

# Rijkswaterstaat

## Technisch onderzoek Wegverbreding A27 Lunetten - Rijnsweerd



**Technisch onderzoek  
Wegverbreding A27  
Lunetten - Rijnsweerd**

referentie	datum	status
RW1940-1/bakn/009	24 oktober 2013	definitief 03

<b>INHOUDSOPGAVE</b>	<b>blz.</b>
<b>1. INLEIDING</b>	<b>1</b>
1.1. Aanleiding	1
1.2. Eerdere onderzoeken	1
1.3. Leeswijzer	2
<b>2. ONDERZOEK</b>	<b>3</b>
2.1. Vraagstelling	3
2.2. Stappenplan	4
2.3. Kansrijke methoden	5
<b>3. CONCLUSIE</b>	<b>7</b>
<b>4. TECHNISCHE VERDIEPING</b>	<b>9</b>
4.1. Welke locaties zijn onderzocht?	9
4.2. Welke oplossingen zijn beschouwd?	9
4.3. Hoe wordt de verbreding ter plaatse van het spoorviaduct Utrecht – 's Hertogenbosch gemaakt?	10
4.4. Hoe wordt de verbreding ter plaatse van het spoorviaduct Utrecht – Arnhem gemaakt?	12
4.5. Hoe wordt de verbreding ter plaatse van de foliepolder gemaakt? – sleufmethode	15
4.6. Hoe wordt de verbreding ter plaatse van de foliepolder gemaakt? – persmethode	18
laatste bladzijde	24

## 1. INLEIDING

### 1.1. Aanleiding

Om de verkeersdoorstroming van de Ring Utrecht te verbeteren, onderzoekt Rijkswaterstaat de mogelijkheid om de huidige A27 aan de oostzijde van de stad Utrecht te verbreden. De bestaande foliepolder ten zuiden van de bakconstructie Amelisweerd en de kruising met de Koningsweg heeft daarbij, vanwege de technische complexiteit en de aanwezige spoorkruisingen (rood omcirkelt), bijzondere aandacht.

**Afbeelding 1.1. Aanleg foliepolder met spoorkruisingen 1983**



In het verleden zijn diverse technische verkenningen naar de haalbaarheid van een verbreding uitgevoerd. Hierbij werd zowel gekeken naar de effecten voor de aanwezige folieconstructie als naar de gevolgen voor de bestaande spoorkruisingen. In essentie lieten deze verkenningen zien dat de benodigde verbreding niet onmogelijk is, maar dat de onderzochte technische oplossingen wel nadere uitwerking of aanpassing behoeven om vast te stellen dat de bouwmethoden daadwerkelijk met een beperkt risico- en hinderprofiel kunnen worden ingezet.

Rijkswaterstaat heeft aan Witteveen+Bos gevraagd om de bouwmethoden voor de verbreding ter plaatse van beide spoorkruisingen en de aansluitende folieconstructies nader te onderzoeken. Vertrekpunt hierbij zijn de bouwmethoden uit de eerdere verkenningen, uitgebreid met een aantal nieuwe bouwmethoden. Het doel is om vast te stellen met welke (andere) bouwmethoden een tweezijdige verbreding tot 15 meter op een veilige en doelmatige manier kan worden uitgevoerd.

### 1.2. Eerdere onderzoeken

In de voorgaande paragraaf werd gesproken over eerder uitgevoerde verkenningen naar de haalbaarheid van een verbreding van de A27 in zowel de foliepolder zelf als ter plaatse van de beide spoorviaducten.

Door Witteveen+Bos is in november 2010 gekeken naar een verbreding van de A27 in de foliepolder zelf door toepassing van een zogenaamde 'vriesmethode'. Hierbij wordt direct naast de bestaande weg een damwand geplaatst en met behulp van vriestechnieken waterdicht aangesloten op de onderliggende folie. Deze constructie maakt het mogelijk om het talud naast de bestaande A27 weer onder water te zetten (zoals bij de aanleg in 1983, zie afbeelding 1.1) en te ontgraven voor de verbreding. Met deze bouwmethode is de verbreding technisch mogelijk, maar het risicoprofiel is wel hoog.

IV infra heeft in oktober 2011 de verbreding ter plaatse van de beide spoor kruisingen verkend. Het blijkt dat als de verbreding van de A27 achter de bestaande landhoofden van de spoorviaducten wordt uitgevoerd, vervanging of ingrijpende aanpassing van de spoorviaducten niet nodig is. De werkzaamheden die nodig zijn om deze verbreding te realiseren zijn complex, maar beproefd en haalbaar.

Beide verkenningen zijn los van elkaar uitgevoerd en geven elk een goed inzicht in de (technische) mogelijkheden en onmogelijkheden.

### **1.3. Leeswijzer**

Dit rapport is een vervolg op de eerdere verkenningen en verschaft inzicht in de verschillende bouwmethoden waarmee de verbreding van de A27 ter plaatse van zowel de spoor kruisingen als de foliepolder kan worden gerealiseerd. Omwille van de leesbaarheid is gekozen voor een gefaseerde opbouw; van globaal tot technisch gedetailleerd.

Het onderzoek is uitgevoerd aan de hand van een stappenplan. De eerste stappen zijn voornamelijk gericht op inventarisatie en presentatie van beschikbare (start)informatie en oplossingsrichtingen. De daarop volgende stappen in het onderzoek betreffen een afweging of verdieping van de vorige stap, waarbij niet relevante - of niet kansrijke methoden telkens afvallen. Op deze wijze is de uitdaging - het op een veilige manier verbreden van de A27 – als het ware afgepeld tot een drietal specifieke -, veilige - en uitvoerbare methoden die nader zijn uitgewerkt. Verderop in dit document worden deze methoden nader beschreven.

Het voorliggende hoofd rapport beschrijft de vraagstelling en de voornaamste conclusies van het onderzoek.

## 2. ONDERZOEK

### 2.1. Vraagstelling

Met de eerder genoemde verkenningen lijkt een tweezijdige verbreding tot 15 meter haalbaar. Wel is het van groot belang om alle kritische technische risico's goed te kennen en te beheersen. Met de eerder onderzochte technieken en mate van uitwerking was dit nog een duidelijk punt van aandacht. Rijkswaterstaat heeft daarom aan Witteveen+Bos gevraagd om de eerdere verkenningen, ofwel nader uit te werken, ofwel te onderzoeken of de benodigde uitbreiding van de A27 beter met andere methoden kan worden uitgevoerd. Hierbij wordt specifiek gekeken naar de aspecten veiligheid, maakbaarheid, hinder en logistiek.

#### **Integrale aanpak**

De eerdere verkenningen zijn separaat uitgevoerd vanwege het technisch verschillende karakter:

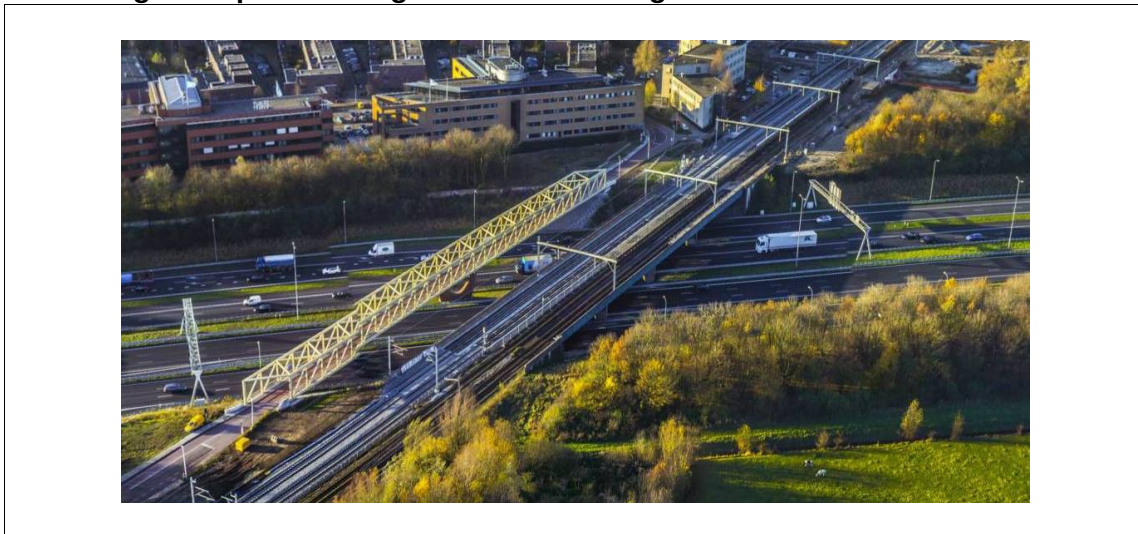
- geotechnisch vraagstuk - Verbreding ter plaatse van de foliepolder;
- constructief/logistiek vraagstuk - Verbreding ter plaatse van de spoorviaducten.

In zuiver technische zin kunnen deze vraagstukken weliswaar separaat beschouwd worden, maar de uitkomst van het ene onderzoek is wel van belang voor het andere onderzoek. Anders gezegd: 'het heeft geen zin om te zoeken naar een forse verbreding ter plaatse van het spoorviaduct als deze verbreding enkele meters verderop, ter plaatse van de folie, niet haalbaar is'. In het voorliggend onderzoek is het vraagstuk – tweezijdige verbreding tot 15 meter – daarom in samenhang beschouwd door zowel de foliepolder, de spoorkruisingen als het wegontwerp in één 3D model samen te voegen.

#### **Spoorkruisingen**

Uit eerder onderzoek blijkt dat de bestaande spoorviaducten in de huidige configuratie gehandhaafd moeten blijven. Door de pijlerplaatsing ligt de wegingdeling in zekere zin vast en kan uitbreiding van de A27 feitelijk alleen aan de randen van de huidige verdiepte ligging, achter de landhoofden, plaatsvinden. Omdat een dergelijke uitbreiding zowel technisch als logistiek complex is, is door IV Infra onderzocht of dit mogelijk is. Dit blijkt, zij het met een aantal risico's, randvoorwaarden en tot een bepaalde grens, mogelijk. Deze grens wordt in het huidige onderzoek nauwkeurig bepaald aan de hand van twee uitvoeringsmethoden. De meest kansrijke methode is nader uitgewerkt

#### **Afbeelding 2.1. Spoorkruising Utrecht – 's Hertogenbosch**



## **Foliepolder**

Uit de eerdere verkenning naar de verbreding ter plaatse van de foliepolder volgt dat, met de toen onderzochte vriesmethode, verbreding in zuiver technische zin haalbaar is, maar wel gepaard gaat met een aanzienlijk risicoprofiel en bijzondere uitvoeringscondities. Het is daarom van belang om vast te stellen of er andere methoden met een gunstiger risicoprofiel zijn om de verbreding te bewerkstelligen. In dit onderzoek worden alternatieve uitvoeringsmethoden, gebaseerd op driedimensionale krachtswerking in de ondergrond of een persconstructie, afgewogen tegen de eerder onderzochte vriesmethode. De twee meest kansrijke methoden zijn nader uitgewerkt.

## **2.2. Stappenplan**

Het onderzoek is stapsgewijs uitgevoerd van grof naar fijn. Er is gestart met een inventarisatie van beschikbare informatie en de eerder uitgevoerde onderzoeken. In een 3D model is de huidige- en benodigde toekomstige situatie in beeld gebracht, zodat de meest kritische onderzoekslocaties in samenhang kunnen worden vastgesteld. Voor zowel de spoor-kruisingen als de folieconstructie zelf, zijn een aantal bestaande - en nieuwe methoden op hoofdlijnen afgewogen, waarbij met nadruk is gekeken naar het risicoprofiel en (logistieke) uitvoerbaarheid. De meest kansrijke methoden zijn vervolgens in detail uitgewerkt. In afbeelding 2.2 zijn de gevolgde stappen weergegeven.



## Afbeelding 2.2. Stappenplan

Fase	Stap
<b>Inventarisatie en structurering</b>	<b>Stap 1: Analyseren</b> vaststellen belangrijkste onderzoeksvragen
	<b>Stap 2: Bouwen integraal 3D model</b> Opzetten en samenstellen van model met wegen , kunstwerken en folieconstructie , inclusief aansluiting op de betonnen bakconstructie
	<b>Stap 3: Vaststellen benodigde ruimte en potentiële conflictpunten</b> Aan de hand van het wegenmodel voor de toekomstige situatie en de fysieke eigenschappen van de bestaande situatie worden de uitbreidingsruimte en de maatgevende locaties vastgesteld
<b>Trechterfase</b>	<b>Stap 4: Vaststellen criteria trade -off matrix</b> Als eerste stap in de trade -off worden de trade -off criteria en de zwaarte hiervan vastgesteld. De criteria zijn onder andere : veiligheid, kosten, uitvoerbaarheid, draagvlak, aanbesteding en proceduretijd .
	<b>Stap 5: Beoordeling technische varianten</b> - stap 5a: beoordeling varianten 1 en 2a t/m 2d op risico's, kosten planning en logistiek - stap 5b: beoordeling uitbreiding spoorkruisingen op risico's , kosten planning en logistiek - stap 5c: beoordeling extra variant op risico's kosten planning en logistiek
	<b>Stap 6: Verdieping varianten</b> Globale rekentechnische verdieping op kritieke aspecten , indien noodzakelijk voor een goede (risico)afweging
	<b>Stap 7: Afwegen van de varianten</b> - afwegen van de varianten op basis van de beoordeling en de vastgestelde criteria - kiezen uit te werken oplossing (in samenspraak met Rijkswaterstaat)
<b>Uitwerking</b>	<b>Stap 8: Uitwerking technische variant</b> - stap 8a: reken technische uitwerking van alle relevante , maatgevende locaties van de meest kansrijke variant verbreding in foliepolder en ter plaatse van aansluiting op kunstwerken met 3D elementenpakket (Plaxis), zowel in alle relevante bouwfasen als eindfase - stap 8b: rekentechnische uitwerking kruising spoorviaducten met focus op schuine spoorkruising (tenzij anders blijkt uit 3D model), zowel in alle relevante bouwfasen als eindfase
	<b>Stap 9: Uitwerken tot BIM (building information model)</b> 3D model verder uitwerken tot BIM model waarin uitgewerkt de technische oplossingen , gekoppeld aan logistiek raakvlakken en (weg)faseringen
	<b>Stap 10: Risicoanalyse</b> Opstellen risicoanalyse en bijbehorende beheersmaatregelen per bouwfase
	<b>Stap 11: Expertise markt</b> In beeld brengen van expertise (bouw)bedrijven (binnen - en buitenland ) ten aanzien van het werken met en aanpassen van folieconstructies

### 2.3. Kansrijke methoden

Uit de afweging op hoofdlijnen volgt een drietal kansrijke methoden om de verbreding te kunnen realiseren.

Voor de kruising met de spoorlijn Utrecht – 's Hertogenbosch is één methode uitgewerkt gebaseerd op het eerder uitgevoerde onderzoek van IV infra. Deze methode is, in afgeleide vorm, ook toe te passen voor de verbreding ter plaatse van het spoor Utrecht – Arnhem.



Ter plaatse van de folieconstructie zelf zijn twee nieuwe methoden nader onderzocht. Eén methode maakt gebruik van drie dimensionale spreiding in de grondlaag op de folie en leidt tot ontgraving van de verbreding in kleine plakjes (sleufmethode). De andere methode gaat uit van een oplossing vergelijkbaar met een perstunnel, waarbij de ontgraving met een mesconstructie in langsrichting van de foliepolder plaatsvindt (persmethode).

In hoofdstuk 4 zijn de verschillende methoden nader beschreven.

### 3. CONCLUSIE

Het is, met de sleufmethode, niet overal mogelijk om de benodigde tweezijdige verbreding tot 15 meter op een veilige en doelmatige wijze te realiseren. Het knelpunt ligt in de foliepolder zelf, waar de onderzochte methode te gevoelig blijkt voor de grondgesteldheid en ontgraving op korte afstand van het folie. Hierdoor kan over de ongeveer de helft van de tracélengte de benodigde verbreding met deze methode niet worden gehaald.

Met de persmethode is het wel mogelijk om de benodigde tweezijdige verbreding tot 15 meter veilig en doelmatig te realiseren.

Enig aandachtspunt bij deze methoden betreft het gewicht van de aanvulgrond op de folie, dat niet te laag mag zijn, en de exacte ligging van de folie, die niet te veel mag afwijken van de oorspronkelijke aanlegtekeningen. Hier zal nog nader aandacht aan besteed moeten worden, bijvoorbeeld door archiefonderzoek van de uitvoeringsregistraties.

#### **Foliepolder - Sleufmethode**

De L-vormige constructie, die moet worden aangebracht in de foliepolder om ruimte te bieden aan de verbreding, nadert met het huidige wegontwerp over ongeveer de helft van het tracégebied de folie tot een afstand kleiner dan 1,75 meter. Dit is te krap als gebruik wordt gemaakt van de sleufmethode. Het folie zou opbarsten tijdens ontgraving omdat door de kleine afstand tot de folie onvoldoende boogwerking in de ondergrond kan ontstaan. Het principe van deze boogwerking wordt nader toegelicht in paragraaf 4.5.

Het blijkt dat de veilige afstand tenminste 1,75 meter bedraagt. Het huidige wegontwerp voorziet over ongeveer de helft van het tracégebied niet in deze afstand. Met een optimalisatie van het wegontwerp zal mogelijk op meer plaatsen voldoende afstand aangehouden kunnen worden, zodat de sleufmethode op deze plaatsen wel doelmatig kan worden toegepast.

#### **Foliepolder - Persmethode**

De persmethode biedt de mogelijkheid om het folie dichter te naderen dan met de sleufmethode. Het persframe zorgt, anders dan bij de sleufmethode, voor voldoende tegendruk zodat het folie de uitbreidingswerkzaamheden nauwelijks 'voelt'. Bovendien kan met de sleufmethode de onderhoek van de keerwand worden afgeschuind, waardoor ook ruimte-winst wordt gerealiseerd. Het folie kan op deze wijze worden genaderd tot een afstand van 1,00 meter, terwijl de benodigde breedte van het huidige wegmodel ter plaatse van de foliepolder overal kan worden gehaald. De persmethode moet in samenhang met de uitbreiding van de spoor kruisingen worden gerealiseerd. De totale uitvoeringsduur, inclusief spoor kruisingen (18 maanden), bedraagt 3 (gebaseerd op verlengde werktijden) tot 4 jaar (gebaseerd op reguliere werktijden).

#### **Spoorkruisingen**

Voor de verbreding van de spoorviaducten blijkt een doorontwikkeling van de methode uit de eerdere onderzoeken van IV infra de beste oplossing. Aan de westzijde kan een extra breedte van ruim 14 meter gerealiseerd worden, terwijl aan de oostzijde ruim 12 meter verbreding haalbaar is (van wand tot wand). De breedte biedt voldoende ruimte voor 2 rijstroken en in de meeste gevallen een vluchtstrook. Alleen bij de oostelijke doorrijpoort van de haakse spoor kruising Utrecht - Arnhem zal een volwaardige vluchtstrook mogelijk (net) niet passen.

De verbreding wordt uitgevoerd achter de bestaande landhoofdconstructies van de spoor kruisingen. De bestaande spoordekken, pijlers en landhoofden worden gehandhaafd, zodat

de uitbreidingswerkzaamheden met minimale hinder voor het treinverkeer kunnen worden uitgevoerd. Voor elke spookruising zijn vier weekends buitendienststelling van de treinverbinding nodig. De uitvoeringsduur van de spookruisingen zelf zal 18 maanden bedragen.

## 4. TECHNISCHE VERDIEPING

Zoals aangegeven is het rapport omwille van de leesbaarheid gefaseerd opgebouwd; van globaal tot technisch gedetailleerd. In dit hoofdstuk wordt iets meer ingezoomd op de technische aspecten van het onderzoek; de zogenaamde technische verdieping. Het doel is om een totaaloverzicht van het onderzoek en de verschillende technische oplossingen te verschaffen, bedoeld voor zowel de technische lezer als de niet technische lezer.

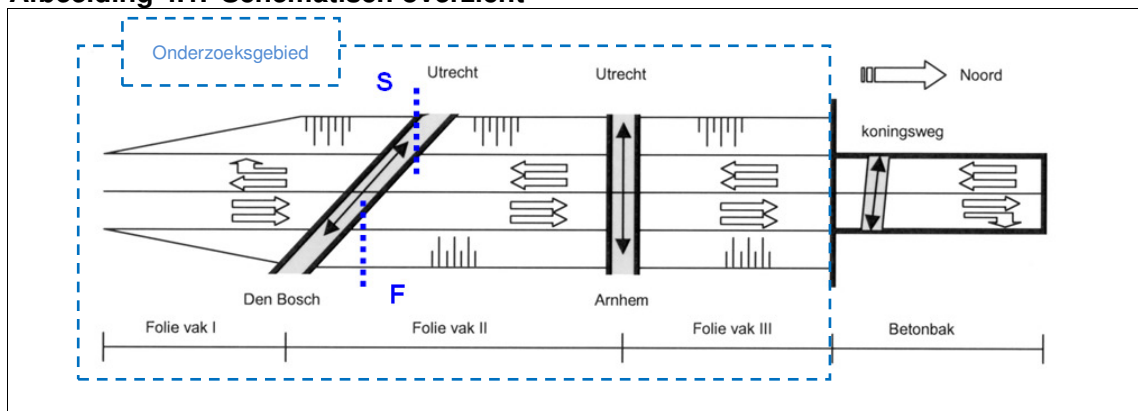
### 4.1. Welke locaties zijn onderzocht?

Het onderzoek is gestart met een fase waarin is vastgesteld waar de meest kritische locaties zich bevinden en welke technische methoden voor zowel de spoor kruisingen als de foliepolder onderzocht moeten worden.

Met een 3D model is zowel de huidige als de benodigde toekomstige situatie drie dimensionaal in beeld gebracht. Zo konden eenvoudig de meest kritische locaties worden geselecteerd. Voor de foliepolder blijkt de doorsnede (F) nabij de noordoostelijke aansluiting op de schuine spoor kruising, maatgevend. Hier nadert de L-vormige keerconstructie de folie het dichtst, terwijl de diepteligging juist het grootst is.

Bij de spoor kruisingen bleek het onderscheid minder gemakkelijk vast te stellen vanwege het grote verschil in geometrie (schuine kruising versus haakse kruising). In technische zin blijkt echter dat de schuine kruising het meest complex is. Deze kruising (S) is daarom verder uitgewerkt op de plaats waar de grootste uitbreidingsbreedte kan worden gehaald; het westelijke landhoofd.

**Afbeelding 4.1. Schematisch overzicht**



### 4.2. Welke oplossingen zijn beschouwd?

Het onderzoek bestaat in feite uit twee vraagstukken:

- geotechnisch vraagstuk - Verbreding ter plaatse van de foliepolder;
- constructief/logistiek vraagstuk - Verbreding ter plaatse van de spoorviaducten.

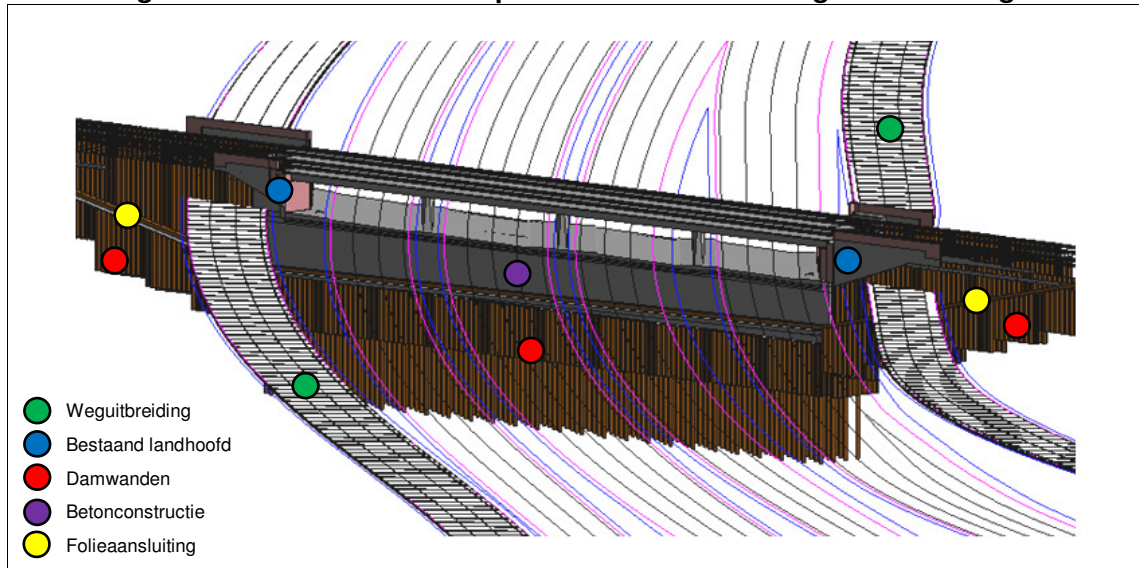
Het onderzoek naar de verbreding ter plaatse van de foliepolder zelf is gestart met een zestal opties. Het gaat om de eerder uitgewerkte 'vriesmethode', een viertal varianten die gebruik maken van 3D werking in de aanvulgrond op de folie en een variant op basis van de techniek van een perstunnel ('patatsnijder'). Na een afweging op hoofdlijnen is ervoor gekozen om één van de 3D varianten ('sleufmethode') en de persmethode nader uit te werken.

Voor de verbreding ter plaatse van beide spoorviaducten is gestart met de uitkomsten van het eerdere onderzoek van IV infra. Om een maximale verbreding mogelijk te maken is gekeken naar een tweetal oplossingen. Eén oplossing gaat uit van vervanging van het bestaande landhoofd door een nieuw, efficiënter landhoofd op een gunstiger plek. De andere oplossing is juist gebaseerd op het handhaven van de bestaande landhoofden, waarvan wel zoveel mogelijk beton wordt 'afgesnoept' om ruimte te bieden aan de verbreding. Na afweging op hoofdlijnen blijkt dat de variant waarbij de landhoofden worden gehandhaafd, het best haalbaar is. Deze variant is nader uitgewerkt.

#### 4.3. Hoe wordt de verbreding ter plaatse van het spoorviaduct Utrecht – 's Hertogenbosch gemaakt?

Zoals beschreven, is met een 3D model de huidige en toekomstige situatie nauwkeurig in beeld gebracht. In afbeelding 4.2 (kijkrichting zuid - noord) is duidelijk zichtbaar dat de benodigde wegwitbreiding (gestreepd) ter plaatse van het schuine spoorviaduct achter de bestaande landhoofden, door de damwanden, loopt.

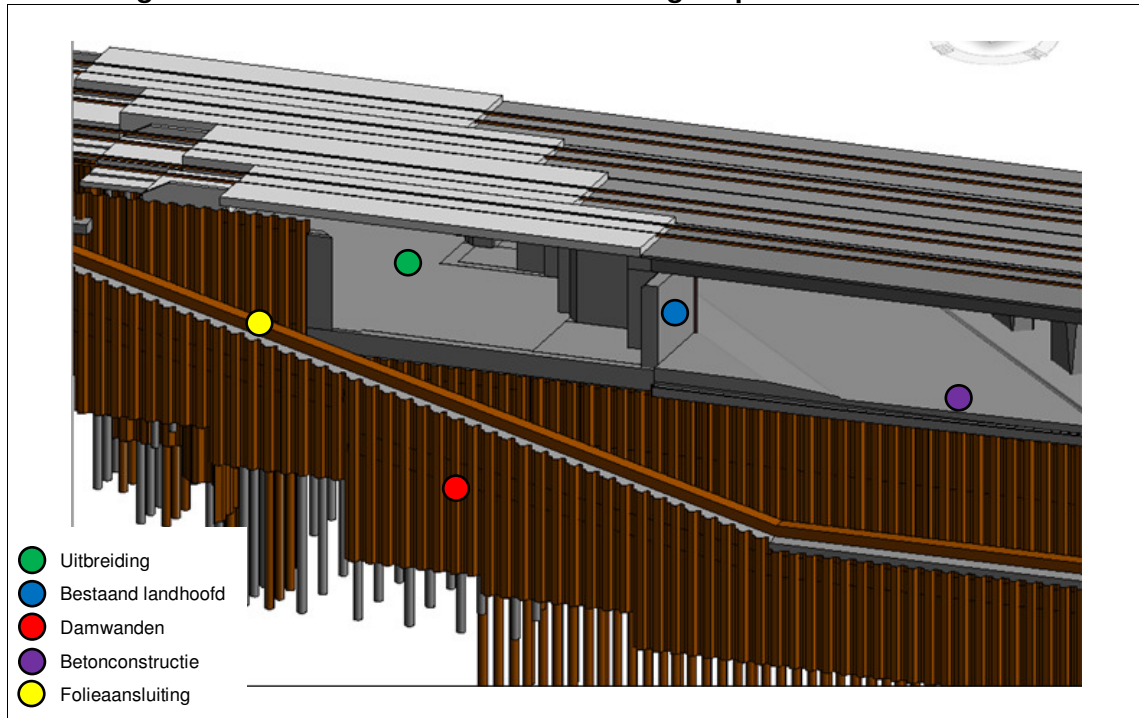
**Afbeelding 4.2. Aanzicht 3D model spoorviaduct met benodigde verbreding**



Het spoorviaduct is een op zich zelf staande constructie en maakt geen onderdeel uit van de foliepolder. Voorafgaand aan de realisatie van de foliepolder is in de jaren '80 eerst de oorspronkelijke spoordijk ter plaatse van de kruising met de A27 'vervangen' door een viaduct, gefundeerd op een betonconstructie tussen damwanden. Deze damwanden vormen nu een fysieke begrenzing van de foliepolders ter weerszijde van het kunstwerk. Het folie is waterdicht op de damwanden aangesloten. Zoals is te zien in afbeelding 4.2, loopt de uitbreiding door deze damwanden heen.

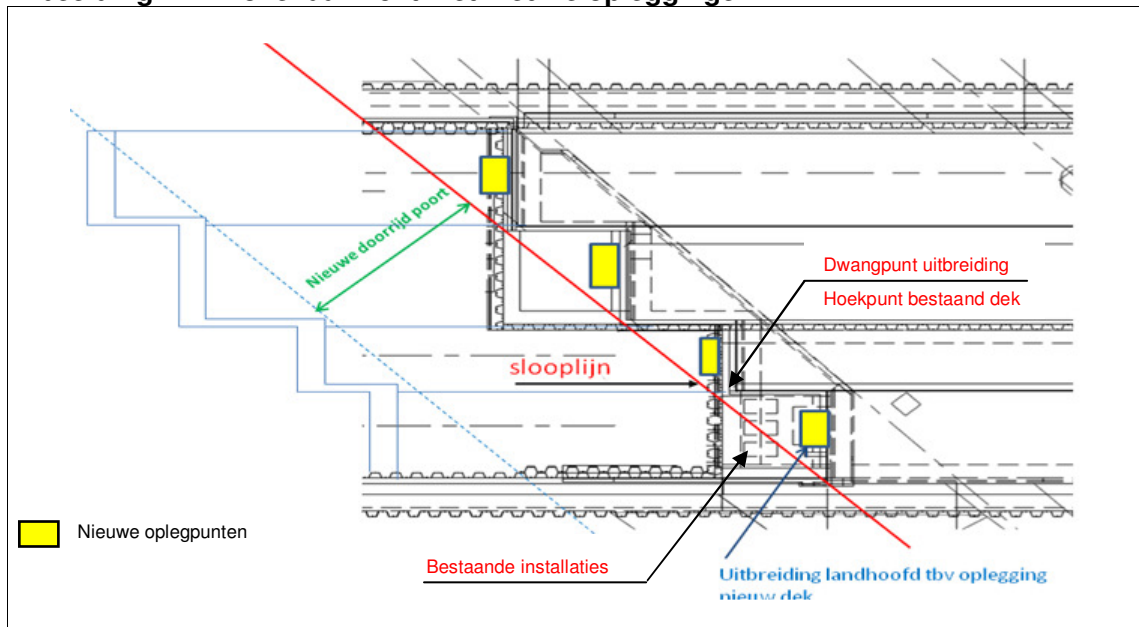
De uiterste begrenzing van de verbreding (links in afbeelding 4.3) wordt bepaald door de folieaansluiting op de damwanden van het viaduct (schuine lijn). Een verdere verbreding zou een zeer complexe aanpassing van de folieaansluiting vergen. Uitgangspunt van de studie is juist dat dit niet gebeurt.

**Afbeelding 4.3. Uitsnede 3D model met uitbreiding ter plaatse van landhoofd west**



Er is specifiek gekeken naar mogelijkheden om zoveel mogelijk ruimte ter plaatse van de bestaande landhoofden van de spoorkruising te realiseren. De zaagtandvorm van de landhoofden biedt de mogelijkheid om de oplegpunten van de uitbreiding naast de bestaande oplegpunten te realiseren, zonder dat dit ten koste gaat van de uitbreidingsbreedte. De bestaande dekken hoeven niet aangepast te worden, en vormen daardoor het dwangpunt van de uitbreiding. In onderstaande afbeelding is het principe weergegeven.

**Afbeelding 4.4. Bovenaanzicht met nieuwe opleggingen**



In de afbeelding is zichtbaar dat een deel van de huidige landhoofdconstructie moet worden gesloopt. Het gaat hier om ruimten die in de huidige situatie technische installaties (pompen, schakelkasten) huisvesten. Voor deze installaties zal een nieuwe plaats binnen de aangepaste landhoofdconstructies moeten worden gevonden. Dit zal naar verwachting geen problemen opleveren.

De beschreven begrenzingen leiden tot een maximaal haalbare uitbreidingsbreedte van 14,22 meter ter plaatse van de westelijke doorgang en 12,56 meter ter plaatse van de oostelijke doorgang. Dit zijn maten van wand tot wand, gemeten haaks op de as van de A27. In het wegontwerp moet hierbij nog wel rekening gehouden worden met een voertuigkering (barriër).

De huidige landhoofden dragen niet alleen de bestaande spoordekken, maar keren ook het grondwater. De ruimte waar de uitbreiding is voorzien, moet daarom eerst waterdicht worden gemaakt voordat de uitbreiding daadwerkelijk kan worden gerealiseerd. Het nieuwe landhoofd van de uitbreiding moet daarom de waterkerende functie overnemen. Dit aspect bepaalt in hoge mate de uitvoeringswijze en -volgorde van de verbreding. In essentie kan de uitvoeringswijze worden samengevat in zes hoofdstappen:

- aanbrengen waterkerende wand ter plaatse van het nieuwe landhoofd;
- aanbrengen palen ten behoeve van het dragen van de nieuwe spoordekken;
- aanbrengen prefab spoordekken;
- ontgraven onder de spoordekken bij een verlaagde waterstand;
- aanbrengen onderwaterbetonvloer en leegpompen bouwkuip;
- aanpassen bestaande landhoofden en aanbrengen definitieve landhoofd spoordek.

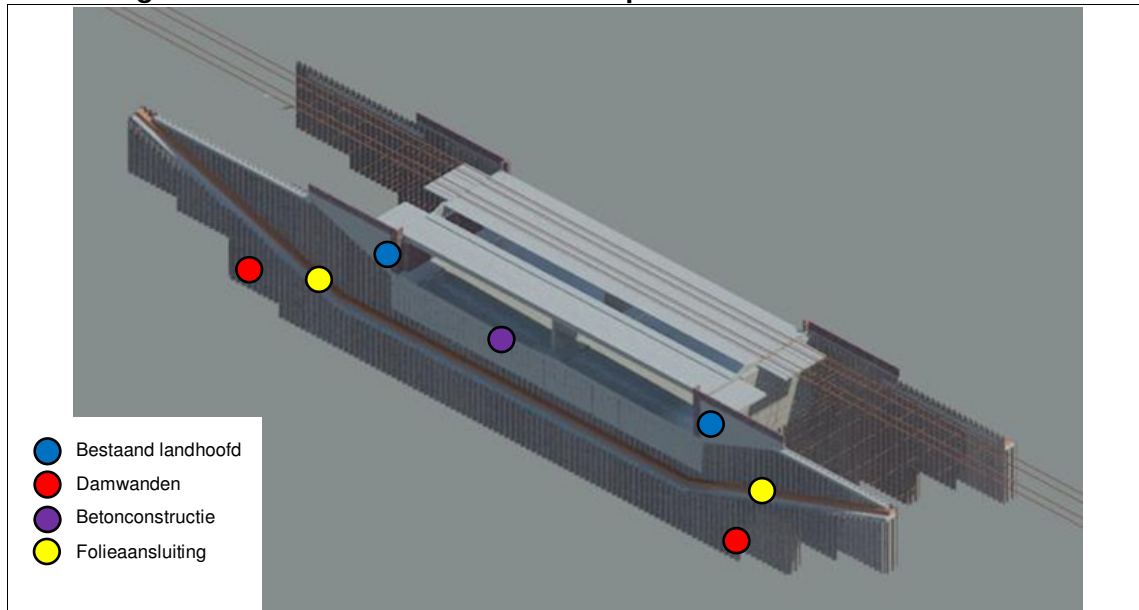
Omdat een groot deel van de constructiedelen vooraf vervaardigd worden, kunnen de werkzaamheden in 4 treinvrije perioden van elk 52 uur worden uitgevoerd. Uiteraard is de totale bouwtijd wel langer: 18 maanden voor de gehele spoorkruising bij gelijktijdige uitvoering aan beide zijden van de A27.

#### **4.4. Hoe wordt de verbreding ter plaatse van het spoorviaduct Utrecht – Arnhem gemaakt?**

De spoorkruising Utrecht – Arnhem is in feite een eenvoudiger uitvoering van de hiervoor beschreven schuine kruising Utrecht – 's Hertogenbosch. In plaats van een scheve kruising gaat het hier om een haakse kruising. De benodigde wegbreedening wordt ook bij deze kruising achter de bestaande landhoofden, door de damwanden, geleid (niet weergegeven).

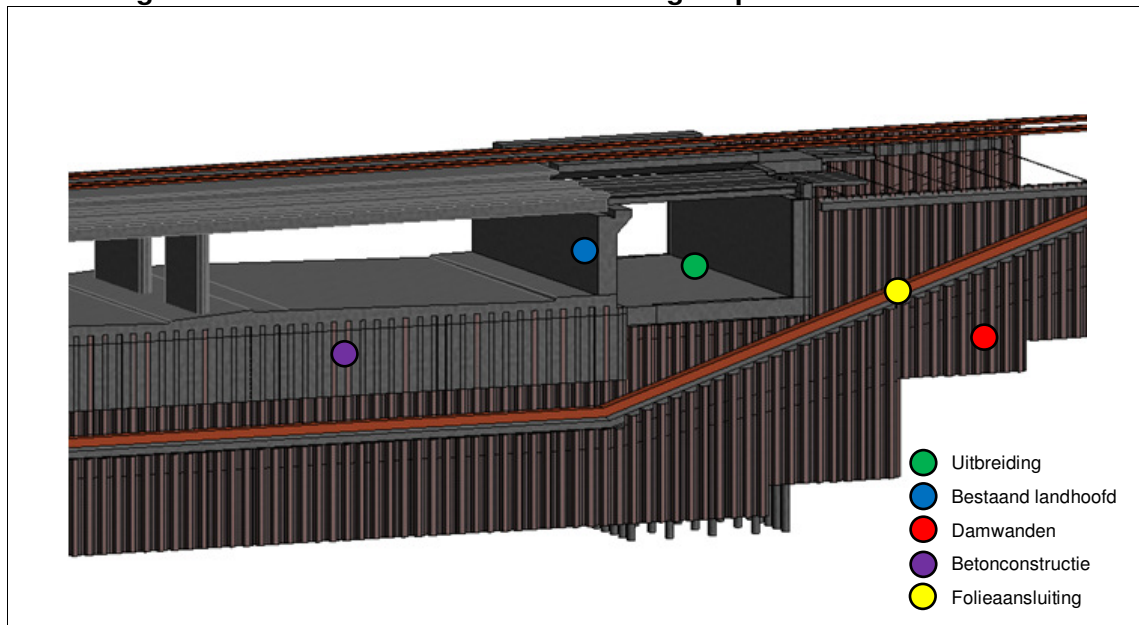


**Afbeelding 4.5. Aanzicht 3D model bestaand spoorviaduct Utrecht - Arnhem**



Het spoorviaduct is ook op deze locatie uitgevoerd als een op zich zelf staande constructie, gefundeerd op een betonconstructie tussen damwanden. De folieconstructie aan weerszijde van het kunstwerk sluit op deze damwanden aan.

**Afbeelding 4.6. Uitsnede 3D model met uitbreiding ter plaatse van landhoofd oost**

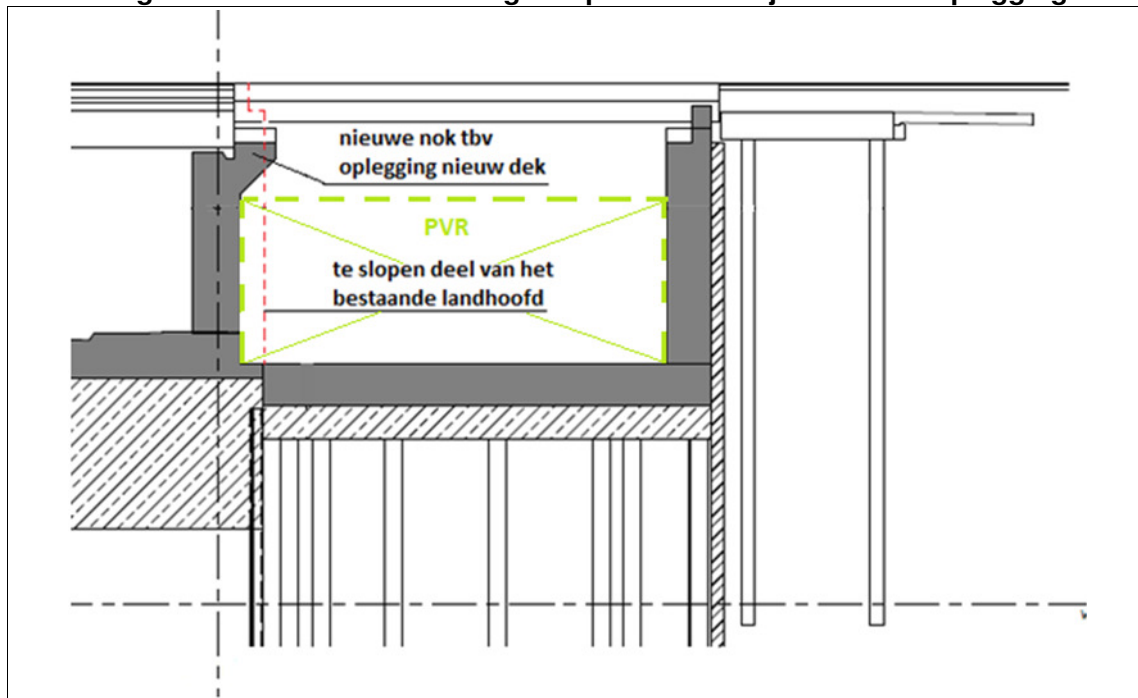


De uiterste begrenzing van de verbreding (rechts in afbeelding 4.6) wordt ook bij deze spookruising bepaald door de folieaansluiting op de damwanden (schuine lijn). Een verdere verbreding is niet mogelijk zonder ingrijpende aanpassing van de folieaansluiting.

Bij deze kruising is, anders dan bij de schuine kruising, geen zaagtandvorm aanwezig. Er moet daarom een andere plaats worden gezocht voor de nieuwe opleggingen van het spoordek van de uitbreiding. Boven het profiel van vrije ruimte (PVR) van de wegwitbreiding is voldoende ruimte aanwezig om een nieuwe oplegnok aan te brengen, zodat ook hier

geen beperking van de uitbreidingsbreedte ontstaat door de locatie van de het bestaande landhoofd. Net als bij de schuine kruising hoeft ook hier het bestaande spoordek niet aangepast te worden.

**Afbeelding 4.7. Doorsnede uitbreiding met profiel van vrije ruimte en oplegging**



De beschreven begrenzings leiden tot een maximaal haalbare uitbreidingsbreedte van 14,25 meter ter plaatse van de westelijke doorgang en 12,20 meter ter plaatse van de oostelijke doorgang. Het betreft de maat van wand tot wand, gemeten haaks op de as van de A27. In het wegontwerp moet hierbij nog wel rekening gehouden worden met een voertuigkering (barriër).

De uitvoeringswijze en –volgorde van de haakse kruising is vergelijkbaar met de schuine kruising. Ook hier keren de huidige landhoofden het grondwater, een functie die door het nieuwe landhoofd van de uitbreiding moet worden overgenomen voordat de uitbreiding daadwerkelijk kan worden gerealiseerd. In essentie kan de uitvoeringswijze worden samengevat in zes hoofdstappen:

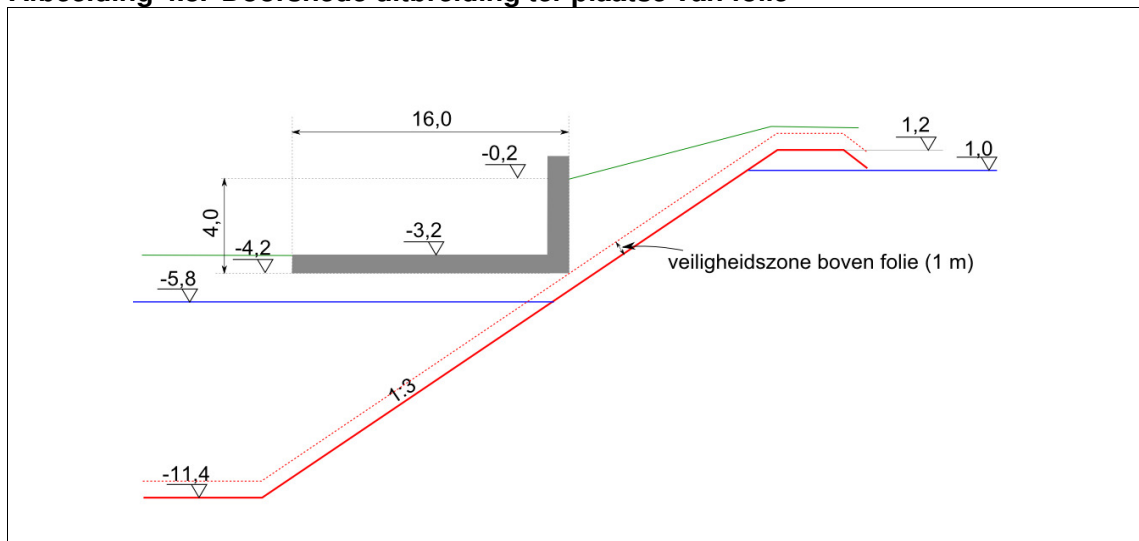
- aanbrengen waterkerende wand ter plaatse van het nieuwe landhoofd;
- aanbrengen palen ten behoeve van het dragen van de nieuwe spoordekken;
- aanbrengen prefab spoordekken;
- ontgraven onder de spoordekken bij een verlaagde waterstand;
- aanbrengen onderwaterbetonvloer en leegpompen bouwkuip;
- aanpassen bestaande landhoofden en aanbrengen definitieve landhoofd spoordek.

Omdat een groot deel van de constructiedelen vooraf vervaardigd worden, kunnen de werkzaamheden in 4 treinvrije perioden van elk 52 uur worden uitgevoerd. Uiteraard is de totale bouwtijd wel langer: 18 maanden voor de gehele spoorkruising bij gelijktijdige uitvoering aan beide zijden van de A27.

#### 4.5. Hoe wordt de verbreding ter plaatse van de folieolder gemaakt? – sleufmethode

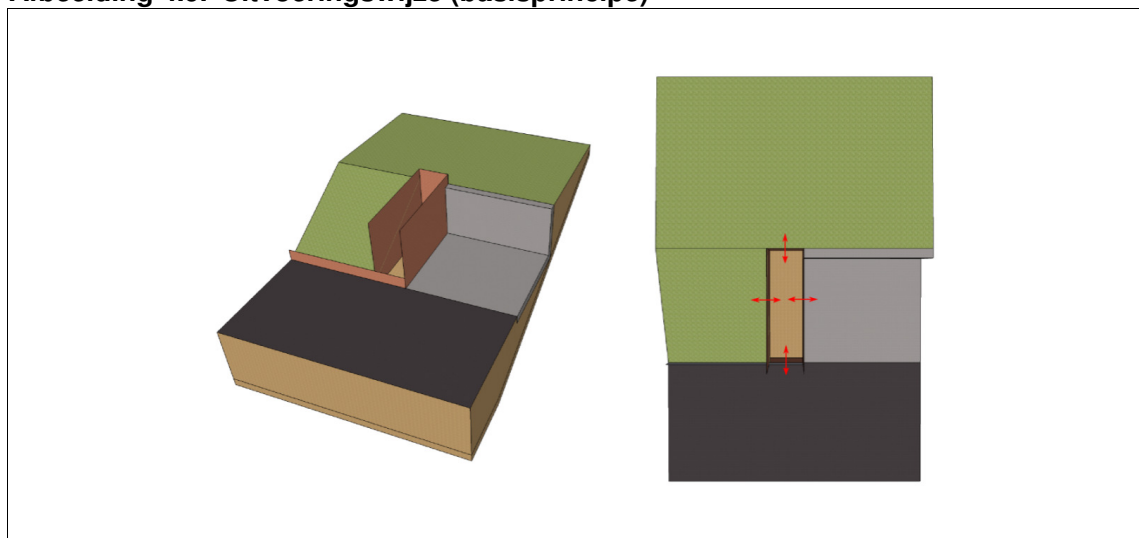
Op basis van eerdere onderzoeken is door Rijkswaterstaat een 3D wegontwerp van de verbreding opgesteld. Dit ontwerp is gekoppeld met het 3D model van de folie en de kunstwerken, zodat goed inzicht ontstaat in de locaties waar de uitbreiding de folie het dichtst nadert. Het blijkt dat de wegutbreiding nabij de noordoostelijke aansluiting op de schuine spoorkruising de folie het dichtst nadert, terwijl daar bovendien sprake is van een diepe ligging met grote waterdruk op de folie. De L-vormige keerconstructie waarmee de benodigde ruimte voor de wegutbreiding wordt gecreëerd, nadert de folie op deze plaats tot 1 meter. De benodigde uitbreidingsbreedte van de weg varieert enigszins, maar draagt meestal ongeveer 15 meter. Inclusief de wandconstructie is dan een ruimtebeslag van 16 meter benodigd.

**Afbeelding 4.8. Doorsnede uitbreiding ter plaatse van folie**



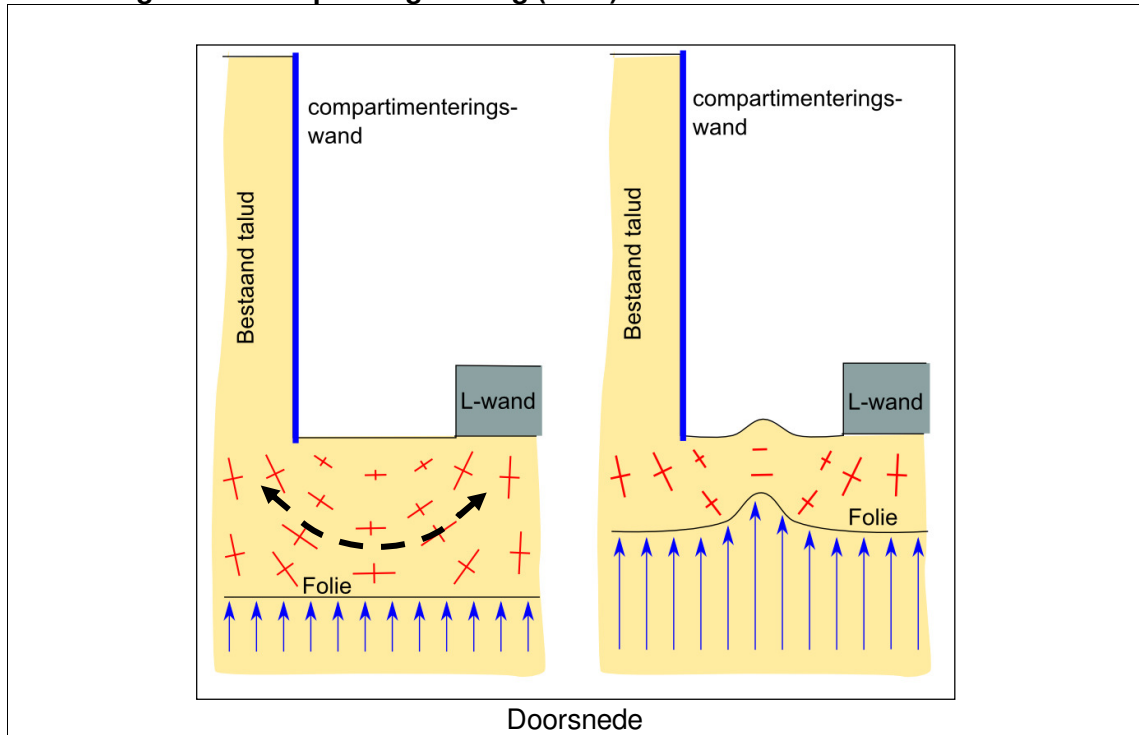
Anders dan bij de eerder door Witteveen+Bos onderzochte watervariant, gaat de uitgewerkte bouwmethode uit van 3 dimensionale spanningspreiding in de aanvulgrond op de folie. Hierdoor kan droog worden ontgraven binnen een smalle sleufbekisting. Direct na elke ontgravingslag wordt een L-vormig keerelement met dezelfde breedte geplaatst.

**Afbeelding 4.9. Uitvoeringswijze (basisprincipe)**



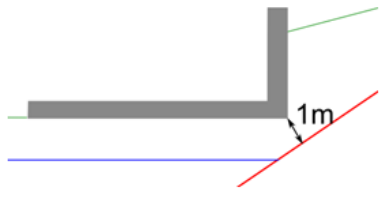
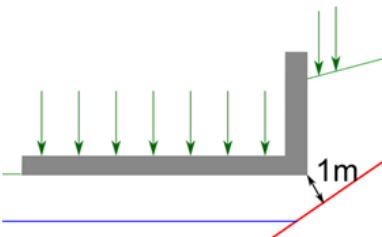
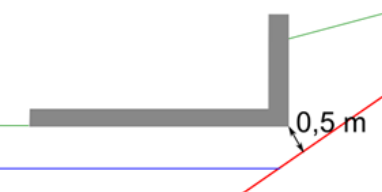
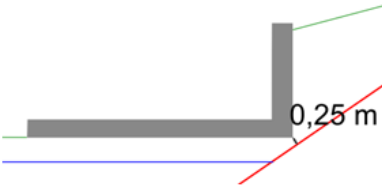
In feite treedt een soort boogwerking op waardoor het gewicht van de ontgraven grond wordt gecompenseerd door steundruk uit het naastgelegen (nog niet ontgraven) talud en de, in de voorgaande bouwstap, geplaatste L-vormige keerconstructie. Dit principe maakt het mogelijk om droog in plaats van nat te ontgraven, mits de verhouding van de ontgravingsbreedte en de resterende dikte van de aanvulgrond op de folie voldoende is om boogwerking te laten ontstaan (afbeelding 4.9, links). De folie barst op als deze verhouding uit balans is (afbeelding 4.9, rechts).

**Afbeelding 4.10. Principe boogwerking (links)**



Zoals beschreven is de kortste afstand tot de folie ter plaatse van de ontgraving bepalend voor de toelaatbare ontgravingsbreedte. Het is van groot belang dat de folie met zekerheid stabiel blijft. Er moet echter wel rekening gehouden worden met een aantal onzekerheden en uitvoeringsrisico's zoals onverwachte afwijkingen van de folieligging, te diepe ontgraving, extra belasting of afwijkende grondeigenschappen.

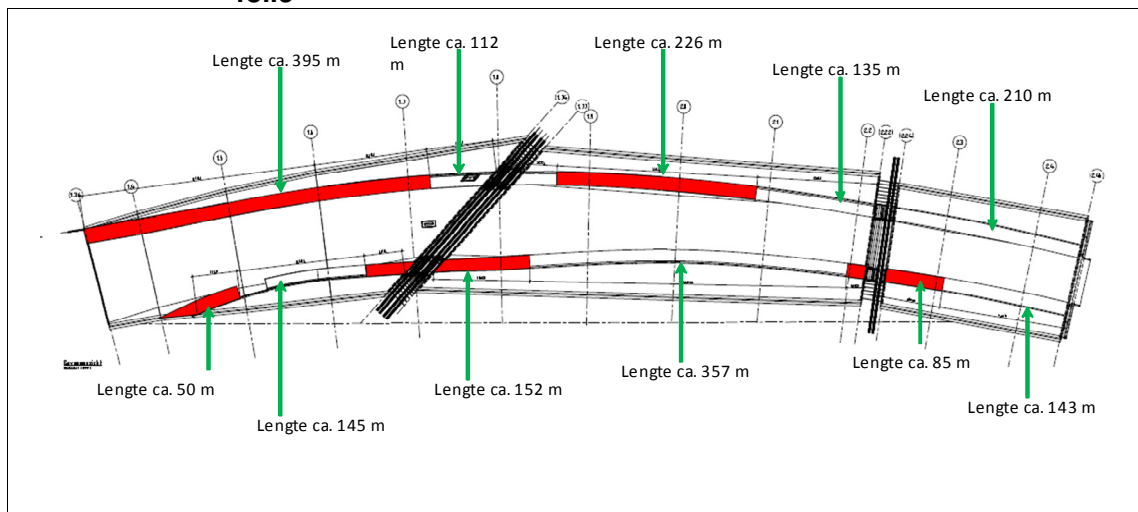
**Afbeelding 4.11. Variaties in berekening**

nr.	variant	illustratie
1	Basis variant	
2	Extra bovenbelasting	
3	Incl. folietolerantie	
4	Incl. folietolerantie en <del>overontgraving</del>	

Het blijkt dat met deze variaties de afstand tot de folie in een ongunstig geval slechts 0,25 meter bedraagt. Om dan toch voldoende boogwerking te waarborgen, zou de ontgravingsbreedte onrealistisch klein worden, zelfs met een breedte van 1,00 meter is geen veilige ontgraving mogelijk.

Als een grotere afstand tot de folie wordt aangehouden, dan blijkt dat de methode wel veilig uitvoerbaar is. Bij een afstand van 1,75 meter (optelling van nr. 1, 3 en 4 in afbeelding 4.11) blijft na aftrek van toleranties voldoende ruimte over voor boogwerking. De toelaatbare ontgravingsbreedte bedraagt dan 1,50 meter. Deze grotere afstand leidt er wel toe dat de benodigde verbreding over een groot deel van het tracégebied niet haalbaar is. In afbeelding 4.12 is dit in rood aangegeven.

**Afbeelding 4.12. Gevolgen voor benodigde uitbreiding bij afstand van 1,75 meter tot folie**



De uitvoering van deze methode duurt vanwege de smalle ontgravingsbreedte tamelijk lang. Uitgaande van 6 maal 5 sets sleufbekisting zal de realisatie ongeveer 3 jaar beslaan. Als het aantal sets wordt vergroot is uiteraard een korte uitvoeringstijd mogelijk.

#### **Belangrijk aandachtspunt: grondgesteldheid**

Bij de uitwerking van deze methode is ook gekeken naar de gevolgen als de grondaanvulling op de folie van matige kwaliteit is. Uit grondonderzoek voor de recent uitgevoerde vakwerkbrug naast het spoor Utrecht – 's Hertogenbosch blijkt dat dit niet ondenkbaar is. Als dit grondonderzoek rigide wordt geïnterpreteerd, en als representatief wordt verondersteld voor de gehele grondaanvulling op de folie, dan blijkt dat de situatie in geen geval stabiel is, zelfs de huidige situatie niet. In werkelijkheid zal de situatie niet zo slecht zijn – de foliepolder functioneert immers al 30 jaar zonder problemen – maar voordat wordt besloten tot gebruik van deze methode zal nauwkeurig de kwaliteit van de aanwezige grondaanvulling geverifieerd moeten worden.

#### **4.6. Hoe wordt de verbreding ter plaatse van de foliepolder gemaakt? – persmethode**

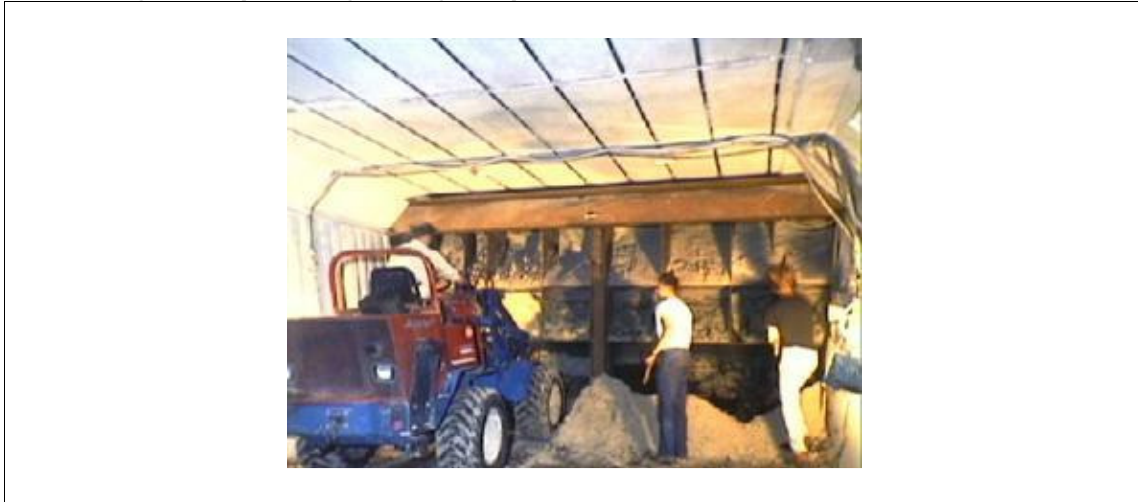
De in de vorige paragraaf beschreven sleufmethode maakt gebruik van 3D spreiding in de ondergrond om de folie tijdens de realisatie van de verbreding stabiel te houden. De methode blijkt gevoelig als de folie dicht wordt genaderd. Toch is dit op een aantal plaatsen wel nodig om de benodigde verbreding te kunnen realiseren. Met de persmethode is het mogelijk om de folie dichter te naderen. De benodigde tegendruk op de folie wordt tijdens ontgraven gewaarborgd door een persconstructie. Er is geen 3D spreiding in de ondergrond nodig en de ontgraving vindt, anders dan bij de vries- en sleufmethode, niet van bovenaf, maar van opzij plaats.

De persmethode is afgeleid van de bouwmethodiek van een pers- of trektunnel. Daar wordt op de voorzijde van de betonnen tunneldoorsnede een zogenaamde 'patatsnijder' gemonteerd waarmee een stabiel ontgravingsfront wordt gerealiseerd bij het doorpersen of -trekken van de tunnel. Een vijzelconstructie zet zich af tegen een zware constructie (dodebed), waardoor de gehele tunnel vervolgens stapje voor stapje door een weglichaam of spoordijk geperst of getrokken wordt. Bij elke vijzelslag loopt de grond door de 'patatsnijder' de tunnel in, zonder dat de stabiliteit van het graaffront in gevaar komt. Er zijn in Nederland perstunnels (formaat fietstunnel) uitgevoerd tot een lengte van circa 60 meter.



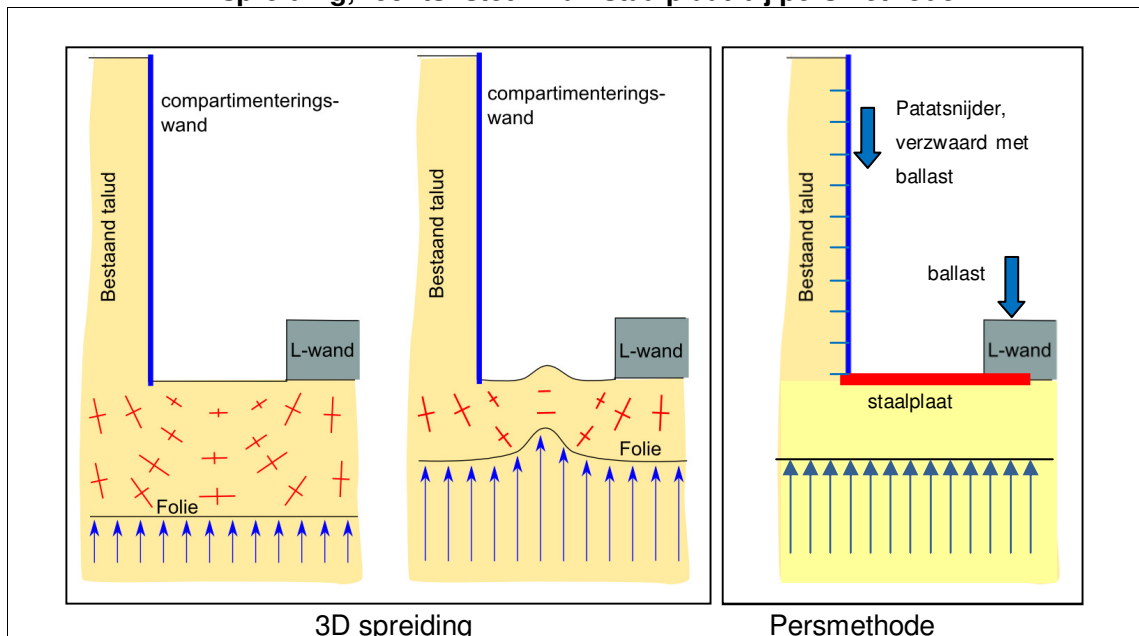
De persmethode werkt in essentie hetzelfde, met als belangrijk verschil dat door de open bovenzijde (er hoeft immers geen tunnel maar een keerwand te worden gemaakt) niet hoeft te worden gewerkt vanuit een gesloten (en van buitenaf moeilijk bereikbare) tunneldoorsnede. Hierdoor kan na elke vijzelslag relatief eenvoudig een prefab keerwandelement op de plaats van de vijzels worden aangebracht, zodat de werklengte telkens slechts enkele meters is. Verderop wordt dit nader uitgelegd.

**Afbeelding 4.13. 'patatsnijder' bij een pers- of trektunnel**



Zoals al genoemd, biedt de persmethode de mogelijkheid om het ontgravingsvlak (onder- en achterwand) te steunen met een staalplaat. Deze staalplaat verzorgt tijdens het persen van een keerwandelement de benodigde tegendruk op de folie, zodat geen 3D werking of compenserende waterdruk nodig is. In onderstaande afbeelding is het principe weergegeven voor een situatie waarbij het folie dicht wordt genaderd. Bij de sleufmethode barst het folie op (plaatje midden), bij de persmethode is dit niet het geval (plaatje rechts).

**Afbeelding 4.14. Verschil werking sleufmethode (3D) en persmethode, links: 3D spreiding, rechts: steun van staalplaat bij persmethode**





De staalplaat wordt gesteund door de 'patatsnijder' aan de linkerkant en het laatst geplaatste prefab keerwandelement aan de rechterkant. Zowel de patatsnijder als het laatst geplaatste keerwandelement worden voorzien van extra ballast voor de benodigde reactiekracht. Vanwege de beperkte overspanningslengte is een relatief dunne staalplaat al voldoende om tegendruk op de onderliggende grond en folie te waarborgen. Hierdoor kan de folie dichter worden genaderd en de benodigde verbreding van de A27 worden behaald.

### Hoe gaat het persen in zijn werk?

De werking van de persmethode kan het beste worden toegelicht aan de hand van een aantal faseringsstappen. Anders dan bij een perstunnel wordt bij de A27 zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de bereikbaarheidsvoordelen van de open keerwandconstructie. Bij elke vijzelslag wordt het persframe met de 'patatsnijder' één meter naar voren geperst. Aan de onder en zijkant (het snijvlak met de grond) is het persframe voorzien van een stalen staartstuk (staalplaat) die de grond steunt (zijkant) of tegendruk biedt op het bodemvlak (onderzijde). De grond die door de 'patatsnijder' naar binnen komt, wordt zijdelings of bovenlangs afgevoerd. Na intrekken van de vijzels van het persframe kan op het staartstuk een prefab keerwandelement worden geplaatst, aansluitend op z'n voorganger. Voor de volgende vijzelslag zetten de vijzels zich af tegen het laatst geplaatste keerwandelement. Horizontale en verticale geleiding wordt verzorgd door een damwand met betonnen deksloof aan de onderkant van het oorspronkelijk talud en een kraanspoor op betonplaten aan de bovenzijde van het talud.

**Afbeelding 4.15. Bouwfasering persmethode**

Fase	Beschrijving	Schets
1	Huidige situatie, de aanwezige rijbaan van de A27 is zwart weergegeven, de aanwezige folieconstructie is de onderkant van het model.	
2	<p>Aanbrengen van een stalen damwand met betonnen deksloof aan de onderzijde van het huidige talud, evenwijdig met de bermstrook van de A27. Deze damwand verzorgt de horizontale stabiliteit van de keerwand in de eindfase en geleidt het persframe met de 'patatsnijder' tijdens de realisatie.</p> <p>Aan de bovenzijde van het talud wordt een kraanspoor op betonplaten aangebracht voor het verticaal geleiden persframe met 'patatsnijder'.</p>	

<p>3</p>	<p>Vanuit de startpunten wordt het persframe met 'patatsnijder' evenwijdig met de A27 in het talud geperst, telkens met een vijzelslag van 1 meter. De beide kraansporen zorgen voor een exacte verticale geleiding, terwijl de damwand met betonbalk aan de teen van het talud de horizontale geleiding borgt. Met de vijzels kan het frame worden bijgestuurd. Zowel het persframe als het laatst geplaatste keerwandelement wordt voorzien van stalen ballastplaten voor de benodigde neerwaartse druk op het folie.</p>	
<p>4</p>	<p>Na elke vijzelslag van 1 meter worden de vijzels ingetrokken en de grond zijdelings of bovenlangs verwijderd. Zo ontstaat ruimte voor plaatsing van een nieuw keerwandelement. De ballastplaten worden verplaatst naar het nieuwe keerwandelement, zodat het evenwicht voor de volgende vijzelslag weer is gewaarborgd.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1: vijzelen</li> <li>2: grond verwijderen</li> <li>3: vijzels intrekken, patatsnijder borgen</li> <li>4: plaatsen keerwandelement</li> <li>5: verplaatsen ballast naar laatste element</li> <li>6: opnieuw stap 1</li> </ol>
<p>5</p>	<p>Nadat het persframe is gepasseerd kan het kraanspoor aan zowel de onder als de bovenzijde worden verwijderd. De keerwandconstructie is nu gereed en er kan asfalt en wegmeubilair worden aangebracht.</p>	

### Waar begint en eindigt het persen?

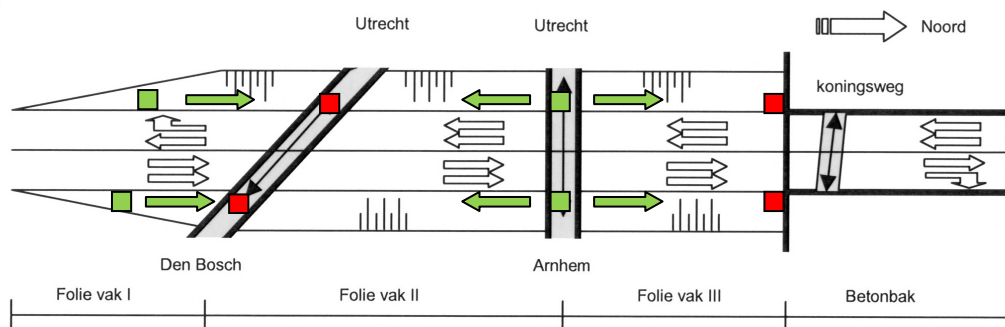
Er zijn 4 locaties van waar af wordt gestart met persen in 6 richtingen. Aan elke zijde van de A27 wordt gestart in de bouwkuip van de verlenging van de spoorkruising Utrecht – Arnhem, waar, tot het moment dat het dek voor het lokale verkeer wordt aangebracht, goede bereikbaarheid van bovenaf mogelijk is. Vanuit deze bouwkuip vertrekt het persframe zowel richting de Koningsweg als richting de spoorkruising Utrecht – 's Hertogenbosch. Zodra de persframes uit de bouwkuip van de spoorkruising zijn vertrokken, kan de spoorkruising worden afgebouwd voor gebruik door verkeer.

Tijdens de werkzaamheden is de parallelweg ("Tussen de Rails") voor lokaal verkeer naast het spoor Utrecht - Arnhem zonder maatregelen langdurig gestremd. Het is echter wel eenvoudig mogelijk om een lichte brug voor fietsers over of naast de bouwkuip aan te brengen. Bij het starten van het persen of het inschuiven van het spoordek, zal deze verbinding voor fietsers dan slechts korte tijd gestremd hoeven te zijn.

Aan de zuidzijde wordt aan weerszijde van de A27 ook een startpunt gerealiseerd nabij het begin van het folie. Vanaf deze locatie vertrekt het persframe in noordelijke richting naar de spoorkruising Utrecht – 's Hertogenbosch. Het persframe zet zich daar af tegen een grond-dam (dodebed).

Het persen eindigt telkens bij kunstwerk 15 (schuine spoorkruising Utrecht – 's Hertogenbosch) of de betonbak Amelisweerd. Bij deze aansluitingen moeten over korte afstand enkele andere technieken worden ingezet om de aansluiting goed mogelijk te maken.

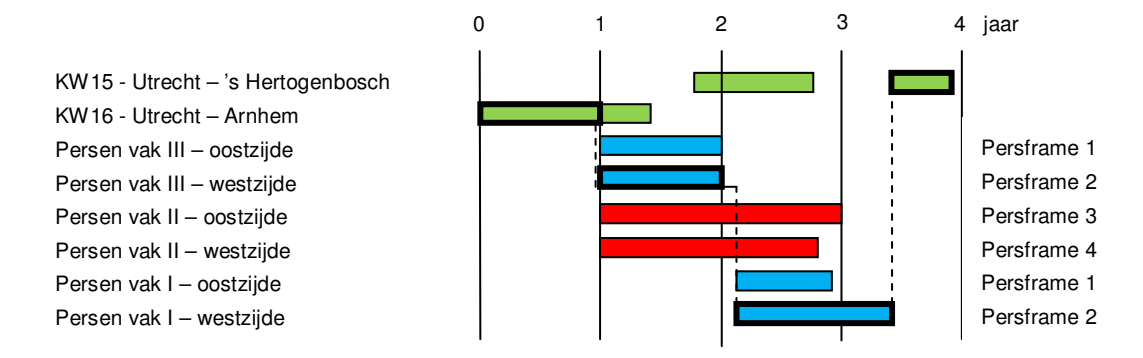
### Afbeelding 4.16. Start- en eindpunten persen en persrichting (groen = start)



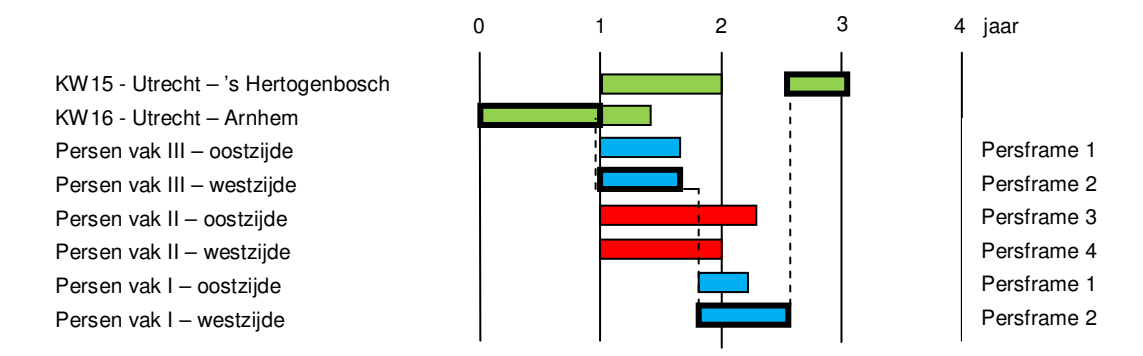
### Hoe lang duren de werkzaamheden?

De persmethode maakt gebruik van de bouwkuipen van de spoorkruisingen om te starten en te eindigen. Deze uitvoeringsmethode moet daarom in nauwe samenhang met de uitvoering van de uitbreiding van beide spoorkruisingen worden gepland. De netto realisatietijd van de spoorkruisingen bedraagt 18 maanden, maar door het tussentijdse gebruik als start of eindpunt van de persframes moet deze periode voor de schuine spoorkruising Utrecht – 's Hertogenbosch worden opgeknipt. In onderstaande afbeeldingen is de totale uitvoeringsduur van de folie met de persmethode, inclusief spoorkruisingen, weergegeven. Er worden in totaal 4 persframes ingezet, waarbij sommige frames 2 maal worden gebruikt. Er is gekeken naar een uitvoeringsduur bij reguliere werkweken als bij verlengde werkweken.

**Afbeelding 4.17. Uitvoeringsplanning bij werkdagen 8 uur, 5 dagen/week**



**Afbeelding 4.18. Uitvoeringsplanning bij werkdagen 12 uur, 6 dagen/week**



**Belangrijke aandachtspunten: grondgesteldheid, exacte folieligging en beproeving**

Met de persmethode kan de folie dicht worden genaderd. In de beschouwingen is uitgegaan van een mogelijke afwijking van de folieligging van 0,50 meter. Het is belangrijk om vast te stellen dat dit in de praktijk niet meer is. Juist bij de taluds zijn grotere afwijkingen niet ondenkbaar. Wellicht kan bij vaststelling van het definitieve alignment nader onderzoek worden verricht naar de kritische locaties, bijvoorbeeld aan de hand van archiefonderzoek naar de uitvoeringsregistraties.

Net als bij de sleufmethode is gekeken naar de invloed van een slechte kwaliteit grondaanvulling. Het blijkt dat de beschouwde keerwandelementen bij een droog volumegewicht van 14 kN/m<sup>3</sup> en een nat volumegewicht van 17 kN/m<sup>3</sup> nog voldoende stabiel zijn. Bij nog ongunstiger waarden zal wellicht een andere vorm of uitbreidingsbreedte moeten worden gehanteerd. Het is van belang dat deze grondgewichten bij nadere uitwerking nauwkeurig worden vastgesteld om een veilige constructie te kunnen realiseren.

De persmethode is gebaseerd op een samenstel van beproefde technieken, maar is al zodanig nog niet eerder toegepast in de praktijk. De methode behelst ook het dicht naderen van de folie, waardoor afwijkingen nagenoeg niet zijn toegestaan. Ongewenste en onvermoede effecten, zoals het opstropen van de grond en de folie door onjuiste vormgeving van het mes in de onderhoek, kunnen mogelijk toch optreden. Het is naar ons inzicht daarom verstandig om de methode vooraf onder vergelijkbare omstandigheden te testen buiten de daadwerkelijke projectlocatie.