



#### Serie artikelen

Dit is het vierde artikel van een serie over systems engineering (SE). De eerste twee artikelen vormden een inleiding. In het derde en dit vierde artikel wordt de meerwaarde van de systematiek verduidelijkt aan de hand van een voorbeeld: OV SAAL Zuidtak Oost. Dit door respectievelijk de opdrachtgever (in artikel drie) en de opdrachtnemer (in dit artikel vier). In volgende afleveringen volgen meerdere casussen.

## Systems engineering in de betonbouw (4)

# SE maakt OV SAAL uitvoerbaar

*De alliantie die verantwoordelijk is voor de realisatie van OV SAAL Zuidtak Oost moet contractueel aantoonbaar op een herleidbare wijze invulling geven aan alle gestelde eisen binnen dit project. Dit omvat zowel eisen benoemd in de Vraagspecificatie of in bindende documenten, als afgeleide eisen uit vergunningen of uit afspraken met stakeholders. Dit wordt op een systematische, transparante en expliciete manier bereikt door het toepassen van systems engineering.*

## Waarom SE?

Een project doorloopt een technisch proces van ontwerpen tot en met het overdragen en het onderhouden van het systeem. Om een complex project als OV SAAL goed te beheren en te beheersen, is het belangrijk op een gestructureerde en systematische wijze te werk te gaan. De SE-systematiek biedt daar een uitstekend kader voor. In dit artikel wordt hoofdzakelijk ingegaan op de toepassing van SE binnen het ontwerpproces. Aan het ontwerpproces ligt een omvangrijk eisenpakket ten grondslag. De eisen zijn vastgelegd in een zogenoemde eisenboom, waarin naast externe eisen ook door de alliantie geformuleerde interne eisen zijn meegenomen. Het ontwerp binnen OV SAAL Zuidtak Oost wordt door verschillende processen ondersteund zoals RAM-, Safety-, V&G-, Risico- en raakvlakkenmanagement. Deze processen leveren input voor het eisenmanagement. Zo kunnen bijvoorbeeld maatregelen om risico's of raakvlakken te beheersen, leiden tot nieuwe eisen. Via het verificatieproces wordt aantoonbaar gemaakt dat alle objecten en daarmee het systeem OV SAAL voldoen aan de gestelde eisen.

Het project speelt zich af in de dynamische omgeving van Amsterdam. De afspraken gemaakt met stakeholders als de gemeente Amsterdam, ProRail Asset Management (AM), brandweer en dergelijke en de voorwaarden afkomstig uit vergunningen worden door de alliantie duidelijk vastgelegd. Deze afspraken worden als eisen geformuleerd en toegevoegd aan het eisenpakket.

Het te bouwen systeem wordt binnen de SE-systematiek gestructureerd verdeeld in subsystemen en verder in objecten. Alle van toepassing zijnde eisen zijn in een database (pakket Relatics) opgenomen en worden na analyse gekoppeld aan de te ontwerpen objecten. Zo worden per object de gestelde eisen zichtbaar en expliciet en wordt voor de ontwerper duidelijk welke eisen worden meegenomen en moeten worden geverifieerd in het ontwerp. Het voordeel voor de opdrachtgever is dat op een transparante en traceerbare wijze de eisen uit de Vraagspecificatie en de afspraken met stakeholders inzichtelijk worden aangetoond. Deze systematische werkwijze voorkomt dat eisen worden vergeten en daarmee mogelijk een deel moet worden herontworpen of discussies met de opdrachtgever oplevert. SE speelt dus een belangrijke rol in de kostenbeheersing van het project en de reductie van de faalkosten.

## Hoe wordt SE toegepast?

Bij het ontwerpproces wordt een aantal stappen binnen de SE-systematiek doorlopen: de eisenanalyse, het afleiden van eisen, de variantenstudie, het opstellen van Objectspecificaties, het opstellen van een Verificatieplan en de vastlegging van de verificaties (Verificatierapport).

## Alliantiecontract ProRail en BCA

In september 2010 sloten ProRail en BAM Combinatie Amstelspoor ofwel BCA, bestaande uit BAM Civiel, BAM Rail, BAM Wegen, BAM Infratechniek en BAM Infraconsult, een projectovereenkomst voor het project OV SAAL Zuidtak Oost. Voor een deel van dit project werken ProRail en BCA samen binnen een alliantie. De alliantie is verantwoordelijk voor het ontwerp van de onder- en bovenbouw van het spoor op basis van nieuwe technieken en veiligheidseisen. BCA neemt de werkvoorbereiding, inkoop en uitvoering op zich.

## Eisen analyse

Eisen uit de Vraagspecificatie zijn leidend voor het ontwerp. Eisen kunnen globaal zijn geformuleerd, maar ook heel gedetailleerd en technisch ver zijn uitgewerkt. Voordat de eisen nader worden gespecificeerd en met ontwerpen wordt begonnen, is een grondige analyse van de eisen nodig. Het is van belang de vraag achter de klantvraag te kennen om mogelijke conflicterende eisen te onderkennen en te ontdekken waar de ontwerprijheid ligt.

In eerste instantie zal een globale eisenanalyse worden uitgevoerd. Hierbij wordt gekeken of de eis SMART (Specifiek, Meetbaar, Acceptabel, Realistisch, Tijdsgebonden) genoeg is om te kunnen starten met de ontwerpwerkzaamheden. Indien dit niet het geval is, worden afgeleide eisen geformuleerd en/of moet in een dialoog met de opdrachtgever duidelijkheid worden verkregen over het doel en de scope van de eis. Op deze manier wordt voor de opdrachtnemer het risico op (latere) discussie over het al dan niet voldoen aan het eisenpakket geminimaliseerd en biedt het de opdrachtgever de mogelijkheid de beoogde interpretatie en/of het doel aan te geven. Tijdens deze analyse wordt vastgelegd welke ontwerpteams (kunstwerk, baan, rail) verantwoordelijk is (zijn) voor het voldoen aan de eis.

De eisenanalyses vinden meer gedetailleerd op verschillende momenten plaats. Dit zal in ieder geval zijn bij:

- de start van een ontwerp;
- elk Voorstel tot Wijziging (VTW);
- naar aanleiding van wensen/eisen van stakeholders of vergunningen.

## Afleiden van eisen

De voor het ontwerp relevante eisen betreffen eisen uit de Vraagspecificatie, geïdentificeerde raakvlakken, stakeholders-eisen, normen & richtlijnen (bijvoorbeeld Railinfra catalogus), eisen met betrekking tot RAM, Safety, risico's en eventueel wensen van de uitvoerende aannemer.





2

Om aantoonbaar te maken dat het ontwerp voldoet aan de gestelde eisen, is het soms noodzakelijk de eisen verder af te leiden: bijvoorbeeld eisen met betrekking tot verschillende disciplines of eisen die nog onvoldoende SMART zijn. Dit houdt in dat eisen nader worden gespecificeerd in (meer gedetailleerde) onderliggende eisen. Het proces van het afleiden van eisen mondt uit in een Objectspecificatie per te ontwerpen object.

#### Variantenstudie

Het doel van een Variantenstudie is een expliciete en transparante afweging tot stand te brengen van mogelijke varianten. Variantenstudies van het ontwerp hebben als doel met inachtneming van de gestelde eisen te zoeken naar de meest optimale oplossing. De afweging wordt vastgelegd in een trade-off-matrix.

Soms bleek een interessante variant niet aan één of meerdere eisen te kunnen voldoen. Deze variant werd besproken met ProRail en heeft in een aantal gevallen geleid tot een optimalisatie waarbij deze afwijking op de eis(en) werd toegestaan. Deze afwijking werd geformaliseerd door middel van een contractwijziging.

#### Opstellen Objectspecificaties

In de database zijn per object eisen vastgelegd zodat duidelijkheid wordt verkregen welke eisen worden meegenomen en moeten worden geverifieerd. Bij de start van een ontwerp wordt een Objectspecificatie gemaakt voor een object of een bundeling van objecten.

De Objectspecificatie geeft een opsomming van alle eisen, uitgangspunten, raakvlakken en risico's, die bij de start van het ontwerp bekend zijn. Al deze informatie wordt dynamisch up-to-date gehouden in de Relatics database. De Objectspecificatie wordt vanuit deze database gegenereerd.

Met de Objectspecificatie en het Verificatieplan (zie volgende kopje) beschikken de ontwerpers over voldoende informatie om een goed ontwerp te kunnen maken van het betreffende object. Het betreft overigens een momentopname van waaruit kan worden ontworpen. Al gaande het ontwerp kunnen voor het object aanvullende eisen van bijvoorbeeld stakeholders of een contractmutatie van toepassing worden. Bij opname van deze eisen wordt de impact op het al bestaande ontwerp geanalyseerd.

#### Opstellen Verificatieplan

Nadat de Objectspecificatie is gemaakt en voordat het ontwerp wordt gestart, wordt een Verificatieplan opgesteld. In dit plan wordt op voorhand vastgelegd wie verantwoordelijk is voor de verificatie, in welke fase, in welk document en op welke wijze de verificatie plaatsvindt.

De meest gebruikte verificatiemethoden in het ontwerp zijn:

- Documentinspectie: verificatie vindt plaats in een document en er wordt beoordeeld of de ontwerpresultaten aan de eisen voldoen.
- Onderliggende eisen: omschreven wordt op welke wijze aan de eis gaat worden voldaan. In principe geldt de regel dat

indien aan de onderliggende eisen is voldaan, de bovenliggende eis is aangetoond.

- Analyse: aantoning via (her)berekenen of een analyse aan de hand van de normen & richtlijnen.

Het Verificatieplan vormt de start van het ontwerp.

Vastlegging van de verificaties (Verificatierapport)

Bij afronding van een ontwerp(deel) vindt de verificatie plaats volgens het Verificatieplan. In de verificatie wordt met een korte uitleg aangegeven of wel of niet wordt voldaan aan de eis. De verificatieresultaten zijn verwerkt in Relatics en verder vastgelegd in een Verificatierapport.

### Voorbeelden

Aan de hand van enkele voorbeelden van eisen en stappen in het proces wordt de inzet van SE bij het project OV SAAL Zuidtak Oost nader toegelicht.

#### Eis 0208: alignement

Eis 0208 luidt: Het systeem dient een alignement van de sporen te hebben dat verticaal en horizontaal voldoet aan de eisen gesteld in vigerende voorschriften en het theoretische alignement opgenomen in het Mx-model.

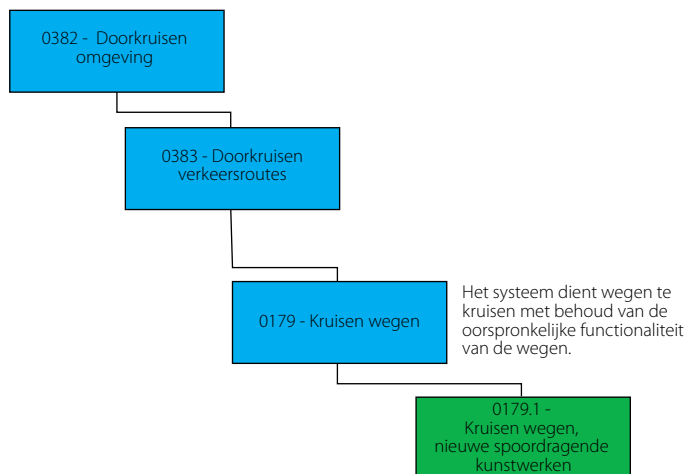
ProRail heeft de te gebruiken spoorassen door middel van een Mx-as vastgesteld en 'bindend' in het contract voorgeschreven. Deze Mx-as schrijft per spooras onder ander de horizontale en verticale boogstralen, verkanting, hellingspercentages voor en vormt hiermee de basis voor het uit te werken ontwerp. De alliantie moet zich aan deze Mx-as conformeren, echter optimalisaties waren na goedkeuring van ProRail mogelijk.

De oorspronkelijke Mx-as ten tijde van de aanbidding had tot gevolg dat diverse bestaande kunstwerken moesten worden verbreed. Het alliantieprincipe is onder andere gebaseerd op het samen delen van de risico's door gezamenlijk het risicobudget te hanteren. Op deze wijze heeft de alliantie de ruimte gekregen het alignement dusdanig te optimaliseren dat aanpassingen aan bestaande kunstwerken overbodig waren of konden worden geminimaliseerd. Deze optimalisatie van de Mx-as is voorgelegd aan ProRail en na akkoord verwerkt in een nieuwe as. ProRail heeft vervolgens de nieuwe Mx-as 'bindend' voorgeschreven aan de alliantie via een contractmutatie.

Na implementatie van de optimalisatie in het ontwerp kon eis 0208 worden geverifieerd in de desbetreffende Verificatierapporten.

#### Eis 0382: doorkruisen omgeving

ProRail heeft in de Vraagspecificatie eis 0382 'Doorkruisen omgeving' opgenomen en afgeleid naar diverse subeisen. Zo luidt bijvoorbeeld subeis 0179 'Kruisen wegen': Het systeem dient wegen te kruisen met behoud van de oorspronkelijke



Het systeem dient wegen te kruisen met behoud van de oorspronkelijke functionaliteit van de wegen.

Nieuwe spoordragende kunstwerken dienen aangelegd te worden volgens de waarden zoals aangegeven in het Tracébesluit (tabel 1 overzicht bouwwerken en kunstwerken). Indien het bestaande kunstwerk een afwijkende doorrijhoogte heeft dan dient de doorrijhoogte van het bestaande kunstwerk aangehouden te worden.

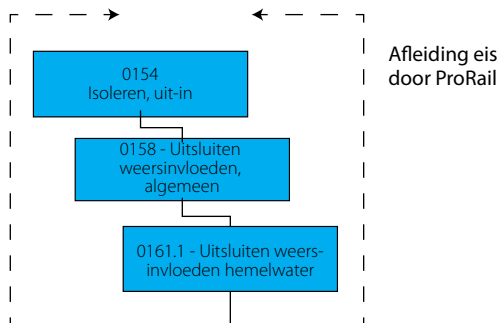
3

functionaliteit van de wegen.

Deze eis is door de alliantie SMART gemaakt door bijvoorbeeld afgeleide eis 0179.1 voor alle spoordragende kunstwerken in Relatics op te nemen (fig. 3).

Bij de aanbidding van het project is voor de kunstwerken een conceptontwerp gemaakt. Hierbij is getoetst of deze kunstwerken voldeden aan de contractuele eisen. Voor deze kunstwerken gold het Bouwbesluit 2003 met de toen geldende TGB-normen en de aanvullende voorschriften zoals door ProRail is vastgelegd in de Railinfra catalogus (RIC).

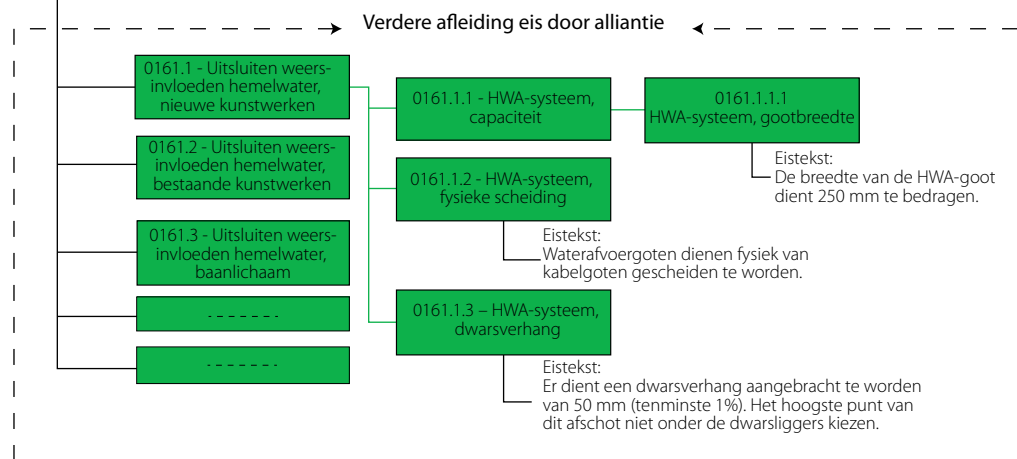
De introductie van de Eurocode per 1 april 2012 bracht een wettelijke verplichting met zich mee om deze toe te passen bij bouwaanvragen na deze datum. Voor het ontwerp van drie kunstwerken was een herberekening op basis van de Eurocode en de gewijzigde OVS-voorschriften noodzakelijk. Bij het toetsen van de eisen die van toepassing waren voor het spoorviaduct over rijksweg A2 (KW27) bleek eis 0179.1 knellend te zijn geworden. Het rekenen met een zwaardere goederentrein volgens de Eurocode vereiste een hoger brugdek. Hierdoor kon niet worden voldaan aan de minimaal vereiste doorrijhoogte van de rijksweg. Bij het constateren van dit knelpunt is vervolgens gezocht naar een oplossing die wel voldeed aan eis 0179.1. Uiteindelijk is in overleg met de leverancier een brugdek ontworpen dat bestond uit kokerliggers die in dwarsrichting moesten worden voorgespannen in plaats van een gebruikelijke opbouw van een omgekeerde prefab T-ligger met een in-situ-druklaag. De extra kosten werden via een contractmutatie door ProRail verrekend.



Afleiding eis door ProRail

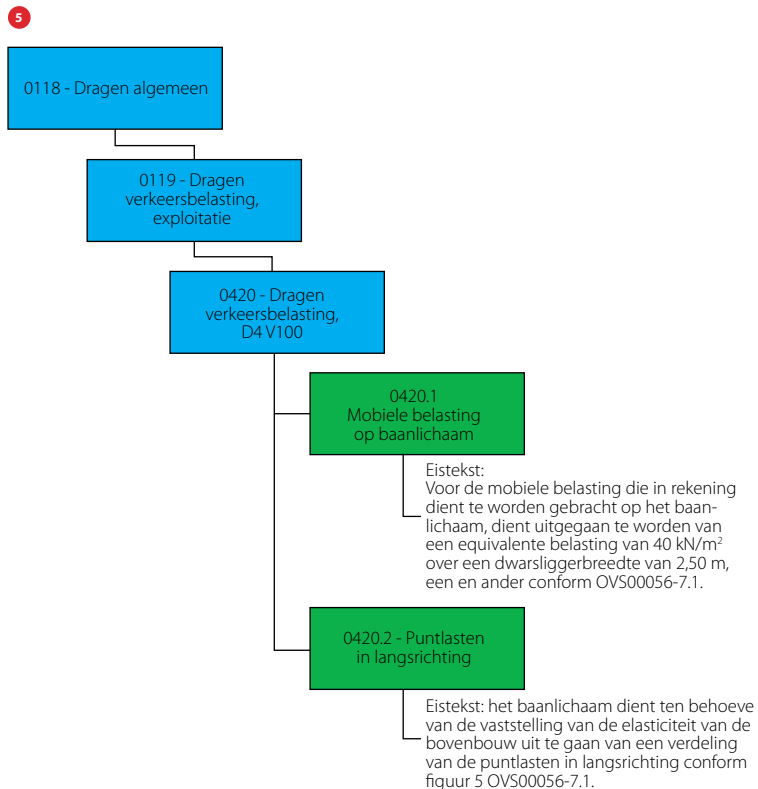
**Meer over OV SAAL**

Meer over het project OV SAAL en de bijbehorende techniek staat in het *Cement*-themanummer OV SAAL dat in oktober 2014 is verschenen (*Cement* 2014/6). De artikelen uit dat nummer zijn online beschikbaar op [www.cementonline.nl](http://www.cementonline.nl).



Verdere afleiding eis door alliantie

4



5

Door het toepassen van de SE-systematiek is per object een duidelijke set eisen vastgesteld. De impact van wijzigingen zoals het tussentijds toepassen van de Eurocode, wordt hiermee eenvoudig vastgesteld en daarmee worden knelpunten vroegtijdig erkend.

**Omgaan met Stakeholders**

Stakeholdermanagement is gericht op samenwerking, kracht van belangenbundeling, transparantie en het betrekken van stakeholders bij het zoeken naar oplossingen. De dialoog voeren met stakeholders zal zorgen voor vertrouwen en draagvlak. Stakeholdermanagement is een doorlopend proces. Een van de stakeholders is ProRail Asset Management (ProRail AM). De alliantie heeft dit ingevuld door periodiek de ontwerpen van de objecten op basis van de eisen met ProRail AM voor te bespreken met als doel een snelle goedkeuring van het ontwerp te verkrijgen. Afspraken en/of overeengekomen uitgangspunten werden vermeld in een 'Besluitenlijst'. Ook kwam het voor dat ProRail AM aanvullende wensen en/of eisen vanuit beheer en onderhoud kenbaar maakte. Na intern beraad van de alliantie werd besloten op welke wijze hieraan kon worden tegemoetgekomen. Voor een aantal gevallen betekende dit een contractmutatie. Wensen waar de alliantie direct invulling aan kon geven – die dus binnen het kader pasten van mogelijke oplossingen –, werden als eisen verwoord, opgenomen in de database en gekoppeld aan de desbetreffende objecten.



Door wensen als eis op te nemen, wordt geborgd dat deze – door het meelopen in de SE-systematiek – worden geïmplementeerd in het ontwerp. Als de eisen zijn geïmplementeerd, kan ook richting stakeholders zichtbaar worden gemaakt dat hun punten degelijk zijn verwerkt.

Op dezelfde wijze heeft de alliantie de afspraken met overige stakeholders zoals Brandweer, Waterschap en gemeente Amsterdam vertaald naar eisen. De eisen die zijn geborgd in Relatics zijn hiermee traceerbaar en aantoonbaar.

### Eisenanalyse

Het doel van het afleiden van eisen is – met name bij functionele eisen – te komen tot eenduidige eisen die direct kunnen worden verwerkt in het ontwerp. Dit gebeurt door de eis ‘af te pellen’ waardoor deze steeds specifieker wordt.

Zo is bijvoorbeeld eis 0154 ‘Isoleren uit-in’ opgenomen in de Vraagspecificatie (fig. 4).

De opdrachtgever geeft aan de hand van onderliggende eisen aan (er zijn meer onderliggende eisen afgeleid) dat de weersinvloeden (eis 0158) en de invloed van hemelwater (eis 0161) moesten worden uitgesloten. Deze eis 0161 luidt: Het systeem dient uit te sluiten dat weersinvloeden van hemelwater de treinexploitatie kunnen verstoren. Wat deed de alliantie hiermee? In eerste instantie is de eis onderverdeeld in verschillende systemen die daar een rol in kunnen spelen. Voor de nieuw te bouwen kunstwerken is deze eis geanalyseerd aan de hand van geldende normen en ontwerpvoorschriften. Deze analyse is vastgelegd in het document ‘Ontwerpbasis Hemelwaterafvoer’. (Bij OV SAAL zijn diverse Ontwerpbasisen opgesteld. Dit zijn overkoepelende ontwerpdocumenten die de uitwerking bevatten van de relevante eisen voor specifieke aspecten als geotechniek, aarding, hemelwaterafvoer en duurzaamheid.)

Als resultaat van de analyse van eis 0161 is een aantal afgeleide eisen verwoord. Zo is bij kunstwerken op een simpele en traceerbare manier invulling gegeven aan de bovenliggende contracteis.

### Eis 0420: dragen algemeen

Zoals in het kader ‘Palenmatras baandeel 15’ is toegelicht is voor baandeel 15 een palenmatras ontworpen. Deze oplossing was toegestaan binnen de in de Vraagspecificatie opgenomen hoofdeis 0118 en subeisen 0119 en 0420. De alliantie heeft eis 0420 afgeleid in onderliggende eisen 0420.1 en 0420.2 volgens onderstaand schema (fig. 5). Hieruit volgde dat het palenmatras was toegestaan binnen de eisen. Na technische afstemming tussen de alliantie en ProRail is het matras verder uitgewerkt en gerealiseerd door BCA.



6

### Tot slot

Het toepassen van de SE-systematiek bij het project OV SAAL heeft zijn meerwaarde bewezen. Door deze werkwijze werden op een gestructureerde en systematische wijze de vele eisen uit het contract, de geïdentificeerde raakvlakken en stakeholder-eisen traceerbaar en zichtbaar gemaakt voor de alliantie, BCA, ProRail en de stakeholders. Hiermee werd voorkomen dat eisen in het ontwerp werden vergeten en daarmee mogelijk objecten moesten worden herontworpen. SE speelt dus een belangrijke rol in de kostenbeheersing van het project en de reductie van de faalkosten. ☒

### Palenmatras baandeel 15

Baandeel 15 is gesitueerd in de directe nabijheid van het bestaande kunstwerk Holterbergweg en bestaat uit een zandophoging van circa 10 m. De ondergrond in dit gebied is erg slap en dus zettingsgevoelig. Ten gevolge van deze zetting zouden de funderingspalen van de steunpunten van het bestaande kunstwerk ontoelaatbaar worden beïnvloed. Door middel van een beknopte variantenstudie heeft de alliantie een aantal oplossingen afgewogen die voldeden aan de eisen uit het contract. Het betrof de volgende varianten: onderheid palenmatras, zettingsvrije plaat en een kunstwerk op palen. Op basis van verschillende criteria zoals risico's, tijd, geld, beheer en onderhoud is uiteindelijk gekozen voor een palenmatras (foto 6). Zie ook het artikel 'Over 1338 palen door Mokums moeras' uit *Cement* 2014/6 en beschikbaar op [www.cementonline.nl](http://www.cementonline.nl).