

Samenvatting Proefschrift

Modelling Risk Control Measures in Railways

Analysing how designers and operators organise safe rail traffic

Jaap van den Top¹

Onderzoeksvraag en relevantie

De Nederlandse overheid en de spoorsector beogen het bestaande spoorwegnet intensiever te benutten. Waarschijnlijk heeft dit tot gevolg dat treinen elkaar ten opzichte van de huidige situatie al bij kleinere afwijkingen van de dienstregeling in de weg zullen zitten, hetgeen kan leiden tot vertragingen of (incidenteel) tot het onterecht passeren van een stoptonend sein. Het ontwikkelen van kennis die ertoe bijdraagt om deze fenomenen te voorkomen vormt de focus van dit proefschrift.

Om de wens van de overheid en de spoorsector te kunnen realiseren zonder dat het kwaliteits- of veiligheidsniveau achteruitgaat, is een beter inzicht nodig in hoe met deze relatief kleine verstoringen kan worden omgegaan. Wanneer het kwaliteits- en veiligheidsniveau niet mogen verslechteren, en wanneer de verstoringen niet kunnen worden weggenomen, is de enige wijze om een betere benutting te realiseren door beter met deze verstoringen om te gaan. Deze verstoringen vinden per definitie plaats in de uitvoering, zodat de onderzoeksvraag luidt:

Op welke wijze kan de procesbesturing in de uitvoering worden verbeterd zodat het veiligheids- en kwaliteitsniveau positief wordt beïnvloed?

Gevolgd werkwijze

Om de onderzoeksvraag te beantwoorden zijn op hoofdlijnen de volgende stappen gezet:

1. basisbegrippen van spoorwegexploitatie en veiligheidskunde zijn bestudeerd en gaten in kennis geïdentificeerd;
2. een theoretisch kader, de zogeheten 'veilige begrenzing voor de procesuitvoering' is ontwikkeld, waarin de relevante zaken voor spoorwegexploitatie en de veiligheidskunde tezamen kunnen worden weergegeven;
3. interviews en literatuuronderzoek hebben plaatsgevonden om vast te stellen in hoeverre de huidige werkwijze voldoet aan de eisen die het theoretisch kader stelt;
4. verbetermogelijkheden zijn verkend.

Om treinpaden – reserveringen op het spoorwegnet voor een treinbeweging – te kunnen leveren, moeten verschillende functies samenwerken, zoals infrastructuurontwerp, dienstregelingontwerp, verkeersleiding, rijweginstelling en treinbesturing. Deze functies kunnen in samenhang wor-

den weergegeven in het in dit proefschrift geïntroduceerde cascademodel (Figuur 1). Hieruit blijkt dat, naar mate het moment van uitvoering dichterbij komt, er steeds minder vrijheid overblijft voor hen die het systeem besturen. Het model geeft tevens aan dat er nauwelijks sprake is van feedback van de operationele functies naar de ontwerpfuncties.

Veiligheidskundige literatuur geeft aan dat veiligheidsrisico's en de beoogde voordelen van een activiteit twee zijdes van een medaille zijn: deze kunnen niet los van elkaar worden beschouwd. Het bleek echter ook dat veel veiligheidskundige modellen niet voldoen om bepaalde ongevalstypen in relatie tot de normale procesuitvoering te beschrijven; zij focussen uitsluitend op veiligheid, of ze zijn gebaseerd op de faalkansen van een systeemcomponent of van menselijk handelen. Hoewel dat zinvolle informatie kan opleveren, geven zulke modellen niet aan welke mechanismen ten grondslag liggen aan het ontstaan van risico's en wat moet worden gedaan om de als gegeven beschouwde kansen te verlagen. Dit vereist begrip van de onderliggende processen.

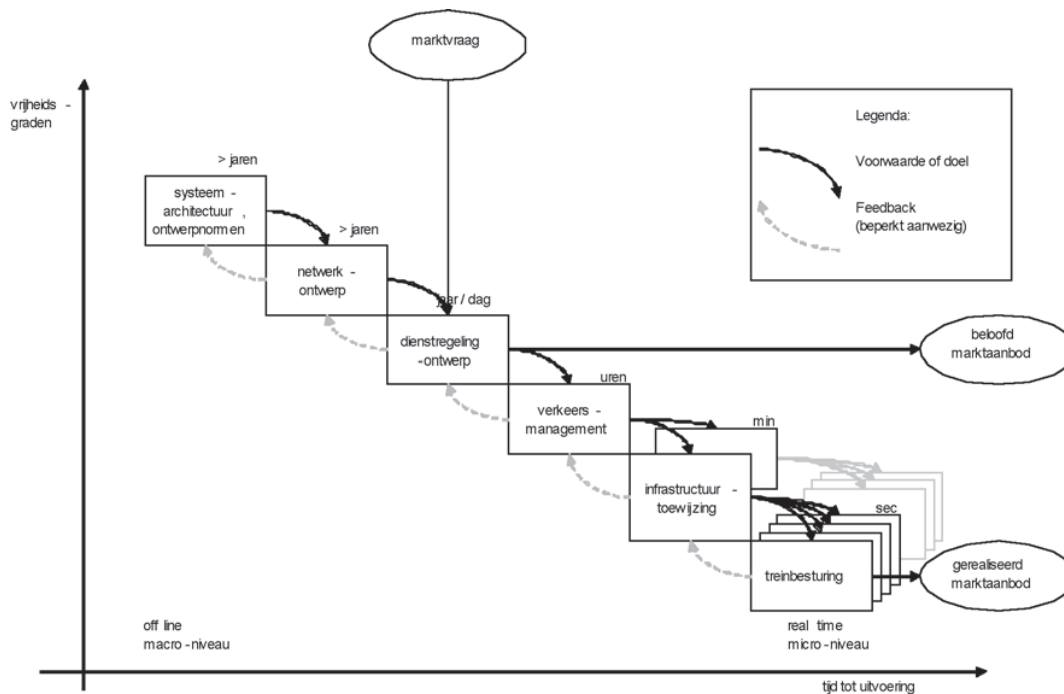
Met dit doel zijn in dit proefschrift verschillende bestaande en nieuwe veiligheidsmodellen gecombineerd en doorontwikkeld. Het zogeheten model van de 'veilige begrenzing voor de procesuitvoering' (safe envelope of operations) is een veiligheidsmodel dat veiligheidsrisico's en de beoogde doelen van een activiteit kan combineren. Het visualiseert de operationele processen en de kritieke grenzen waarbinnen deze moeten blijven, en kan zo ontwerpers, managers en analisten inzicht geven hoe risico's en kwaliteitsproblemen ontstaan.

Het model geeft aan dat de actoren die een systeem besturen de volgende informatie moeten hebben om hun taken effectief en veilig te kunnen vervullen:

- Wat is de huidige toestand?
- Wat is het doel, en welke toleranties daarop zijn toegestaan? (operationele begrenzing)
- Kan dit doel tijdig worden bereikt? (bereikbaarheidsbegrenzing)
- Wat is de grens voor schadevrij opereren? (levensvatbaarheidsbegrenzing)
- Wat is het laatst mogelijke moment waarop nog een effectieve besturingsmaatregel kan worden genomen? (bestuurbaarheidsgrens)

Het model kan deze vijf elementen en hun onderlinge

¹ Promotie-instituut: TU Delft, sectie Veiligheidskunde



Figuur 1: Het cascademodel

samenhang visualiseren. Elk van de elementen kan gedurende de tijd veranderen; ze zijn dus dynamisch. Daarmee geeft het model aanvullende manieren om na te denken over mogelijke ongevalsmechanismen in veranderende systemen. Om het systeem binnen de gestelde begrenzungen te houden, moeten de bestuurders ervan maatregelen uitoefenen. Om dit te modelleren is het nodig niet alleen te begrijpen hoe de techniek en de mens in het systeem werken, maar ook te kijken naar de rol van de ontwerpers en managers die verantwoordelijk zijn voor het functioneren van het systeem als geheel. Hoewel dit geheel verschillende vakgebieden lijken, blijkt dat concepten uit elk van de vakgebieden op een of andere manier als regelkring kunnen worden beschreven, hetgeen handig is voor verdere analyse. Het betreft:

- Meet- en regelkringen uit de ingenieurswetenschappen;
- Waarnemen – diagnosticeren – handelen uit de veiligheidskunde;
- Situatiewaarneming uit de cognitieve psychologie;
- Deming's plan-do-check-adjust regelkring uit de bedrijfskunde;
- Organisatorisch leren uit de bedrijfskunde.

Veiligheid en 'productie' kunnen dan beide worden beschreven met een integrale, functionele beschrijving van de systeemvariabelen die moeten worden beheerst. Dit vereist een heldere visualisatie van de grenzen waarbinnen de variabelen zich moeten bevinden (dit is de functie van het model van de veilige begrenzing). Daarbij is tevens een model nodig dat de besturingsprocessen kan beschrijven, waarvoor de opeenvolgingen van waarneming – diagnose – handeling kunnen worden gebruikt. Alle functies in het besturingssysteem (zoals bijvoorbeeld beschreven in het

cascademodel) moeten waarnemen waar de begrenzungen zijn, de situatie beoordelen en een actie uitvoeren om de systeemtoestand te beïnvloeden. Dat kan rechtstreeks, of via tussenliggende besturingsfuncties door deze te voorzien van een nieuw doel, een nieuwe begrenzing, door deze functies een nieuwe besturingsmaatregel te verschaffen, of deze van een buffer of barrière te voorzien die verstoringen kan opvangen.

Om de bestuurbaarheid van het huidige spoorwegsysteem te beoordelen, zijn verschillende bronnen gebruikt. Bijvoorbeeld wetenschappelijke artikelen en vakliteratuur, maar ook interviews met ontwerpers en vooral uitvoerend personeel. Omdat problemen zich uiteindelijk voordoen in de uitvoering, was deze het startpunt van de analyse. Waar nodig werd in deze studie teruggekeken naar eerdere (ontwerp)keuzes, zoals naar het ontwerp van de dienstregeling en naar het ontwerp van technische systemen. Om uit deze aldus verkregen gedetailleerde informatie achterliggende oorzaken te vinden werd de methode van grounded theory gevolgd.

Resultaten

Er werden twaalf onderliggende oorzaken gevonden voor de prestatieproblemen, zoals vertragingen of het passeren van een stoptonend sein. Deze onderliggende oorzaken kunnen worden gegroepeerd in drie vicieuze cirkels van oorzaken en gevolgen, zoals is weergegeven in Figuur 2:

A. *Individuele cirkel*

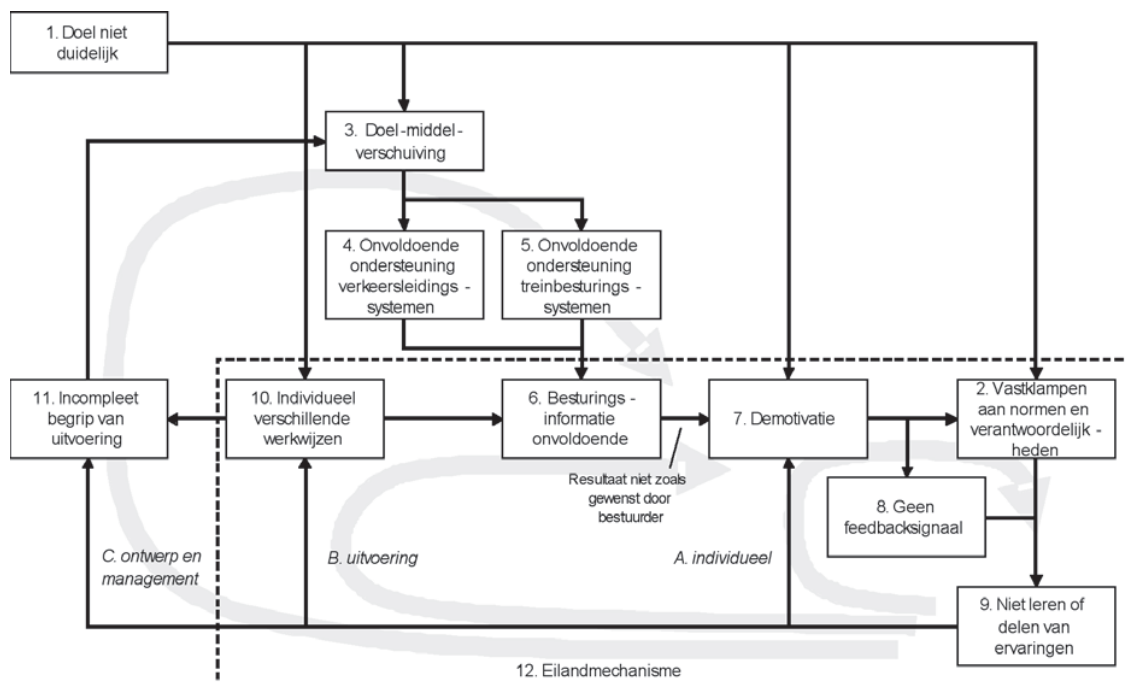
Omdat er geen duidelijk doel is gesteld (1) is het voor het uitvoerend personeel niet altijd duidelijk wat er precies bereikt moeten worden. Dit leidt ofwel tot door zichzelf geformuleerde doelen (3) en individueel verschillende werkwijzen (10) of zij klampen zich vast aan normen, regels en verantwoordelijkheden (2). Om verschillende redenen zijn veel uitvoerenden gedemotiveerd (7) en zij geven daarom geen feedback of verbetertips (8). Zonder dergelijke feedback kan de organisatie echter niet leren en verbeteren. De problemen blijven in stand, wat weer een bron is voor demotivatie.

B. *Uitvoeringscirkel*

Tevens leidt dit ertoe dat het uitvoerend personeel individueel verschillende, en daarom mogelijk anderszins onsamenvattende, werkwijzen ontwikkelt (10). Dit is een van de oorzaken van onvoldoende informatie over het te besturen proces (6) en ook daaruit vloeit demotivatie voort. Dit leidt tot een zichzelf versterkend proces waarin het uitvoerend personeel zich terugtrekt op een overzichtelijk 'eilandje' met een beperkte mate van onderlinge communicatie (12).

van actoren in het cascademodel kunnen leren of hun beslissingen in de praktijk ook werken zoals beoogd. Dit kan een van de redenen zijn waarom er verschillende representaties van het operationele proces zijn: zo zijn er bijvoorbeeld tijdens het dienstregelingontwerp, de verkeersleiding en de treinbesturing vijf verschillende manieren gevonden om rekening te houden met treinvertragingen. Deze zijn stuk voor stuk gebaseerd op bepaalde aannamen, die weliswaar het werk van de actor in kwestie eenvoudiger maken (althans voor hemzelf) maar die niet altijd op elkaar passen. De actoren trekken zich terug op een eiland om hun taak overzichtelijker te maken, maar door dit te doen, snijden ze anderen af van relevante informatie.

Aan het verkeersleidingsproces valt op dat het voor betrokkenen moeilijk is om een toekomstverwachting van dit proces te maken; dit ondanks het feit dat het de taak van de verkeersleiding is om conflicten juist op voorhand te voorkomen. Het zou beter zijn wanneer verkeersleiders een beeld zouden hebben van de verwachte verkeersafwikkeling in de komende 15 – 60 minuten en dat conflicten in dat beeld zouden worden aangegeven. Een verkeersleider zou dan zijn energie kunnen steken in het bedenken van een



Figuur 2: Oorzaak-gevolg-diagram voor onderliggende oorzaken van prestatieproblemen

C. *Ontwerp- en managementcirkel*

De impliciete en heterogene werkwijze in de uitvoering maakt het moeilijk voor ontwerpers om het proces precies te begrijpen (11) en te beoordelen hoe zij het proces beter kunnen ondersteunen. Dit leidt vaak tot een doel-middel-verschuiving en de ondersteunende systemen bieden niet altijd de informatie die het uitvoerend personeel nodig heeft (4,5,6).

oplossing voor een probleem, in plaats van te moeten zoeken of, waar en wanneer zich een probleem voordoet. Hoewel ervaring en vakmanschap een deel van dit gat opvullen, wordt er door de verkeersleiding normaliter geen up-to-date, conflictvrij plan gemaakt als er kleine afwijkingen op de dienstregeling optreden. Het is daardoor niet zeker dat er een maakbare 'productieplanning' is, een feit dat op zichzelf weer eraan bijdraagt dat het proces zich onvoorspelbaar gedraagt.

Er is inderdaad zeer weinig terugkoppeling op basis waar-

Ook de machinist ondervindt problemen bij het uitvoeren van zijn hoofdtak, die eruit bestaat om de timing van de trein netjes te laten overeenstemmen met het geplande tijd-pad. Nog los van het bovengenoemde feit dat de verkeers-leiding niet steeds het plan uitvoerbaar en up to date houdt, wordt de machinist doorgaans ook niet op de hoogte gesteld van een vernieuwd plan. Evenmin beschikt hij over middelen die hem in voldoende detail kunnen weerge-ven of hij netjes volgens dit pad rijdt; dit vereist een preci-sie op fracties van minuten. Als gevolg van deze oorzaken komen treinen onnodig vaak seinen tegen met restrictieve seinbeelden (geel of rood). Voorkomen dat treinen door rood rijden is daarom niet alleen een vraagstuk met betrek-king tot menselijk falen of technische vangnetten, maar ook een vraagstuk over informatie-uitwisseling tussen de verkeersleiding en machinisten, opdat treinen zodanig kun-nen worden bestuurd dat zij pas bij seinen aankomen wan-neer deze doorrijden toestaan.

Hoewel dienstregelingontwerpers en verkeersleiders erop vertrouwen dat machinisten hun seinbeelden opvolgen, is dit een gevaarlijke aanname vanwege onvolkomenheden in het systeem voor automatische rijweginstelling, het sein-stelsel, het systeem voor automatische treinbeïnvloeding, en ook omdat menselijk handelen nooit foutvrij kan zijn. Een verwachtingspatroon kan niet worden afgeschaft; het is een essentieel onderdeel van menselijk functioneren. De focus zou daarom niet moeten liggen op de wens om een verwachtingspatroon op zichzelf te voorkomen, maar op het voorkomen dat de verwachting onjuist wordt. Ook dit is een informatie-uitwisselingsvraagstuk. Een probleem daarbij is dat het seinstelsel in een aantal situaties niet op unieke wijze kan aanduiden in welk scenario de machinist terecht zal komen, hetgeen ruimte biedt aan (verkeerde) verwachtingen. Dit legt meer druk op de juiste waarne-ming van een rood seinbeeld en de mogelijkheid om dit aan de te berijden rijweg te relateren, maar het bleek dat ook dit in bepaalde situaties niet goed mogelijk is.

In die gevallen is wegbekendheid, in feite ook een verwach-tingspatroon, het laatste middel om de veiligheid te waar-borgen, maar wegbekendheid heeft nauwelijks een formeel geregelde inhoud. Bovendien werkt het menselijk geheugen effectiever in reactie op een externe prikkel; wegbekendheid zou dus niet moeten worden gebruikt om deze prikkel te vervangen. Wegbekendheid als ervaring is weliswaar nuttig, maar zou niet noodzakelijk moeten zijn om een veilige pro-cesuitvoering te waarborgen.

Het geloof dat een verwachtingspatroon de oorzaak is van veel problemen, geeft de indruk dat het systeemontwerp foutloos is en niet veranderd hoeft te worden, maar dat is niet het geval. In dit proefschrift zijn verschillende voor-beelden gegeven waarin veranderingen in het verkeerslei-dingsstelsel, het seinstelsel, het treinbeïnvloedingssysteem of het radiocommunicatiesysteem de taak van de machinist op onverwachte wijze hebben bemoeilijkt. Aangezien dit niet de bedoeling van de ontwerpers is geweest, moet wor-

den geconcludeerd dat hun invloed op het operationele proces door hen niet volledig wordt begrepen. Vaak werd nieuwe techniek ingevoerd zonder dat voldoende duidelijk was op welke wijze deze het proces moest ondersteunen, of verving nieuwe techniek oudere techniek en maakte daarbij informeel ontstane werkwijzen onmogelijk.

Mogelijke verbeteringen

De wens om te komen tot een 'betere' benutting van de spoorwegen roept allereerst de vraag op wat dan onder een 'goede' benutting wordt verstaan. Met andere woorden: wat moet er eigenlijk worden bereikt? De tweede vraag die zou moeten worden gesteld, is op welke wijze de operationele processen moeten worden ingericht zodat dit resultaat kan worden bereikt. Om deze nieuwe processen beter te kun-nen ondersteunen, kan het nodig zijn om nieuwe techni-sche mogelijkheden aan te wenden. Het is dus nodig eerst het proces te ontwerpen en de benodigde techniek daarvan af te leiden.

De productieprocessen, en dus ook de planning daarvan en de productiemiddelen waarmee deze worden uitgevoerd, moeten op elkaar worden afgestemd, om hun mogelijkhe-den ten volste te kunnen benutten. Als voorbeeld kunnen dienen de dienstregeling, de mogelijkheden van het rollend materieel, de infrastructuurlayout, en de beperkingen van uit de beveiligingsinstallaties. Dit vereist een geïntegreerde aanpak: als één van deze elementen als een onveranderbaar gegeven wordt beschouwd, kunnen verbeteringen in één van de andere elementen niet altijd worden benut.

Aangezien de procesbesturing bepaalt wanneer welke middelen voor welk proces zullen worden gebruikt, is de wijze van procesbesturing op inherente wijze verbonden aan het al dan niet bereiken van de gestelde doelen en dus van invloed op de capaciteit van het systeem. Het huidige paradigma in het dienstregelingontwerp, waarin wordt aan-genomen dat treinen geen onderlinge interactie vertonen en een unieke oplossing voor de verkeersafwikkeling dus een jaar van te voren kan worden vastgesteld, moet daarom worden losgelaten. In plaats daarvan moet een nieuw para-digma komen, waarin het dienstregelingontwerp de treinenloop structureert, en wel zodanig dat de belofte aan de klant kan worden nagekomen (externe functie), hetgeen tevens een helder doel schept voor het verkeersleidingspro-ces (interne functie). Daarbij kan het verkeersleidingspro-ces meer en expliciete ruimte worden gegeven om nog op korte termijn te beslissen over de best mogelijke treinvol-gorde. Als het uitvoerend personeel beter ondersteund wordt, kan het systeem efficiënter worden bestuurd. Daardoor kunnen marges en buffers in de dienstregeling zinvoller worden gebruikt en gedeeltelijk worden vermin-derd, zodat een hogere benutting mogelijk wordt. Het systeem 'draait' dan wel dicht bij de grenzen van het haal-bare, zodat het nodig is om continu te monitoren of het systeem doet wat het moet doen, en zonder onbedoelde bijwerkingen. Dit betekent dat niet alleen het verkeerslei-

dingsproces het real-time proces moet monitoren, maar dat ook het juist functioneren van de verkeersleidings- en treinbesturingsprocessen zelf moeten worden gemonitord en geanalyseerd.

Om de (veiligheids)prestatie te verbeteren, moet dus de juiste afloop van de activiteiten worden verzekerd. Inzicht daaromtrent kan worden verkregen door terugkoppeling van operationeel niveau naar het niveau van ontwerp en management. Zij kunnen dan vaststellen of alles werkt zoals bedoeld. Op een meer abstract niveau is het oplossen van kwaliteits- en veiligheidsproblemen vooral een kwestie van het voorkomen van (ongewenste, onbedoelde en onverwachte) verrassingen tijdens de uitvoering. Problemen tijdens de uitvoering zouden vrijelijk moeten worden gemeld door uitvoerend personeel, terwijl de organisatie er ook actief naar moet zoeken. Zo zou de organisatie bijvoorbeeld moeten bijhouden hoe vaak een veiligheidskritisch proces wordt uitgevoerd, hoe vaak een dergelijk proces faalt en hoe vaak dan het vangnet in werking treedt. Concrete voorbeelden zijn het aantal keren dat de beveiligingsinstallatie verhindert dat een rijweg voor een trein wordt ingesteld, of het aantal ingrepen door het automatische treinbeïnvloedingsstelsel. In beide gevallen moet dit worden gerelateerd aan het aantal keren dat dit proces wel succesvol, dat wil zeggen zonder ingreep, verloopt.

Dergelijke indicatoren maken inzichtelijk hoe succesvol de procesbesturing erin slaagt om het systeem binnen de veiligheidsgrenzen te laten werken. Een dergelijke procesgerelateerde analyse leidt ertoe dat er meer mogelijke oorzaken voor bijvoorbeeld het passeren van een stoptonend sein worden gevonden; meer dan bij een aanpak waarin oorzaken van dergelijke problemen worden beschouwd als eigenschappen van ofwel de seinen ofwel de machinisten. Deze spelen weliswaar ieder een rol in het proces, maar de verwevenheid tussen beide moet niet uit het oog worden verloren. Zo lang er geen structurele analyse plaatsvindt van de feitelijke procesgang, kan de kennis erover niet verbeteren en het proces zelf dus ook niet. Met de terugkoppeling van realisatie naar dienstregelingontwerp is inmiddels een succesvol begin gemaakt, dat ook naar andere terreinen zou kunnen worden uitgebreid.

Ondanks de problemen die in dit proefschrift zijn aangegeven, slaagt het huidige seinstelsel in combinatie met het vakmanschap van verkeersleiders en machinisten erin de spoorwegen een van de veiligste vervoerwijzen te maken. Wanneer echter de maatschappelijke eisen aan het systeem, en daarmee ook de benutting, steeds meer worden opgevoerd, kan het systeem overbelast raken. Er zijn nu al signalen in de vorm van toenemende aantallen stoptonendseinp passages en personeel dat het overzicht verliest. Dit duidt erop dat de grenzen van het huidige besturingsparadigma nabij zijn. Voor een hogere benutting is daarom bovenal een goed doordachte procesregeling nodig, die het situatiebewustzijn van het uitvoerend personeel zodanig verbetert dat alle actoren dezelfde toekomstverwachting delen. Het

seinstelsel kan dan weer, zoals het oorspronkelijk bedoeld is, worden gebruikt als vangnet voor de gevallen dat er nog een onvolkomenheid in het plan zit. Fouten en onverwachte verrassingen moeten worden gezocht en gerapporteerd, zodat de processen op elkaar kunnen worden afgestemd en ontwerpers meer inzicht kunnen krijgen in de wijze waarop het proces daadwerkelijk verloopt. Niet alleen kunnen zulke inzichten de veiligheid verbeteren, maar ook kunnen zij ertoe leiden dat de beloften aan de klant beter kunnen worden nagekomen.