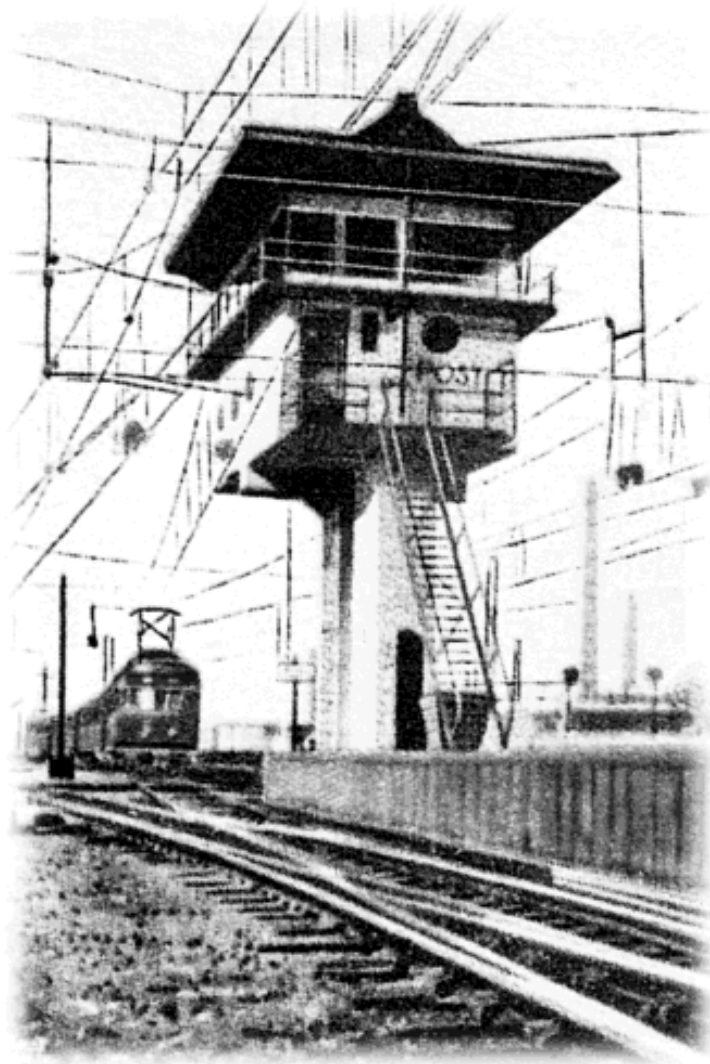


De orde van het seinhuis

en
kan de mens het spoor veiliger en efficiënter maken?



Utrecht, augustus 2004

Ir. B. Schotanus, inno-V adviseurs

Dr. Ir. L. Zigterman, DoorZigt B.V.

De auteurs zijn aangesloten bij Spoorwegexpertise.nl

Inhoud

Inhoud.....	2
Samenvatting.....	3
Summary	3
Inleiding	4
Operationeel verkeersmanagement	6
Verkeersmanagement	6
Vergelijking tussen modaliteiten.....	7
Analyse.....	10
Spoorwegen.....	11
Hoe worden treinbewegingen gestuurd?	11
Analyse.....	15
Hypothese.....	17
Onderzoeksvoorstel.....	17
Genereren verkeersbeeld bij de machinist	17
Toetsen van de effecten.....	18
Vervolg.....	19
Conclusies	19
Referenties.....	19

Samenvatting

De orde van het seinhuis en kan de mens het spoor veiliger en efficiënter maken?

Operationeel verkeersmanagement is het systeem waarmee voertuigen bestuurd worden om zich efficiënt en veilig door een verkeerssysteem te bewegen. Bij veel verkeerssystemen gebeurt dit door een menselijke bestuurder. Hoewel niet volmaakt blijkt de mens erg talentvol te zijn in het besturen van een voertuig. Om zijn taak als bestuurder te kunnen vervullen, genereert de mens in zijn hoofd een ‘verkeersbeeld’. Dit verkeersbeeld is gebaseerd op visuele waarneming en kan worden aangevuld met technische hulpmiddelen.

Treinen worden ook door een mens bestuurd: de machinist. De machinist baseert zijn beslissingen echter niet op een verkeersbeeld maar op ‘orders’ die hij ontvangt van de beveiliging en de dienstregeling. Het spoorwegsysteem mist daardoor de souplesse in de besturing die andere modaliteiten wel hebben.

De auteurs formuleren als hypothese dat zowel veiligheid als efficiëntie van het spoorwegsysteem kunnen verbeteren als de machinist wel een verkeersbeeld heeft. En zij stellen voor daar onderzoek naar te doen.

Summary

The order of the signal house and can humans make railways safer and more efficient?

Operational traffic management is the system that controls vehicles to run efficiently and safely through a traffic system. In most transportation modalities the vehicle is controlled by a human driver. Humans appear to be talented in driving vehicles – although they are not perfect. To fulfil this task the form a ‘traffic image’ in their minds. This traffic image is based upon visual observation and can be enhanced with technical means.

Trains are also controlled by a human: the train driver. A train driver however does not make his decisions based upon a traffic image. His decisions are based upon orders given by the signalling system and the timetable. The railway system therefore lacks the flexibility we find in other modes of transportation.

The authors formulate as a hypothesis that both safety and efficiency of the railway system can improve when the train driver is provided with a traffic image. And they propose to research this subject.

Inleiding

Vanuit het seinhuis worden treinbewegingen gestuurd. Het seinhuis is daarmee het centrum voor de besturing ('operationeel verkeersmanagement') bij de spoorwegen. Je mag verwachten dat hier vandaan een veilige en efficiënte afwikkeling van het treinverkeer plaatsvindt. Maar het seinhuis lijkt te haperen.

De efficiëntie van de treinafwikkeling is al enige tijd onderwerp van discussie. In het drukke en verstedelijkte Nederland moeten meer mensen en goederen vervoerd worden maar ruimte voor grootschalige uitbreiding van de infrastructuur ontbreekt. De Rijksoverheid voert daarom "beter benutten" van infrastructuur als één van haar speerpunten. De spoorsector heeft dit speerpunt overgenomen in haar toekomstvisie "Benutten & Bouwen" en werkt op dit moment hard aan maatregelen die de capaciteit van het spoor vergroten.



Figuur: De spoorweginfrastructuur kan beter benut worden (illustratie ProRail)

Ook de veiligheid van het treinverkeer staat ter discussie. De spoorwegen kennen een cultuur waarin veiligheid zeer belangrijk is. De spoorwegen zijn 'zwaar bepatserd' met voorzieningen die ongelukken moeten voorkomen. Op nummer één van de prioriteitenlijst staat al anderhalve eeuw het voorkomen van botsingen tussen treinen onderling. Toch werd Nederland de afgelopen jaren opgeschrikt door een reeks incidenten waarbij treinen, bij lage snelheid en vol daglicht, tegen elkaar opreden.

Als oorzaken voor deze incidenten werden genoemd: de toegenomen intensiteit van het treinverkeer en gaten in het beveiligingssysteem. Deze analyse is correct maar in onze ogen ook onbevredigend. De intensiteit van het treinverkeer is enigszins toegenomen maar in vergelijking met andere modaliteiten is het aantal verkeersbewegingen nog altijd uitermate beperkt. Er zitten inderdaad gaten in het veiligheidssysteem van de spoorwegen, maar vergeleken met andere modaliteiten is het veiligheidssysteem al uitermate zwaar.

Intermezzo:

Discussie over veiligheid op het spoor



Op vrijdagavond 21 mei 2004 botsten op Amsterdam Centraal twee treinen tegen elkaar. Er vielen twintig gewonden, waarvan twee zwaar. Het ongeluk kreeg veel media-aandacht, het was midden in de stad gebeurd, het treinverkeer was lange tijd verstoord en op televisie werden spectaculaire beelden getoond.

De volgende dag verklaart Mr. Pieter van Vollenhoven, voorzitter van de Raad voor de Transportveiligheid, dat het ongeluk kon gebeuren omdat het bestaande veiligheidssysteem ATB verouderd is en dat dit systeem vervangen moet worden door het nieuwere en veiliger ETCS (European Train Control System). In een brief aan de Tweede Kamer van 27 mei 2004 (zie www.rvtv.nl) licht hij zijn standpunt toe. Hij geeft hierin aan dat sprake is van een verontrustende toename van het aantal stoptonende seinpassages (150 in 1995; 281 in 2003). Hij noemt een reeks ongevallen die de mogelijke consequenties tonen van stoptonende seinpassages en geeft aan het ongeval in Amsterdam in dezelfde reeks te zien. En hij laat zijn teleurstelling blijken over het feit dat met de aanbeveling van de Raad van de Transportveiligheid om als oplossing hiervoor het ATB-systeem te vervangen nog niets gebeurd is.

Zowel minister Peijs van Verkeer en Waterstaat als directeur Klerk van ProRail laten weten dat vervangen van ATB door ETCS als veiligheidsmaatregel te duur is [4]. Dit kost enkele miljarden euro's en die zijn er niet. Bovendien kunnen voor zo veel geld andere maatregelen genomen worden, bijvoorbeeld in het wegverkeer, die een veel grotere verbetering van de veiligheid opleveren. Wel zegt minister Peijs een budget toe van 40 miljoen euro voor verbeterde veiligheid op emplacementen.

Indien op basis van deze analyse maatregelen genomen worden komt “beter benutten” van het spoor onder druk te staan. Terwijl “beter benutten” hard nodig is omdat daar de maatschappelijke meerwaarde van het spoor van af hangt. De maatregelen voor een nóg beter veiligheidssysteem zijn kostbaar waardoor het spoor zich ten opzichte van andere modaliteiten uit de markt zal prijzen. De spoorwegen lopen het risico uiteindelijk aan het gewicht van de eigen bepantsering ten onder te gaan.

Daarom vinden wij dat de discussie over veiligheid op het spoor in een breed perspectief geplaatst moet worden. Met deze notitie willen wij daar aan bijdragen. Wij starten met een onberedeneerd gevoel dat de verkeersafwikkeling, in vergelijking tot de spoorwegen, bij andere modaliteiten soepeler verloopt en dat deze daardoor beter presteren. (Gerelateerd aan het aantal voertuigbewegingen, als je kijkt naar de vervoersprestatie staat de veiligheid van de spoorwegen buiten kijf.) Wij brengen in beeld hoe de verkeersafwikkeling bij andere modaliteiten geregeld is, vergelijken dit met de spoorwegen en formuleren op basis hiervan een onderzoeksvorstel om tot een andere invalshoek voor de veiligheid op de spoorwegen te komen. Dit voorstel zullen wij in de aanloop naar het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk indienen bij de verschillende bij spoorwegen en spoorwegveiligheid betrokken organisaties.

Operationeel verkeersmanagement

Verkeersmanagement

Deze notitie gaat over de ‘besturing’ van het spoorwegsysteem, in vergelijking met andere modaliteiten. De besturing van een verkeerssysteem wordt ook wel met *verkeersmanagement* aangeduid. Dit kan op verschillende niveaus gebeuren:

Strategisch

Infrastructuur is een schaars goed. Het is kostbaar om aan te leggen en de vraag, het aantal voertuigen dat de infrastructuur wil gebruiken, is op sommige momenten groter dan het aanbod, de beschikbare capaciteit van de infrastructuur. Dit betekent dat keuzen gemaakt moeten worden over te stellen doelen en prioriteiten, in een maatschappelijk en politiek perspectief. De infrastructuur biedt meer waar voor haar geld naarmate zij beter de maatschappelijke behoeften kan accommoderen. Strategisch verkeersmanagement gaat over het stellen van deze doelen en prioriteiten. Dit geschiedt geruime tijd van tevoren.

Het geschikte gereedschap voor strategisch verkeersmanagement is in feite het politieke debat. Belanghebbenden moeten betrokken worden en zich uitspreken. Het mooiste is als zij het onderling eens kunnen worden. Lukt dit niet, dan wordt de tegenstelling tot een politiek item gemaakt.

Tactisch

Verkeersmiddelen willen we graag efficiënt inzetten. Soms kunnen we dit bereiken door van tevoren een planning te maken. Duidelijk voorbeeld hiervan is het maken van personeelsroosters: door van tevoren het puzzeltje op te lossen welke chauffeur wanneer waarnaar toe rijdt, wordt voorkomen dat hij, eenmaal op zijn werk aangekomen, niets te doen heeft. Op verge-

lijkbare wijze kan ook een schutplan voor een sluis of een gateplan voor een luchthaven gemaakt worden.

Het maken van een dergelijke planning geschiedt kwartieren tot weken van tevoren. Er komt een moment dat de planning “bevroren” wordt, daarna wordt er niets meer aan veranderd. De reden hiervoor is dat het maken van de planning tijd kost en met betrokkenen gecommuniceerd moet worden. Het maken van een planning heeft dus alleen zin als de kans op veranderingen, nadat de planning bevroren is, gering is.

Het geschikte gereedschap voor tactisch verkeersmanagement zijn planning- en optimalisatiemethodieken.

Operationeel

Voertuigen moeten veilig en efficiënt van A naar B. Voertuigen komen onderweg andere voertuigen tegen en moeten hiermee niet in botsing komen. Dus moeten beslissingen genomen worden over toedeling van de verkeersruimte, dit is waar operationeel verkeersmanagement over gaat.

Deze beslissingen worden genomen op het moment dat de verkeerbewegingen zich daadwerkelijk aandienen. Normaal gesproken is het de verantwoordelijkheid van de bestuurder van een voertuig te zorgen dat hij niet in botsing komt, in sommige gevallen spelen ook de verkeersleider of verkeerregelsystemen een belangrijke rol.

Het gaat in deze notitie om *operationeel* verkeersmanagement.

Vergelijking tussen modaliteiten

Lopen

“Kijk waar je loopt!” een moeder brengt haar kind het eerste basisprincipe van operationeel verkeersmanagement bij. In de kleuterspeelzaal zie je kinderen nog wel eens tegen elkaar opbotsen. Bij volwassenen komt dit bijna nooit voor, ook niet in drukke winkelcentra of op overvolle stations.

De mens heeft van nature het vermogen om verkeersdeelnemer te zijn. Dit vermogen is voor ons vanzelfsprekend. Het is ontstaan in de loop van miljoenen jaren evolutie. Het komt het best tot zijn recht in situaties die vergelijkbaar zijn met de situatie waarin onze voorouders leefden: voetverkeer. Maar daarmee blijft overeind staan dat de mens zeer goede prestaties levert als verkeersdeelnemer.

Om ons te kunnen gedragen als verkeersdeelnemer moeten wij in ons hoofd een “verkeersbeeld” vormen: een beeld van de omgeving waarin wij ons kunnen bewegen inclusief positie

en snelheid van de mede verkeersdeelnemers die we moeten ontwijken. Bovendien moeten we met onze medeverkeersdeelnemers interactie aangaan voor het bepalen van voorrang bij potentiële conflicten. Dit alles doen we intuïtief zonder er al te zeer bij na te denken.

Autoverkeer

Het basisprincipe voor het besturen van een auto is hetzelfde als dat van voetgangers. De bestuurder neemt zijn omgeving waar, genereert een verkeersbeeld en baseert daar zijn beslissingen op.

Met een auto besturen wij een voertuig dat tien keer zo zwaar en twintig keer zo snel is als wij zelf. Dat gaat niet vanzelf goed, het autoverkeer is berucht om zijn vele slachtoffers. Wij zijn van nature niet zo goed in het inschatten van de effecten van hoge snelheden, bovendien zijn de consequenties als het mis gaat, groot. Er zijn talloze maatregelen nodig geweest om de verkeersveiligheid te vergroten. Die hebben wel geleid tot het inperken van de vrijheid van de autobestuurder, maar tot op heden niet tot het verdwijnen van zijn eindverantwoordelijkheid voor het besturen van de auto. En we zien dat ook niet in de nabije toekomst gebeuren.

Op drukke kruisingen worden conflicten geregeld door verkeersregelininstallaties. Hier verschuift de beslissing over voorrang van de bestuurder naar een verkeersregelininstallatie “aan de wal”. De hoofdfunctie van deze verkeersregelininstallaties is te zorgen dat voertuigen geclusterd het kruisingsvlak passeren waardoor het kruisingsvlak efficiënter wordt benut. Voor andere functies (bijvoorbeeld veiligheid) blijken verkeersregelininstallaties in de praktijk minder geschikt: het is moeilijk de regeling zo goed te maken dat de kwaliteit van de beslissingen even goed is als die van de individuele bestuurders op basis van directe waarneming.

De praktijk is dat het overgrote deel van de beslissingen in het autoverkeer nog steeds door menselijke bestuurders genomen wordt. Deze bestuurders houden daarbij vaak opvallend krappe marges aan (er wordt scherp gereden). Er vallen veel slachtoffers door het autoverkeer, de maatschappij gaat daar (in vergelijking met andere veiligheidsrisico's) opvallend gemakkelijk mee om. Maar gezien het aantal verkeersbewegingen en de risico's die bestuurders nemen is het misschien nog wel meer opvallend dat het zo vaak goed gaat. Daarom kan geconcludeerd worden dat ook in het autoverkeer menselijke bestuurders een goede prestatie leveren.

Scheepvaart

Ook voor de scheepvaart geldt als basismechanisme: de schipper genereert in zijn hoofd een verkeersbeeld waar hij zijn beslissingen op baseert. Verschil is dat in de scheepvaart visuele waarneming wordt aangevuld met elektronisch zicht. De beroepsvaart, zowel in de binnen-

vaart als op de zeevaart, heeft tegenwoordig standaard radar aan boord. Het voordeel van de radar is dat je afstanden beter kunt inschatten en minder last hebt van mist of duisternis. Radar kan niet om een hoek heen kijken, daardoor kunnen soms gevaarlijke situaties ontstaan. Berucht is de Waalbocht bij Nijmegen met zijn drukke scheepvaartverkeer. Hier is ter ondersteuning van de scheepvaart een verkeersleidingspost aan de wal geplaatst. De verkeersleider beschikt over radarbeelden van verschillende radarposten langs het traject, over videobeelden van camera's en over direct zicht. De verkeersleider kan zich hiermee een verkeersbeeld vormen, gevaarlijke situaties zien aankomen en via de marifoon de schipper waarschuwen. "Mijn taak is wat ik voor me zie via een krakende marifoonlijn aan de schipper te vertellen." Het systeem is niet perfect maar het werkt. Op andere plaatsen zoals de Rotterdamse haven wordt op vergelijkbare wijze gewerkt.

Het toekomstbeeld is dat schepen elkaar door middel van transponders van hun positie op de hoogte gaan stellen. En dat de schipper straks een elektronische kaart voor zich heeft waarin informatie uit verschillende bronnen gecombineerd wordt. Statische kaartinformatie, actuele waterstanden, informatie van radar en van transponders zorgen dat de schipper een optimaal verkeersbeeld krijgt. Maar nog altijd blijft het een mens die daarop zijn beslissingen baseert.

Luchtvaart

In de luchtvaart is elektronisch zicht onontbeerlijk. De snelheden zijn zo groot dat als twee vliegtuigen met conflicterende koers op zichtafstand zijn, de tijd ontbreekt om een botsing nog te kunnen voorkomen. Conflicten worden opgelost door een verkeersleider. De piloot wordt over de radio en met behulp van een strak communicatieprotocol door de verkeersleider gestuurd. Dit wijkt dus af van de voorgaande modaliteiten.

Het is de verkeersleider die in zijn hoofd een verkeersbeeld moet genereren, en dan ook nog een driedimensionaal verkeersbeeld. Hij doet dit op basis van informatie die van radar en van transponders afkomstig is. Het zal duidelijk zijn dat het beroep van luchtverkeersleider zwaar is: de veiligheid van het vliegverkeer rust volledig op zijn schouders, één fout kan genoeg zijn voor een ongeval. En de capaciteit in een verkeersleidingsgebied wordt beperkt door het aantal vliegbewegingen dat één verkeersleider kan overzien.

Om de beperkingen van deze manier van werken te omzeilen wordt in de luchtvaart gewerkt aan het principe van 'free flight'. Hierbij wordt de verantwoordelijkheid voor conflictoplossing verplaatst van de verkeersleider naar de piloot. De piloot krijgt een display waarop hij andere vliegbewegingen kan zien, waarmee hij mogelijk een conflicterende koers heeft. Bij een dreigend conflict krijgt hij een advies hoe hij van het conflict af kan sturen. De piloot van het conflicterende vliegtuig moet hetzelfde doen, zodat onoplettendheid van één van beide

piloten nog niet tot een gevaarlijke situatie leidt. Als de piloot de conflicten moet oplossen, neemt de werkdruk voor hem met toenemende drukte minder sterk toe dan wanneer een verkeersleider dat moet doen. De verkeersleider moet *alle* conflicten tussen *alle* vliegtuigen overzien, terwijl de piloot alleen de conflicten met zijn eigen vliegtuig hoeft te overzien. Dit is de reden waarom met 'free flight' een veel grotere drukte mogelijk is.

Opvallend is de waarde die men er in de luchtvaart aan hecht dat de mens de uiteindelijke beslissing neemt en de eindverantwoordelijkheid draagt. Er zijn geen mechanismen om een falende piloot te overrulen, hoewel bijvoorbeeld het ongeluk op Tenerife in 1977 daar aanleiding voor had kunnen zijn. Pas sinds de aanslagen van 11 september 2001 wordt gekeken of 'no go' areas gecreëerd kunnen worden, waar piloten wél overruled kunnen worden als ze naar binnen proberen te vliegen.

Analyse

Genereren verkeersbeeld

Om voertuigen te kunnen besturen is een 'verkeersbeeld' nodig van de omgeving, waarin het voertuig zich bevindt. Dit verkeersbeeld geeft informatie over:

- De statische toestand van de omgeving: de infrastructuur;
- Dynamische afwijkingen op deze basistoestand: weer, wegwerkzaamheden, omleidingen, waterstanden e.d.
- Medeverkeersdeelnemers

We zien bij alle modaliteiten dat de basis voor het genereren van dit verkeersbeeld visuele waarneming is. Hiermee bouwen we voort op de vaardigheden die wij (mensen) van de evolutie hebben meegekregen om ons lopend door onze omgeving te bewegen.

Naarmate de modaliteit verder van het lopen af staat, blijkt de beperking van onze visuele waarneming groter te worden. Het blijkt goed mogelijk onze visuele waarneming aan te vullen met elektronisch zicht, hiervoor worden (onder meer) radar en transponders gebruikt. De luchtverkeersleiding is zelfs geheel afhankelijk van elektronisch zicht. Als trend zien we (het duidelijkst in de scheepvaart) dat verschillende elektronische informatiebronnen gecombineerd worden om aan de bestuurder van het voertuig zo adequaat mogelijke informatie te bieden.

Nemen van beslissingen

Op basis van het verkeersbeeld moeten in het voertuig beslissingen genomen worden over koers en snelheid. In alle modaliteiten zijn deze beslissingen gebonden aan verkeersregels die de pretentie hebben sluitend te zijn. Op basis hiervan zou je verwachten dat, als een elektro-

nisch verkeersbeeld beschikbaar is, de besturing van het voertuig eenvoudig geautomatiseerd kan worden door de verkeersregels in te programmeren. Vervolgens lijkt het een logische gedachte de besturing van de voertuigen te centraliseren. Immers, een verkeerscentrale aan de wal kan alle verkeersbewegingen overzien en zo tot een optimale sturing komen.

Echter, bij alle modaliteiten blijkt grote waarde gehecht te worden aan beslissingsrecht en eindverantwoordelijkheid van de menselijke bestuurder. En in de modaliteit waarin sprake is van gecentraliseerde besturing, de luchtvaart, wil men juist de verantwoordelijkheid verplaatsen van de luchtverkeerleider naar de piloot. Kennelijk is het besturen van een voertuig in de praktijk complexer dan we zouden vermoeden. En kennelijk is de mens in dergelijke complexe situaties verrassend goed in staat beslissingen te nemen. Ook voor het nemen van beslissingen profiteert de mens van zijn natuurlijke talent als voertuigbestuurder.

Spoorwegen

Hoe worden treinbewegingen gestuurd?

Culturele basis

De spoorwegen zijn ontstaan in het begin van de negentiende eeuw en relatief vroeg in de industriële revolutie. De belangrijkste filosofische stroming was de Verlichting die onder meer gebaseerd was op het determinisme van Descartes. Het determinisme gelooft dat de wereld rationeel in elkaar zit en dat oplossingen voor problemen gevonden kunnen worden door ze te beredeneren.

Tijdens de opkomst van de spoorwegen bestonden nog weinig grote organisaties die als voorbeeld konden dienen. Het belangrijkste voorbeeld voor de organisatie van de spoorwegen was het leger. Er waren weinig technische hulpmiddelen, eenvoudige taken werden met handkracht gedaan. Om dan met een groot leger de gestelde doelen te bereiken is een strikte opvolging van orders nodig. Als een soldaat gaat nadenken, raken de orders vervormd en is de coördinatie tussen verschillende legeronderdelen zoek. Vandaar dat het (19^e eeuwse) leger een cultuur van orde en discipline ontwikkelde.

De omstandigheden bij de spoorwegen waren vergelijkbaar: een grote organisatie, een noodzaak voor strikte coördinatie en zeer beperkte technische hulpmiddelen. Dus hier was een 'legercultuur' van discipline en order zeker op zijn plaats en ook hier werd geworsteld met de vraag hoe je kunt zorgen dat mensen strikt hun orders opvolgen. Pas geleidelijk aan werden taken die een strikte orderopvolging vereisen gemechaniseerd of geautomatiseerd. Dit betekent dat de cultuur van de spoorwegen vanouds wordt gekenmerkt door rationaliteit, hiërarchie en discipline. Ook in de 20^e eeuw is hier op voortgebouwd. Zo kennen de spoorwegen

een strikte hiërarchische aansturing vanuit 'Utrecht' en afdelingen werden tot 1996 op militaire wijze genummerd.

Inmiddels zijn de omstandigheden veranderd. De spoorwegen worstelen daar mee, omdat de uitdagingen van de 21^e eeuw om andere oplossingen vragen dan die van de 19^e en 20^e eeuw. Maar dat neemt niet weg dat het in de gaten houden van de wortels van de spoorwegcultuur kan helpen te begrijpen wat er bij de spoorwegen aan de hand is.

Planning

Binnen het beeld van een rationele organisatie past dat de spoorwegen zeer sterk op planning gefocust zijn. Zowel strategisch, tactisch als operationeel verkeersmanagement berust bij de spoorwegen in de eerste plaats op planning. Voor operationeel verkeersmanagement betekent dit dat de conflicten van tevoren bij het maken van de dienstregeling worden opgelost. Het treinpersoneel krijgt de dienstregeling als 'order' mee en wordt geacht deze strikt uit te voeren, met andere woorden: op tijd te rijden. En als alle orders maar stipt uitgevoerd worden, zal nooit een trein tegen een ander opbotsen.

Toen in 1839 treinen gingen rijden was dit de basis van de beveiliging. Vanuit onze 21^e eeuwse blik is dit niet goed te bevatten, we moeten ons eerst een beeld vormen van de toenmalige beperkingen van de techniek. Er was geen Internet, geen GSM, geen computers. Er waren geen telefoons, geen relais, zelfs nog geen (elektrische) telegraaf. Men kon klokken maken, men had pen en papier en zo nodig kon men met vlaggen (optische telegraaf) berichten overzenden.

De spoorwegen voerden een uniform tijdstelsel (de spoorwegtijd) in en legden op papier vast wat op welk moment moest gebeuren. Er was een strikte hiërarchie om te zorgen dat de orders uitgevoerd werden, de stationschef voerde bevel over zijn gebied. Zo nodig konden loopjongens papieren orders brengen naar wisselwachters die ter plekke de wissels bedienden. En om te voorkomen dat op de vrije baan een trein zou opbotsen tegen een voorganger die ongelukkigwijls tot stilstand was gekomen, werd tien minuten separatie tussen twee treinen in acht genomen.

Het blokstelsel

In 1856 bleek dat deze wijze van beveiligen niet waterdicht was. Een trein was in de duisternis met pech tot stilstand gekomen en werd door de volgende trein aangereden, met drie dodelijke slachtoffers als gevolg. Dit was aanleiding voor de invoering in Nederland van het zogenaamde blokstelsel.

Bij een blokstelsel wordt het spoor verdeeld in zogenaamde ‘blokken’. In ieder blok mag zich maximaal één trein bevinden, zodoende kunnen nooit twee treinen met elkaar in botsing komen. Om te garanderen dat zich per blok inderdaad maximaal één trein bevindt, wordt elk blok afgedekt door seinen. Een sein mag alleen toestemming tot doorrijden geven als het achterliggende blok vrij is.

Op de *spitzen* van de toenmalige technologie werden ‘bloktoestellen’ ontwikkeld die deze functionaliteit mogelijk maakten. Het probleem was de signaaloverdracht naar de volgende blokpost enkele kilometers verder. Deze signaaloverdracht werd één van de eerste toepassingen van elektriciteit, terwijl de rest van het apparaat nog mechanisch was.

Wat volgde was een rituele dans tussen spoorwegbedrijf en toezichthouder, waarbij de toezichthouder betoogde dat de nieuwe techniek zo snel mogelijk moest worden ingevoerd, omdat deze absolute veiligheid bood en het spoorwegbedrijf vroeg om uitstel omdat de nieuwe techniek duur was en nog onvoldoende uitontwikkeld. Iets wat zich vandaag de dag lijkt te herhalen met RvTV als pleitbezorger voor snelle invoering en ProRail als organisatie die wil temporiseren.

Automatische Trein Beïnvloeding

Helaas biedt het blokstelsel géén absolute veiligheid. In 1962 vond bij Harmelen een ernstige treinbotsing plaats nadat de machinist van één van beide treinen in de mist een geel sein had gemist. Naar aanleiding daarvan is besloten tot het invoeren van een systeem dat bij falende machinist de trein automatisch tot stilstand brengt.

Het ministerie van Verkeer en Waterstaat wilde hiervoor graag het Duitse *Indusi* systeem overnemen. NS had voorkeur voor het door het Amerikaanse *General Railway Signal Company* voorgestelde “Automatische Trein Beïnvloeding (ATB)”. *Indusi* werkt met bakens langs de spoorbaan die instructies doorgeven aan de trein. ATB zendt een signaal *in* de spoorbaan dat permanent door de trein ontvangen kan worden. Als halverwege twee seinen een verbetering van het seinbeeld optreedt, moet de trein bij toepassing van *Indusi* tot het volgende sein langzaam rijden, maar met ATB kan hij gelijk weer optrekken. NS kon het ministerie overtuigen van de voordelen van het ATB-systeem, maar heeft achteraf moeten toegeven dat dit een ongelukkige keuze was [1]:

- Het ATB-systeem was duur en technisch niet uitontwikkeld. De invoering heeft daarvoor dertig jaar geduurd, in die tijd zijn tien ongevallen gebeurd waarbij doden te betreuren vielen en die met ATB hadden kunnen worden voorkomen. *Indusi* had – naar inschatting – in vijf jaar ingevoerd kunnen worden.

- Omdat ATB van de spoorstaven gebruik maakt is het vrijwel onmogelijk grote wisselcomplexen van ATB-signaal te voorzien. Daarom is gekozen om ‘geen signaal’ als code voor 40 km/h te gebruiken en 40 km/h is tevens de laagste maximum snelheid die ATB kan uitzenden. Dit betekent dat het passeren van rode seinen *niet* is afgedekt. De reeks recente ongevallen wordt hier aan geweten. Bij *Indusi* worden rode seinen wél bewaakt.
- ATB is niet in staat tijdelijke snelheidsbeperkingen af te dekken, *Indusi* wel. Het ongeluk van Hoofddorp in 1992 wordt hier aan geweten.

Om de nadelen van ATB te ondervangen heeft NS in de jaren '90 *ATB Nieuwe Generatie* (ATB-NG) ontwikkeld. ATB-NG heeft technisch geen overeenkomsten met het oude ATB en maakt net als *Indusi* gebruik van bakens. De dieselbaanvakken die nog niet aan de beurt waren gekomen voor ATB, zijn in de jaren '90 van ATB-NG voorzien. Tevens is het nieuwere materieel voorzien van apparatuur die zowel de signalen van ATB als ATB-NG kan ontvangen.

Eveneens in de jaren '90 heeft de Europese Unie regelgeving doorgevoerd die grensoverschrijdend railverkeer binnen de EU makelijker moet maken. Onderdeel hiervan is de ontwikkeling van het Europees treinbeveiligingssysteem ETCS. Consequentie is dat een verdere overgang op ATB-NG niet zal plaatsvinden. Nieuwe infrastructuur (HSL, Betuweroute) wordt uitgerust met ETCS. Het bestaande net moet het *vooralsnog* met de bestaande ATB doen.

Gedrag van de machinist

De machinist volgt orders op van de dienstregeling en van de beveiliging. Hij heeft geen ruimte om, gegeven de actuele situatie, zelf een optimum te zoeken.

Bij andere modaliteiten kunnen bestuurders elkaar helpen. Als een autobestuurder in zijn achteruitkijkspiegel een auto met blauwe zwaailichten ziet gaat hij even naar rechts om hem voor te laten. Bij de spoorwegen zijn situaties waar het wenselijk zou zijn dat treinen elkaar helpen door even iets sneller of langzamer te rijden. Alleen het gebeurt niet omdat machinisten elkaar niet kunnen zien.

Bij andere modaliteiten moet de bestuurder bepalen wat een veilige afstand is tot andere verkeersdeelnemers en obstakels aan de wal. Bij de spoorwegen geldt dat ruimte die niet door de beveiliging is vrijgegeven niet mag worden benut. Omdat de beveiliging zeer ruime marges aanhoudt blijft veel ruimte in de infrastructuur onbenut. Dit verklaart de slechte benutting van de spoorweginfrastructuur.

Analyse

Verantwoordelijkheid

Bij de spoorwegen geldt nog steeds de negentiende eeuwse legermentaliteit. De prioriteit ligt bij strikte orderopvolging en gehoorzaamheid van het uitvoerende personeel. Het personeel moet niet nadenken, maar doen wat haar gezegd wordt. Nadenken leidt tot afwijken van orders en onvoorspelbaarheid van het systeem. Om te voorkomen dat het personeel zelf gaat nadenken, krijgt ze alleen die informatie die ze strikt nodig heeft.

Mensen zijn *niet* gebouwd voor een strikte orderopvolging en *wel* om zelf na te denken. Om een strikte orderopvolging te bereiken nam het negentiende eeuwse leger haar toevlucht tot drillen en discipline. De spoorwegen zoeken nu hun toevlucht in de techniek: er worden systemen gebouwd die de strikte orderopvolging van de machinist controleren en hem zo nodig corrigeren. De ultieme consequentie van deze aanpak zou zijn het elimineren van de machinist: technische systemen kunnen veel beter voor een strikte orderopvolging zorgen en de machinist is een *sta-in-de-weg* geworden.

De consequentie van strikte orderuitvoering door het uitvoerende personeel is dat de verantwoordelijkheid verschuift naar 'het systeem'. Maar het maken van het systeem is ook mensenwerk en kan ook fouten bevatten. Doel van de invoering van het ATB-systeem na het ongeluk bij Harmelen wilden we menselijke fouten definitief uitsluiten. Maar de keuze voor het ATB-systeem *zelf* zou achteraf ook als een menselijke fout gezien kunnen worden.

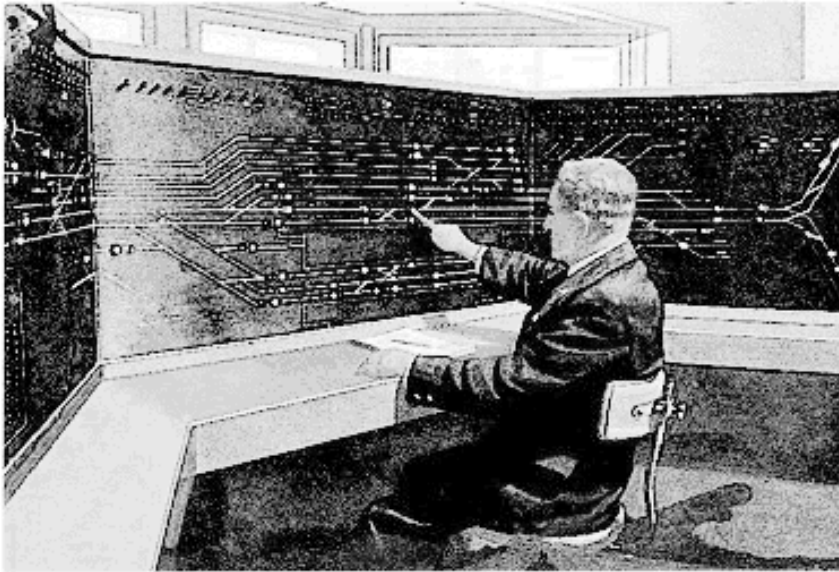
Opvallend is dat andere modaliteiten bijzonder veel waarde blijken te hechten aan de verantwoordelijkheid van de menselijke bestuurder. Vooralsnog zijn de spoorwegen de enige modaliteit die een remingreep kent.

Verkeersbeeld

In de negentiende eeuw kon de seinhuiswachter naar buiten kijken over het emplacement dat hij bediende. Wissels en seinen werden bediend met trekdraden en daarom was de fysieke aanwezigheid van het seinhuis noodzakelijk. In de twintigste eeuw is de mechanische beveiliging vervangen door relaisbeveiliging. De bediening gebeurde met grote bedieningstableaus. De laatste jaren zijn de bedieningstableaus vervangen door beeldschermen.

Op de bedieningstableaus worden 'sectiebezetsmeldingen' weergegeven waarmee de treindienstleider het verloop van de treinbewegingen kan volgen. Hiermee werd de noodzaak van naar buiten kijken minder. Maar naar buiten kijken werd ook minder wenselijk gevonden. In het kader van de strikte orderopvolging moest de treindienstleider precies de informatie krijgen die hij nodig had, namelijk de informatie die hij op zijn beeldscherm krijgt. De werkop-

stelling van de treindienstleider werd zo gemaakt dat hij in veel gevallen niet meer naar buiten kón kijken.



Figuur: Tableau voor de bediening van een spoorwegemplacement

Net als bij de luchtvaart is het bij de spoorwegen zo dat een trein “vanaf de wal” gestuurd wordt. En net als de luchtverkeersleider vormt de treindienstleider zich een verkeersbeeld op basis van de informatie op zijn beeldscherm. Toch is de taak van de treindienstleider beperkter dan die van de luchtverkeersleider. De luchtverkeersleider moet *real time* conflicten oplossen en er voor zorgen dat de door hem gegeven instructies de vliegtuigen niet in botsing brengen. De treindienstleider moet een dienstregeling uitvoeren waar alle conflicten al uitgehald zijn en de beveiliging laat geen instructies toe waardoor treinen met elkaar in botsing kunnen komen.

De machinist heeft *geen* verkeersbeeld. Hij moet strikte orders opvolgen van de seinen langs de baan. Het spoorwegongeval op 21 mei 2004 in Amsterdam is gebeurd bij daglicht onder omstandigheden met uitstekend zicht. De machinisten van beide treinen konden elkaar op 500 meter zien naderen en moeten elkaar geruime tijd in beeld gehad hebben. Toch hebben zij pas op het allerlaatste moment door gehad dat ze met elkaar in botsing zouden komen. Zij wisten eenvoudig niet waar ze heen reden en waren ziende blind.

Rol van de mens

Bij de andere modaliteiten zien we dat het besturen van een voertuig wordt opgevat als een complex probleem. Dit probleem kan het beste opgelost worden op basis van een grote hoeveelheid adequate informatie die tezamen een ‘verkeersbeeld’ oplevert. De mens blijkt on-

vermoede talenten te hebben om dit probleem op te lossen. Technische systemen zijn er op gericht de mens bij deze taak te ondersteunen, bijvoorbeeld door een beter verkeersbeeld aan te leveren.

Bij de spoorwegen zien we dat het besturen van een voertuig juist wordt opgevat als een simpele taak: het opvolgen van enkelvoudige orders. Het vermogen van de mens om complexe problemen te overzien, wordt hierbij als hindernis gezien. De hoeveelheid beschikbare informatie wordt beperkt om de mens zich aan zijn enkelvoudige taak te laten houden en techniek wordt gebruikt om de rol van de mens in te perken.

Verantwoordelijkheid wordt bij de spoorwegen gedragen door 'het systeem'. De verleiding is groot te geloven dat 'het systeem' onfeilbaar is. Als 'het systeem' dan toch feilbaar blijkt te zijn, is de schok groot. Maar het maken van 'het systeem' is uiteindelijk mensenwerk geweest. Dienstregelingmakers en ontwerpers van beveiligingssystemen zijn ook feilbare mensen.

Om de pretenties van onfeilbaarheid toch te kunnen waarmaken heeft 'het systeem' de neiging zeer grote veiligheidsmarges in acht te nemen waardoor de spoorweginfrastructuur niet efficiënt kan worden benut.

Hypothese

Het spoorwegsysteem kan zowel efficiënter als veiliger worden als de machinist de ruimte krijgt zijn talent als voertuigbestuurder te ontplooien. Hij is niet een faalrisico waarvan de ruimte zo veel mogelijk moet worden ingeperkt, maar een talentvolle probleemoplosser die in staat is in complexe en soms onvoorspelbare situaties de juiste beslissing te nemen. De techniek kan hem hierin ondersteunen door het hem mogelijk te maken zich een adequaat verkeersbeeld te vormen.

Onderzoeksvoorstel

Genereren verkeersbeeld bij de machinist

Ons voorstel is dus te onderzoeken of een adequaat verkeersbeeld bij de machinist kan zorgen voor een veiliger en efficiëntere afwikkeling van het treinverkeer. Allereerst zullen we natuurlijk moeten onderzoeken hoe we de machinist een verkeersbeeld kunnen geven. Dit kan bijvoorbeeld door van andere modaliteiten te leren. Daarnaast kun je met gezond verstand en uitproberen ook een heel eind komen.

Maatregelen in de cabine

Het meest voor de hand ligt de machinist in de cabine een scherm aan te bieden met een digitale kaart van zijn omgeving. Veel informatie is op dit moment al digitaal beschikbaar, de treindienstleider beschikt immers over een geheel digitale werkomgeving. Die informatie in de cabine te krijgen, kan – zeker bij gebruikmaking van UMTS – ook het probleem niet zijn. De belangrijkste vraag is hoe de informatie op een zinvolle manier aan de machinist te presenteren? Hiervoor kan voortgebouwd worden op de reeds voor ETCS ontwikkelde mens-machine interface.

Maatregelen langs de baan

Maar het is ook mogelijk maatregelen op of langs de baan te nemen. Waarom bijvoorbeeld niet de ingestelde rijwegen met een lichtlijn op het emplacement weergeven? Of de machinist via een lichtbak over de afstand tot het eerstvolgende gevaarpunt informeren? Het voordeel van maatregelen langs de baan is, dat de machinist naar buiten kan blijven kijken en dat is waar we zijn aandacht graag willen hebben.

Samenwerking met treindienstleider en beveiliging

We kunnen ons voorstellen dat een andere taakinfilling van de machinist invloed heeft op de rol van beveiliging en treindienstleider. Het is echter niet onze bedoeling de beveiliging of treindienstleider te vervangen door de machinist. Het gaat er om dat verschillende spelers elkaar kunnen aanvullen en eventueel elkaars fouten kunnen opvangen. En vooral het geheel tot een efficiënter procesverloop en dus tot een betere benutting van de dure spoorweginfrastructuur te brengen.

Toetsen van de effecten

We willen onderzoeken of een machinist die een verkeersbeeld heeft, beter presteert dan een machinist die dat niet heeft. Met behulp van een rijnsimulator zullen beide situaties onderzocht en vergeleken kunnen worden.

Gelukkig is het aantal incidenten met passage van onveilig sein zeer beperkt. Maar dat betekent ook dat de kans dat een machinist tijdens een simulatierit de fout in gaat, erg klein is en dat er wel zeer veel simulatieritten nodig zouden zijn om het effect van het verkeersbeeld aan te tonen. Om dan simpelweg simulatieritten te rijden tot een statistisch verantwoord beeld ontstaat zal dus een kostbare onderzoeksmethode zijn.

De spoorwegen hebben de afgelopen jaren een uitgebreide statistiek bijgehouden van incidenten met passage van een onveilig sein. Omdat spoorbezettingsgegevens, seinstanden en wisselstanden gelogd worden kunnen deze incidenten exact nagespeeld worden. Het is te ver-

wachten dat er onder deze incidenten heel wat zijn waar de roodlichtpassage door de omstandigheden werd uitgelokt. Door de machinist in de simulator juist deze omstandigheden aan te bieden kan het aantal roodlichtpassages in de simulatie aanmerkelijk hoger uitpakken en kunnen wel significante uitspraken gedaan worden over de invloed van het verkeersbeeld van de machinist.

Vervolg

Wij zullen deze paper bespreken met verschillende betrokkenen bij spoorwegen en spoorwegveiligheid en hopen op basis daarvan tot een concreet onderzoeksvoorstel te kunnen komen.

Conclusies

- Wegverkeer, scheepvaartverkeer en luchtverkeer hechten een opvallend grote waarde aan de verantwoordelijkheid van de mens voor het besturen van voertuigen.
- Het besturen van een voertuig blijkt (ondanks het bestaan van simpele verkeersregels) een complexe taak te zijn.
- De mens blijkt – na miljoenen jaren evolutie als lopend wezen – opvallend goed toegerust voor deze besturingstaak.
- Om deze taak goed te kunnen uitvoeren moet de mens over een adequaat verkeersbeeld beschikken.
- We zien technische hulpmiddelen ontstaan die de mens helpen een beter verkeersbeeld te vormen.
- De spoorwegen blijken als enige modaliteit weinig te zien in de menselijke verantwoordelijkheid voor het besturen van voertuigen en proberen – ter voorkoming van fouten – zijn rol terug te dringen.
- Verplaatsen van verantwoordelijkheid van mens naar systeem is geen garantie dat fouten uitblijven, omdat het maken van het systeem ook mensenwerk is.
- Wij willen onderzoeken of de prestaties van het spoorwegsysteem kunnen verbeteren door er voor te zorgen dat de machinist een adequaat verkeersbeeld heeft. Daartoe bieden wij een onderzoeksvoorstel aan.

Referenties

1. R.T. Jongerius
Spoorwegongevallen in Nederland 1839 – 1993, Haarlem 1993, ISBN 90 6097 341 0
2. Dr. Ir. L. Zigterman (red.)

Syllabus PAO-cursus “Verkeersmanagement in de lucht, op het water, op de weg en op de rail”, Delft, mei 2004

3. Raad voor de Transportveiligheid

Botsing tussen twee reizigerstreinen in Dordrecht 28 november 1999, Den Haag, Mei 2001

4. Bert Klerk

Meer veiligheid maakt de trein onbetaalbaar, artikel in de Volkskrant, 9 juli 2004 (pagina 9)