoeken naar veiligheid (te verwachten roodseinnaderingen) en robuustheid (realiseerbaarheid van rij- en halteertijden) in gang gezet zijn, kan verder gekeken worden naar toepassingen voor het gebouwde model. In deze paragraaf zal hier een aantal voorbeelden van worden aangedragen en zullen de eventuele beperkingen worden belicht. Geen ervan is onmogelijk, maar ze staan telkens een stapje verder af van de huidige ervaring en mogelijkheden.

### 4.1. *Energiezuinig rijden*

Doordat het materieel al met de juiste karakteristieken is ingevoerd en de infrastructuur ook tot op het niveau van hellingen is ingevoerd, kan het model ook gebruikt worden voor energieberekeningen. Hiermee zou het effect van energiezuinig rijden in het gehele land bepaald kunnen worden op het energiegebruik. Tevens verkrijgt men direct inzicht in de effecten voor de capaciteit en de veiligheid en kan men deze vergelijken met een situatie zonder energiezuinig rijden.

### 4.2. *Stochastische simulatie voor robuustheid, veiligheid*

Bij stochastische simulatie wordt op de doorlooptijd van verschillende activiteiten van verschillende treintypen een verdeling gezet, waardoor ze iets korter maar vooral ook langer kunnen duren. De simulator trekt zelf waardes uit de opgegeven verdeling. Om statistisch betrouwbare uitspraken te doen was het met kleine netwerken noodzakelijk een simulatie 30 tot 100 keer met verschillende waardes te draaien.

Voor een landelijke simulatie dient het herhalingsgetal opnieuw bepaald te worden. Met verschillende proeven moet nagegaan worden of de simulatie stabiel genoeg is om met dergelijke verstoringen om te gaan (leveren vertraagde intercity's in de Randstad geen modelmatige vastlopers op op enkelspoor in het oosten van het land?).

Ten eerste zal dit getal opnieuw bepaald dienen te worden voor een landelijke simulatie. Vervolgens levert de stochastische simulatie een hoeveelheid data op van een factor gelijk aan het herhalingsgetal maal de data van een enkele simulatie. Zowel de doorlooptijd, de stabiliteit, het tijdelijk wegschrijven van de uitvoer en het uiteindelijk kunnen verwerken tot nuttige informatie vergen nog denkstappen.

### 4.3. *Automatische afhandeling van storingen via API / bijsturing*

Het huidige Nederlandmodel is grotendeels met de hand gebouwd. Behalve in gebieden waar eerder diepgravend onderzoek heeft plaatsgevonden naar verstoringen en daarmee samenhangende afwijkende routes zijn ingevoerd, zijn deze routes nu ook aanwezig in het grote model. Ze zijn echter niet direct bruikbaar in een simulatie, zolang ze niet worden toegekend aan een volledige treinrit van beginstation tot eindstation. Een mogelijkheid kan zijn om deze via een nieuw te ontwikkelen tool te kunnen inlezen. Tevens zijn deze alternatieve routes dan beschikbaar om ingewikkelder onderdelen van de onverstoorde dienstregeling (onderhoudsroosters en enkelspoorrasters) te gaan simuleren.

Echter, OpenTrack is recent aangepast, zodat via een API (Application Programming Interface) zowel gegevens ingevoerd als uitgevoerd kunnen worden. Hiermee is de weg vrijgemaakt voor het tijdens de simulatie bijsturen van de treindienst. Een partij die hierop is ingesprongen is Railway and Traffic Laboratory srl (LIFT srl) uit Triëste, Italië.

Zij hebben de Java-applicatie TRENO gemaakt, die via de internationale programmeertaal RailML, een variant van XML, communiceert met OpenTrack en de bijsturing kan verzorgen. De noodzaak om alternatieve rijwegen en seinbeeldrelaties in te voeren vervalt niet, maar wel de noodzaak om treinen alle mogelijke alternatieve rijwegen van te voren mee te geven.

#### *4.4. Realistische verstoringen (hele dag, hele net)*

Onderzoek naar verstoringen vond tot nu toe op drie manieren plaats: met deterministische verstoringen, stochastische verstoringen of realistische verstoringen, maar altijd op een lijn of klein netwerk. Hierdoor bleef de hoeveelheid data beperkt en waren de effecten van tevoren te beredeneren (noodzakelijk vanwege de inbouw van alternatieve rijwegen, extra keringen etc.). Voor prestatiemeting op lijnen is voor langere perioden ook onderzoek gedaan naar het afhandelingsscenario met behulp van daadwerkelijk opgetreden verstoringen.

Bij de voorgaande twee "uitdagingen" is al benoemd dat de infragegevens uitgebreid moeten worden en dat grotere hoeveelheden data verwerkt moeten worden om een landelijk verstoorde dienstregeling te kunnen simuleren. Bijkomende vraag nu is: wat is een realistisch scenario van verstoringen voor een landelijke simulatie?

Het antwoord hierop hangt van de omstandigheden af: verandert de dienstregeling substantieel of niet? Voorbeelden zijn frequentieverhogingen, bediening van nieuwe lijnen (de afgelopen jaren ging het om de Betuweroute, HSL-Zuid, lijn naar Veendam en Hanzelijn) en het verplaatsen van goederentreinen van de nacht naar de dag, etc. Bij kleine veranderingen kan gebruik worden gemaakt van de in de bestaande dienstregeling voorkomende verstoringen / verstoorte dagen. Bij grote veranderingen dient een scenario geconstrueerd te worden.

In beide gevallen moet het scenario representatief zijn. Eenvoudiger is het om een aantal dagen met verstoringen te simuleren en de uitzaaiing danwel demping te analyseren. Hiermee wordt voorkomen dat een volledige chaos gesimuleerd wordt, die minder voorkomt en meer ingrepen vereist.

#### *4.5. Real-time simulatie om afhandelingsscenario's door te rekenen*

Het summum van de simulatie is om real-time te kunnen simuleren en de verkeersleiding te kunnen adviseren over het te kiezen afhandelingsscenario bij een verstoring.

De belangrijkste horde die daarvoor genomen dient te worden, is het aansluiten van de simulatie op de lopende treindienst. Vervolgens moet de rekensnelheid worden opgevoerd om binnen enkele seconden met een oplossing te komen voor het optredende probleem. Tevens moet de simulatie meer autonoom kunnen werken om 24/7 bijstand te kunnen verlenen.

## 5. Conclusies

Het werken met een micromodel voor de simulatie van spoorverkeer is zeker niet nieuw. Wel betrekkelijk nieuw is de schaal waarop de modellen de laatste jaren gebouwd en gebruikt kunnen worden, want toen de computers minder krachtig waren was voor een dergelijke schaal een macromodel het hoogst haalbare. Door het toevoegen van details op macroschaal kunnen analyses die normaal alleen bij het toetsen van ontwerpen of het analyseren van knelpunten worden toegepast, ook worden uitgevoerd op een landelijke dienstregeling.

De gepresenteerde wijze van werken met een landelijk OpenTrackmodel sluit aan bij de eerste concrete vragen over de dienstregeling die momenteel bestaan. Voor diepgravender vragen is een verdere aanpassing van de software noodzakelijk. Daarbij moet niet vergeten worden dat het model in meer dan vijf jaar is opgebouwd tot de huidige, landelijke schaal en dat het bijhouden nog enige arbeid vraagt. Dit is ook overeenkomstig hetgeen Alfons Radtke (2008) als een van de belangrijkste pijlers onder spoorverkeerskundig onderzoek benoemt: het onderhouden van de infrastructuurdatabase. Zolang hiervoor in OpenTrack een grote handmatige component in zit, zal het op termijn zijn meerdere moeten erkennen in software die wel automatisch met dergelijke veranderingen kan omgaan. OpenTrack is nog niet de ultieme software, maar wel een zeer bruikbare tussenvorm voor onderzoek in de komende jaren en tegelijkertijd kunnen opgedane kennis en ervaring worden ingezet voor doorontwikkeling van OpenTrack of om parallel andere tools te verbeteren.

## Literatuur

Radtke, A. 'Infrastructure Modelling'. IN: Hansen, I.A. & Pahl, J. *Railway Timetable & Traffic*. Hamburg: Eurailpress | DVV Rail Media (2008), blz. 43 – 57.

*Nederlandmodel* (2013). Royal HaskoningDHV.

Trafit (2013). *OnTime*. Geraadpleegd op 1 september 2013 via [www.ontime-rail.com](http://www.ontime-rail.com).

Onderzoeksraad voor Veiligheid (2012). *Treinbotsing Amsterdam Westerpark*. Utrecht: Onderzoeksraad voor Veiligheid.