



LAPLACETRANSFORMATIES VAN LOGISTIEKE STROMEN EEN HAALBAARHEIDSONDERZOEK

Norbert Ligterink, Ruben Franssen, Jorrit Harmsen

TNO innovation
for life

COLOFON

- › Project: Laplacetransformaties van logistieke stromen –een haalbaarheidsonderzoek
- › Projectnummer Connekt: PTL12.060
- › Projectnummer TNO: 060.36161
- › Opdrachtgever: Connekt
- › Datum: 3 september 2019
- › Aantal pagina's: 33

- › Deze notitie is bedoeld voor intern gebruik, binnen Connekt, de Topsector en TNO.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO. Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst. Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

INHOUDSOPGAVE

- › Inleiding
- › Doel en aanpak
- › Achtergrond Laplacemethodiek en meerwaarde voor logistiek
- › Beschrijving use cases
- › Visuele beschrijving van het experimenteel model
- › Resultaat van het experimentele model: inzicht in instabiliteit en impact op de use cases
- › Oplossingen voor het stabiliseren van het logistieke systeem
- › Conclusies

INLEIDING

In de logistiek bestaat grote onzekerheid rondom de stabiliteit van doorlooptijd van goederen. Dit komt met name door onzekerheid in verschillende schakels in de keten. Vertraging van een zeeschip leidt bijvoorbeeld tot capaciteitsknelpunten van terminal equipment en hiermee tot lange wachttijden van binnenvaartschepen. Deze onzekerheden hebben als gevolg dat in de keten met ruime marges wordt gewerkt, zowel in de vorm van ruimere voorraden bij verladers als het aanhouden van ruime tijdsmarges door vervoerders (inzet extra voertuigen om een aantal gegarandeerde roundtrips te kunnen halen). Kleinere voorraden en marges zetten de keten onder druk en ook heeft de onzekerheid invloed op de bezettingsgraad van voertuigen: om de roundtrip te kunnen garanderen worden minder stops gemaakt of wordt niet gewacht op vertraagde goederen in de keten.

Dit slide deck is het resultaat van een studie naar de haalbaarheid van het gebruiken van methoden uit de regeltechniek, zoals Laplacemethodiek, in de logistiek. Dit heeft als doel om meer inzicht in logistieke onzekerheid te krijgen en mogelijk zelfs voorspellingen over deze onzekerheid te kunnen doen.

DOEL EN AANPAK

Doel

- › Onderzoeken van de haalbaarheid van het voorspellen van onzekerheid in de logistiek met Laplacemethodiek of andere regeltechniek methoden

Aanpak

- › Beschrijven van meerwaarde van regeltechniek methoden zoals Laplacemethodiek
- › Beschrijving logistieke use cases voor experimenteel model
- › Opzetten experimenteel model
- › Analyseren van instabiliteiten in logistieke use cases met experimenteel model
- › Verkenning stabilisatie methoden

WAAROM LAPLACE IN DE LOGISTIEK

Laplacemethodiek

Instabiliteit komt in vele soorten en maten. De versterkingsfactor die tot een exponentiële groei leidt hangt direct samen met lineaire systemen, en de polen in Laplacetransformatie van de tijdsresponse van het systeem. In complexere situaties speelt de tijdsafhankelijkheid van de input een grotere rol. Gevallen waar het systeem een kritische grens overgaat, door veranderingen aan de invoer in grootte en tijd, vallen buiten het domein van de lineaire modellen. In dat geval is de Laplacetransformatie wel een hulpmiddel, maar mogelijk zijn ook andere stabiliteitsanalyses nodig.

- › De Laplace-transformatie laat onmiddellijk zien waar instabiliteiten zitten in een regelsysteem (bijvoorbeeld een systeem met een feedback of een buffer), ten aanzien van de frequentie en niveaus van de input (aanvoer). Instabiliteiten zijn zichtbaar als "polen" in vergelijkingen.
- › Laplace methodiek is alleen goed toepasbaar op (tijds)continue en lineaire systemen. "Beslissingen op basis van beperkte kennis met een mate van onzekerheid" spelen mogelijk een rol in de instabiliteiten in de logistiek. Deze effecten vragen een meer geavanceerde modellering. Daarbij is het zaak niet de "bepaalde parameters" (vergelijkbaar met de polen) uit het oog te verliezen.

DE MEERWAARDE VAN EEN REGELTECHNIEK AANPAK

Gebruik van Laplace heeft de volgende voordelen:

- › Een simpel model kan de vinger op de zere plek leggen, en aangeven wat de combinatie van condities is die tot een instabiliteit leiden.
- › Een model kan kwantificeren welke niveaus en indicatoren een instabiliteit in de keten geven.
- › Simulaties geven mensen een intuïtief inzicht in de processen.

USE CASES

De volgende twee use cases, gerelateerd aan containerlogistiek, zijn ontwikkeld om de meerwaarde van een regeltechniek-aanpak te toetsen:

1. Modeleren van impact weekendsluiting op vaarplanning van binnenvaartschepen waar bij de vaarplanning geforceerd wordt zich aan te passen aan de weekendsluiting.
2. Modeleren van impact van vertraagde zeeschepen op slottijden binnenvaartschepen, vertraging van zeeschepen zet de planning van binnenvaartslots onder spanning, bij welke spanning 'knapt' het systeem en wat voor impact heeft dit op planning/wachttijden.

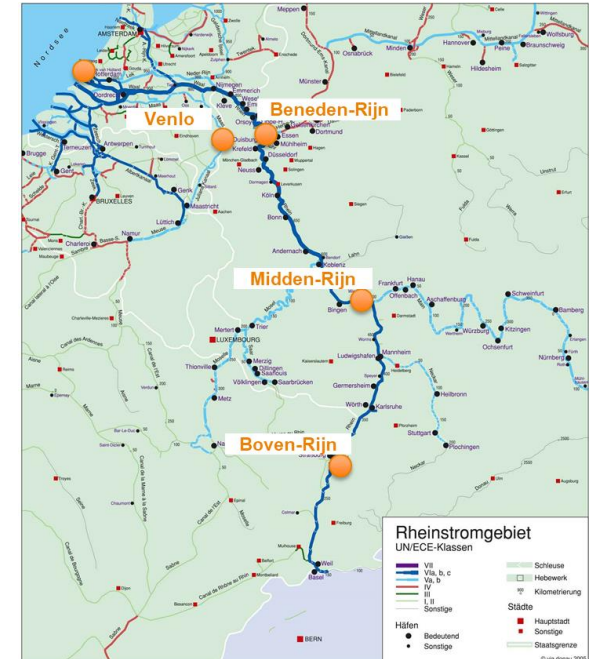
CASE 1

1. Modeleren van impact weekendsluiting op vaarplanning van binnenvaartschepen waar bij de vaarplanning geforceerd wordt zich aan te passen aan de weekendsluiting.
 - De weekendplanning forceert de binnenvaartschema's een bepaald gedrag te vertonen die anders is dan ideale planning van vaartijden.
 - Inzicht in het verschil tussen het 'natuurlijke' gedrag en geforceerde gedrag geeft inzicht de impact van de weekendsluiting op de vaarschema's van binnenvaartschepen.
 - Mogelijk ontstaan er in het geforceerde gedrag ook patronen waar mogelijk ander inzichten uit komen, bijvoorbeeld pieken op maandag of vrijdag?

CASE 1

VAARTIJDEN EN AFHANDELTIJD: ‘NATUURLIJK’ GEDRAG

		Tijd voor stops – Zeehaven (uren)	Heen vaartijd (uren)	Terug Vaartijd (uren)	Tijd voor stops- Rijn (uren)	Totale ‘natuurlijke’ reistijd	‘natuurlijke’ Frequentie (visits zeehaven / jaar)
Rotterdam	Venlo	24	13	8	24	117	74,87
Rotterdam	Beneden-Rijn <i>Duisburg</i>	48	24	13	48	133	65,86
Rotterdam	Midden-Rijn <i>Frankfurt</i>	48	52	30	48	178	49,21
Rotterdam	Boven-Rijn <i>Straatsburg</i>	48	72	40	48	208	42,11



CASE 2

2. Modeleren van impact van vertraagde zeeschepen op slottijden binnenvaartschepen, vertraging van zeeschepen zet de planning van binnenvaartslots onder spanning, bij welke spanning 'knap' het systeem en wat voor impact heeft dit op planning/wachttijden.
 - Een vertraagd zeeschip kan tot twee verschillende herplannings-situaties leiden:
 1. Een vertraging-golf waar de eerst geplande binnenvaartslots, een beperkt aantal van vlak na het zeeschip moeten worden herpland. Op latere slides genoemd: ETA-boeggolf
 2. Een verschuivings-golf waar een heel blok aan geplande binnenvaartslots, een flink aantal binnenvaartslots moet worden herpland. Op latere slides genoemd: ETA-plons

CASE 2

SLOTPLANNING EN SLOTTIJDEN ZEESCHEPEN

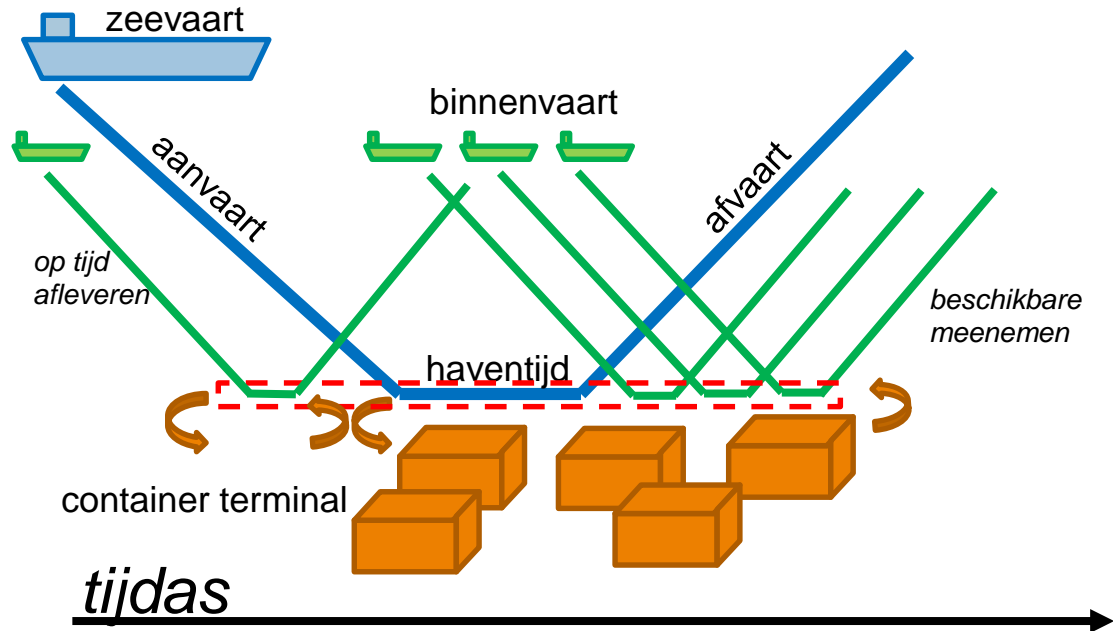
Zeeschepen			
Scheepsgrootte	2000 TEU	6000 TEU	10000 TEU
Kade-meters	140	220	370
Gem. TEU laad + los	2000	6000	7000
Kade-uren	24	48	48
TEU per meter.uur	0,60	0,57	0,56
Binnenvaartschepen			
Scheepsgrootte	100 TEU	250 TEU	350 TEU
Kade-meters	80	110	135
Gem. TEU laad + los	10	30	40
Kade-uren	1	1	1
TEU per meter.uur	0,125	0,273	0,296

EXPERIMENTEEL MODEL

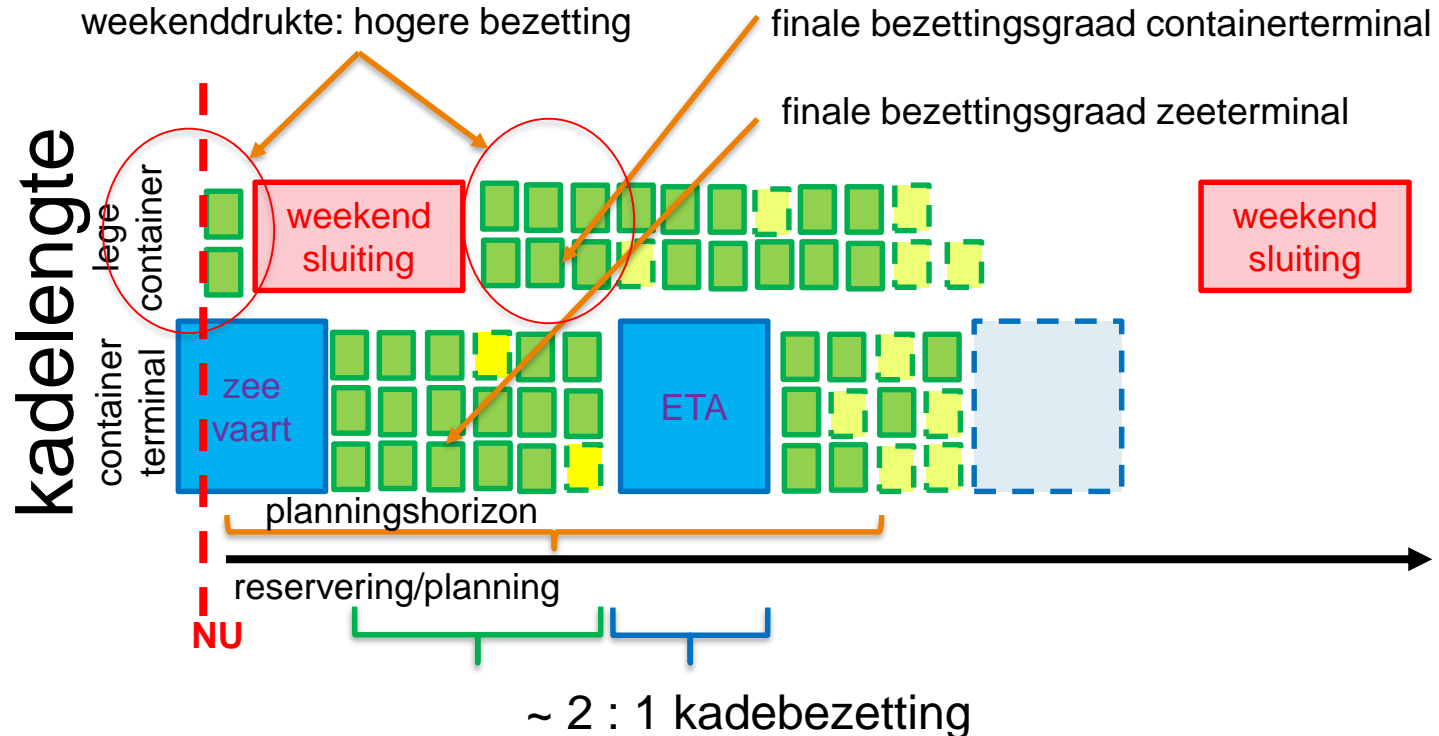
HOE WERKEN SLOT RESERVERING EN VERSCHUIVING BIJ BINNENVAART

- › Cascade effect bij vertraging deep-seaschip, slots van short-sea verschuiven eerst, vervolgens verschuiven slots van binnenvaartschepen.
- › Wat als zeeschip x uren vertraagt is, hoe verschuiven de geplande 'slots'? Opties zijn:
 1. Slot van binnenvaartschip verschuift naar achteren naar eerst beschikbare slot; achter mogelijk veel andere slots; lange wachttijd orde grootte van een dag, tot 24 uur extra wachttijd.
 2. Slot van alle binnenvaartschepen verschuiven naar achteren, extra wachttijd komt overeen met vertraging van het zeeschip
 3. Slot van binnenvaartschip verschuift naar voren, voor de aankomst van het zeeschip.
- › In de volgende slides wordt eerst de verschillende effecten door vertraagde zeeschepen beschreven. Case 1 en case 2 komen samen in een experimenteel model om instabiliteit in kadeplanning inzichtelijk te maken.

EXPERIMENTEEL MODEL KADEBEZETTING ZEEVAART EN BINNENVAART

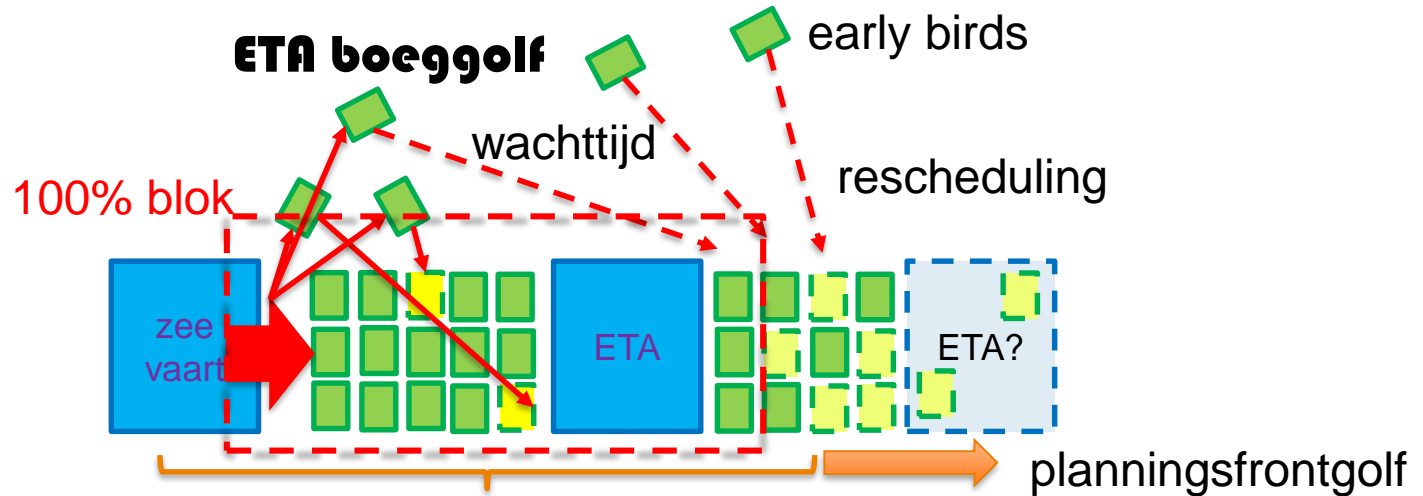


EXPERIMENTEEL MODEL CONCEPT PLANNING LANGS DE KADE



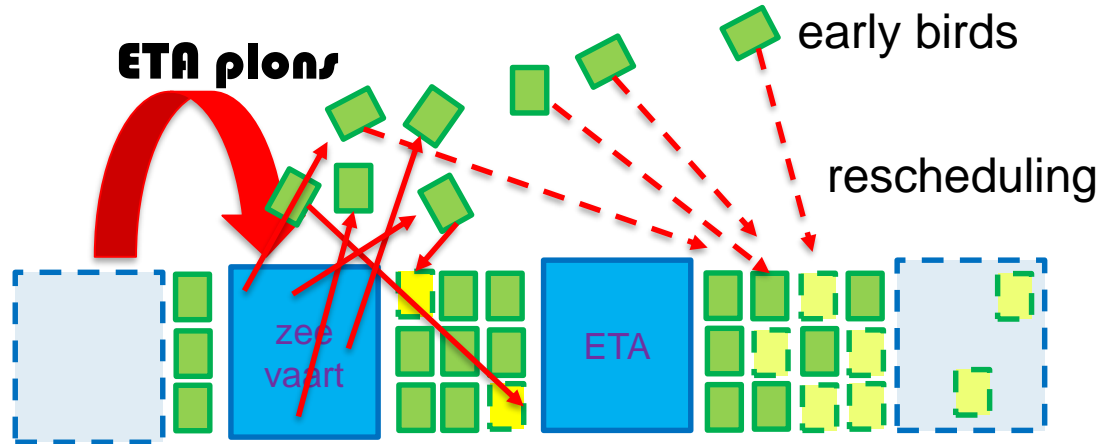
EXPERIMENTEEL MODEL

EFFECT LICHT VERTRAAGD ZEE SCHIP – ETA BOEGGOLF



EXPERIMENTEEL MODEL

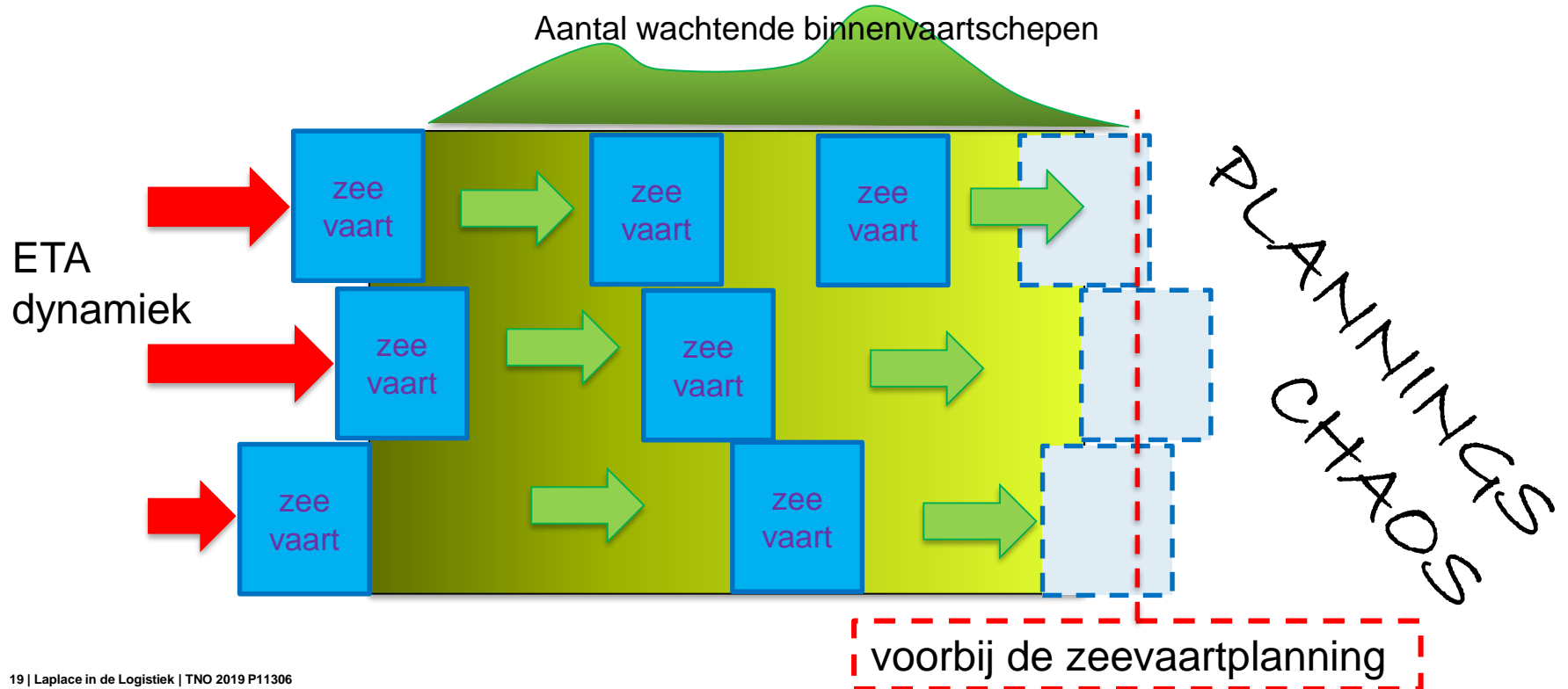
EFFECT ERG VERTRAAGD ZEE SCHIP – ETA PLONS



EXPERIMENTEEL MODEL

MEERDERE ZEE CONTAINER TERMINALS - COÏNCIDENTIES IN VERANDERENDE ETA'S

Aantal wachtende binnenvaartschepen



RESULTATEN EXPERIMENTEEL MODEL

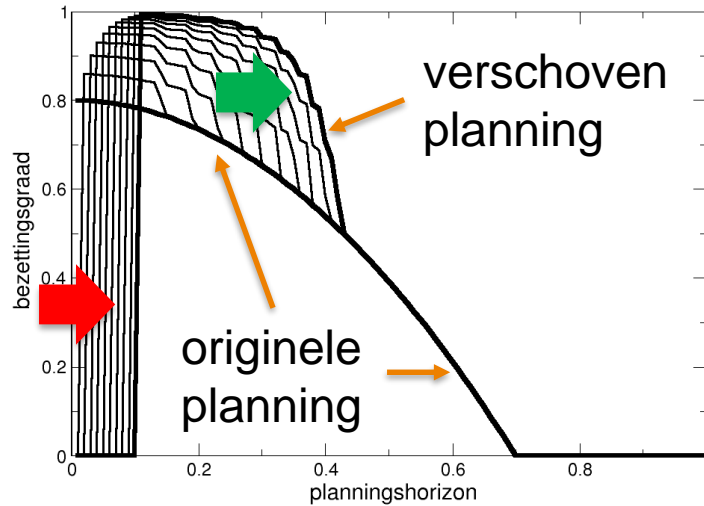
TOELICHTING OP RESULTATEN EXPERIMENTEEL MODEL

- › De impact van de cascade-effecten wordt op de volgende slides weergegeven in een abstracte weergave van de bezetting van kade-capaciteit in een planningshorizon. De grafieken visualiseren tot hoever in de planningshorizon de kadecapaciteit volledig bezet is.
- › In de grafieken wordt de gevoeligheid van de volgende variabelen op het een cascade-effect weergegeven:
 - › Verschil bij initiële bezettingsgraad van 80% en van 90%
 - › Verschil tussen impact bij 1 verstoring en bij 2 verstoringen met initieel 90% bezettingsgraad
 - › Verschil tussen een strakke planning en een losse planning
 - › Strakke planning: verschoven schepen worden naar eerst beschikbare slot geschoven
 - › Losse planning: verschoven schepen worden meer verspreid over beschikbare slots in de planningshorizon
- › De grafieken laten zien hoe de planningshorizon kan vollopen, hoe voller de planningshorizon hoe waarschijnlijk dat het systeem volloopt en er lange wachttijden ontstaan.

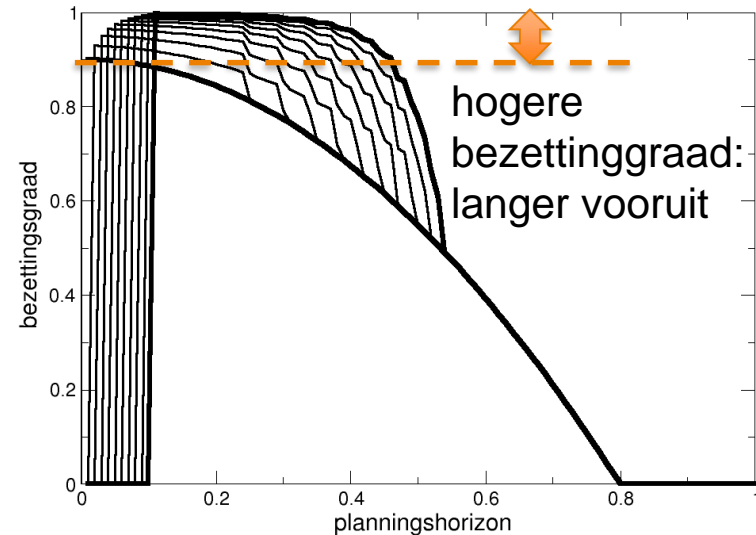
RESULTATEN EXPERIMENTEEL MODEL

SCHOKKEN IN DE PLANNING DOOR VERTRAAGDE ZEESCHEPEN

Bezettingsgraad 80%



Bezettingsgraad 90%

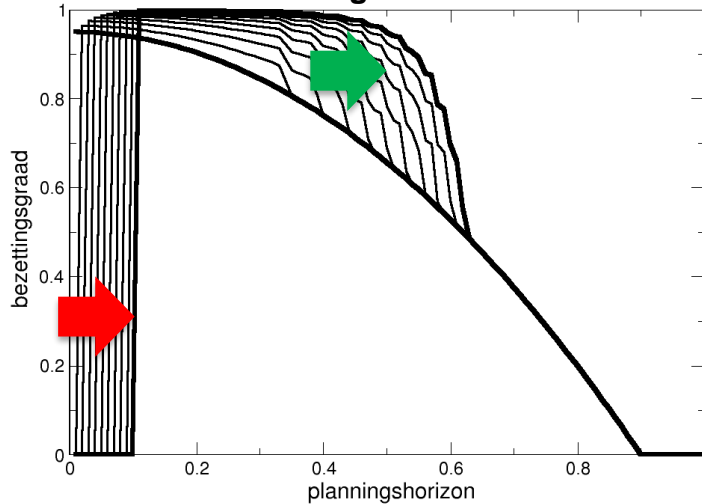


Hogere bezettingsgraad leidt tot een verder vooruit geschoven planning en zet het systeem meer onder druk.

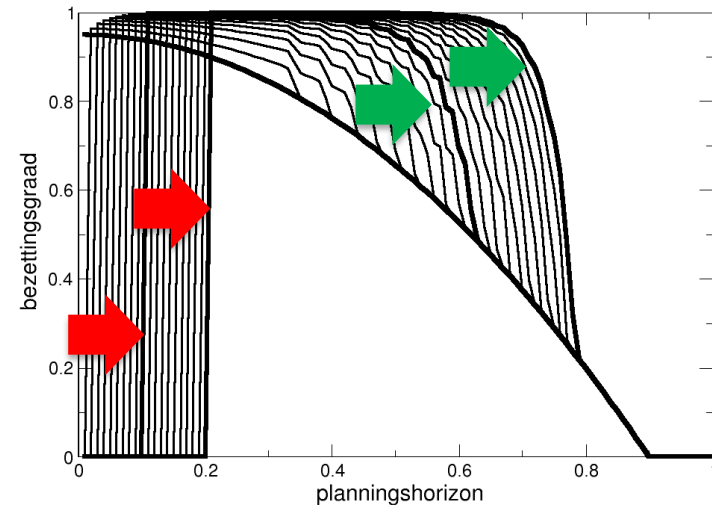
RESULTATEN EXPERIMENTEEL MODEL

SCHOKKEN IN DE PLANNING DOOR VERTRAAGDE ZEESCHEPEN

Bezettingsgraad 90%
1 verstoring



Bezettingsgraad 90%
2 verstoringen

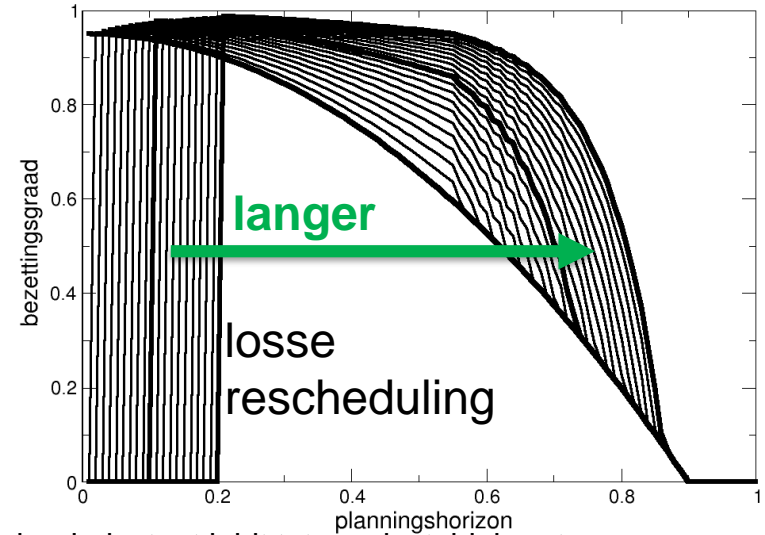
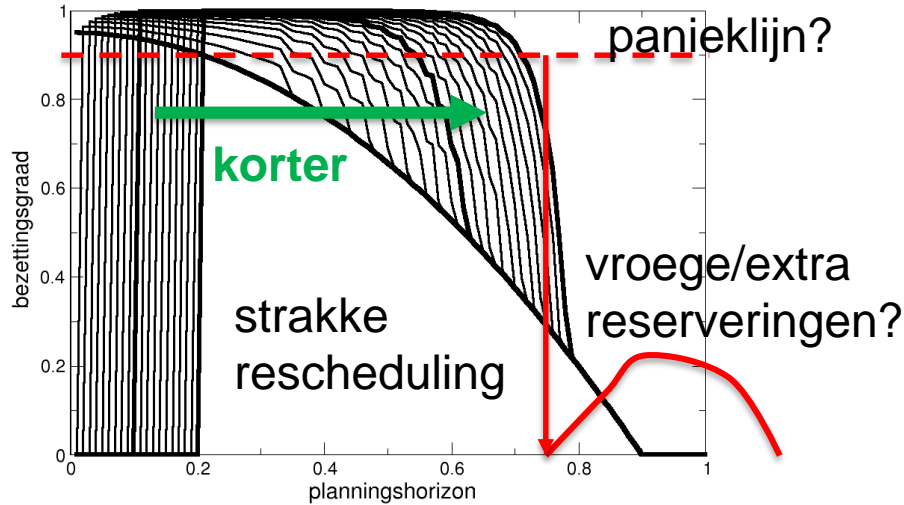


Meerdere verstoringen in een systeem dat al onder druk staat leidt tot een instabiel systeem dat 'vast loopt' omdat alle capaciteit benut is. Dit veroorzaakt grote wachttijden in een systeem.

RESULTATEN EXPERIMENTEEL MODEL

VERSCHIL TUSSEN 'STRAKKE' EN 'LOSSE' PLANNING

Strakke planning: 30% neemt eerst beschikbare tijdslot
Losse planning: 10% neemt eerst beschikbare tijdslot

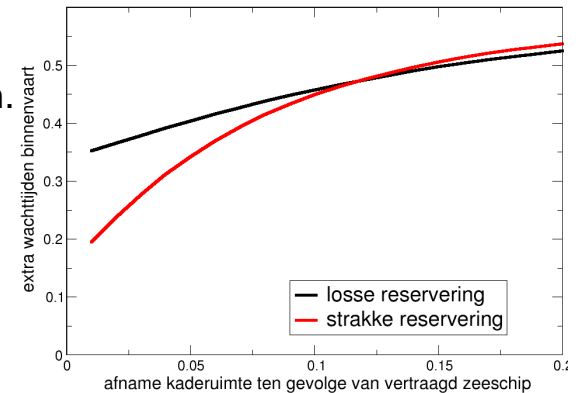


Meerdere verstoringen in een systeem dat al onder druk staat leidt tot een instabiel systeem dat 'vast loopt' omdat alle capaciteit benut is. Dit veroorzaakt grote wachttijden in een systeem.

RESULTATEN EXPERIMENTEEL MODEL VERSCHIL TUSSEN 'STRAKKE' EN 'LOSSE' PLANNING

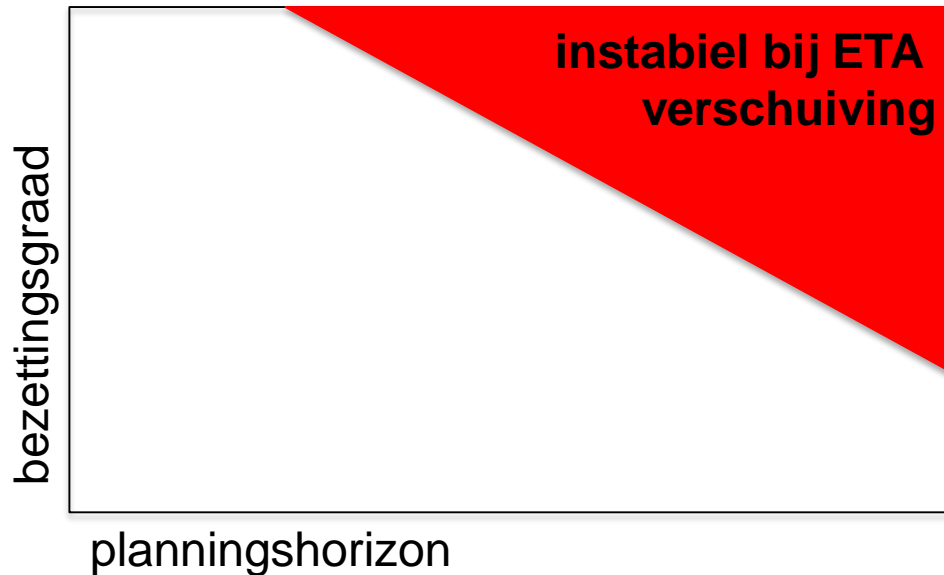
Figuur rechts laat de wachttijd voor binnenvaart zien bij de twee verschillende manier van plannen voor afnemende kaderuimte door vertraagde zeeschepen.

- › Bij strakke planning is initieel minder wachttijd, omdat binnenvaartschepen aan eerst beschikbare slots worden toegewezen.
- › Echter is er bij strakke planning minder flexibiliteit waardoor op een gegeven moment de wachttijd boven die van de losse planning ligt.



STABILISEREN VAN HET SYSTEEM

INSTABILITEIT = WACHTTIJDEN BINNENVAART NEMEN SUBSTANTIEEL TOE



- › Voorgaande slides laten zien dat verstoring bij hoge bezettingsgraad de planningshorizon vol loopt en een vastlopend of instabiel systeem veroorzaakt
- › Voor het stabiliseren van een systeem kunnen mogelijk dempingsmethoden gebruikt worden. Op de volgende slides worden waardevolle lessen uit de demperbouw, een praktijkvoorbeeld van toepassing van Laplace, vertaald naar een logistiek systeem.

STABILISEREN VAN HET SYSTEEM

LESSEN UIT DE DEMPERBOUW

- › **volumes:** capaciteit die variaties “absorberen”
 - › de traditionele stabilisatie: grote, volle pakhuizen (en grote vloot) die snel uit voorraad kunnen leveren. → hoge kosten?
- › **kamers*:** opeenvolgende stappen van verschillende grootte die verschillende capaciteitsvragen afvangen.
- › **pijpen*:** buffering in kwart- λ pijp waarbij de lengte van de pijp is afgestemd op snelheid van de variaties.
- › **perforaties:** remmende weerstanden bij hoge stroming
- › **dempingsmateriaal:** weerstanden voor snelle variaties.
- › **actieve demping*:** anticiperen op herhalingen van bekende, voorspelbare instabiliteiten.

**kansrijk*



**STABILISEREN =
ONTKOPPELEN**

Adams dictionary:
“weerstanden” zijn “verliezen”
“capaciteiten” zijn “voorraadkosten”

STABILISEREN VAN HET SYSTEEM

TOEPASSEN KANSRIJKE LESSEN UIT DE DEMPERBOUW

Kamers

- › Distributiecentra/warehousing ontwerp op basis van plaats in de keten, snelheid en zendingsgroottes
- › Verwisselen van capaciteit voor verschillende zendingstypes bij veranderende vraag
- › Opbouw van keten op basis van vertakkingsgraad en sortering

Pijpen

- › First-in, first-out principe - versimpeling van het proces door het beperken van de opties
- › Opbouw van uitgaande zendingen tot indicatorniveau (bijhouden van indicators op zendingniveau)
- › Parallele paden voor verschillende soorten zendingen.

Actieve demping

- › Bonus voor opvangen van pieken
- › Special transport services
- › Kwalificeren van “urgentie” voor het verlenen van voorrang, herverdeling en vertragen

STABILISEREN VAN HET SYSTEEM

OPLOSSINGSRICHTING: ONTKOPPELEN

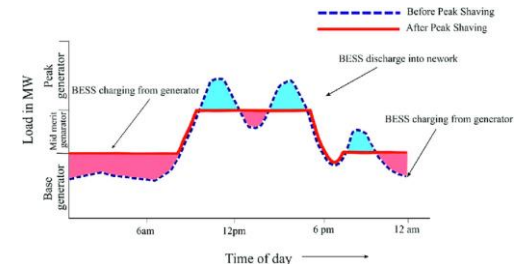
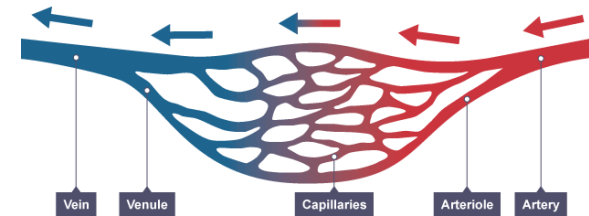
- › **Ontkoppelen:** ontkoppelen van laad- en losproces bij de zeeterminals vervoer vanuit de haven naar het achterlanden binnenvaart door buffering in duwbakken. Dit concept wordt ook wel het **Legobakken** concept genoemd.
- › De duwbakken oplossing zijn een combinatie van:
 - › **buffering:** door wachtende duwbakken, lege en volle, gereed om ingezet te worden, met lage kosten voor stilliggen.
 - › **schaalvergroting:** van container-niveau naar bak-niveau (met hogere TEU/uur*kademeter)
 - › **sortering:** voorsortering op de routes (duwbakmaat op basis van grootste gemene deler van aantal containers met dezelfde eindbestemming “tegelijktijd” bij de terminal en vaarweg specificaties)

→ **Op alle aspecten moet geoptimaliseerd worden**

OPLOSSEN VAN LOGISTIEKE INSTABILITEIT

Naast het dempen van het systeem zijn er ook andere methoden om de stabiliteit te vergroten. Op de volgende slides worden onderstaande 3 oplossingsrichtingen, inclusief demping, toegelicht.

- › **Wegnemen van perverse prikkels:** *(ofwel: niet meer het verdienen aan instabiliteit)*
- › **Conditioneren en balanceren:** *(balans tussen capaciteit, doorlooptijd, pakketgrootte en flow)*
- › **Weerstand, demping bij dreigende instabiliteit:** *(een centrale verdeling van de middelen en capaciteiten)*



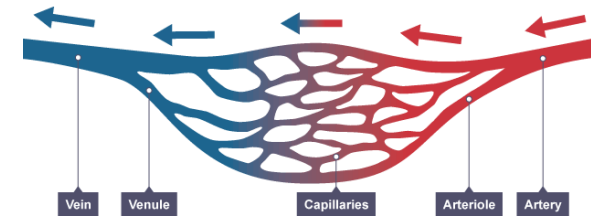
OPLOSSEN VAN LOGISTIEKE INSTABILITEIT

- › **Wegnemen van perverse prikkels:** *(ofwel: niet meer het verdienen aan instabiliteit)*
 - › boetes, voorrangsregelingen, bepaalde contractvormen
 - › Belangrijk element is het aansluiten van de business modellen tussen verschillende stakeholders (rederij, terminal operator, binnenenvaartonderneming, verlader)



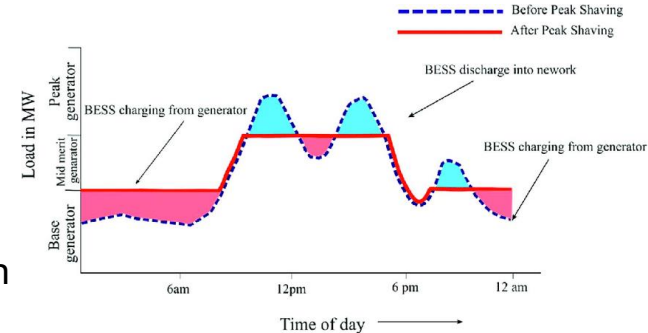
OPLOSSEN VAN LOGISTIEKE INSTABILITEIT

- › **Conditioneren en balanceren** : (*balans tussen capaciteit, doorlooptijd, pakketgrootte en flow*)
 - › organisch distributienetwerk, met schaalgrootte op basis van plaats in de keten.
 - › extra stappen/buffers (bijv. stadsdistributie vanuit lokale centra)
 - › ontkoppelen van snelle en langzame stromen.
 - › verschillende buffermaten: TEU, oplegger, flexibele warehouse



OPLOSSEN VAN LOGISTIEKE INSTABILITEIT

- › **Weerstand, demping bij dreigende instabiliteit:** (een centrale verdeling van de middelen en capaciteiten)
 - › dit vraagt indicatoren voor de ontwikkeling van instabiliteit
 - › dit vraagt een methodiek voor het verdelen van middelen en capaciteit, dit kan bijvoorbeeld op grond van inschrijving
 - › een praktijkvoorbeeld hiervan zijn doseerlichten bij snelwegopritten die het aantal extra auto's doseren in geval van file op de snelweg.



CONCLUSIE

Met methoden uit de regeltechniek, zoals Laplacemethodiek, kunnen logistieke systemen gemodelleerd worden om gevoeligheden en instabiliteit in het systeem te analyseren. Zo zou de impact van demping met een extra ontkoppelpunt voor de binnenvaart geanalyseerd kunnen worden. Er zijn 3 oplossingen herkend om instabiliteit in logistieke systemen te verminderen:

- › Wegnemen van perverse prikkels
- › Conditioneren en balanceren
- › Weerstand, demping bij dreigende instabiliteit

Met regeltechniek methoden blijkt het mogelijk de instabiliteit van logistieke systemen en de gevoeligheid van instabiliteit op systeemniveau inzichtelijk te maken. Echter wordt dit systeemgedrag in de praktijk beïnvloed door gedrag en keuzes van verschillende stakeholders, er zijn geavanceerde methoden nodig om dit met regeltechniek te beschrijven.