

2000-BT-R0063/01

## **Evaluatie van een pilot-onderzoek naar mogelijke waterstofverbrossing van een voorgespannen betonnen viaduct**

*Contactpersoon*  
Ir A.J.M. Siemes

1 maart 2000

Ir. A.J.M. Siemes

Opdrachtgever : Bouwdienst Rijkswaterstaat  
t.a.v. ir G.G.A. Dieteren  
Postbus 59  
2700 AC Zoetermeer

Projectnaam : Pilot-onderzoek waterstofverbrossing  
Projectnummer : 006.00719/01.01

Aantal pagina's :  
Aantal tabellen :  
Aantal figuren :  
Aantal bijlagen :

## Samenvatting

Ten behoeve van het vaststellen of er sprake kan zijn van gevoeligheid voor waterstofverbrossing van voorspanstaal is een plan van aanpak opgesteld voor een pilot-onderzoek aan een betonconstructie waar een verdenking bestond ten aanzien van gevoeligheid voor waterstofverbrossing. Deze aanpak is toegepast op het viaduct Oosterhout in de A 27. Gebleken is dat in het viaduct daadwerkelijk voorspanstaal is toegepast, dat gevoelig is voor waterstofverbrossing.

Het pilot-onderzoek bestond uit de volgende delen:

?? voorbereiding (dossieronderzoek)

?? veldonderzoek

?? laboratoriumonderzoek

?? rapportage.

In het onderhavige rapport wordt een evaluatie gegeven van het pilot-onderzoek. Op grond van die evaluatie zijn adviezen gegeven voor aanpassing van het plan van aanpak.

In het rapport

## Inhoud

1	Inleiding .....	4
2	Waterstofverbrossing .....	5
3	Plan van aanpak onderzoek naar gevoeligheid voor waterstofverbrossing..	7
3.1	Afbakening .....	7
3.1.1	Vorbereiding .....	9
3.1.2	Veldonderzoek .....	9
3.1.3	Laboratoriumonderzoek .....	10
3.1.4	Rapportage .....	11
4	Evaluatie van het pilot-onderzoek viaduct Oosterhout.....	12
4.1	Algemeen .....	12
	Vorbereiding .....	12
4.2	Veldonderzoek .....	13
4.3	Laboratoriumonderzoek .....	18
4.4	Rapportage, conclusies en advies.....	19
5	Conclusies .....	27

## 1 Inleiding

In opdracht van Bouwdienst Rijkswaterstaat is door TNO Bouw een pilot-onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheid van corrosie van voorspanstaal en met name waterstofverbrossing. Dit onderzoek bestond uit het opstellen van een plan van aanpak en uit het uitvoeren van een onderzoek aan een constructie. Gekozen is voor het viaduct Oosterhout in de A 27.

De opdracht voor het opstellen van het plan van aanpak is gegeven via opdrachtbon 97-006932/PIHA d.d. 16 augustus 1999 en de opdracht voor het onderzoek aan de constructie is gegeven met opdrachtbon 97-006939/PIHA d.d. 28 oktober 1999. Het TNO Bouw rapport 2000-BT-0062 geeft een verslag van het onderzoek aan het viaduct. Het onderhavige rapport beoogt om een evaluatie te geven van het plan van aanpak en van het onderzoek en om adviezen te geven voor eventuele aanpassingen.

Waterstofverbrossing van voorspanstaal is in Nederland een betrekkelijk weinig voorkomende vorm van schade. Dit hangt naar alle waarschijnlijkheid samen met het feit dat via STUVO reeds in een vroeg stadium is onderkend, dat er soorten voorspanstaal op de Nederlandse markt dreigden te komen, die gevoelig waren voor waterstofverbrossing. Er zijn toen maatregelen genomen om de import daarvan te voorkomen, met name voor toepassing op de bouwplaats. Het beleid ten aanzien van toepassing in de prefabindustrie was echter milder.

Inmiddels is uit dossieronderzoek van de Bouwdienst Rijkswaterstaat gebleken, dat een gering aantal ter plaatse gestorte voorgespannen betonconstructies zijn gebouwd met voorspanstaal dat verdacht is ten aanzien van waterstofverbrossing. Voor zover bekend zijn in Nederland geen constructieve schades bekend van ter plaatse gestorte betonconstructies, die terug te voeren zijn op waterstofverbrossing. Er is wel schade opgetreden in voorgespannen buizen die op dit fenomeen zijn terug te voeren.

## 2 Waterstofverbrossing

*Het navolgende gedeelte is ontleend aan de Samenvatting van het TNO-Bouw rapport 2000-BT-0005 van 27 februari 2000, met als titel 'Literatuurstudie naar corrosie en brosse breuk van voorspanwapening'.*

De beschikbare informatie over corrosie van voorspanstaal is in de laatste jaren aanzienlijk uitgebreid en meer expliciet geworden. Het in dit rapport geschetste beeld bestrijkt het proces van corrosie van voorspanstaal, schadegevallen, typen voorspanstaal en hun gevoeligheid. Een aanzet wordt gegeven voor het beoordelen van staal uit bestaande constructies.

De verschillende stappen en invloedsfactoren bij het meest bedreigende mechanisme, waterstofverbrossing van voorspanstaal, worden beschreven. Dit mechanisme kan tot brosse breuk van het voorspanstaal leiden, reeds bij een zeer geringe mate van corrosie. Dit mechanisme kan optreden bij een combinatie van de volgende factoren: staal met hoge sterkte, relatief hoge trekspanning in het staal, en een agressief milieu. Agressief zijn vocht en eventuele opgeloste zouten, onder andere chloride en sulfaat.

Er zijn grote verschillen in gevoeligheid voor waterstofverbrossing van staaltypen die zijn geproduceerd volgens verschillende procédés. Dit betekent dat in gegeven omstandigheden met een bepaalde agressiviteit, de kans op waterstofverbrossing bij de ene staalsoort groot is en bij de andere staalsoort gering.

Voorspanstaal dat voor 1965 is vervaardigd met behulp van harden en ontlaten (veredelen) heeft een hogere gevoeligheid dan staal dat is vervaardigd op andere wijze (koud trekken of warm walsen). Individuele partijen gehard en ontlaten staal kunnen onderling sterk verschillen qua gevoeligheid, die is gerelateerd aan de treksterkte. Gehard en ontlaten staal met een verhoogde treksterkte ten opzichte van de nominale sterkte is bijzonder gevoelig voor waterstofverbrossing.

Waterstofverbrossing kan in de praktijk optreden door verschillende soorten ongunstige omstandigheden of combinaties daarvan.

1. Waterstofverbrossing kan worden veroorzaakt door verkeerd opslaan, waardoor roest optreedt vóór het inbouwen, condensatie van vocht of naar binnen lekken van bleedingwater in de voorspankanalen vóór het injecteren, waarbij kleine corrosieputten ontstaan in het voorspanstaal, die later groeien en tot breuk leiden. Dit verschijnsel wordt vóórcorrosie genoemd.
2. Na injectie kan bij onvolledig gevulde kanaalgedeelten door hetzij reeds aanwezige danwel nadien toegetreden vocht en agressieve stoffen, putcorrosie ontstaan die tot breuk kan leiden.

3. Een zekere mate van vóórcorrosie, die bij volledig gevulde kanalen onschuldig zou zijn, kan in ongevulde kanaalgedeelten wel leiden tot schade, doordat daarin plaatselijk het beschermende alkalische milieu ontbreekt.
4. Tenslotte kan chloride indringen in geheel gevulde voorspankanalen, met name bij scheuren in de betondekking, bij onvoldoende afgedichte voegovergangen of bij de spankoppes, waardoor corrosie en vervolgens waterstofverbrossing kunnen optreden.

Corrosie voor en tijdens de bouwphase zijn voor gevoelig voorspanstaal vermoedelijk doorslaggevend voor het optreden van waterstofverbrossing. Breuk kan ook na vele jaren nog optreden. Onvolledige vulling van de voorspankanalen en indringing van dooizout zijn bijkomende factoren die de kans op schade verder vergroten.

Bij onderzoek aan een bestaande constructie kan de gevoeligheid van voorspanstaal voor waterstofverbrossing stapsgewijs worden beoordeeld. Als men uit archieven de indruk heeft dat het staal in een bepaalde constructie van het gevoelige type is (gehard en ontlaten voorspanstaal van voor 1965), dan geeft bepalen van de treksterkte een eerste (snelle) indruk van de gevoeligheid. Een hogere treksterkte dan de nominale waarde geeft aan dat het materiaal zonder meer verdacht is. Indien de treksterkte van het voorspanstaal gelijk is aan de nominale waarde, kan er ook nog sprake zijn van gevoeligheid voor waterstofverbrossing. Het materiaal is minder verdacht, maar dient wel nader onderzocht te worden. Uitvoeren van de DIBt proef geeft in beide gevallen uitsluitsel over de werkelijke gevoeligheid. Bij materiaal met een te hoge treksterkte ligt het voor de hand om de staven met de hoogste treksterkte te selecteren voor de DIBt-test. Als de standtijd in deze proef meer dan 2000 uur bedraagt, is de kans op brosse breuk klein.

Voor het beoordelen van een betonconstructie met verdacht voorspanstaal moet ook gekeken worden naar de kwaliteit van de corrosiebescherming. Hiervoor moet de graad van vulling van de voorspankanalen, en de aanwezigheid van scheuren en andere toegangskanalen voor agressieve stoffen worden vastgesteld. Indien dergelijke toegangskanalen aanwezig zijn, of op in dit opzicht verdachte plaatsen, is het noodzakelijk om de alkaliteit c.q. het chloridegehalte van de grout te bepalen.

### 3 Plan van aanpak onderzoek naar gevoeligheid voor waterstofverbrossing

#### 3.1 Afbakening

In hoofdstuk 2 is aangegeven, dat er in wezen een viertal omstandigheden zijn, die bij gevoelig voorspanstaal kunnen leiden tot draadbreuk:

1. Verkeerde opslag van het voorspanstaal alvorens het in te bouwen, condensatie van vocht of naar binnen lekken van bleedingwater in de voorspankanalen vóór het injecteren (vóórcorrosie).
2. Onvolledig injecteren van voorspankanalen.
3. Voorcorrosie in combinatie met onvolledig gevulde spankanalen (te lage pH).
4. Indringen van chloride.

Het vaststellen of deze gebreken daadwerkelijk aanwezig zijn is niet altijd even gemakkelijk [Mietz, 1999].

Breuk hangt dus in belangrijke mate samen met vóórcorrosie in de bouwphase, met onvolledig gevulde spankanalen of met gebreken in de constructies waardoor chloride bij de voorspanwapening kan komen. Onderzoek aan een constructie, waar een verdenking bestaat ten aanzien van gevoeligheid voor waterstofverbrossing, dient bijgevolg ten eerste te bestaan uit de constatering, dat een voor waterstofverbrossing gevoelig voorspanstaal is gebruikt. Daarnaast moet er dus omstandigheden zijn waardoor de corrosie wordt opgewekt. Onderzoek moet in dit geval dus betrekking hebben op de volgende zaken:

- A. verdenking ten aanzien van gevoeligheid van het voorspanstaal voor waterstofverbrossing
- B. aanwezigheid van vóórcorrosie
- C. onvolledige vulling van voorspankanalen
- D. gebreken in de constructie die kunnen leiden tot initiatie van corrosie.

Deze constatering kunnen alleen gedaan worden door onderzoek aan de constructie te verrichten. De vraag is echter welk onderzoek moet worden gedaan en met welke intensiteit.

Ad A Verdenking van gevoeligheid voor waterstofverbrossing.

Om vast te stellen of gevoelig voorspanstaal is gebruikt moeten de volgende werkzaamheden worden verricht:

?? dossieronderzoek teneinde een gefundeerde verdenking te krijgen; de te raadplegen documenten zijn het bestek, de wapeningstekeningen, de constructieberekeningen, de bouwverslagen en correspondentie; het probleem bij het dossieronderzoek is vaak onvolledige revisie bij wijzigingen die tijdens de bouw zijn doorgevoerd; uit dossieronderzoek kan ook blijken of zich tijdens de uitvoering al pro-

blemen hebben voorgedaan (volgens Duitse bronnen vindt 95 % van de breuken plaats in de uitvoeringsfase)

- ?? visuele beoordeling van voorspanstaal in de constructie; de vorm van het staal geeft een eerste aanwijzing, brosse breuken of microscheuren geven verdere indicaties evenals de aanwezigheid van corrosie
- ?? onderzoek aan voorspanstaal uit de constructie; aanwijzingen kunnen komen uit visuele beoordeling breukvlakken, microscheuren of corrosie; door middel van onderzoek kan de treksterkte, de standtijd in een DIBt-test, de microstructuur van het staal worden beoordeeld.

#### Ad. B Aanwezigheid van vóórcorrosie.

Om de aanwezigheid van voorcorrosie te kunnen vaststellen moet steekproefsgewijs onderzoek aan het toegepaste voorspanstaal worden uitgevoerd. Verder zou uit bouwverslagen kunnen blijken, dat er tijdens de bouw corrosieschade in het voorspanstaal is geconstateerd. In wezen gaat het bij het constateren van voorcorrosie om het vaststellen van putcorrosie. Het onderscheid tussen oppervlakkige roest (vliegroeest) en putcorrosie is op het werk moeilijk te maken. In dat stadium gaat het om de vaststelling of er al dan niet sprake is van corrosie van het voorspanstaal.

#### Ad. C-D Onvolledige vulling van voorspankanalen of gebreken in de constructie die kunnen leiden tot initiatie van corrosie

Om deze gebreken te kunnen vaststellen kan semi-destructief onderzoek worden gedaan (voorspanstaal blootleggen en inspecteren) of kan niet-destructief onderzoek (NDO) worden verricht. NDO kan bijvoorbeeld worden gedaan met radar, met radiografie of met metingen van het electro-chemische corrosieproces. Uiteraard is een combinatie van deze technieken ook mogelijk. De inspanning die verricht moet worden is over het algemeen groot. Deze methoden komen daardoor meer in aanmerking voor nader onderzoek. Als eenmaal is vastgesteld, dat gevoelig voorspanstaal is toegepast, dringt zich meteen de vraag op of dat ook tot corrosie aan het voorspanstaal heeft geleid of tot draad- en bundelbreuken.

In dit stadium is het nog niet zinvol om al te diep in te gaan op het onderdeel 'nader onderzoek of maatregelen'. Hiervoor moeten resultaten worden afgewacht van een aantal uitgevoerde basis-onderzoeken naar kunstwerken waar een verdenking bestaat ten aanzien van de aanwezigheid van voorspanstaal dat gevoelig is voor waterstofverbrossing. Om een indruk te geven van de werkzaamheden die in dit stadium verricht zouden kunnen worden, kan worden vermeld dat dit kan gaan om:

- ?? uitbreiding ten opzichte van het basis-onderzoek van het aantal meetlocaties
- ?? opsporen van defecten, die brosse breuk als gevolg van waterstofverbrossing kunnen initiëren
- ?? monitoren van het gedrag van een constructie.

Het basisonderzoek bestaat uit de volgende onderdelen, die hierna worden toegelicht:

- ?? voorbereiding (dossieronderzoek en selectie monsterplaatsen)



- ?? veldonderzoek (maatregelen, monsterneming en herstel)
- ?? laboratoriumonderzoek (grout en voorspanstaal)
- ?? rapportage.

### 3.1.1 Voorbereiding

#### *Dossieronderzoek*

- ?? Vaststelling bouwjaar
- ?? Vaststelling toegepaste staalsoort in de voorspanning, te weten fabrikaat en type
- ?? Vaststelling eigenschappen van staal in leveringstoestand op basis van toenmalige normen en keuringsrapporten
- ?? Vaststelling samenstelling toegepaste injectiemortel op basis van beschikbare besteksgegevens
- ?? Globale bepaling van de ligging van de voorspanning

#### *Selectie monsterplaatsen op basis van:*

- ?? Bereikbaarheid
- ?? Conditie van het betreffende constructiedeel; hiertoe wordt het betreffende deel van het viaduct visueel geïnspecteerd, in verband met de zichtbaarheid en de bereikbaarheid zal dit voornamelijk vanaf de onderzijde plaatsvinden en zich concentreren op de potentiële meetplaatsen
- ?? Constructieve mogelijkheden (het uitnemen van staalmonsters die ‘gemist’ kunnen worden) en de conditie van het betreffende constructiedeel

### 3.1.2 Veldonderzoek

#### *Blootleggen van de voorspanning*

- ?? Inmeten van de voorspanning bij de beoogde meetplaatsen.
- ?? Hakken van een verticale sleuf in het beton tot aan de beoogde voorspanning, teneinde de exacte locatie van de voorspanning te bepalen.
- ?? Openhakken van het beton ter plaatste van de beoogde voorspanning over een lengte van 1 m en een breedte van ongeveer 0,3 m en een diepte die reikt tot halverwege de diameter van het betreffende voorspanelement.
- ?? Voor zover nodig uitslijpen van de zachtstaalwapening in voornoemde sleuf.
- ?? Voorzichtig doorslijpen van de omhullingsbuis van het betreffende voorspanelement.

#### *Onderzoek vier monsterlocaties*

- ?? Visuele beoordeling van het beton rondom de voorspanning, de omhullingsbuis en de groutvulling.
- ?? Duurzaamheid beton rondom de voorspanning (carbonatatatie van het beton en locatie voorspanning ten opzichte van het oppervlak).
- ?? Selectie te bemonsteren voorspanning.

*Monstername*

- ?? De uitgeslepen delen van de omhullingbuis worden verzameld.
- ?? Het nemen van stofmonsters van het beton rondom de voorspanning ter bepaling van het chloridegehalte. Per meetplaats twee monsters.
- ?? Het nemen van een groutmonsters rondom de voorspanning. Na het verwijderen van een deel van de omhullingbuis wordt met een kleine beitel een groutmonster genomen. Voor zover mogelijk wordt een oordeel gegeven over de vullingsgraad van de omhullingbuis.
- ?? Het met beleid uitslijpen van de twee beoogde secties van de voorspanning over een lengte van circa 0,6 m. Het werk wordt er op gericht om de schade aan naastliggende voorspanstrengen zoveel mogelijk te beperken.

*Herstel van de secties*

- ?? Herstel van de meetplaats door middel van een handmatige reparatie volgens CUR-Aanbeveling 54, toepassingsklasse Rc2, milieuklasse 3.

**3.1.3 Laboratoriumonderzoek***Monsters van het beton rondom de voorspanning*

- ?? Vaststelling chloridegehalte in het beton (4-maal twee bepalingen)

*Monsters van de groutvulling*

- ?? Visuele beoordeling van de omhullingbuis aan binnen- en buitenzijde.
- ?? Visuele beoordeling van de monsters van de groutvulling.
- ?? Vaststelling alkaliteit groutvulling (4 bepalingen).
- ?? Vaststelling van het chloridegehalte in de groutvulling (4 bepalingen).
- ?? PFM-onderzoek aan microstructuur groutvulling: verdichting, kwaliteit, scheurvorming etc. (1 bepaling, waarbij 4 monsters zijn verwerkt tot één slijpplaatje door ze in fluorescerende hars te gieten).

*Monsters van het voorspanstaal*

- ?? Visuele beoordeling van het voorspanstaal (breuken en scheuren) op het blote oog en met behulp van penetrantvloeistof en magnetiseren.
- ?? Kwantificering van het voorkomen van corrosie op de genomen monsters: aantal, locatie, grootste afmeting en situering van de corrosieplekken voor alle monsterdraden.
- ?? Beoordeling van de microscheurvorming in de voorspanndraden met behulp van magnetische technieken.
- ?? Analyse chemische samenstelling staal (1 bepaling)
- ?? Microscopische analyse microstructuur van het staal (4 bepalingen)
- ?? Microscopische analyse van de aard en ernst van de corrosie: lichtmicroscopie dan wel REM (4 bepalingen, optioneel en alleen als er sprake is van corrosie)

- ?? Analyse corrosieproducten: EDAX (4 bepalingen, optioneel en alleen als er sprake is van corrosie)
- ?? Bepaling gevoeligheid voor waterstofopname en waterstofverbrossing middels expositieproef (8) en daaropvolgende buigproeven (8 bepalingen)
- ?? Mechanische beproeving staal (treksterkte, breukrek, insnoering en breuktype visueel; 8 bepalingen)

### **3.1.4 Rapportage**

*Rapportage onderzoek aan het viaduct*

- ?? De resultaten worden gerapporteerd in een TNO-rapport.

## 4 Evaluatie van het pilot-onderzoek viaduct Oosterhout

### 4.1 Algemeen

Bij het selecteren van het viaduct Oosterhout (Figuur 4.1) als object voor het pilot-onderzoek heeft het feit dat het viaduct goed overzichtelijk is en tevens goed bereikbaar een belangrijke rol gespeeld. Na het uitvoeren van het pilot-onderzoek kan worden vastgesteld dat deze keuze geen wezenlijk eigen invloed heeft gehad op de evaluatie van het pilot-onderzoek. De hierna volgende conclusies zijn algemeen geldig.



Figuur 4.1 Aanzicht van een helft van het viaduct (viaduct is symmetrisch)

### Voorbereiding

Uit het door Rijkswaterstaat uitgevoerde dossieronderzoek is naar voren gekomen, dat er in het viaduct Oosterhout gebruik zou zijn gemaakt van een voorspansysteem, waarbij waterstofverbrossing zou kunnen optreden. Dit kon worden afgeleid uit het gebruik van de merknaam Sigma, de staalkwaliteit St 145/160 en het bouwjaar omstreeks 1960. In het pilot-onderzoek is dit staal ook daadwerkelijk aangetroffen.

Voor het doelmatig plannen van het pilot-onderzoek bleek het feit dat de relevante werktekeningen nog beschikbaar waren van grote invloed. Op de beoogde onder-

zoekplaatsen bleek de aangegeven voorspanning aanwezig te zijn. Met name voor voorspanning die relatief diep in de constructie kan liggen is het van groot belang dat tekeningen en constructie goed met elkaar overeenstemmen.

Tijdens de uitvoering van het veldonderzoek aan het viaduct Oosterhout bleek, als gevolg van de symmetrie die was betracht bij het selecteren van meetplaatsen, dat steeds twee meetplaatsen waren gekozen in dezelfde streng. Bij een aantal van 44 draden per streng bestaat er dus een kans van 2,3 % (1/44) dat uit die streng staalmonsters zijn genomen uit dezelfde draad. Aangezien twee monsters uit twee strengen zijn genomen, is de kans 4,5 % (2/44) dat er in het onderzoek monsters van verschillende meetplaatsen uit dezelfde draad afkomstig zijn. (Als gekeken wordt naar de beproevingsresultaten ten aanzien van treksterkte en van standtijd, dan valt daar niet uit af te leiden dat verschillende monsters uit dezelfde draad afkomstig waren.)

## 4.2 Veldonderzoek

Bij het maken van een sleuf in het beton is er in eerste instantie van uitgegaan dat de sleuf een breedte zou moeten hebben van 0,3 m. De voorspankanalen bij de monsterplaatsen lagen globaal 150 mm diep in het beton. Uitgaande van een beginbreedte van 0,3 m bleek dat het met een taps naar binnen lopend gat goed mogelijk was om de voorspanning te bereiken (figuur 4.2). De breedte en de vorm van de sleuf is afhankelijk van de diepteligging van de voorspanning. Met zorgvuldig werken kan worden bereikt dat de omhullingsbuis ongeschonden blijft.



Figuur 4.2 Sleuf in zijkant van een koker tot aan een voorspankanaal

Met behulp van een miniatuur slijpschijf kan vervolgens een snede in de omhullingsbuis worden gemaakt. Vervolgens kan zonder al te veel moeite de omhullingsbuis worden omgevouwen en verder worden geopend (Figuur 4.3). De grout in de omhullingsbuis bleef daarbij nagenoeg ongeschonden, waardoor een goed beeld van de vulling van de grout werd verkregen.



Figuur 4.3 Opegevouwen omhullingsbuis (zichtbaar aan de bovenzijde van de foto) en groutvulling (contramal van de omhullingsbuis afgetekend in grout)

Bij het uitnemen van monsters van het voorspanstaal is het van belang om zo min mogelijk schade en gevolgschade te maken. De staalmonsters zijn daarom met een miniatuur-slijpschijf uit de constructie gehaald. Dit leverde een goed resultaat op (Figuur 4.4.)



Figuur 4.4 Doorgeslepen draden. De naastliggende draden zijn niet beschadigd.

Om naastliggende draden niet onnodig te beschadigen moet de volgende werkwijze worden gehanteerd. De eerste draad moet doorgeslepen worden. Daarbij ontstaat schade aan de naastliggende draden. Als deze vanaf de vrij gekomen kant worden doorgeslepen, kan schade aan de volgende draden zoveel mogelijk worden vermeden. Bij het doorslijpen kan niet worden vermeden dat betrekkelijk veel slijpschijven breken. Het miniatuurgereedschap is niet echt bedoeld voor dit soort werk.

Een van de parameters die van invloed is op het ontstaan van brosse breuk, is de trekspanning in het voorspanstaal. Uit het constructief ontwerp van een kunstwerk kan worden afgeleid hoe groot de aanwezige spanning in het voorspanstaal zou moeten zijn. Als gevolg van toleranties, aanwezige belastingen, niet in rekening gebrachte opgelegde vervormingen (bijvoorbeeld krimp, kruip, zettingen en temperatuurvervormingen) en relaxatie, kan de heersende spanning in het voorspanstaal verschillen van de ontwerpwaarde. Het zou inzichtverhogend werken als bekend zou zijn hoe groot de heersende trekspanning in het voorspanstaal zou zijn.

In het pilot-onderzoek is op drie manieren geprobeerd om inzicht te krijgen in het niveau van de trekspanning:

- ?? plakken van meetpuntjes op het gedeelte van de draad dat wordt bemonsterd, waarna de afstand tussen de meetpuntjes wordt gemeten voor (onder spanning) en na (spanningsloos) het bemonsteren
- ?? trekken van potloodstreepjes op de te bemonsteren draad en op de naastgelegen draad; na het nemen van het monster wordt gekeken hoeveel korter de spanningsloze draad is ten opzichte van afgetekende draad die onder spanning in de constructie achter blijft
- ?? meten van de spleetbreedte en de lengte van het losse gedeelte na het doorslijpen van een voorspandraad; de spleetbreedte moet hierbij worden gecorrigeerd voor de breedte van slijpsnede die door de slijpschijf wordt veroorzaakt.

Bij een voorspangraad van 60 % bedraagt de verlenging  $\Delta l$  van de voorspandraad, bij een lengte van bijvoorbeeld 1000 mm:

$$\Delta l = \frac{E \cdot A}{f_{vsp}} \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot 1000 = 0,6 \cdot 1600 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot 1000 = 2 \text{ mm}$$

Dit betekent dat met een nauwkeurigheid van minder dan 0,2 mm moet worden gemeten om een afwijking in de trekspanning van 10 % te kunnen vaststellen.

In figuur 4.5 is een voorbeeld gegeven van het uitvoeren van de meting met behulp van de meetpuntjes. De meetpunten bestonden uit roestvast stalen kogeltjes die door middel van een twee-componenten lijm (X60) op de te meten draad zijn bevestigd. Er zijn drie meetpunten aangebracht, waardoor de meting in drievoud kan worden uitgevoerd (tussen 1-2, 2-3 en 1-3). De meting is uitgevoerd met een afneembare rek-opnemer, waarvan de meetnauwkeurigheid 0,01 mm bedroeg. Bij het doorslijpen van de betreffende voorspandraad bleken de kogeltjes los te komen, waardoor



de meting van de spanningsloze staaf niet kon worden uitgevoerd. Kennelijk is de kunststoflijm niet in staat om de snelle vervorming, die in het voorspanstaal optreedt bij het doorslijpen, op te nemen.



Figuur 4.5 Meetpunten voor het meten van de lengteverandering

Het meten van de verkorting van de staaf op basis van aftekenen door middel van potloodstreepjes of door het meten van de spleetbreedte na doorslijpen was op voorhand al omstreden in verband met de tenminste vereiste nauwkeurigheid van 0,2 mm bij 1 m meetlengte. Beide metingen hebben een afleesnauwkeurigheid van 0,5 mm. Aangezien de meting op basis van de meetpuntjes geen resultaat opleverde, is toch besloten om deze meting uit te proberen. De meting is op twee plaatsen uitgevoerd.

De resultaten van de metingen naar de spleetbreedte zijn weergegeven in tabel 4.1. De resultaten van de metingen naar de verkorting met behulp van de potloodstrepen zijn weergegeven in tabel 4.2. De gemeten verplaatsingen zijn gemeten met een nauwkeurigheid van 0,5 mm.

Het meten van de verkorting van het voorspanstaal is bij beide methoden te onbetrouwbaar om uitspraken te kunnen doen over de aanwezige voorspanning in de betreffende draden. De meting van de verkorting is bij meetplaats ZW voor beide meetmethoden globaal een factor 2 verschillend ten opzichte van de waarde bij meetplaats NW. De grootte van de aanwezige trekspanning is bij meetplaats NW globaal  $2,7 \cdot 10^3 / 2 \cdot 10^{-6} = 1350 \text{ N/mm}^2$ . Bij meetplaats ZW is dat globaal  $5,4 \cdot 10^3 / 2 \cdot 10^{-6} = 2700 \text{ N/mm}^2$ . Bij meetplaats NW ligt het spanningniveau op 85 % van de breuksterkte en bij ZW is dat 165 % van de breuksterkte. Vooral dit laatste resultaat



Tabel 4.1 Vervorming van voorspanstaal na doorslijpen, gemeten aan de spleetbreedte

Meetplaats	Voorspandraad	Spleet (mm)	Afstand (mm)	Inkorting (mm/m)
NW	1	2,0	880	2,3
NO	1	2,5	circa 800 775	2,8
	2	2,5		2,8
	3	2,5		2,8
	4	3,0		3,4
ZW	1	4,0	circa 800 775	5,1
	2	4,0		5,1
	3	4,0		5,1
	4	4,5		5,7

Tabel 4.2 Vervorming voorspanstaal na doorslijpen, gemeten door aftekenen

Meetplaats	Voorspandraad	Afstand (mm)	Verplaatsing (mm)	Inkorting (mm/m)
NW	1	735	2,0	2,7
		560	1,5	2,7
		360	1,0	2,8
		115	0,5	4,3
ZW	1	742	4,0	5,4
		684	3,5	5,1
		388	3,0	7,7
		222	1,0	4,5

illustreert dat de metingen onbetrouwbaar zijn en ook niet in de buurt van reële waarden uitkomen. Er zal op een principieel andere wijze gemeten moeten worden wil de meting geschikt zijn voor het bepalen van de mate van voorspannen. Het is zelfs waarschijnlijk dat meten aan enkele draden geen betrouwbaar resultaat oplevert, omdat bijvoorbeeld als gevolg van wrijving tussen de voorspanstrengen en de omhullingsbuis en buiging en wringing in de strengen geen gelijkmatige spanningsbouw optreedt in de afzonderlijke draden van een streng. Bij het viaduct Oosterhout bleek zelfs één van de doorgeslepen draden niet gespannen te zijn.

Tijdens het onderzoek aan de constructie is geprobeerd om met behulp van magnetiseren en met behulp van contrastvloeistof een beeld te krijgen van eventuele microscheuren in het oppervlak van de voorspandraden. Het magnetiseren is door BAM uitgevoerd, die hiermee in Duitsland ervaring heeft opgedaan. TNO Bouw heeft met de contrastvloeistof gewerkt. Beide methoden bleken in de praktijk niet betrouwbaar te zijn. Restanten van het grout die op het staaloppervlak achter zijn gebleven, verstoorden het beeld. De metingen kunnen beter in het laboratorium worden uitge-

voerd, waarbij kan worden volstaan met één methode. Hiervoor zou het magnetiseren moeten worden gekozen, aangezien BAM daarmee goede ervaringen heeft opgedaan.

Voor het herstel van de schade die het onderzoek aan de constructie heeft veroorzaakt is voor het beton uitgegaan van een handmatige reparatie. Oorspronkelijk was voorzien om te repareren met spuitbeton. Dit zou echter problemen opleveren met het goed vullen van de openingen achter de omhullingsbuis. Met handmatig werken kon dit probleem omzeild worden.

Op voorhand was beslist om de weggenomen zachtstaalwapening en de voorspanwapening niet te herstellen. Om voldoende aanhechtlengthe te krijgen voor de bij te leggen staven, zou het gat in het beton veel groter gemaakt moeten worden. Het voordeel van het bijleggen van staven weegt niet tegen het nadeel van deze extra schade. De effectiviteit van bijgelegde voorspanstaven is bovendien beperkt, als deze niet onder spanning worden aangebracht. Het zou ook mogelijk zijn om koolstofvoorspanning onder spanning op het beton te plakken. De geringe mate van beschadiging aan de voorspanelementen rechtvaardigt een dergelijke ingreep niet.

### 4.3 Laboratoriumonderzoek

#### *Beton en grout*

Van zowel het beton als het grout zijn chloridemonsters geanalyseerd. Er is geen verhoogd chloridegehalte geconstateerd. In goed gevulde voorspankanalen en dicht en niet gescheurd beton is het ook niet waarschijnlijk dat chloride indringt tot grotere diepten. Geadviseerd wordt om de noodzaak tot en de locatie van het nemen van chloridemonsters niet van tevoren strak vast te leggen. De leidraad bij de keuze moet zijn:

- ?? er moet sprake zijn van corrosieschade aan de voorspanning; in dat geval moet tenminste het chloridegehalte worden bepaald van het grout, indien er aanwijzingen zijn dat chloride via het beton is aangevoerd moet ook een bepaling worden gedaan in het omringende beton
- ?? bij gebreken (scheuren, grindnesten e.d.) in het beton ter plaatse van de locaties die bemonsterd worden dient een chloridegehaltebepaling te worden uitgevoerd
- ?? de aanwezigheid van gebreken in het beton die kunnen leiden tot een aanvoer van chloride naar de voorspanwapening
- ?? op plaatsen waar veel dooizouthoudend water over het beton kan stromen (bij voegen, verstopte hemelwaterafvoeren e.d.) moet het chloridegehalte worden bepaald.

Het is bekend [Mietz, 1999] dat brosse breuk in voorspanstaal kan optreden in gevallen waarbij ogenschijnlijk geen gebreken aanwezig zijn die waterstofverbrossing zouden kunnen initiëren. Bij nader inzien blijken deze gebreken wel degelijk aanwezig te zijn. Er moet dus rekening worden gehouden met de mogelijkheid dat tijdens

het uitvoeren van het basisonderzoek de aanwezigheid van gebreken niet direct wordt onderkend. Dit pleit er voor om in het basisonderzoek een aantal bepalingen, zoals het meten van het chloridegehalte, de carbonatatiediepte en het verrichten van PFM, routinematig uit te voeren. In het onderzoek aan het viaduct Oosterhout zijn uit deze bepalingen geen gebreken naar voren gekomen. Dit lijkt het vertrouwen in dat viaduct te versterken, ondanks het feit dat gevoeligheid voor waterstofverbrossing is geconstateerd. Op grond van het voorgaande moet echter gesteld worden, dat dit vertrouwen niet geheel gerechtvaardigd is.

#### *Voorspanstaal*

Het onderzoek aan het voorspanstaal is uitgevoerd door de Duitse onderzoekinstelling BAM. De beproevingen betroffen in wezen:

- ?? Uitvoeren van DIBt test op 8 staven afkomstig van 4 meetplaatsen. Ondanks de grote standaardafwijking van 182 uur behorende bij het een gemiddelde van 296 uur (variatiecoëfficiënt 0,61) zou bijvoorbeeld halvering van het aantal metingen tot nagenoeg hetzelfde inzicht hebben geleid. Als dit beeld zich bij de komende onderzoeken zou bestendigen, kan besloten worden om het aantal bepalingen te reduceren. Op dit ogenblik moet daartoe nog niet besloten worden, omdat er onvoldoende zicht bestaat op de oorzaken van de spreiding. De gemeten spreiding bij het viaduct Oosterhout kan de spreiding van zijn van één partij voorspanstaal. Het is ook mogelijk (zij het niet waarschijnlijk) dat iedere draad (er zijn in totaal 1760 draden verwerkt) uit een andere partij afkomstig is.
- ?? Uitvoeren van 4 treksterkteproeven. Er is geen verhoogde treksterkte vastgesteld, hetgeen over het algemeen indicatief is voor gevoeligheid voor waterstofverbrossing. Dit resultaat vergroot het vertrouwen in het viaduct Oosterhout en vormt daarmee een goede reden om treksterkteproeven te blijven doen. Gezien de relatief lage kostprijs van dergelijke treksterkteproeven valt te overwegen om van alle monsters een deel te gebruiken voor het bepalen van de treksterkte. Op basis van de treksterkteresultaten kan dan vervolgens bepaald worden welke monsters in de DIBt-test zullen worden geplaatst. Dit zouden dan de monsters moeten zijn met de hoogste treksterkteresultaten, aangezien die het meest verdacht zijn ten aanzien van gevoeligheid voor waterstofverbrossing.
- ?? Analyse van het staal. Er is beperkt onderzoek gedaan naar de chemische samenstelling (ter bevestiging dat het om het oude type Sigma-staal gaat) en naar de kristallijne opbouw (ter bevestiging dat het staal potentieel gevoelig is). Er zijn geen redenen aanwezig om dit onderdeel uit het onderzoek weg te laten of om het aantal proeven uit te breiden.

## **4.4 Rapportage, conclusies en advies**

Het uitgevoerde basisonderzoek gaf de mogelijkheid om een duidelijke uitspraak te doen over de vraag of het toegepaste voorspanstaal gevoelig is voor waterstofverbrossing. Het onderzoek heeft dus aan zijn hoofddoel voldaan.

Het onderzoek was niet opgezet om de mate van gevoeligheid voor waterstofverbrossing te kwantificeren. Het is zelfs de vraag of het praktisch mogelijk is om een dergelijke kwantificering te maken. Alle resultaten overziende ontstaat toch een indicatie omtrent de gevoeligheid, die voortkomt uit een subjectieve afweging van negatieve en positieve waarnemingen:

*negatief*

?? te korte standtijd

?? gebruik van oud type Sigma-staal

?? beperkte roestvorming op een deel van het voorspanstaal

*positief*

?? geen verhoogde treksterkte

?? geen microscheuren in het voorspanstaal

?? geen gebreken in het beton

?? goed gevulde omhullingsbuizen.

Bij voorspanstaal waarvan de hoge treksterkte het gevolg is van afschrikken en ontlaten en waar sprake is van gevoeligheid voor waterstofverbrossing is alleen schade tijdens de gebruiksfase denkbaar, als er ook een aanzet tot corrosie aanwezig is. Bij het viaduct Oosterhout is het denkbaar dat er voorspanstaven zijn met een verder sterkere mate van corrosie dan in het basis-onderzoek is aangetroffen of dat er nog gebreken in de constructie aanwezig zijn, die tot nu toe niet zijn opgemerkt.

Uitbreiding van het onderzoek naar meer inzicht in de negatieve waarnemingen heeft praktisch geen zin ten aanzien van de beoordeling van de standtijd en het gebruik van het oude type Sigma-staal. Deze feiten zijn immers al bekend. Uitbreiding van het onderzoek zou wel meer inzicht verschaffen in de omvang van de aanwezige roestvorming en de aanwezigheid van andere gebreken. De consequentie is dat er dan meer dan vier meetplaatsen moeten worden onderzocht op dit aspect.

Uitbreiding van het onderzoek naar meer inzicht in de positieve waarnemingen lijkt in eerste instantie gewenst in verband met de representativiteit van het onderzoek. Bij vier meetplaatsen en onderzoek waarbij niet meer dan 0,17 ‰ van het voorspanstaal is onderzocht (in totaliteit is in de lengterichting van het viaduct 120 km voorspandraad verwerkt, er is hooguit 20 m draad onderzocht) lijkt niet echt sprake te zijn van goede representativiteit. Het getal 0,17 ‰ heeft echter iets bedriegelijks. Als namelijk aan een draadmonster wordt geconstateerd, dat de standtijd te laag is of dat de treksterkte niet is verhoogd, dan geldt dat niet alleen voor het onderzochte stuk voorspandraad. Er is namelijk meer informatie beschikbaar, dan alleen het beproevingsresultaat van het stuk voorspandraad. Wij weten namelijk ook, dat de gevoeligheid voor waterstofverbrossing samenhangt met het vervaardigingsprocédé van het voorspanstaal. Op grond daarvan kan worden gesteld, dat als wordt vastgesteld aan een stuk voorspandraad, dat de standtijd te kort is en de treksterkte niet is verhoogd, dat fenomeen dan geldt dat voor de gehele charge. De waarden van de standtijd en de treksterkte kunnen uiteraard nog wel variëren binnen de charge.

Het heeft in dit opzicht wel zin om nog eens na te gaan hoe de werkwijze was bij het maken van het voorspanstaal. Het is daarbij vooral van belang om te weten:

?? hoe groot charges waren

?? hoeveel charges aanwezig kunnen zijn in een streng

?? hoe lang de strengen zijn (worden zij op maat gemaakt of worden de strengen uit grotere lengten op maat gesneden)

Kortom, probeer om na te gaan hoe groot de populatie is, die door één monster van het voorspanstaal wordt gerepresenteerd.

Het monster is in ieder geval, voor wat betreft de te lage standtijd en de niet verhoogde treksterkte, representatief voor de gehele staaf dus voor een lengte van 69 m. Het promillage loopt daarmee op tot 4,5 ‰ (ofwel 8. 69 = 534 m op 120 km). Als de gehele streng afkomstig is uit één charge dan is het promillage 49 ‰ (11 . 4,5) ofwel 4,9 ‰. Bij vier niet gecorreleerde monsterplaatsen wordt dat 19,6 ‰.

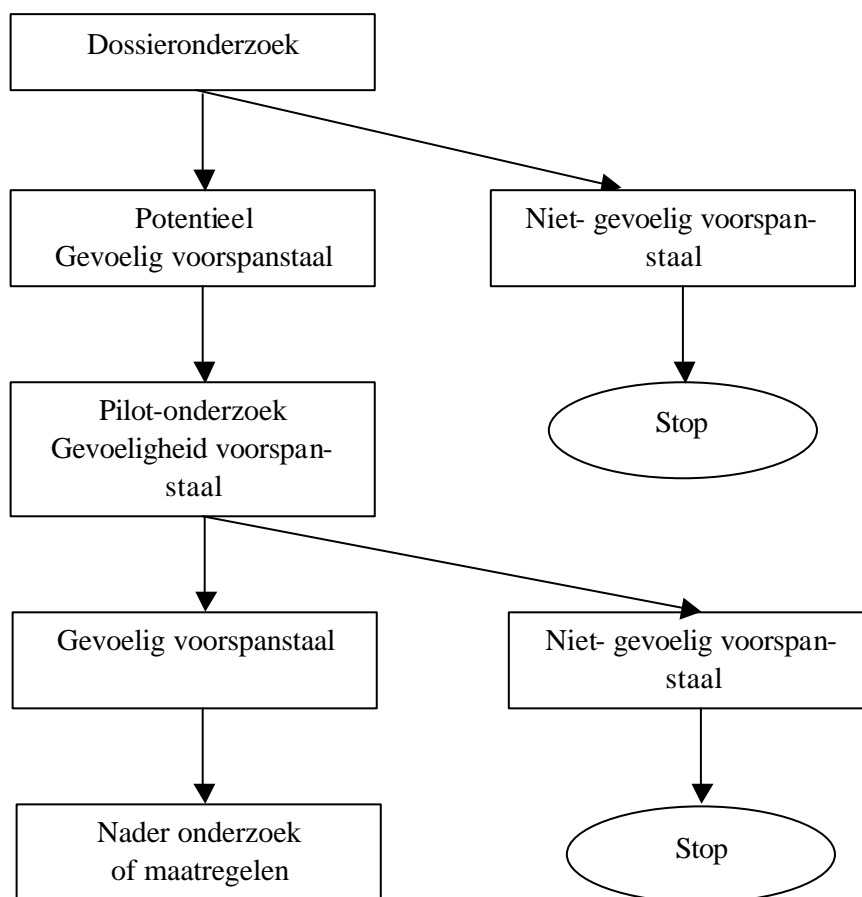
Voorgaande kwantificering van de representativiteit gaat alleen op voor eigenschappen die zijn gemeten en waar relevante extra kennis beschikbaar is, zoals kennis ten aanzien van het uitgevoerde proces van afschrikken en ontlaten en het wijze waarop uit draden strengen worden gemaakt. Dergelijke kennis is op dit ogenblik niet in een zodanige vorm beschikbaar om ook verbeterde uitspraken te doen ten aanzien van:

1. de grootte van de standtijd
2. de grootte van de treksterkte
3. de plaats en de omvang van corrosieschade
4. gebreken in de betonconstructie die aanleiding kunnen geven tot corrosie van de voorspanwapening en die door visuele inspectie niet zijn vast te stellen.

In verdergaande informatie over de eerste twee punten zijn wij voor de beoordeling van het viaduct Oosterhout niet sterk geïnteresseerd. De punten 3 en 4 zijn van meer belang. Voor punt 4 geldt, dat door inspectie aan de buitenzijde van de constructie op eenvoudige wijze meer relevante informatie beschikbaar kan komen. Gebreken in de constructie zoals niet goed gevulde omhullingsbuizen, maar ook de bij punt 3 genoemde corrosieschade, zijn niet eenvoudig op te speuren. Uitbreiding van het aantal meetplaatsen lijkt de meest praktische oplossing te zijn, bijvoorbeeld door op acht meetplaatsen het voorspanstaal te inspecteren. Maar of het verhogen van de representativiteit van 0,17 ‰ naar 0,34 ‰ de gewenste betrouwbaarheid oplevert valt te betwijfelen. Een deel van de gebreken die bedoeld zijn bij punt 4 hangen samen met onvolledige vulling van de omhullingsbuizen. Het onderzoek zou zich wat dat betreft moeten toespitsen op plaatsen met een verhoogde kans op onvolledig gevulde omhullingsbuizen, zoals de ‘toppen en dalen’ in het kabelverloop. Uiteraard geldt dit alleen voor constructies die zijn vervaardigd met nagerekt voorspanstaal.

## 4.5 Betrouwbaarheid van het onderzoek

Vooralsnog lijkt de meest efficiënte werkwijze om onderzoek in stappen uit te voeren. In figuur 4.1 is een stroomschema gegeven voor het principe van de onderzoeksaanpak, met het accent op het vaststellen van de potentiële gevoeligheid. Het zal duidelijk zijn, dat het 'stoppen' van het onderzoek alleen gedaan moet worden als de geraadpleegde informatie betrouwbaar is.



Figuur 4.1 Stroomschema pilot-onderzoek waterstofverbrossing

De mate van betrouwbaarheid kan op dit ogenblik niet goed worden gekwantificeerd. Maar onderstaande betrekking verschaft mogelijk enige verheldering:

$$P\{\text{bezwijken}\} = P\{\text{onjuiste informatie}\} P\{\text{falen door corrosie}\}$$

$P\{\text{bezwijken}\}$	- de kans op bezwijken van de constructie na onderzoek
$P\{\text{onjuiste informatie}\}$	- de kans dat onjuiste informatie is verkregen tijdens het gehele onderzoek
$P\{\text{falen door corrosie}\}$	- de kans op bezwijken van de constructie als gevolg van corrosie veroorzaakt door waterstofverbrossing

Als de beide laatste gebeurtenissen onafhankelijk zijn (dat wil zeggen: indien de ene gebeurtenis optreedt, neemt de kans op het optreden van de andere gebeurtenis niet toe) dan mag gesteld worden, dat als  $P\{\text{falen door corrosie}\}$   $x$ -maal hoger is dan de geaccepteerde bezwijkkans, dan moet  $P\{\text{onjuiste informatie}\}$  kleiner zijn dan  $1/x$ . Aannemende dat de kans op falen door corrosie 100-maal groter is dan de geaccepteerde bezwijkkans, betekent dit dat de kans op onjuiste informatie tijdens het vooronderzoek of tijdens het feitelijke onderzoek niet meer mag bedragen dan 0,01. Dit stelt dus hoge eisen aan met name het dossieronderzoek, maar ook aan het feitelijke onderzoek aan de constructie. De conclusie ten aanzien van het dossieronderzoek is, dat bij enige twijfel ten aanzien van het toegepaste voorspanstaal het noodzakelijk is om in de betreffende constructie voorspanstaal vrij te leggen en vervolgens vast te stellen of een verdacht type voorspanstaal is toegepast. Meestal kan dat worden beoordeeld op de vorm van het voorspanstaal.

Het nemen van een onjuiste beslissing binnen dit stroomschema houdt in, dat ten onrechte wordt besloten om niets te doen aan een constructie waarvan mag worden aangenomen, dat de bezwijkkans te groot is. Het is lastig om aan te geven hoe groot de kans is op een dergelijke onterechte beslissing. Het is echter wel mogelijk om een kwalitatieve analyse te maken van het gehele beslisproces en van daaruit een schatting te maken over de belangrijkste bijdragen aan de kans op een onterechte beslissing. Vervolgens moet dan worden nagegaan op welke wijze de grote bijdragen kunnen worden verkleind. Daarbij doen zich in principe de volgende mogelijkheden voor ter verbetering:

- ?? Het intensiveren van het onderzoek (aantallen, tijd en diepgang)
- ?? Het inbrengen van voorkennis
- ?? Het uitvoeren van een (onafhankelijk) tweede onderzoek.

#### *Dossieronderzoek*

Foutenbronnen:

1. De aanleiding om met een dossieronderzoek te beginnen
2. De aanwezigheid van de juiste informatie in het dossier
3. De accuratesse van het onderzoek
4. De deskundigheid van de onderzoeker

Verbetermogelijkheden:

- 1.

#### *Pilotonderzoek*

Foutenbronnen:

1. Verkeerde monsterplaatsen
2. Te weinig monsterplaatsen
3. De kwaliteit van het onderzoek

#### *Nader onderzoek*

Foutenbronnen:

1. Te weinig monsterplaatsen
2. Onjuiste informatie over de constructie

### *Maatregelen*

Foutenbronnen:

1. Onjuiste informatie uit voorgaande onderzoeken
2. Onjuiste informatie over de constructie

De eisen aan de trefkans van zowel het vooronderzoek als het feitelijke onderzoek aan de constructies zijn betrekkelijk zwaar. Globaal kan worden gesteld, dat de kans op het gebruik van onjuiste informatie, voortkomende uit deze onderzoeken, kleiner moet zijn dan 0,01. In figuur 4.2 is het stroomschema voor het onderzoek, zoals eerder in figuur 4.1 opgenomen, in een iets gewijzigde vorm opgenomen. Bij de beslispunten is echter aangegeven hoe groot de kans is, dat ten onrechte wordt besloten het onderzoek niet voort te zetten. Voor ieder van de verschillende beslissingen is een kans  $P_{fx}$  aangehouden, dat de beslissing verkeerd is. In principe is  $P_f$  klein ten opzichte van de kans dat de beslissing juist is. Met andere woorden de kans dat een juiste beslissing wordt genomen is bijna gelijk aan 1. Globaal kan daarom worden gesteld dat de faalkans gelijk is aan:

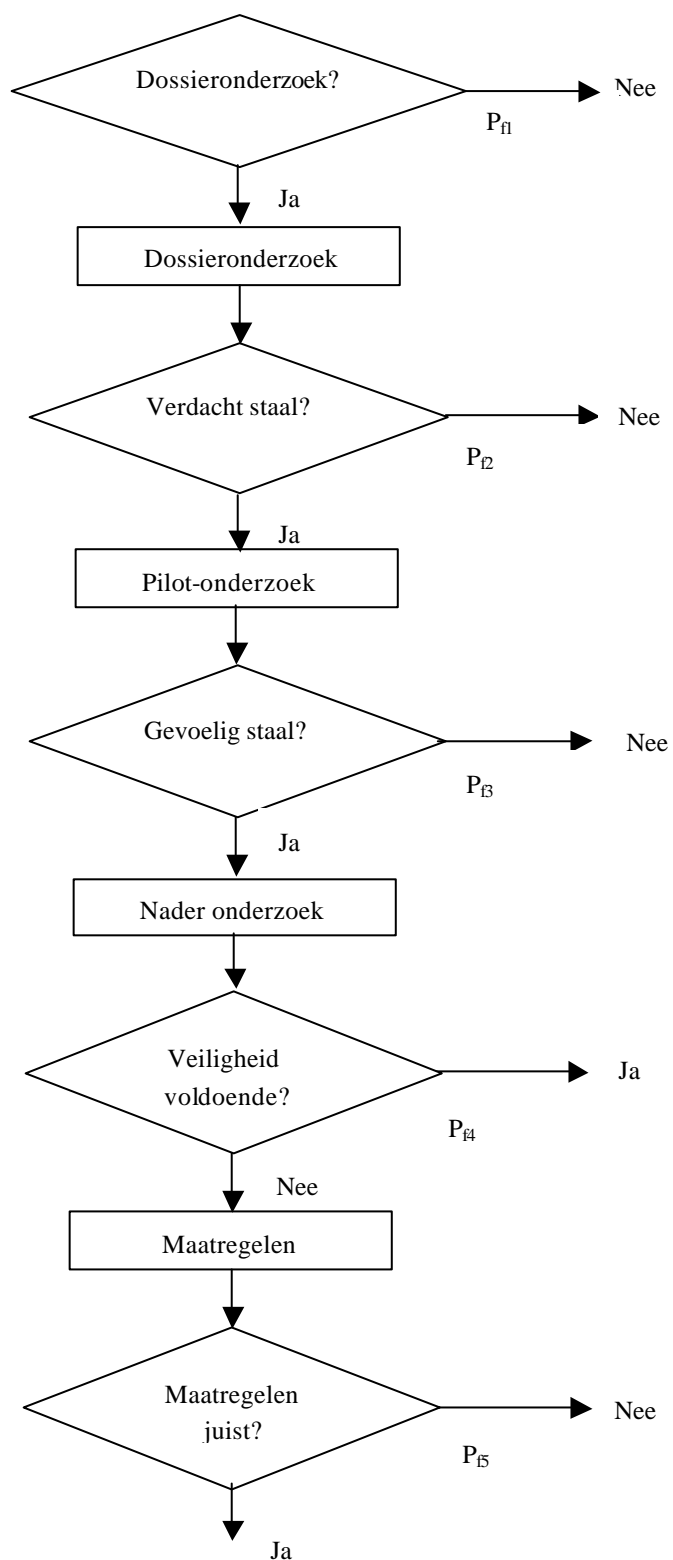
$$\prod_{x=1}^n P_{fx}$$

Waarbij:

- x - de beslissingstap
- n - totaal aantal beslissingstappen
- $P_{fx}$  - faalkans in beslissingsstap x.

Bij iedere beslissingsstap neemt de kans toe dat er een verkeerd beslissing wordt genomen. In het schema van figuur 4.2 is uitgegaan van 5 beslissingsstappen. Als in ieder beslissingsstap de faalkans gelijk is, dan is de uiteindelijke faalkans gelijk aan  $5P_{fi}$ .





Figuur 4.2: Stroomschema onderzoek waterstofverbrossing, met faalkansen

Als op grond van een vooronderzoek wordt besloten om geen nader onderzoek uit te voeren, dan mag de kans niet groter zijn dan 0,01 dat

## 5 Conclusies

Ten behoeve van het vaststellen of er sprake kan zijn van gevoeligheid voor waterstofverbrossing van voorspanstaal is een plan van aanpak opgesteld voor een pilot-onderzoek. Deze aanpak is uitgetoetst op het viaduct Oosterhout in de A 27. Gebleken is, dat in het viaduct daadwerkelijk voorspanstaal is toegepast, dat gevoelig is voor waterstofverbrossing.

Het plan van aanpak bleek in grote lijnen goed te werken en kan bijgevolg ook gelden voor andere kunstwerken, waar een verdenking bestaat ten aanzien van gevoeligheid voor waterstofverbrossing. Op de volgende punten is aanpassing gewenst:

- ?? Het repareren van de inspectiegaten dient handmatig te gebeuren en niet door spuitbeton toe te passen
- ?? De afmetingen van de inspectiegaten moeten in het werk worden bepaald; de diepteligging van de voorspanning bepaalt de breedte van het gat; voor het nemen van één treksterktemonster en één monster voor de DIBt-test moet de lengte van het monster tenminste 900 mm bedragen (300 mm ten behoeve van de trekproef en 600 mm voor de DIBt-test)
- ?? Het meten van de verkorting van het voorspanstaal, nadat het staal doorgeslepen is, levert geen betrouwbare informatie op; dit deel van het onderzoek kan worden weggelaten
- ?? Het in het werk vaststellen of het voorspanstaal microscheuren bevat levert geen goede resultaten op; er wordt aanbevolen om deze bepaling in het laboratorium te doen
- ?? Het vaststellen of er sprake is van gevoeligheid voor waterstofverbrossing kan gedaan worden aan de hand van vier monsters voorspanstaal
- ?? Het vaststellen of er sprake is van onvolledig gevulde omhullingsbuizen zou op meer dan vier plaatsen gedaan moeten worden; op deze plaatsen moet monstermateriaal worden genomen van het voorspanstaal dat na preselectie door middel van de trekproef voor een deel verder gebruikt zal worden in de standtijdtest DIBt.

Aanpassing van het plan van aanpak zal ook nodig zijn voor voorgespannen constructies, waarin voorgerekt staal aanwezig is en bijgevolg ook geen omhullingsbuizen zijn gebruikt.

*NOG UIT TE BREIDEN*