

Onderzoeksrapport

Levensduur verlenging betonnen bruggen



STATUS: Concept

VERSIE: 1.0

DATUM: 5 januari 2015

Student

Dennis Jongste
Marialaan 137
6541 RD Nijmegen
06 46 32 37 99
Djongste@hotmail.com
St. nr. 478652

Afstudeer bedrijf

Heijmans Civiel B.V.
Graafsebaan 67
5248 JT Rosmalen
073 – 543 6611

Begeleider:

Ir. R.W.H. Pepers
06 21 81 76 34
RPepers@Heijmans.nl

Instantie

Hogeschool van Arnhem
en Nijmegen
Ruitenberglaan 26
6826 CC Arnhem
0646323799

Begeleiders:

Dick Jan Schaap
Marianne van as

Eerste lezer:

Dick Jan Schaap

Tweede lezer:

Marianne van as

Paraaf voor akkoord

Paraaf voor akkoord

Paraaf voor akkoord

Voorwoord

Dit onderzoeksrapport vormt de afsluiting van mijn studie Civiele Techniek aan de Hogeschool van Arnhem en Nijmegen te Arnhem. Dit onderzoek is in naam van Heijmans uitgevoerd en is bedoeld om Heijmans inzicht te geven in de maatregelen die de gepaste oplossing opleveren voor de gewenste levensduurverlenging bij betonnen bruggen.

Voor de begeleiding van het onderzoek wil ik graag mijn begeleiders bedanken. Op de eerste plaats Ron Pepers die mij vanuit Heijmans geholpen heeft met de structuur en opbouw van het verslag. Verder wil ik graag de overige medewerkers die mij hebben geholpen bedanken. Tot slot wil ik mijn afstudeerbegeleiders vanuit de Hogeschool Arnhem en Nijmegen bedanken, Dhr. Schaap en Mevr. van As.

Dennis Jongste

Rosmalen, December 2014

Samenvatting

In dit afstudeeronderzoek zijn de maatregelen voor het verlengen van de levensduur van betonnen bruggen inzichtelijk gemaakt. De aanleiding van het onderzoek is ontstaan door de huidige en de verwachte vraag van de klant. De klant, Rijkswaterstaat, wil de levensduur van bruggen verlengen, zodat deze weer aan de Europese en Nederlandse normen voldoen, want nieuwbouw van deze kunstwerken is kostbaar. De aanleiding van de vraag van de klant kent verschillende, meestal gecombineerde, oorzaken:

- De belasting is de laatste 50 jaar toegenomen;
- De functie van de constructie is veranderd;
- De Europese en Nederlandse normen zijn aangescherpt;
- Er is meer bekend over het gedrag van gebruikte materialen;
- De constructie is aangetast door de omgeving.

In de literatuurstudie is onderzoek gedaan naar de bruggen in Nederland en de bij de bruggen voorkomende problemen. In Nederland zijn veel bruggen toegepast om weg/weg- en weg/waterkruisingen te realiseren. In de literatuurstudie is naar voren gekomen dat er in Nederland veel betonnen ligger- en plaatbruggen zijn gebouwd in de jaren 1960-1980. Deze bruggen zijn gebouwd op een levensduur van 60 tot 80 jaar. Mede door het aanscherpen van de Europese en Nederlandse veiligheidsnormen in 2002 voldoen veel van deze bruggen niet meer aan de eisen. Veel van deze bruggen hebben zowel last van mechanische problemen als van aantastingsproblemen. Mechanische problemen ontstaan door functieverandering van het viaduct. Aantastingsproblemen komen voort uit aantasting door de omgeving. De meest voorkomende aantasting is wapeningscorrosie, wat ontstaat door chloride aantasting of carbonatatie.

In het onderzoek is een inventarisatie naar de maatregelen gedaan. Deze inventarisatie is gedaan ter ondersteuning van het op te leveren model. In de inventarisatie zijn verschillende onderhoudstechnieken beschreven. Deze onderhoudstechnieken zijn beschreven in:

- Versterkingstechnieken;
- Reparatietechnieken;
- Preserveringstechnieken.

Met de kennis van de eigenschappen van betonnen bruggen, voorkomende problemen bij betonnen bruggen, mogelijke maatregelen en kenmerken van maatregelen is een model opgezet waarin de onderhoudsmaatregelen voor een betonnen brug kunnen worden bepaald. In dit model is een mogelijkheid om de maatregelen te waarderen op criteria, waarvan de weging afhankelijk is van de wens. De maatregel wordt gewaardeerd op kosten, uitvoerbaarheid, esthetische gevolgen, levensduurverlenging en kans op herhaling van het probleem. Vervolgens wordt er een

advies gegeven over wat naar omstandigheden de beste maatregelen zijn. Om een voorbeeld te geven wordt er een brug met Chloride en Sulfaat aantasting ingevoerd in het model.

Oorzaak	Risico niveau brug	Kenmerkende schade	aangetast	Esthetisch aangetast	Mechanisch aangetast	Schadegetal	Type maatregel
	5-1	0-3	0-3	0-3			
Carbonatatie	5	0	0	0	0	0	GO
Chloride aantasting	4	2	1	2	2	1	PVO
Zuren	5	0	0	0	0	0	GO
Sulfaat aantasting (ESA)	2	2	2	2	2	2	CRO
Sulfaat aantasting (ISA)	5	0	0	0	0	0	GO
ASR	5	0	0	0	0	0	GO

In de conclusie staan de aanbevolen onderhoudstechnieken: injecteren met polyurethaan; kathodische bescherming; (hogedruk) injecteren met epoxy en handmatig repareren met epoxymassa's. Hieruit moet dan nog een keuze gemaakt worden, welke afhankelijk is van de omstandigheden. Grotere scheuren kunnen gerepareerd worden met epoxymassa's. Diepere smalle of scheuren op niet horizontaal oppervlak kunnen met hogedruk injectie gerepareerd worden. Andere horizontale scheuren die niet tot de wapening komen kunnen geïnjecteerd worden. Wanneer de scheuren niet constructief maar slechts tegen aantasting gedicht moeten worden kan er ook voor worden gekozen om te injecteren met poly-urethaan. Het voordeel hiervan is dat dit flexibel is, dus minder snel opnieuw zal scheuren. De wapening kan worden beschermd met Kathodische bescherming. Dit is een effectieve maatregel tegen wapeningscorrosie, maar dit is wanneer de wapening goed geïsoleerd is in het alkalische milieu niet per se nodig. Het zal de kans op corrosie wel sterk doen afnemen, vooral als meer scheurvorming verwacht wordt.

Dit advies is gebaseerd op de kennis van problemen uit de literatuur, de kennis van toepasbare maatregelen uit de inventarisatie en verkregen kennis uit gesprekken met ervaren werknemers van Heijmans.

Leeswijzer

Hoofdstuk 1 – Inleiding

In de inleiding wordt de aanleiding beschreven. Als de aanleiding van het onderzoek bekend is wordt de probleemstelling gegeven. Dit wordt vervolgd met de doelstelling en vraagstelling. Dit is de rode draad door het verslag. De onderzoeksopzet is weergegeven in een schema, hier is kort weergegeven hoe het onderzoek verlopen is. Een uitgebreidere versie van de opzet is te vinden in het “Plan van Aanpak”. De afbakening is in beginsel opgezet met een mindmap. Deze is toegevoegd als bijlage. In dit hoofdstuk is nog duidelijk weergegeven wat wel, en wat niet aanbod komt in dit rapport.

Hoofdstuk 2 – Literatuur onderzoek

In het literatuuronderzoek is onderzocht welk type bruggen in Nederland voorkomen, en hiermee is de keuze voor betonnen ligger en plaatbruggen bepaald. Verder zijn de problemen van deze bruggen onderzocht en zijn de mogelijke maatregelen in kaart gebracht. De conclusies en andere interessante informatie uit literatuuronderzoek is geïntegreerd in het rapport, ook de volledige versie is beschikbaar.

Hoofdstuk 3 – Inventarisatie maatregelen

Om de problemen te kunnen oplossen zijn onderhoudstechnieken bestudeerd. Hier volgen uitwerkingen van versterkings-, reparatie- en conserveringstechnieken. In dit hoofdstuk volgt een inventarisatie van de beschreven technieken.

Hoofdstuk 4 – Opzet onderzoeksmodel

Het onderzoeksmodel is opgezet in Excel, waar de verschillende bezwijk- en aantastingsmechanismen beschreven staan. Met dit model is het mogelijk de optimale maatregel bij het probleem te kiezen. In dit hoofdstuk wordt een korte beschrijving van het model gegeven, ook de controle is beschreven. Voor een uitgebreide uitleg moet de handleiding voor het gebruik van het model geraadpleegd worden, deze is bijgevoegd in de bijlagen.

Hoofdstuk 5 – conclusie en aanbevelingen

De conclusie en aanbevelingen van het onderzoek zijn bepaald.

Hoofdstuk 7 – Bijlagen

De Bijlagen van het onderzoek zijn hier bijgevoegd. Onder andere het plan van aanpak, de literatuurstudie en de handleiding voor het model zijn hier bijgevoegd. Het model zelf is als bestand toegevoegd.

Hoofdstuk 8 – Bronnen

De bronnen die gebruikt zijn voor het onderzoek zijn hier weergegeven.

Inhoud

VOORWOORD	I
SAMENVATTING	I
LEESWIJZER	III
INHOUD	1
1 INLEIDING.....	2
1.1 PROBLEEMSTELLING	2
1.2 DOELSTELLING	2
1.3 VRAAGSTELLING	2
1.4 ONDERZOEKSOPZET	3
1.5 AFBAKENING.....	4
2 LITERATUUR ONDERZOEK.....	5
2.1 TYPE BRUGGEN	5
2.2 EIGENSCHAPPEN BRUGGEN	8
2.3 PROBLEMEN BRUGGEN	10
2.4 LEVENSDUUR VERLENGENDE MAATREGELEN.....	23
2.5 CONCLUSIE LITERATUUR ONDERZOEK	31
3 INVENTARISATIE ONDERHOUDSTECHNIEKEN	32
3.1 PRESERVERINGSTECHNIEKEN	32
3.2 REPARATIETECHNIEKEN	33
3.3 VERSTERKINGSTECHNIEKEN	36
3.4 CONCLUSIE ONDERHOUDSTECHNIEKEN.....	38
4 OPZET ONDERZOEKSMODEL.....	38
4.1 INDELING MODEL.....	38
4.2 VERIFICATIE MODEL.....	41
4.3 VALIDATIE MODEL.....	47
4.4 IMPLEMENTATIE KUNSTWERKEN A12 VEG	52
4.5 CONCLUSIE MODEL	55
5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	56
BIJLAGEN	58
BIJLAGE 1: PLAN VAN AANPAK	
BIJLAGE 2: LITERATUURONDERZOEK	
BIJLAGE 3: HANDLEIDING MODEL	
BIJLAGE 4: CONTROLE MODEL.....	
BRONNEN	
LITERATUUR	
AFBEELDINGEN.....	
TABELLEN.....	

1 Inleiding

De grote verkeersgroei in de jaren zestig heeft geleid tot een “bouw golf” van Rijkswegen. In deze periode zijn veel bruggen en viaducten gebouwd. Die bruggen en viaducten zijn gebouwd met de bouw- en materiaalkennis van toen en werden gedimensioneerd op de verwachte verkeersbelastingen. Men ging er vanuit dat deze kunstwerken nog 60 tot 80 jaar zouden voldoen aan de eisen.

In 2002 zijn de zowel de Europese als de Nederlandse (veiligheids)eisen aangescherpt. Ook is de verkeersintensiteit aanzienlijk gestegen, vooral die van vrachtverkeer. Na zorgvuldige inspectie is de overheid tot de conclusie gekomen dat veel van de viaducten die in deze periode gebouwd zijn niet meer aan de constructieve eisen voldoen (Rijkswaterstaat, 2007, p. 5-10).

De overheid moet de ingrepen die gedaan moeten worden om aan de eisen te voldoen gaan bekostigen. Sinds enkele jaren kijkt de overheid meer naar de gebruiksfunctie, de onderbouwing van het uit te voeren onderhoud wordt steeds belangrijker. De overheid heeft als onderbouwing van de onderhoudsmaatregel een onderhoudsmodel opgesteld waarin levensduurverlengende maatregelen en preventief vervangen tegenover elkaar worden gezet. Met dit model worden de kosten van de onderhoudsmaatregelen geoptimaliseerd. (Noortwijk, 2002, p. nr. 1-2).

1.1 Probleemstelling

Het probleem voor dit onderzoek kan als volgt worden samengevat:

Heijmans heeft op dit moment nog niet genoeg inzicht in de type maatregelen om de levensduur van een kunstwerk te verlengen, mocht een kunstwerk door verschillende omstandigheden niet meer voldoen aan de (veiligheids)eisen of de gewenste prestatie van de klant.

1.2 Doelstelling

Het doel van het onderwerp is te omschrijven als:

Heijmans door middel van een keuzemodel inzicht geven in de, op eisen en wensen van de klant beoordeelde, maatregelen die de gepaste oplossing opleveren voor de gewenste levensduurverlenging bij betonnen bruggen.

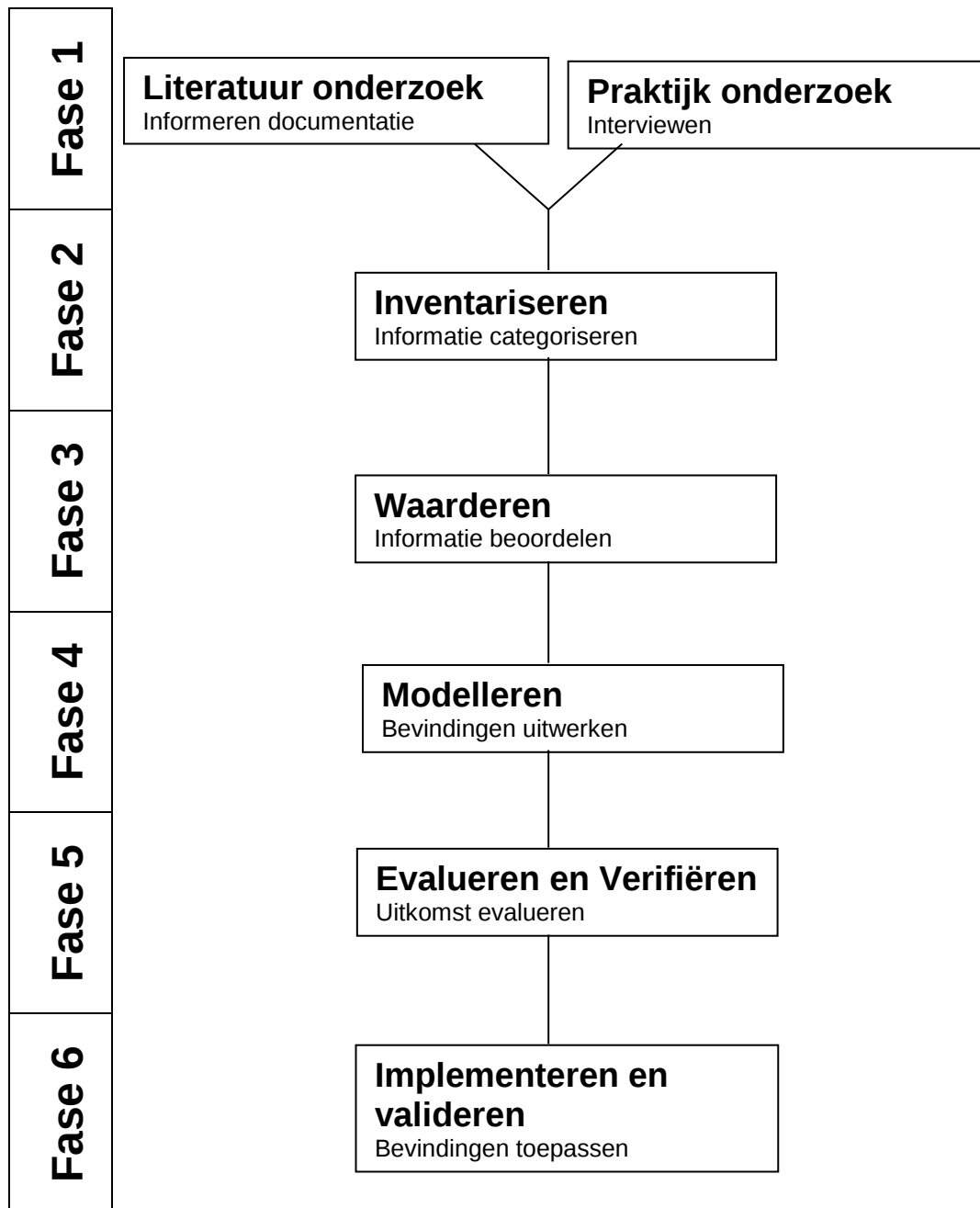
Dit onderzoek moet leiden tot een model opgesteld wordt waarmee Heijmans inzicht krijgt in de in de mogelijkheden de levensduur van een kunstwerk te verlengen. In het onderzoek wordt beschreven hoe de levensduur door naar omstandigheden gepaste maatregelen verlengt kan worden, wat de uiteindelijke levensduurverlenging is en wat de daarbij horende kosten zijn. Met deze kennis kan Heijmans bij verschillende problemen de juiste maatregelen kiezen die een gepaste oplossing bieden.

1.3 Vraagstelling

De centrale vraag van het onderzoek luidt:

Hoe kan een model de meest geschikte levensduurverlengende maatregelen van betonnen bruggen, die niet meer voldoen aan de gewenste prestaties of (veiligheids)eisen, in beeld brengen voor Heijmans?

1.4 Onderzoeksopzet



1.5 Afbakening

Om het onderzoek duidelijkheid te geven is een afbakening gemaakt met wat wel en niet onderzocht wordt. Dit is gedaan om de onderzoek grenzen aan te geven, zodat er zo gericht mogelijk naar een antwoord op de centrale vraag gewerkt wordt.

Het onderzoek wordt afgebakend met randvoorwaarden en uitgangspunten.

Randvoorwaarden zijn opgesteld om de doelgerichtheid van het onderzoek te verbeteren.

Uitgangspunten zijn opgesteld om de breedte van het onderzoek aan te geven, zodat het onderzoek haalbaar blijft binnen de daarvoor gestelde tijd.

Om de afbakening in beeld te brengen is een mindmap gemaakt, zie de mindmap in het Plan van Aanpak.

Kunstwerken	Wel onderzoeken:	Niet onderzoeken:
Type kunstwerken	Bruggen	Tunnels, sluizen en overige
Type bruggen	Ligger- en plaatbruggen*	Overige
Materiaal	Beton	Staal en overige

Klanten	Wel onderzoeken:	Niet onderzoeken:
Opdrachtgevers	Overheid	Overige
Beheerders	Rijkswaterstaat	Provincie, Gemeente of overige
Wegtypen	A-wegen	N-wegen of overige
Budget	Kosten	Beschikbaar budget

Projecten	Wel onderzoeken:	Niet onderzoeken:
Tijd	Interessante projecten <20jaar van nu	Projecten >20 jaar van nu

Eisen	Wel onderzoeken:	Niet onderzoeken:
Opsteller	Europese Unie, Rijkswaterstaat	Overige
Capaciteitseisen	-	Over- en onder viaduct
Functionele eisen	Veiligheid en beschikbaarheid	Uiterlijk en bedieningsfuncties
Constructie eisen	Type belastingen	Hoeveelheden belasting
Fundamentele eisen	Beschrijving Bruikbaarheid grenstoestanden en uiterste grenstoestanden	Hoeveelheden grenstoestanden

Beheer en Onderhoud	Wel onderzoeken:	Niet onderzoeken:
Beheer	Wat houdt beheren in	Beheer processen
Onderhoud	Preventief en Correctief Onderhoud	Capaciteitsproblemen

Gebruikers	Wel onderzoeken:	Niet onderzoeken:
Gebruikers	Wie de gebruikers zijn	Wat de gebruikers wensen

* Eerder door Heijmans verricht onderzoek heeft uitgewezen dat deze typen bruggen in Nederland het meest voorkomen en daardoor het meest interessant zijn om te onderzoeken.

2 Literatuur onderzoek

In het literatuuronderzoek is onderzocht welk type bruggen in Nederland voorkomen. Met het onderzoek is de specifieke keuze voor betonnen ligger en plaatbruggen naar voren gekomen. Vervolgens zijn de problemen van deze bruggen onderzocht en zijn de mogelijke maatregelen in kaart gebracht. De kennis uit het literatuur onderzoek is van belang voor het totaal onderzoek. De kennis die bij het literatuuronderzoek is opgedaan wordt gebruikt in het totaal onderzoek.

2.1 Type bruggen

In deze paragraaf wordt het type van bruggen beschreven en bepaald welke typen we in het onderzoek gaan behandelen. Het type brug is afhankelijk van de bouwwijze, materiaalkeuze en functie. Ook is het bouwjaar van belang aangezien de bouwkennis en materiaalkennis in de loop der tijd veranderd.

2.1.1 Definitie van een brug

Brug: een verbinding tussen twee punten die van elkaar gescheiden zijn door een waterweg, ravijn, (spoor)weg of soortgelijke barrières.

Viaduct: Een brug ten dienste van verkeer;

Aquaduct: Een brug ten dienste van water.

(Nederlandse bruggenstichting, 2014)

2.1.2 Bruggen in Nederland

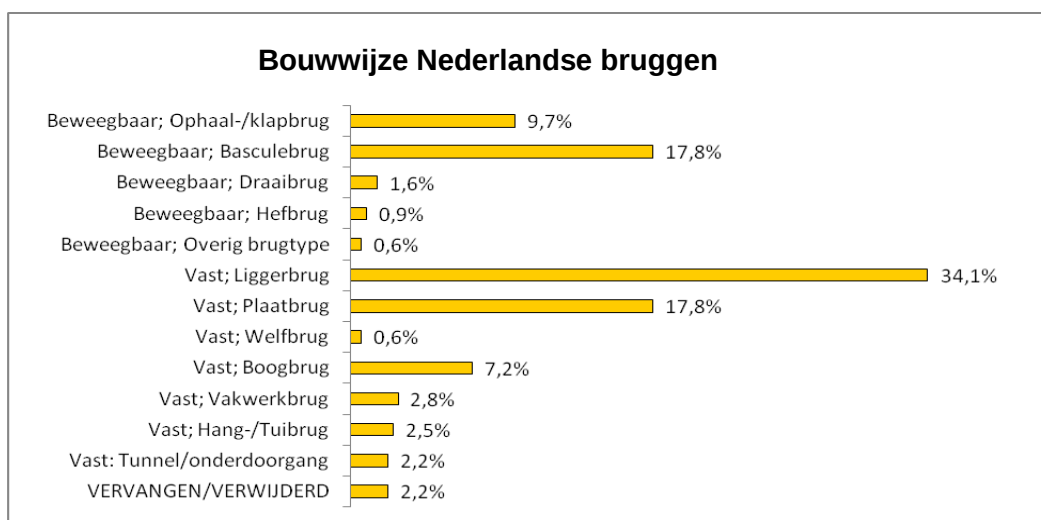
Door Heijmans is een marktonderzoek gedaan naar bestaande bruggen. Dit marktonderzoek is gedaan om inzichtelijk te maken hoeveel bruggen er zijn, wanneer deze gebouwd zijn en van welk materiaal. Met de ze kennis kan een vervanging van-, of levensduurverlengend onderhoud voor een bestaande brug verwacht worden. Een kanttekening aan het onderzoek is, dat er is gekeken naar de bruggen die bekend zijn bij de Nederlandse bruggen stichting. Hier staan niet alle bruggen van Nederland in, maar wel een grote hoeveelheid. Ter controle is de spreiding van de leeftijd en type bruggen vergeleken met de totale hoeveelheid die Rijkswaterstaat in beheer heeft.

Interessante informatie verkregen uit het onderzoek zijn het aantal bruggen per:

1. Bouwwijze;
2. Materiaaltype;
3. Verkeersfunctie;
4. Bouwjaar;

2.1.2.1 Bouwwijze

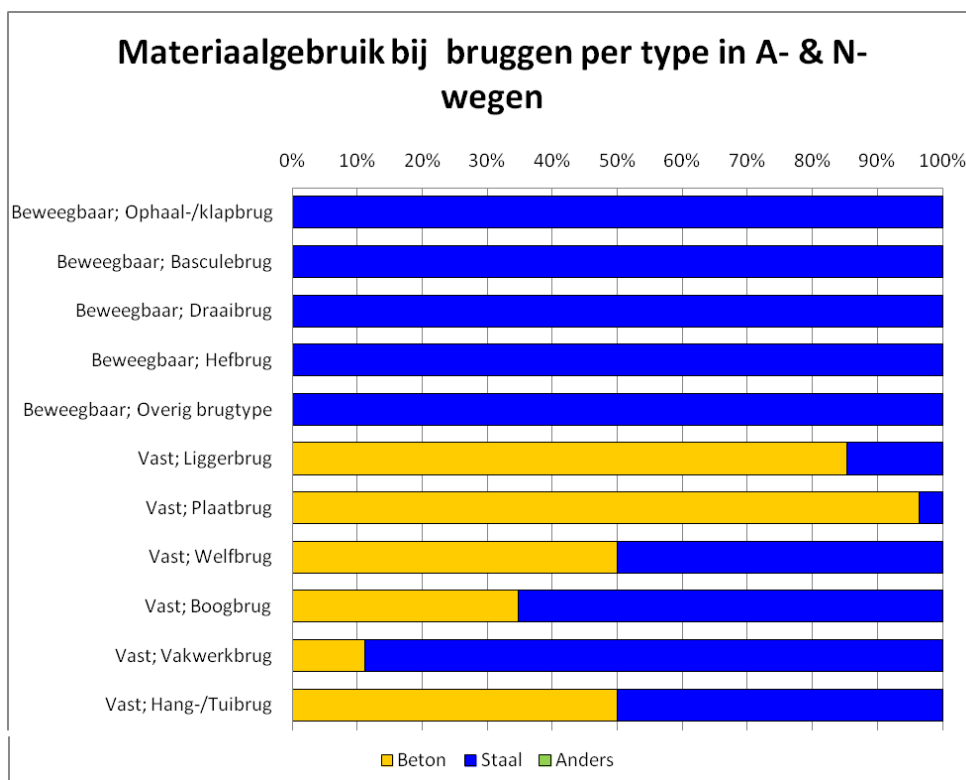
In Tabel 1 zijn het aantal bruggen per bouwwijze weergegeven. Er zijn 1744 bruggen bekeken, dit zijn niet alle bruggen in Nederland, wel een groot deel. In dit rapport worden de betonnen bruggen in A- en N-wegen onderzocht. Om specifiek naar betonnen bruggen te kunnen kijken worden ook de materiaaleigenschappen van de bruggen per bouwwijze bekeken. In Tabel 1 zijn de percentages van de bouwwijze weergegeven. Dit zijn de percentages van bruggen in A- en N-wegen.



Tabel 1 - Bouwwijze bruggen

2.1.2.2 Materiaalgebruik

De onderstaande Tabel 2 geeft van de bouwwijze het toegepaste materiaal weer.



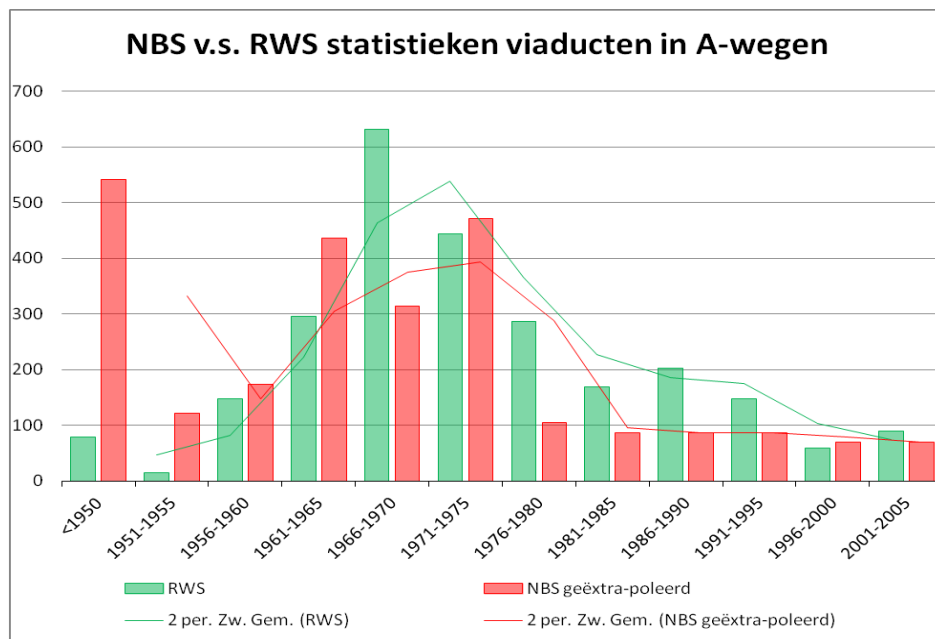
Tabel 2 - Materiaal bij Bouwwijze bruggen¹

Met de gegevens van Tabel 1 is te concluderen dat er voornamelijk ophaal-, ligger-, en plaatbruggen toegepast zijn in de A- en N-wegen van Nederland. Uit Tabel 2 is te concluderen dat er geen beweegbare bruggen in beton uitgevoerd zijn. De liggerbrug wordt veelal in beton uitgevoerd, maar in sommige gevallen in staal. Ook de plaatbruggen worden voornamelijk in beton uitgevoerd. Omdat de ligger- en plaatbrug het meest voorkomen in de Nederlandse A- en N-wegen, worden deze uitgebreid bekeken. (Erp, 2014)

¹ Erp, S. v. (2014). *Marktonderzoek bestaande bruggen*.

2.1.2.3 Bouwjaar

In Tabel 3 zijn de gegevens van de Nederlandse Bruggenstichting en Rijkswaterstaat tegenover elkaar gezet. De hoeveelheden van de bruggenstichting zijn geëxtrapoleerd. De bruggenstichting heeft namelijk niet alle bruggen meegenomen. Er is duidelijk een trend zichtbaar in de gegevens. De bruggenstichting heeft duidelijk meer bruggen voor de jaren 50 opgenomen in hun bestand, mogelijk zijn deze niet in beheer van Rijkswaterstaat. Verder is er een duidelijke piek in de jaren '70 zichtbaar. Wat overeenkomt met het voorkomende probleem. (Erp, 2014)



Tabel 3 - Bouwjaar²



Afbeelding 2 - Liggerbrug³⁴



Afbeelding 1 - Plaatbrug

² Erp, S. v. (2014). Marktonderzoek bestaande bruggen.

³ <http://www.romein.nl/bruggen.php?id=15>

⁴ <http://wikimapia.org/26560284/nl/plaatbrug#/photo/3003198>

2.1.3 Conclusie type bruggen

Er zijn in Nederland veel verschillende typen bruggen. De verschillende typen worden onderscheiden in bouwwijze, materiaalkeuze en functie. In dit rapport worden alleen betonnen bruggen en viaducten bekeken, deze komen het meest voor in A-wegen. A-wegen hebben de hoogste prioriteit voor levensduurverlengende maatregelen, want dit zijn de hoofdlijnen van de Nederlandse infrastructuur. Omdat in de A-wegen zijn voornamelijk betonnen plaat- en liggerbruggen zijn gerealiseerd, zijn deze gekozen voor de analyse van levensduurverlengende maatregelen.

Door de keuze voor betonnen bruggen vallen de bruggen van materiaal anders dan beton en bouwwijze kenmerkend voor een ander materiaaltipe af. Door deze keuze worden er geen beweegbare bruggen bekeken. Er zijn in Nederland voornamelijk ligger- en plaatbruggen gebouwd, deze worden uitgebreid behandeld in dit rapport.

2.2 Eigenschappen bruggen

Er zijn veel verschillende bruggen met verschillende kenmerken. Deze kenmerken worden vertaald in eigenschappen, welke kunnen leiden tot problemen. Deze problemen hebben verschillende oorzaken en gevolgen. Bruggen kennen functionele-, vorm- en materiaaleigenschappen. In deze paragraaf worden de eigenschappen behandeld.

De problemen komen in veel gevallen voort uit fouten in de ontwerp-, uitvoerings-, of onderhoudsfase, toch zijn niet alle problemen te voorkomen. Mechanische problemen zijn in alle gevallen te voorkomen of te voorzien. Hier zijn normen en aanbevelingen voor geschreven waar de bruggen aan moeten voldoen. Er zijn echter meer mogelijkheden om dit te bereiken, daarom is het interessant te adviseren over de juiste, economische, functionele of constructieve oplossing voor de capaciteits- of mechanische problemen.

Aantasting is een vaker voorkomend en een lastig te voorkomen probleem. Waar vooral wapeningsaantasting nog veel aandacht vraagt. Aantasting maakt het lastig de levensduur van een kunstwerk te bepalen, aangezien de mate van aantasting niet goed te voorspellen is.



Afbeelding 3 - Liggerbrug⁵

De eigenschappen van bruggen worden verdeeld in:

- Functionele eigenschappen; Voor deze eigenschap wordt bekeken of de constructie functioneert naar wens. Hier zijn de maximale capaciteit, gewicht en afmetingen maatgevend. Dit hangt nauw samen met de vorm.
- Vormeigenschappen; De vorm is grotendeels afhankelijk van de functie. De vorm moet voldoen aan de geëiste afmetingen en esthetische uitstraling. Bij de realisatie moet rekening worden gehouden met omgevingsfactoren.

De functie en vorm bepalen de deels het materiaaltipe.

- Materiaaleigenschappen; Materiaal wordt gekozen naar gewenste functie en uiteindelijke vorm. Bij veel functies en vormen zijn verschillende materialen toe te passen. In dit onderzoek worden uitsluitend betonnen bruggen behandeld. Ook binnen de verschillende typen beton zijn verschillende materiaaleigenschappen te omschrijven.

⁵ <http://www.vbkgroep.nl/portfolio/bruggen-kolhorn-schagen>

2.2.1 Functie eigenschappen

Het voornaamste probleem bij de functionele eigenschappen zit in de functieverandering van een brug in de A-weg. Veel voorkomende functieveranderingen zijn wegverbreding of veranderingen in gewichtsklasse. Een functie verandering heeft invloed op de constructie, en voornamelijk op de afmetingen van- en krachten op de constructie. Door functie verandering bestaat de kans op mechanische aantasting.⁶



Afbeelding 4 - Bord spitsstroken

2.2.2 Vorm eigenschappen

De meest voorkomende betonnen bruggen zijn plaat en liggerbruggen. Deze worden in dit onderzoek behandeld.

Plaatbruggen

Bij plaatbruggen is de slankheid ten opzichte van de overspanning van belang. Wanneer de plaat erg slank is voor de overspanning bestaat de kans dat deze constructief niet voldoet. De hoeveelheid wapening en waar deze aangebracht is heeft ook invloed op de levensduur. *(Rijkswaterstaat, 2014)*

Liggerbruggen

De hoeveelheid en indeling van de wapening van belang voor de sterkte constructie. Een belangrijk element vooral bij oudere liggerbruggen is dwarskracht, vaak is er bij deze bruggen geen dwarskrachtwapening doorgevoerd. Deze wapening is van groot belang voor de constructieve waarde van de brug.

Ook zijn het type profiel invloed op de problemen, zo bestaat er een probleem met de typen uitgevoerd met een druklaag. Dit komt voornamelijk voor bij omgekeerde T-liggers, waar de tussenruimte tussen de liggers vrij groot is. Het probleem is ontstaat door de vergrote krachten op de druklaag door de toename van zwaar vrachtverkeer en de overgang van dubbellucht- naar supersingle banden. Door de supersingle banden worden de puntlasten op de druklaag vergroot. Dit levert problemen op bij een aantal typen liggerbruggen. *(Rijkswaterstaat, 2014) (Heiden, 2014)*



Afbeelding 5 - Liggerbrug⁷

⁶ http://www.refdag.nl/nieuws/politiek/minister_wil_spitsstroken_altijd_open_1_516465

⁷ <http://www.hrvisuals.nl/cms-content/uploads/full/06102010144639.jpg>

2.2.3 Materiaaleigenschappen

De definitie van beton is: “Mengsel van cement, kalk, zand, water met kiezel enz.: zeer harde en duurzame bouwstof” (Van Dale, 2014)

Alle korrelachtige materialen die door cement worden gebonden tot een steenachtig materiaal zijn in feite beton te noemen. Zo zijn er veel verschillende soorten betonmengsels, welke allen andere eigenschappen hebben. Door de verschillende mengsels zijn de eigenschappen van beton niet algemeen te beschrijven. In de betonnorm, NEN-EN 206 en NEN 8005 wordt onderscheidt gemaakt in:

- Schuimbeton 500-1000kg/m³
- Licht beton 1200-2000kg/m³
- Normaal beton 2300-2600kg/m³
- Zwaar beton >2600kg/m³

Verder zit er verschil in de sterkteklasse van de beton. Met behulp van de minimale sterkte wordt de cement-, toeslagmateriaal- en water/cement-factor bepaald. De keuze is afhankelijk de gewenste eigenschappen.

2.3 Problemen bruggen

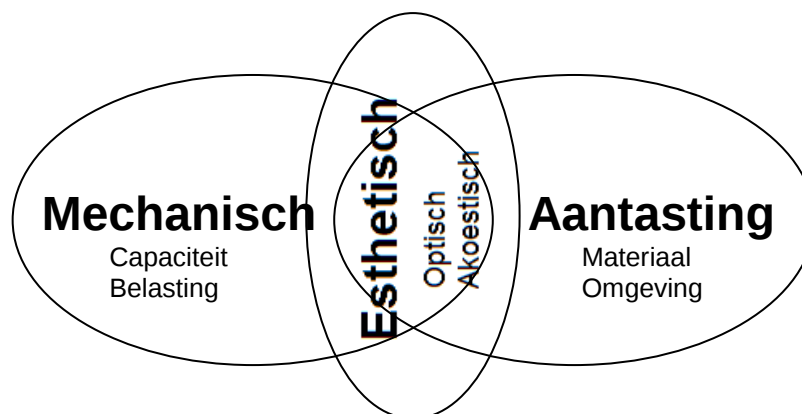
De eigenschappen van de bruggen zijn bekend, nu worden de verschillende problemen die deze bruggen kennen beschreven. De problemen zijn vaak oorzaak van fouten die in het ontwerp of in de uitvoering gemaakt zijn.

De problemen worden opgesplitst in drie categorieën. De categorieën zijn ingedeeld in: Belasting, waar alle mechanische problemen onder vallen; Esthetisch, waar alle optische en akoestische problemen besproken worden en aantasting, waar alle materialistische aantastingen geanalyseerd zijn.

Toch zijn de verschillende problemen niet los van elkaar te beschouwen. Aantasting zorgt vaak voor een optisch probleem. Aantasting kan er ook voor zorgen dat de constructie de gewenste belasting niet meer kan dragen. Bij Belasting- en aantastingsproblemen kan de veiligheid van de gebruiker in gevaar komen, deze zijn hierom van groot belang voor de functie en waarde van een brug.

De esthetische-, belasting- en aantastingsproblemen kennen verschillende oorzaken. Deze oorzaken worden beschreven en de gevolgen benoemd. Later in dit rapport worden bij de verschillende mechanismen de onderhoudsmaatregelen beschreven. De onderhoudsmaatregelen moeten deze problemen voorkomen of reduceren. Om de samenhang van de problemen in beeld te brengen is een schematische tekening gemaakt waarin de raakvlakken te zien zijn.

Om de raakvlakken van de problemen in beeld te brengen is er een schematische afbeelding gemaakt van de problemen. In deze afbeelding zien we het verband tussen de Mechanische-, Esthetische en Aantastingsproblemen.



Esthetische problemen:

Zijn afhankelijk van de belasting- en aantastingsproblemen.

Optische of akoestische eigenschappen worden aangetast.

Mechanische problemen:

Zijn afhankelijk van de functie, vorm en materiaal van de brug.

De constructie wordt schade aangedaan door overbelasting. Dit kan zijn door wijzigingen in verkeersklasse; functie veranderingen of aanrijdingen. Er zijn normen en aanbevelingen de constructies te herberekening of herstellen.

Aantastingsproblemen:

Zijn afhankelijk van materiaalkeuze en omgeving van de brug.

Wapeningsaantasting:

De wapening in beton wordt aangetast door in beton gedrongen stoffen.

Chemisch aantasting:

Het beton wordt schade aangedaan door een chemische reactie van stoffen uit de omgeving van de beton, of door stoffen in de beton onderling.

Fysische aantasting:

De beton wordt aangetast door de fysieke omgeving van de beton. De aantasting is afhankelijk van de thermische-, hygrische-, optische- of akoestische eigenschappen.

2.3.1 Esthetische problemen

Wanneer er eisen gesteld zijn aan de optische kwaliteiten wordt gesproken over 'schoon beton'. Hiervoor is CUR-aanbeveling 100 Schoon beton in het leven geroepen. Ook vervormingen of scheurvorming wordt esthetisch niet geaccepteerd.

Problemen bij esthetische eigenschappen:

- Verschil in betonkleur;
- Vlakheid oppervlak;
- Zichtbare scheuren;
- Uitbloeiingen;
- Zicht/voelbare vervormingen;
- Zichtbare stortnaad.

Esthetische problemen hebben chemische-, fysische aantasting maar ook mechanische problemen als oorzaak. Zichtbare vervormingen en scheurvorming wordt optisch niet geaccepteerd. Akoestische problemen worden voornamelijk veroorzaakt door het wegdek, het wegdek wordt in dit onderzoek niet behandeld.
(Cement en Betoncentrum, 2014) (Holcim, N.V., 2014)

2.3.1.1 Overzicht Esthetische problemen

Om de esthetische problemen duidelijk in beeld te brengen is een overzicht gemaakt in de vorm van een tabel. Hier is het probleem te zien, waardoor het veroorzaakt wordt en wat het probleem beïnvloed. Gevolgen bij esthetische problemen brengen de veiligheid niet in gevaar, maar maken de constructie optisch minder mooi.

ESTHETHISCHE AANTASTING	GEVOLG	PROBLEEM	OORZAAK	MECHANISME	BEÏNVLOEDING
OPTISCHE AANTASTING	OPTISCH MINDER MOOI	Verschil in betonkleur	Verwerking en afwerking beton	Kleur eigenschappen beton	Toeslagmateriaal; Nabehandeling
		Vlakheid van oppervlakte	Verwerking en afwerking beton	Verwerkingseigen schappen beton	Soort cement; Toeslagmateriaal; Wapening; Nabehandeling; W/C factor.
		Uitbloeiingen	Kalk	Dehydratatie van poriën	W/C factor; Temperatuur; Kalkgehalte in water.
		Uitbloeiingen	ASR	Alkaliën reageren met Silicaat	Soort cement; Toeslagmateriaal.
		Vervorming	Onvoldoende druk- of treksterkte	Belasting	Sterkteklasse; Vorm bouwwerk.
		Zichtbare stortnaad	Fasering; afwerking	Fasering stort	Uitvoering; Vorm bouwwerk; Nabehandeling.
		Scheurvorming	Nader te bepalen	Nader te bepalen	Nader te bepalen
AKOESTISCHE AANTASTING	GELUIDS-OVERLAST	Geluid door verkeer	Vorm bouwwerk	Trillingen	Vorm bouwwerk.

Tabel 4 - Overzicht Esthetische aantasting

2.3.2 Mechanisch falen

Mechanische eigenschappen bepalen of de beton sterk genoeg is de belastingen en spanningen aan te kunnen. Als de mechanische eigenschappen niet voldoen kan dit zich uiten in constructieve vervormingen. Kan de beton deze vervormingen niet opnemen vormen zich scheuren in de beton. Deze scheuren vormen verschillende problemen voor de constructie.

Oorzaken vervormingen:

- Fouten in ontwerp;
- Beton voldoet niet aan druksterkte;
- Beton voldoet niet aan treksterkte;
- Omgevingsfactoren.

Verschillende vervormingen:

- Doorbuiging;
- Treksterkte
- Krimp;
- Kruip;
- Vermoeiing;
- Dwarskracht.



Afbeelding 6 - Bezweken balk⁸

Scheuren in beton zijn niet verkeerd. Wapeningsstaal kan ook pas werken als er scheuren in het beton zitten. De zorgen komen als de scheuren niet in het patroon voorkomen die de constructeur voorzien had. Een constructie zal niet snel bezwijken door enkel scheurvorming. De constructies worden zo berekend dat belasting nooit de oorzaak van bezwijken zal zijn. Een scheur vormt zich waar de trekkrachten op de beton komen, hier is de wapening om de krachten op te nemen. De beton is een bescherming van de wapening, door scheurvorming komt er een breuk in de beschermingslaag. Het probleem bij scheurvorming met een te grote scheurwijdte is dat de wapening niet meer in een volledig beschermde omgeving ligt en hierdoor gaat corroderen. Ook zullen stoffen als zuur, koolstofdioxiden of sulfaten eerder diep in de constructie treden, waardoor deze aantastingsprocessen sneller zullen verlopen. Scheuren ontstaan vaak in de plastische fase, als het beton nog niet zijn eindsterkte heeft bereikt.

Scheuren in beton kunnen we in de volgende categorieën onderverdelen:

- Sedimentatie of zetting scheuren, ontstaan vlak na de stort door uitzakken toeslagmateriaal;
- Krimpscheuren, ontstaat door het te snel drogen van het uitgestoten water;
- Trekscheuren, ontstaan wanneer er trekspanningen in de beton voorkomen, jong beton is nog niet sterk genoeg deze te kunnen opvangen;
- Scheuren door vervormingen, bij te krachten op de constructie zal deze vervormen, de hoeveelheid is afhankelijk van de eigenschappen;
- Scheuren door vermoeiing;
- Scheuren door dwarskracht.

Scheuren zijn niet altijd mechanische problemen maar kunnen ook chemische problemen zijn. Het probleem bij scheurvorming is het indringen van zowel vocht, zuurstof als andere stoffen die de beton of wapening aantasten.

(Cement en Betoncentrum, 2014) (Betoniek, 1991) (Betoniek, 2014) (Holcim, N.V., 2014)

⁸ <http://www.scheikundeinbedrijf.nl/Docentenhandleiding/index.rails?id=4>

Zoals gezegd, een constructie zal niet snel bezwijken door enkel scheurvorming. De constructies worden zo berekend dat dit nooit de oorzaak van bezwijken zal zijn. Een scheur vormt zich waar de trekkrachten op de beton komen, hier is de wapening om de krachten op te nemen. De beton zit daar als bescherming van de wapening.

Een bij betonnen kunstwerken zelden voorkomend bezwijkmechanisme is vermoeiing. Dit is eigenlijk een probleem dat voornamelijk bij stalen kunstwerken voorkomt, omdat dit materiaal zich er meer voor leent. Toch wordt deze genoemd omdat het wel een mogelijke kans op bezwijken geeft.

2.3.2.1 Mechanische scheurvorming⁹

Scheurvorming heeft verschillende oorzaken. Deze zijn op te splitsen in mechanische problemen en aantasting. Mechanische problemen ontstaan door belastingen. Behalve bij extreme gevallen door aanrijdbelastingen zijn er ook gevallen waar de lasten van het verkeer al invloed heeft op de constructie. Meestentijd ontstaan de problemen na een functieverandering, waar het maximale gewicht of puntlasten gewijzigd worden. Een brug wordt op een bepaalde belasting berekend en zal te allen tijde voldoen aan de belasting eisen. Deze problemen ontstaan na een functiewijziging waarbij de maximale belasting overschreden wordt. Een gevolg hiervan is scheurvorming.

Scheurvorming kan ook een probleem zijn ontstaan door chemische aantasting. Door sulfaat aantasting of ASR wordt beton uit elkaar gedrukt. Door deze krachten ontstaan scheuren in de beton. Vorst schade of vries-/dooi en brand bestendigheid wordt als fysieke aantasting gezien.

Behalve dat scheurvorming esthetisch niet mooi, heeft het ook constructieve gevolgen. De gevolgen zijn afhankelijk van de scheurwijdte en omgeving. Scheuren versnellen degradatieprocessen en geven meer kans op wapeningscorrosie. Als de wapening roest verliest het nuttige diameters, waardoor het minder krachten kan opnemen. Hierdoor kan de brug minder trekkrachten opnemen waardoor de kans op bezwijken groter wordt.

Ook heeft het afbreken van schollen van de beton invloed op de druksterkte van de constructie. In de meeste gevallen is scheurvorming meer een esthetisch- dan een mechanisch probleem. Wel versneld of vergroot het andere aantastingsmechanismen.



Afbeelding 7 - Scheurwijdte

Probleem scheurvorming

Er zijn verschillende mechanische oorzaken voor scheurvorming. Deze worden hier opgesomd, later in het rapport worden er maatregelen benoemd die kunnen worden getroffen om scheurvorming te voorkomen of te onderhouden.

Druksterkte:

Druksterkte is de drukkracht die de beton kan opnemen. De druksterkte is niet eenzijdig, het is behalve van het materiaal ook afhankelijk van de omgevingsfactoren. Over het algemeen wordt de druksterkte van beton bepaald met de kubusdruksterkte, welke beschreven is in de betonnorm. Als de beton een te lage druksterkte heeft zal deze bij de gewenste kracht teveel vervormen, waardoor deze zal scheuren of zelfs bezwijken. (Betonlexicon, 2014) (Betoniek, 1995) (Betoniek, 1987) (Betoniek, 2003) (Holcim, N.V., 2014)

⁹ <http://www.vbkgroep.nl/portfolio/injecteren>

Treksterkte:

De treksterkte van beton is aanzienlijk lager dan de druksterkte. De treksterkte heeft een verband met de druksterkte van een mengsel. In de regel is de treksterkte ca. 10% van de druksterkte, afhankelijk van het type beton. Hoe de maximale trek precies bepaald wordt staat beschreven in NEN 6720.

(Betonlexicon, 2014) (Betoniek, 1995) (Betoniek, 1987) (Betoniek, 2003) (Holcim, N.V., 2014)

Krimp:

Krimp is de belangrijkste oorzaak van scheurvorming in beton. Krimp ontstaat ten gevolge van vochtverlies. Er zijn verschillende type krimp te onderscheiden, welke afhankelijk zijn van het stadium van de verharding van de beton. Deze soorten krimp zijn te onderscheiden door de samenstelling en de invloed factoren. We onderscheiden krimp in:

- Plastische krimp;
- Verhardingskrimp;
- Autogene krimp;
- Uitdrogingskrimp;
- Thermische krimp.

Deze krimpproblemen zijn te controleren, De problemen zijn afhankelijk van de elasticiteitsmodulus en de krachten die de beton moet verdragen. Een andere oorzaak is temperatuurverschil, waarbij de beton uitzet of krimpt.

(Cement en Betoncentrum, 2014) (Betoniek, 1986) (Holcim, N.V., 2014)

Kruip:

Kruip is de blijvende vervorming die optreedt na de belasting gedurende langere tijd op het beton is los gelaten. De hoeveelheid kruip in beton wordt uitgedrukt in de kruipcoëfficiënt. De kruip is afhankelijk van de elastische vervorming.

(Cement en Betoncentrum, 2014) (Betoniek, 1986)

Vermoeiing:

De oorzaak is een zeer lang aanhoudende maar wisselende belasting, hierdoor zal er een breuk in het materiaal ontstaan. Merkwaardig is, dat deze breuk kan ontstaan bij een belasting die ver onder de grensspanning is, als deze maar vaak herhaald wordt. Het vermoeiingsproces begint wanneer een materiaal een spanning boven zijn vermoeiingsgrens krijgt. Het vermoeiingsproces bestaat uit drie fasen: De initiatie-, propagatie- en terminatiefase. De terminatiefase is de fase waar de constructie bezwijkt. (Sitra Engineers, 2014)

Dwarskracht

De normaalkracht is de kracht die haaks op de lengte van de constructie staat. De spanning neemt toe naarmate de spanning dicht bij het steunpunt bepaald wordt. Hierdoor komen er schuifspanningen in de beton. Deze schuifspanningen moeten kunnen worden opgenomen, anders komen er scheuren in de beton. Tegenwoordig wordt in de meeste gevallen dwarskrachtwapening toegepast. Vroeger waren ze zich hier nog niet van bewust en is dit dus niet toegepast.

Zetting

Door zetting en voornamelijk verschil in zetting kan er vervorming in het kunstwerk komen. Deze vervorming kan scheurvorming veroorzaken. Ook zou het mechanicaschema van het kunstwerk kunnen veranderen door een andere oplegging dan oorspronkelijk mee gerekend.

2.3.2.2 Overzicht bezwijkmechanismen

Om de mechanische problemen duidelijk in beeld te brengen is een overzicht gemaakt in de vorm van een tabel. Hier is het probleem te zien, bijvoorbeeld scheurvorming. De oorzaak van scheurvorming kan zijn treksterkte wat bepaald wordt door de karakteristieke treksterkte van de beton en is afhankelijk van het soort cement, toeslagmateriaal en de water/cement factor. Het gevolg van de scheurvorming is het aantasten van de duurzaamheid van de constructie. Het zal de kans op aantasting vergroten, waardoor de restlevensduur van de constructie korter wordt.

BEZWIJK-MECHANISME	GEVOLG	PROBLEEM	OORZAAK	MECHANISME	BEÏNVLOEDING
MECHANISCH FALEN	AANTASTEN DUURZAAMHEID CONSTRUCTIE	Scheurvorming	Doorbuiging	Karakteristieke druksterkte	Soort cement; Toeslagmateriaal; W/C Factor.
	*KANS OP AANTASTING VERGROTEN	Scheurvorming	Treksterkte	Karakteristieke Treksterkte	Soort cement; Toeslagmateriaal; Wapening; W/C factor.
		Scheurvorming	Dwarskracht	Normaalkracht	Soort cement; Toeslagmateriaal; Wapening.
		Scheurvorming	Zetting	Zakkingen	Draagkracht ondergrond; Aardbevingen.
	AANTASTEN DUURZAAMHEID CONSTRUCTIE JONG BETON	Scheurvorming (Jong beton)	Sedimentatie	Zetting	W/C factor; Toeslagmateriaal; Sterkteklasse.
	*KANS OP AANTASTING VERGROTEN	Scheurvorming (Jong beton)	Krimp	Vochtverlies; Elasticiteits- modulus; Temperatuur	Uitvoering; Vorm bouwwerk; Soort cement; Toeslagmateriaal; W/C factor; Nabehandeling
		Scheurvorming (Jong beton)	Kruip	Elasticiteits- Modulus	Vorm bouwwerk; Soort cement; Toeslagmateriaal; W/C factor.
	VERMOEIING	Krachtsverlies beton	Wisselende belastingen	Sterkteklasse beton	Frequentie en grootte belastingen
		Krachtsverlies betonstaal	Wisselende belastingen	Hoeveelheid toegepast staal	Frequentie en grootte belastingen

Tabel 5 - Overzicht bezwijkmechanismen

2.3.3 Aantastingsproblemen

Een algemeen probleem bij beton is de aantasting. De kwaliteit van de constructie gaat achteruit wanneer het aangetast wordt door de omgeving. Dit gebeurt op verschillende manieren en bij verschillende omstandigheden. Aantastingmechanismen veroorzaken wapeningscorrosie, scheurvorming of degradatie van de beton.

2.3.3.1 Wapeningsaantasting

De kwaliteit van de constructie gaat achteruit wanneer de wapening aangetast wordt door de omgeving. Dit gebeurt op verschillende manieren en door bij omstandigheden. Verschillende aantastingmechanismen veroorzaken wapeningscorrosie.

In beton, vooral in constructief beton, wordt wapening toegepast. Dit omdat het de trekkrachten kan opnemen waar beton niet de eigenschappen voor heeft. Dit staal wordt in de beton gestort waar de beton het staal zou moeten beschermen. Door de hogere PH-waarde van de beton wordt een alkalisch milieu gecreëerd. Dit fenomeen wordt passivering van de beton genoemd.

De passivering van de beton kan door aantasting verloren gaan. En de wapening zal hierdoor niet meer in een beschermde omgeving liggen, dit wordt depassivering genoemd. Oorzaken van depassivering zijn:

- Carbonatatie
- Chloride indringing

Depassivering beton

Het gevolg van depassivering is corrosie van de wapening. De aantasting van de wapening komt door indringing van stoffen in de beton. Beton zorgt voor een alkalische milieu om de wapening. Dit weerhoudt de wapening van corrosie. Carbonatatie en indringen van chloriden kan dit beschermende milieu aantasten.

Carbonatatie

Koolstofdioxide(CO_2) werkt in op de alkalische bestandsdeling die zich bevinden in het poriewater van beton. Hierdoor wordt een zwak zuur gevormd, waar beton normaliter een base is. Het gas reageert met het kalk dat zich in het water van de poriën bevindt. Dit verlaagd de pH-waarde van het water naar 8, waar die van beton tussen de 12 en 13 is.

Het kalk dat door deze reactie gevormd wordt slaat neer in de poriën. Dit is positief want vertraagd het proces. Het wapeningsstaal zal vooral in een zeer wisselend vochtig milieu snel gaan corroderen. Bij beton dat zich volledig onder water of in droog milieu bevindt treedt geen carbonatatie op.

(Betoniek, 1991) (Betonlexicon, 2014) (Holcim, N.V., 2014)



Afbeelding 8 - Chloride aantasting¹⁰

¹⁰ <http://www.rbtechnics.be/chlorures-nl.html>

Chloride aantasting

Chloorionen maken ijzerionen uit de passiveringslaag (betondekking) vrij. Met deze ionen vormt het zoutzuur. Dit zoutzuur veroorzaakt een lagere pH-waarde in het beton, door deze lagere pH-waarde wordt dit proces versneld. Het is een zeer lokale aantasting en is zichtbaar met bruine roestvlekken op het oppervlaktebeton. Aantasting van chloriden kan op twee manieren: Door ingemengde of ingedrongen chloriden. Bij ingemengde chloriden bevonden de chloriden zich al in de beton bij de realisatie. Ingedrongen chloriden komen uit de omgeving, bijvoorbeeld uit grondwater.

(Betoniek, 2003) (Betonlexicon, 2014) (kb-kenniscentrum, 2014) (Cement en Betoncentrum, 2014)(Betoniek, 1993)

Carbonatatie en chloride aantasting vallen niet onder chemische aantasting omdat de aantasting geen invloed zou hebben op beton waar geen wapening in verwerkt is. Bij gewapend beton wordt slechts de wapening aangetast, de aantasting heeft geen gevolgen voor de duurzaamheid van de beton. Door de corrosie van de wapening kan de beton wel worden kapot gedrukt. Bij chemische aantasting wordt de constructieve waarde van de beton zonder toegepaste wapening alsnog schade aangedaan.

2.3.3.2 Chemische aantasting

Chemische aantasting is de aantasting van de beton door een reactie van stoffen uit de beton onderling of met stoffen uit de omgeving. Chemische aantasting leidt tot scheurvorming, oplossing of krachtsverlies van de beton. Deze aantasting wordt veroorzaakt door:

- Aantasting door sulfaten;
- Alkaline-Silica-reactie (ASR);
- Aantasting door zuur.

Chemische scheurvorming

Eerder is scheurvorming door belasting behandeld. In deze paragraaf wordt ingegaan op scheurvorming met een chemische oorzaak. Door deze scheurvorming wordt de kans op wapeningscorrosie vergroot, verder neemt de trekkracht van de beton ook af.

ASR

Is een chemische reactie tussen, zoals de naam het al zegt, alkaliën en silica bevattende bestandsdelen. Alkaliën bevinden zich in het beton, deze reageren in combinatie met silica uit de toeslagmaterialen en vormen een gel. Deze gel drukt het beton van binnenuit kapot. ASR wordt ook wel de "kanker van de beton" genoemd. In de meeste gevallen moeten de onderdelen waarin ASR is opgetreden worden vervangen.

(Rijkswaterstaat, 2014) (Rademaker, 2014) (Cement en Betoncentrum, 2014) (Betoniek, 2004) (Betoniek, 1994) (Betoniek, 2002) (Holcim, N.V., 2014)

Sulfaat aantasting

Sulfaten bevinden zich in de bodem, deze werken zich in het beton. Dit komt door een reactie van de sulfaten uit de bodem met het portlandcementklinkermineraal. Met deze reactie wordt ettringiet gevormd, wat een coating over het beton creëert. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen externe- en interne sulfaataantasting.

De externe sulfaataantasting wordt veroorzaakt door het in contact komen met het sulfaat houdende grondwater. Het gevolg hiervan is scheurvorming. Scheuren die veroorzaakt worden door de volumevergroting bij het vormen van ettringiet; en sterkteverlies door vorming van gips of de vorming van thaumasiet (bij temperaturen <5°C). Als de beton in contact komt met zeewater kunnen er ook silicaathydraten gevormd worden.

Interne sulfaataantasting kan optreden bij massabeton, waar de inwendige temperatuur door hydratatiewarmte bij jong beton kan oplopen tot >70°C. Door deze hoge temperatuur komt het sulfaat vrij uit het cementsteen en komt dit sulfaat in reactie met het klinkermineraal en vormt ettringiet. De zwelling die ettringiet vormt heeft evenals bij de externe variant scheurvorming als gevolg.

(Cement en Betoncentrum, 2014) (Betonlexicon, 2014) (Betoniek, 1998) (Holcim, N.V., 2014)

Degradatie van beton

Degradatie is een chemische aantasting. Degradatie is de afbraak of de verlies van kwaliteit van een moleculenverbinding door een reactie. Degradatie kan door oplossing of krachtsverlies worden veroorzaakt. De oorzaak van oplossing van beton is het reageren van zuur uit de omgeving met de bestanddelen van beton, welke oplossing van de beton als gevolg heeft. De oorzaak van krachtsverlies van beton is het reageren van bestanddelen van beton met elkaar of met stoffen uit de omgeving waardoor de betonsterkte wordt aangetast.

Oplossen van beton

De oplossing van beton heeft als oorzaak de PH verhoging van de omgeving wanneer een zuur in de omgeving komt van de beton. Vaste stoffen in de beton lossen op in contact met zuur omdat er geen chemisch evenwicht meer is.

Aantasting door zuur

Zuur komen voor in de bodem, voornamelijk bij een agrarische of industriële omgeving. De aantasting van zuur kan leiden tot aantasting door uitloging (oplossing). Uitloging ontstaat door de hogere concentratie van calcium- of hydroxide-ionen in het poriewater dan in de omgeving. Hierdoor transporteert het zich naar de omgeving.

Vaste stoffen in de beton lossen op in contact met zuur omdat er geen chemisch evenwicht meer is. Beton is basisch en zal hierdoor reageren met de zure bestanddelen in de omgeving. Hierdoor zal de vaste beton zich oplossen in de zure omgeving. (Cement en Betoncentrum, 2014) (Betonlexicon, 2014) (Betoniek, 1998) (Holcim, N.V., 2014)



Afbeelding 9 - Zuuraantasting¹¹

Sterkteverlies beton

Sterkteverlies van beton is een chemische aantasting. Door chemische reacties worden de bindingen tussen de bestandsmaterialen van beton gebroken. Hierdoor heeft de beton niet meer de sterkte die het in oorsprong had of zou moeten hebben. Er zijn twee chemische oorzaken die de sterkte van de beton aantasten. Dat zijn:

- *ASR**
- *Sulfaat aantasting**

*Deze aantastingsmechanismen zijn onder chemische scheurvorming al omschreven.

2.3.3.3 Fysische aantasting

Behalve door chemische aantasting wordt de constructie ook aangetast door fysische aantastingsprocessen. Fysische aantasting is de aantasting door de omgevingseigenschappen als wind, water en temperatuur. Voorbeelden van fysische aantastingen zijn:

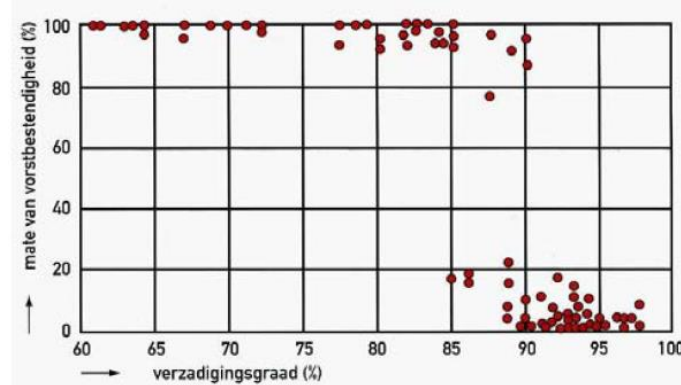
- Vorst
- Vries-/dooi bestendigheid
- Brandbestendigheid

¹¹ <http://betonlexicon.nl/Z/Zuuraantasting/media/zuuraantasting2.jpg>

Fysische scheurvorming

Vorst:

Beton wordt door verschillende oorzaken aangetast door vorst. De aantasting is het ergst wanneer vorst en dooi zich snel afwisselen. Bij het bevriezen van water zet het ongeveer 9% uit. Ook de poriën van beton bevatten water. Dit water zet uit wanneer het bevroert, en kan door deze uitzetting wordt er een kracht opgebouwd. Is deze kracht groter dan de trekkracht van de beton dan vormt zich een scheur. De verzadigingsgraad van de beton is van belang. De hoeveelheid lucht zich in de poriën bevind is maatgevend voor de kans op scheurvorming.



Afbeelding 10 - Verzadigingsgraad beton¹²

In Afbeelding 10 - Verzadigingsgraad beton Afbeelding 10 is de verzadigingsgraad uitgezet tegen de mate van vorstbestendigheid. Te zien dat de vorstbestendigheid na een verzadigingsgraad van 85% aanzienlijk groter wordt.

De kans op vorstschade wordt aanzienlijk kleiner met een

Vries-/dooi bestendigheid:

De vorst zelf is niet enkel het probleem. Tegen vorst strooien we zout, om de wegen begaanbaar te houden. Zout onttrekt warmte uit de omgeving, in dit geval dus uit de beton, waardoor er ter plaatse van de zoutkorrel een lagere temperatuur ontstaat. Hier zal het water ter plaatse bevriezen en uitzetten. Ter plaatse van de zoutkorrel zal de beton eraf breken (Dit wordt 'pop-out' genoemd).

Door het strooien bevinden zich ook zouten in de poriën, wanneer het water bevroert scheiden de zouten zich af, wat de concentratie van deze zouten plaatselijk verhoogd. Omdat het water dat zich in kleinere poriën bevind niet zo koud is als dat in de grotere, is de zoutconcentratie gelijk gebleven. Het zout dat zich in hoge concentratie in de grotere bevroren holtes begeeft wil volgens de osmosewetten de concentraties gelijk houden. Deze poriën zullen een toestroom van kleine naar grote poriën veroorzaken, is deze toestroom sterker dan de cohesie van het beton, dan zal er scheurvorming optreden.

Tegelijkertijd stoot het ijs, dat zich aan het uitzetten is het toestromende water af. Afhankelijk van de koelsnelheid wordt bepaald hoeveel water er moet worden uitgedreven. Het uitgedreven water moet een volgende porie vinden om te verblijven. De



weg naar die porie veroorzaakt een stromingsweerstand, die afhankelijk is van de afstand naar de porie. Vanzelfsprekend moet de afstand zo klein mogelijk zijn, anders wordt de weerstand te groot en zal de drukkracht van het water de trekkracht van de beton overtreffen.

(Ployaert, Ontwerp van betonconstructies bestand tegen vorst-dooicycli en dooizouten, 2014) (Betonek, 2007) (Betonek, 1999) (Betonek, 1980) (Holcim, N.V., 2014)

Afbeelding 11 - Schollen van beton¹³

¹² Betonek (1999) *Vorst en dooi*

¹³ <http://www.bouwenwonen.net/news/read.asp?id=27087>

Brandbestendigheid

Brand zorgt voor een temperatuurverhoging in de omgeving van beton. Deze temperatuurverhoging heeft negatieve gevolgen voor de beton. De temperatuur is maatgevend voor de ernst van de gevolgen. De tijd dat een beton met brand- en de temperatuur van de brand waarmee de beton in aanraking komt is hierbij maatgevend. Gevolgen van brand zijn het afspatten van beton en het verminderen van sterkte. De hoeveelheid afname van sterkte hangt nauw samen met de temperatuur in de beton. (Betoniek, 2008)

2.3.3.4 Overzicht aantastingsmechanismen

Om de aantastingsproblemen duidelijk in beeld te brengen is er net als bij de esthetische en mechanische problemen een overzicht gemaakt in de vorm van een tabel. Hier is het probleem te zien, bijvoorbeeld depassivering van beton. De oorzaak van depassivering kan zijn carbonatatie wat bepaald wordt door de PH-waarde van de beton en is afhankelijk van het soort cement, toeslagmateriaal en de water/cement factor. Het gevolg van de depassivering is wapeningscorrosie. Wapeningscorrosie is gevaarlijk voor een constructie, aangezien de werkende diameters staal verminderen en dit hierdoor minder trekkrachten kan opnemen.

AANTASTINGS-MECHANISME	GEVOLG	PROBLEEM	OORZAAK	MECHANISME	BEÏNVLOEDING
WAPENINGS AANTASTING	CORROSIE WAPENING	Depassivering beton	Carbonatatie	PH-waarde beton; Indringing	Dekking; W/C factor; Nabehandeling.
		Depassivering beton	Chloride aantasting	PH-waarde beton; Indringing	Soort cement; Dekking; W/C factor; Nabehandeling.
CHEMISCHE AANTASTING	DEGRADERING BETON	Oplossen beton	Zuur	PH-waarde omgeving	Soort cement; W/C factor; Dekking; Nabehandeling; zuurtegraad omgeving.
		Scheurvorming; Krachtsverlies beton	Sulfaat aantasting	Sulfaat reageert met Portlandklinkermi neraal	Soort cement; Verdichting; Nabehandeling.
		Scheurvorming; Afdrukken beton	ASR	Alkaliën reageren met Silicaat	Soort cement; Toeslagmateriaal.
FYSISCHE AANTASTING	DEGRADERING BETON	Scheurvorming; Afdrukken beton	Vorst	Temperatuur; Poriewater	Nabehandeling; Soort cement; W/C factor.
		Pop-outs	Vries-/dooi bestendigheid	Temperatuur Zouten	Nabehandeling; Soort cement; W/C factor.
		Spatten beton; Krachtsverlies.	Brand bestendigheid	Temperatuur	Dekking; Poriënvolume; Toeslagmateriaal.

Tabel 6 - Overzicht aantastingsmechanismen

2.3.4 Conclusie problematiek betonnen bruggen

Een brug heeft bepaalde eigenschappen bij functie, vorm en daarbij gekozen materiaal. De functie wordt bepaald en vervolgens wordt een constructie wordt hierop berekend en ontworpen. Na een functieverandering kan het zo zijn dat een constructie de belastingen niet meer kan opnemen.

Beton is een sterk, constructief en duurzaam bouwmiddel dat het voordeel kent dat het in elke vorm te verwerken is. De belangrijkste eigenschap van beton is zijn druksterkte. Gewapend of voorgespannen beton heeft het voordeel dat het ook trekspanningen kan opnemen. Toch heeft beton een spanningsgrens en wordt de beton aangetast door de omgeving. Hierdoor zal de kwaliteit van de constructie achteruit gaan. De verschillende problemen worden ingedeeld in drie categorieën, die toch veel samenhang kennen. De problemen zijn onder te verdelen in:

Esthetisch

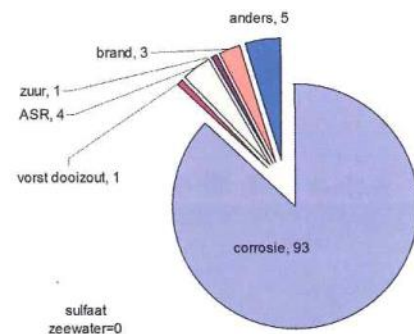
- Beton oppervlak;
- Betonvorm.

Belasting

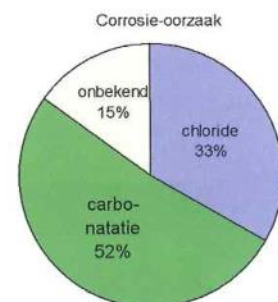
- Belasting problemen:
 - Scheurvorming;
 - Vervorming;
 - Vermoeiing.

Aantasting¹⁴

- Wapeningsaantasting:
 - Carbonatatatie;
 - Chloride aantasting.
- Chemische aantasting:
 - Aantasting door zuur;
 - Sulfaat aantasting;
 - Alkaline-Silica-reactie.
- Fysische aantasting:
 - Vorst;
 - Vries-dooi-bestendigheid;
 - Brandbestendigheid.



Afbeelding 12 - Aantastingsproblemen



Afbeelding 13 - Oorzaak corrosie

Esthetische problemen zijn minder kritisch dan problemen waarbij de veiligheid of bruikbaarheid wordt aangetast, aangezien dit niet direct de levensduur van een kunstwerk bepaald. De esthetische eigenschappen zijn wensen, en worden niet als duurzaamheidseisen gezien.

Wapeningsaantasting is het meest voorkomende probleem. Chloriden en koolstofdioxiden dringen in de beton en veroorzaken depassivering van de beton. Een ander probleem is de krachtsverlies- of het oplossen van beton wat leidt tot degradatie. Dit komt door een reactie van de materialen in de beton met de omgeving. Hierdoor wordt de sterkte van beton aangetast

De problemen bij de bruggen zijn in deze paragraaf behandeld. In het volgende paragraaf worden de maatregelen tegen de problemen in beeld gebracht.

¹⁴ Ven, P. van de & Steen, C. van der (2011) *Betononderhoud*

2.4 Levensduur verlengende maatregelen

Levensduur verlengende maatregelen zijn onderhoudsmaatregelen die de levensduur van een betonnen brug verlengen. Er zijn verschillende typen onderhoudsmaatregelen. In dit onderzoek wordt de totale levensduur van een kunstwerk beschouwd. Hiervoor wordt er naar de combinatie van preventief en correctief onderhoud gekeken.



Afbeelding 14 - Bezweken brug¹⁵

Er zijn veel landen waar onderhoud aan de infrastructuur een probleem is geworden of aan het worden is. We zien dit bij de landen om ons heen, zoals Frankrijk, België en Duitsland. Dit wordt duidelijk uit de artikelen “Helft van Vlaamse bruggen heeft herstelling nodig” (Nieuwsblad, 2014); en “Duitse snelwegen in slechte staat” (Plante, 2014). In deze artikelen wordt gesproken over de onderhoudsproblemen die de landen hebben, voornamelijk door achterstallig onderhoud aan de kunstwerken.

Niet alleen in Europa maar ook in Amerikaspelen de problemen met het onderhoud. De problemen worden bekend gemaakt in een toespraak die President Obama in mei 2014 geeft in Terry Town, New York (Whitehouse, 2014). Waar hij het voornamelijk positief wil brengen door meer werkgelegenheid te bieden. Dit is ook te lezen in het artikel “VS laten infrastructuur versloffen” (NRC, 2014). De problemen zullen moeten worden verholpen, er worden bruggen vervangen of de levensduur van de kunstwerken moet worden verlengd door middel van onderhoudsmaatregelen. Om te weten of de problemen overeenkomen met de problemen die we hier ondervinden moet dit geanalyseerd worden.

De maatregelen die nu genomen worden in omliggende landen zijn voornamelijk gewichts- en snelheidsbeperkingen. In Duitsland zijn inmiddels twee bruggen afgesloten voor zwaar-verkeer. In Nederland willen we dit voorkomen, daardoor moeten er goede maatregelen getroffen worden, waar het verkeer zo min mogelijk gehinderd wordt. (Nieuwsbladtransport, 2014)

Rijkswaterstaat heeft een onderzoek gestart in samenwerking met de TU Delft en TNO waar ze onderhoud van de infrastructuur onderzoeken, dit team is InfraQuest genoemd. Hier is ook de problematiek van kunstwerken onderzocht. Dit is internationaal bekeken en er is geconcludeerd dat niet alleen Nederland, maar ook Duitsland, Verenigd Koninkrijk en Frankrijk met deze problemen zit. Bij dit onderzoek is geconcludeerd dat Nederland voorloopt op de structurele aanpak van deze problematiek. Het internationale experts team was van mening dat het verstandig was een internationaal beoordelingsprotocol van bestaande kunstwerken op te zetten. Dit zou enkele jaren duren, wat Rijkswaterstaat te lang vond. Hierdoor heeft Rijkswaterstaat een eigen methodiek ontwikkeld. De internationale experts hebben aanbevelingen gedaan en de methodiek vervolgens bevestigd. (Eurlings, 2014) (Rijkswaterstaat, 2014)

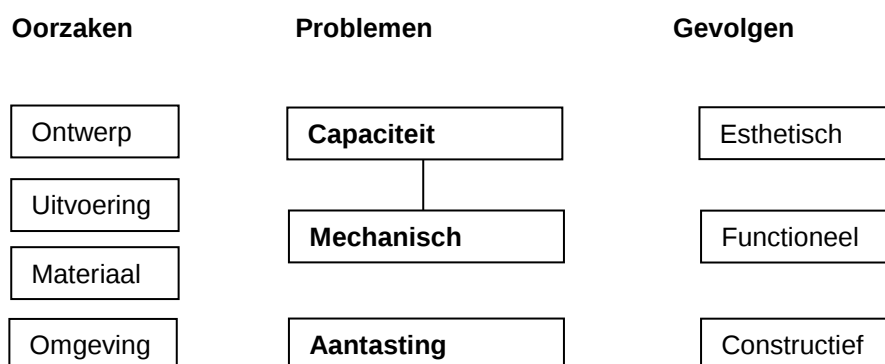
¹⁵ <http://blog.cvsflags.com/flag-news/flags-at-half-staff-for-five-year-anniversary-of-35w-bridge-collapse>

2.4.1 Nederlandse aanpak

De levensduur van een kunstwerk is afhankelijk van de beginconditie en de maatregelen die er worden genomen de (rest)levensduur te waarborgen. Er zijn verschillende aantastingsmechanismen die invloed hebben op de levensduur van een kunstwerk. Verschillende maatregelen kunnen deze invloeden voorkomen, verbeteren of verhelpen.

De overheid onderscheidt twee typen onderhoud, preventief- en corrigerend onderhoud. De twee typen zijn te onderscheiden in het moment en mate van ingrijpen. Dit hangt samen met de conditie van het onderdeel waaraan het onderhoud gepleegd wordt. De conditie wordt bepaald bij de bouw van de brug. Om de conditie te waarborgen is in alle begin de gewenste levensduur vastgesteld.

De duurzaamheid van de constructie is afhankelijk van de omgeving, materiaal, uitvoering en ontwerp. De duurzaamheid kan worden aangetast door mechanische-, fysische- en/of chemische aantasting. Dit heeft esthetische-, functionele of constructieve gevolgen. Er wordt voornamelijk naar de constructieve gevolgen gekeken, deze zijn relevant voor de veiligheid en bruikbaarheid van een brug.



Aan de mechanische- en capaciteitsproblemen worden in NEN 6720 eisen gesteld. In de norm staan eisen over het draagvermogen en de vervormingen waaraan de constructies moeten voldoen. Ook de bepalingsmethoden hoe de constructies getoetst kunnen worden staan in deze norm beschreven. Om de sterkte van het materiaal te waarborgen is een norm opgesteld. Een belangrijke norm voor de materiaaleigenschappen is NEN-EN 206 met als aanvulling NEN 8005. In deze normen worden de beton- specificaties, eigenschappen, vervaardiging en conformiteit besproken. Verder zijn er bij verschillende onderdelen nog toepassingsadviezen geschreven. Deze adviezen zijn geschreven in de CUR-aanbevelingen.

De bestandheid tegen wapenings-, fysische- en chemische aantasting is afhankelijk van de materiaal- en omgevingseigenschappen. Voor de problemen door depassivering, fysische- of chemische aantasting bij bestaande kunstwerken zijn geen normen geschreven. Om de maatregelen tegen deze aantasting in kaart te brengen worden eerst de oorzaken en gevolgen beschreven.

In Nederland kennen we verschillende typen onderhoud. Welk onderhoud benodigd is, is afhankelijk van de leeftijd, staat en gewenste levensduur van de brug. We onderscheiden de typen onderhoud in:

- *Preventief onderhoud*
Preventief onderhoud is bedoeld om de levensduur van een kunstwerk zo goed mogelijk te waarborgen, en wordt uitgevoerd voor een probleem ontstaan is.
- *Correctief onderhoud*
Mochten de onderdelen van het kunstwerk niet meer voldoen, dan kunnen er correctieve maatregelen uitgevoerd worden. Deze maatregelen zijn vaak kostbaar.

2.4.2 Onderhoudsmaatregelen

Tegen de verschillende aantastingen worden verschillende maatregelen genomen. De maatregelen zijn afhankelijk van het type onderhoud dat er gevraagd wordt. De maatregelen voor preventief onderhoud zijn minder ingrijpend dan de maatregelen die worden getroffen als het kunstwerk om correctief onderhoud vraagt. Hier zit een verschil in kosten, tijd en uitvoerbaarheid. De maatregelen zullen zich richten op de mechanismen die het probleem veroorzaken. Er worden maatregelen genomen tegen belasting problemen of wapenings-, fysische- en chemische aantasting. Daarbij wordt ook beschreven wat het mechanisme beïnvloed en versterkt.

De maatregelen worden ingedeeld onder vier mechanismen en vervolgens beschreven. Ook wordt beschreven hoe de maatregelen bij het ontwerp of de uitvoering kunnen worden voorkomen.

- **Maatregelen tegen scheurvorming**
 - Mechanische Scheurvorming voorkomen
 - Chemische scheurvorming voorkomen
 - Fysische scheurvorming voorkomen
 - Preventieve maatregelen
 - Corrigerende maatregelen
- **Maatregelen tegen depassivering**
 - Depassivering voorkomen
 - Preventieve maatregelen
 - Corrigerende maatregelen
- **Maatregelen tegen oplossing**
 - uitloging voorkomen
 - Preventieve maatregelen
 - Corrigerende maatregelen
- **Maatregelen tegen sterkteverlies van beton**
 - krachtsverlies voorkomen
 - Preventieve maatregelen
 - Corrigerende maatregelen

2.4.2.1 Maatregelen tegen scheurvorming

Mechanische Scheurvorming voorkomen:

- Krimpvoegen toepassen;
- Wapening en stortfasering afstemmen op ontwerp;
- Goed nabehandelen Vooral jong beton is erg gevoelig voor vorstschade, de jonge beton afdekken en opspuiten met curing compound. Wanneer er vorst verwacht moet niet met water worden nabehandeld en juist nathouden bij warm weer;
- Een goede verdichting van de beton.

Chemische scheurvorming voorkomen:

- In een nat milieu is een laag alkaligehalte in beton ($<3\text{kg/m}^3$) van belang, dit wordt bereikt door hoogovenslag of poederkoolvliegashoeveel toe te passen in plaats van portlandcement;
- Een laag silicaat gehalte in toeslagmateriaal (vuursteen/chalcedon/opaal $<2\%$) reduceert de kans op ASR;
- Een lage water/cementfactor heeft positieve invloed op de mechanismen.

Fysische scheurvorming voorkomen:

- Goed nabehandelen conform Bijlage B van NEN 6722; Vooral jong beton is erg gevoelig voor vorstschade, de jonge beton afdekken en opspuiten met curing compound. Wanneer er vorst verwacht moet niet met water worden nabehandeld;
- In tegenstelling tot de andere aantastingsmechanismen is portlandcement (met luchtbelvormer) in het geval van veel vries en dooi beter dan hoogovenslak. Dit komt door de grotere expansieruimte die portlandcement biedt.
- Een lage water/cementfactor heeft positieve invloed op de mechanismen.

Preventieve maatregelen:

- (Hogedruk) Injecteren scheuren;
- Beschadigde oppervlakten handmatig repareren;
- Coating herstellen of aanbrengen;
- Beton impregneren (hydrofoberen) zodat vocht buiten de constructie blijft.

Corrigerende maatregelen:

- Weghakken beschadigd/aangetast beton, nieuwe beton aanbrengen;
- Constructie versterken door constructieve overlaging;
- Extra (voorspan) wapening aanbrengen;
- Overspanning verkorten.

2.4.2.2 Maatregelen tegen depassivering

Depassivering voorkomen:

- Voldoende dekking toepassen, hierdoor zal het langer duren voor de carbonatatie of chloride de wapening bereikt.
- Met een lage water/cementfactor wordt de reactiemogelijkheid kleiner. Hierdoor zal carbonatatie in mindere mate optreden, en de reactie met chloriden verminderen.
- Een goede nabehandeling, door bijvoorbeeld te impregneren of conserveren/hydrofoberen wordt de kans op indringing van zuurstof, water, Chloriden of CO₂ gereduceerd.
- De cementkeuze, hoogoven- of vliegascement zijn de betere keuze. Tegen chloride indringing gaat de voorkeur uit naar hoogoven of vliegascement. Deze cementtypen hebben een lager permeabiliteit dan “normaal” portlandcement, hierdoor zal er minder chloride indringen. Als carbonatatie het grootst verwachte probleem is kan er beter gekozen worden voor portlandcement. Door de hogere hydratatiegraat van hoogovencement zal eerder carbonatatie optreden. Deze hydratatiegraat wordt minder en op den duur zal het minder verschil uitmaken.

Preventieve maatregelen:

- Dampdoorlatende coating met een hoge diffusie weerstand aanbrengen die zuurstof buiten constructie houdt;
- Beton impregneren (hydrofoberen) zodat vocht buiten de constructie blijft;
- De wapening kathodisch beschermen
- (Hogedruk) Injecteren scheuren;
- Beschadigde oppervlakten handmatig repareren;
- Dechloreren beton.
- Realkaliseren beton

Corrigerende maatregelen:

- (Hogedruk) Injecteren scheuren;
- Beschadigde oppervlakten handmatig repareren;
- Constructie versterken door constructieve overlaging;
- Extra (voorspan) wapening aanbrengen.

2.4.2.3 Maatregelen tegen oplossing

Uitloging voorkomen

- Een goed soort cement, de voorkeur gaat uit naar hoogoven of vliegascement. Deze zijn minder permeabel dan beton gemaakt met portlandcement;
- Een lage water/cementfactor heeft positieve invloed op het voorkomen van de reactie;
- Gebruik kalksteen als toeslagmateriaal;
- Beton te beschermen met een extra dekking (opofferingslaag);
- De beton bedekken met kunststof;
- Een goede nabehandeling.

Preventieve maatregelen:

- Beton te voorzien van een coating of impregneermiddel (op basis van epoxy);
- Beschadigde oppervlakten handmatig repareren met epoxy;
- De beton onder vacuüm behandelen met siliciumtetrafluoridegas (SiF_4);
- De beton behandelen met natriumsilicaat of magnesiumfluorsilicaat;
- Toevoegen van calciumzout in omgeving van de beton om de omgeving te neutraliseren.
- Extra laagdekking aanbrengen (opofferingslaag) met spuitbeton.

Corrigerende maatregelen:

- Constructie versterken door constructieve laag, die tevens werking heeft als opofferingslaag;
- Beschadigde oppervlakten handmatig repareren met epoxy.

2.4.2.4 Maatregelen tegen sterkteverlies van beton

Krachtenverlies voorkomen:

ASR:

- Een goed soort cement, de voorkeur gaat uit naar hoogoven of poederkoolvliegascement. Deze zijn minder permeabel dan beton gemaakt met portlandcement;
- Bouwdelen met afmetingen <1m, hierdoor zal er in een droog milieu geen ASR kunnen optreden;
- Een laag silicaat gehalte in toeslagmateriaal (vuursteen/chalcedon/opaal <2%) reduceert de kans op ASR.

Sulfaataantasting (ESA):

- Een goed soort cement, de voorkeur gaat uit naar hoogoven of poederkoolvliegascement. Deze zijn minder permeabel dan beton gemaakt met portlandcement en bevatten minder tricalciumluminaat (C3A);
- Een niet te hoge (capillaire polen) en niet te lage (permeabiliteit) W/C factor van de cement;
- Micro scheurvorming vermijden;
- Een goede verdichting van de beton;
- Een goede nabehandeling.

Sulfaataantasting (ISA):

- Micro scheurvorming vermijden;
- Verwerkingstemperatuur <70°C;
- Een goede verdichting van de beton;
- Een goede nabehandeling.

Brandbestendigheid

- Polypropyleen vezels toepassen in beton;
- Lage W/C factor;
- Klein poriën volume
- Hittebestendig toeslagmateriaal.

Preventieve maatregelen:

- Beton impregneren (hydrofoberen) zodat vocht buiten de constructie blijft;
- (Hogedruk) Injecteren scheuren.
- Beschadigde oppervlakten handmatig repareren;

Corrigerende maatregelen:

- (Hogedruk) Injecteren scheuren.
- Beschadigde oppervlakten handmatig repareren;
- Extra (voorspan) wapening aanbrengen.
- Constructie versterken door constructieve overlaging;

Bij interne sulfaataantasting of ASR zal de constructie spoedig moeten worden vervangen.

2.4.3 Conclusie maatregelen betonnen brug:

Belangrijk voor de levensduur van een brug is de kwaliteit van het ontwerp en de uitvoering. Er zijn verschillende eigenschappen van een brug die invloed hebben op de levensduur. De constructie moet sterk genoeg gebouwd worden, zodat het de belastingen kan dragen. De materiaalkeuze voor bepaalde eigenschappen is van belang om aantastingsmechanismen zoveel mogelijk tegen te gaan. De aantastingsmechanismen van beton zijn in drie categorieën in te delen.

1. Wapeningsaantasting
2. Fysische aantasting
3. Chemische aantasting

Om de aantastingsmechanismen te voorkomen wordt bij het ontwerp de keuze gemaakt voor een goede betonsoort. Afhankelijk van de verwachte problemen worden hoogoven-vlieg-as- of portlandcement beton toegepast. Het liefst een beton die geen lage consistentie heeft, dus een laag water/cementgehalte en een goede korrelgradering. Een samenhang door fijn laag silicaat houdend toeslagmateriaal en een voldoende sterke sterkteklasse. Ook moet er op de vormgeving gelet worden, zodat er voldoende dekking, waar nodig krimp-scheuren en de juiste wapening wordt toegepast.

In de uitvoering moet er op gelet worden dat de beton goed verdicht en nabehandeld wordt. Na het storten de jonge beton afdekken en opspuiten met curing compound en eventueel nathouden bij warm weer. Belangrijk is om de scheurvorming in de beton zoveel mogelijk te minimaliseren. Dit vermindert de kans op aantastingsmechanismen. Daarnaast is het belangrijk de coatings en impregneermiddelen te onderhouden en maatregelen te nemen wanneer problemen zich vormen.



Afbeelding 15 - Bruggen¹⁶

¹⁶ <http://www.romein.nl/bruggen.php?id=15>

2.5 Conclusie literatuur onderzoek

Duidelijk is dat in Nederland voor het grootste deel van de bruggen voor betonnen ligger of plaatbruggen gekozen wordt. Dit blijkt uit de cijfers van zowel de Nederlandse Bruggenstichting als de cijfers van Rijkswaterstaat. De problemen die bij deze bruggen voorkomen zijn over het algemeen bekend en goed te herkennen aan verschillende kenmerken. Ook zijn de maatregelen tegen de verschillende problemen bekend en kan er ook bij het ontwerp en uitvoering al veel gedaan worden om de levensduur van een kunstwerk te garanderen.

Het is lastiger te bepalen wat de restlevensduur van een kunstwerk is. De gewenste levensduur wordt bepaald door de wens van de beheerder. Of de brug deze levensduur haalt is afhankelijk van het onderhoud en omgevingsfactoren. Om de restlevensduur van bruggen te bepalen worden verschillende inspecties en schouwen gedaan om de voortgang of achteruitgang van de constructie te monitoren. De huidige staat van een constructie is in te delen in 5 niveaus. Deze niveaus staan parallel met de onderhoudsmaatregelen die afhankelijk van de gewenste levensduur nodig zijn om de constructie op te knappen.

De restlevensduur van een constructie komt in gevaar wanneer er een te grote belasting op de brug komt of wanneer de brug wordt aangetast door wapeningscorrosie, fysische- of chemische aantastingsmechanismen. Mechanische problemen worden voornamelijk kritisch na een functieverandering. Aangezien de belastingen op de constructie dan worden gewijzigd. Deze problemen kunnen worden voorkomen door de constructie opnieuw te berekenen en waar nodig te versterken. Fysische aantasting ontstaat door fysieke aantasting van de omgeving. Voornamelijk lage of hoge temperaturen of snelle temperatuurswisselingen hebben een grote invloed op de constructie. Deze aantasting kan niet worden voorkomen, maar de gevolgen kunnen worden gereduceerd door hier rekening mee te houden bij het ontwerp van het kunstwerk.

Chemische aantasting is afhankelijk van vaak onbekende omstandigheden in de omgeving en vragen vaak tegengestelde maatregelen bij voorkomende aantastingen. Hierdoor is het lastig om met alle aantastingsmechanismen rekening te kunnen houden. Het is dan ook van belang de meest verwachte aantastingen te reduceren door passende maatregelen te treffen.

Wapeningscorrosie door depassivering van beton is een lastig controleerbaar mechanisme. De meest voorkomende oorzaak van corrosie is aantasting door chloriden. Ook carbonatatie is een veel voorkomende aantasting dat de beton depassiveert. Beiden worden ze veroorzaakt door omgevingsomstandigheden. Waar chloride aantasting kan worden gereduceerd door toepassen van hoogoven- of vliegascement, kan carbonatatie worden gereduceerd door toepassing van portlandcement.



Afbeelding 16 - Bezweken brug¹⁷

De eigenschappen, problemen en mogelijke maatregelen zijn in het afgelopen hoofdstuk beschreven, in het volgende hoofdstuk is een inventarisatie van onderhoudstechnieken beschreven.

¹⁷ <http://vorige.nrc.nl/buitenland/article1824804.ece>

3 Inventarisatie onderhoudstechnieken

Om de problemen te kunnen reduceren of voorkomen zijn de versterkings-, reparatie- en Preserveringstechnieken bestudeerd. Hier volgt een inventarisatie van de beschreven technieken.

3.1 Preserveringstechnieken

Om beton te beschermen tegen verschillende aantastingen worden preserveringstechnieken toegepast. Dit wordt toegepast voor constructieve problemen die zichtbaar of bekend zijn of het wordt toegepast na een reparatie om herhaling te voorkomen.

3.1.1 Impregneer of hydrofobeer systemen

Impregneermiddelen zijn niet dekkend en zijn bedoeld om water buiten de constructie te houden. Hydrofoberen houdt diffusie mogelijk, waardoor de beton wel goed droogt. Impregneermiddelen zorgen ervoor dat metselwerk verzadigd met poriewater niet kapotvriest. Het moet ongeveer na 10 jaar opnieuw aangebracht worden.

Hydrofoberen is een goede preserveringstechniek tegen wapeningscorrosie. Voor wapeningscorrosie is namelijk zuurstof, water en staal nodig. Wanneer een van deze ontbreekt, kan er geen corrosie optreden en is het staal dus beschermd.

3.1.2 Coatings

Coatings zijn bedoeld om de beton oppervlakte beschermen of verfraaien, afhankelijk van de coating. De coating dringt in geringe mate in de ondergrond en heeft een laagdekking van 100 - 200 µm. Er zijn 2 type coatings:

- Fysische drogende: Droging door verdamping van oplosmiddel;
- Chemisch drogende: Chemische reactie tussen bindmiddel en verharder.

Een coating kan verschillende eigenschappen hebben, afhankelijk van de eigenschappen van de coating. In de meeste gevallen zijn ze bedoeld om water buiten de constructie te houden, maar ze kunnen ook gebruikt worden om indring van zuurstof te voorkomen.

3.1.3 Slijtlagen

Slijtlagen zijn bedoeld als bescherming van horizontale oppervlakten. Het zijn stevige dekkingslagen met een laagdekking van 200µm tot enkele millimeters. Op slijtlagen kan grind gestrooid worden als "antislip". Er zijn 3 typen slijtlagen

- Epoxy componenten: Thermo-hardend, twee keer zo sterk als beton;
- Poly-urethaan componenten: Buigzaam, kan scheuren overbruggen, grote druk- en treksterkte;
- Acrylaat componenten: Verharden snel.

Slijtlagen zijn vervangers van coatings, wanneer een coating op een rijdek aangebracht moet worden is de kans groot dat deze snel slijt. Een slijtvaste coating wordt dan ook wel een slijtlaag genoemd. Deze worden gebruikt om water buiten de constructie te houden en de vorstbestendigheid te vergroten.

3.1.4 Brandwerendheid

Om brandwerendheid in de constructie te waarborgen kunnen isolerende pleisterlagen aangebracht worden. Deze zorgen voor minder snelle temperatuurstijging in de beton. Hierdoor veroorzaakt brand een minder snelle aantasting dan wanneer dit niet toegepast was.

3.1.5 Kathodische bescherming

Kathodische bescherming (KB) wordt ingezet om corrosie van metalen te vertragen of stoppen. KB is een elektrochemisch proces dat de corrosie tegengaat door ionen te laten reageren met andere ionen, dan wel uit een stroomkring of uit een opoffer sanode (meer

edel materiaal dan ijzer). Deze maatregel zorgt voor een levensduur verlenging van 10-30 jaar.

Er zijn twee typen kathodische bescherming:

- KB door opgedrukte stroom: De corrosie wordt tegengegaan met opgedrukte stroom, hiervoor is een stroomkastje nodig met een constante stroombron.
- KB door opofferingsanoden: De beschermde metaal wordt overlaagd met een opofferingsmetaal die een lagere potentiaal, waardoor deze eerst wegroest en zich dus opoffert.

Kathodische bescherming wordt gebruikt om wapeningscorrosie te voorkomen. Voor wapeningscorrosie is zuurstof, water en staal nodig. In feite zorgt de kathodische bescherming ervoor dat het staal vervangen wordt door elektronen. Hierdoor wordt het staal niet aangetast.

3.1.6 Beton dechloreren

Dit heeft alleen invloed op ingedrongen chloride, niet op ingemengde chloriden. De ingedrongen chloride wordt door middel van een elektrochemisch proces uit de beton "getrokken". Bij ingemengde chloriden heeft dit geen invloed omdat er dan teveel chloriden achterblijven. De uiteindelijk bereikte duurzaamheid is afhankelijk van het overgebleven chloridegehalte rond de wapening.

3.1.7 Beton realkaliseren

Met een elektrochemisch proces kan het alkalische milieu rond de wapening teruggebracht worden. Dit is een effectieve manier om wapeningscorrosie door carbonatatie tegen te gaan. Dit kan alleen toegepast worden zolang de wapening nog niet aangetast is.

(Sika, 2009) (Kreeft, 2014) (Vereniging van gecertificeerde beton reparatiebedrijven, 2014) (Ervass, 2014) (Broomfield, 1996)

3.2 Reparatietechnieken

Beschadigde beton kan op verschillende manieren worden gerepareerd. Vaak is het verstandig om na een reparatie nog een bescherming aan te brengen om herhaling van het probleem te voorkomen.

3.2.1 Handmatig repareren

Bij handmatige reparatie wordt eerst de beschadigde plek of aangetaste beton gesaneerd. Vervolgens wordt de het oppervlak gestraald, zodat er een mooi schone en ruwe oppervlakte gecreëerd is. Dan wordt de wapening ontroest en de nieuwe mortel aangebracht. Er zijn verschillende type mortels die toegepast kunnen worden. Er zijn mortels op basis van epoxy, mortels vergelijkbaar met cement of een combinatie.

Epoxy mortel

Bestaat uit een 2 componenten hars-/harder systeem. Aan de coating kunnen vulstoffen worden toegevoegd. De mortel hardt snel uit en heeft een grote dichtheid en sterkte. De mortel is krimpvrij en wordt aangebracht met geringe laagdiktes. Epoxymortel hecht goed droog beton en is bedoeld voor kleine schades, de E-modulus wijkt veel af voor grote schades.

Epoxy troffelmassa's

Bestaan uit een 2 componenten hars-/harder systeem er worden vulstoffen van 2-8mm toegevoegd. Epoxy troffelmassa's harden snel uit en hebben een grote dichtheid en sterkte.

Polymeer Cement Concrete (PCC) mortels

PCC Mortels zijn sterk alkalisch en hebben weinig uithardingskrimp. Daarbij hebben ze een grote dichtheid en buigsterkte. PCC mortels zijn goed te overlagen met

beschermlaag, en zijn bedoeld voor kleine tot middelgrote reparaties. PCC mortels veroorzaken weinig stofoverlast en zijn waterdicht.



Afbeelding 18 - Handmatig repareren gietmortel¹⁸¹⁹



Afbeelding 17 - Handmatig repareren cementgebonden grout

Cementgebonden gietmortels

Gietmortels zijn verkrijgbaar in de gewenste korrelopbouw en hebben een verwaarloosbare krimp. Cementgebonden gietmortels hebben een hoge sterkte en kunnen extra wapening opnemen. Cementgebonden gietmortels worden voornamelijk gebruikt voor grote constructieve reparaties.

Voor welke mortel gekozen wordt is afhankelijk van het type en de grootte van de reparatie. Bij grote beschadigingen of grindnesten kan voor een gietmortel worden gekozen. Bij scheurvorming wordt in de meeste gevallen voor een epoxy gekozen.

3.2.2 Injecteren

Injecteren is het opvullen van scheuren door middel van een uithardende vloeistof. Deze vloeistof wordt zoals de naam het zegt, in de scheur geïnjecteerd. Er zijn twee typen injectie.

Hogedruk injectie

Hogedruk injectie wordt voornamelijk toegepast bij diepe scheuren. Het voordeel van hogedruk injectie is dat iedere scheur of holle massa tot diep in de constructie wordt gevuld. De injectievloeistof hardt uit door rust.

Normale injectie

Lagedruk injectie wordt toegepast bij scheuren die vanaf oppervlak te bereiken zijn. De 2 componenten mengen bij aanbrengen en harden uit door reactie.

Voor welke type injectie wordt gekozen is afhankelijk van het type scheur dat moet worden gerepareerd. Bij diepe scheuren of scheuren in verticaal oppervlak wordt al snel voor hogedruk injectie gekozen. Bij iets bredere en oppervlakkige scheuren is normale injectie een gepaste oplossing.

De scheuren kunnen worden gevuld met verschillende vloeistoffen. De type vloeistof wordt gekozen aan de hand van de eigenschappen van de scheur. Moet deze constructief gerepareerd worden of moet alleen aantasting worden voorkomen en moet de scheur kunnen werken (bewegen).

¹⁸ <http://www.joostdevree.nl/shtmls/ondersabelen.shtml>

¹⁹ <http://www.betonpro.nl/php/betonreparatie.php>

Injectievloeistoffen

- Epoxy
2 componenten hars-/harder systeem zonder vulstoffen;
Fysisch drogend;
Hoge eindsterkte;
Goede hechtsterkte op droog en schoon beton;
Constructief injecteren
- Poly-urethaan
2 componenten hars-/harder systeem zonder vulstoffen;
Flexibele vulstof;
Expandeert wanneer in aanraking met water;
Niet constructief;
Voor afdichten van bewegende of waterdoorlatende scheuren.
- Arylaat gel
2 componenten vloeistof;
Dun en vloeibaar;
Snelle uitharding;
Flexibele vulstof;
Niet constructief;
Voor voortdurend ondergronds en natte omgeving.
- Microsiliconen
Zeer fijne siliconen-/water emulsies;
Langzame uitharding;
Voor metselwerk.
- Cementgebonden grout
Water en cement met toevoegingen;
Voor grotere oppervlakten.

3.2.3 Betonspuiten

Voor het betonspuiten wordt eerst de beschadigde plek of aangetaste beton gesaneerd. Mocht dit niet nodig zijn wordt die stap overgeslagen. Het betonoppervlak wordt gestraald, zodat er een mooi schone en ruwe oppervlakte gecreëerd is. Dan wordt als nodig de wapening ontroest en de nieuwe mortel aangebracht. Het aanbrengen van de mortel kan op twee manieren. Met behulp van het “Droge betonspuit systeem” of het “Natte betonspuit systeem”.

Droge betonspuit systeem

Met het droge betonspuit systeem wordt pas bij de kop van de spuit wordt water toegevoegd. Hierdoor is de W/C factor goed te controleren, en laag te houden. Wel ontstaat door deze uitvoeringsmethode stofvorming.

Natte betonspuit systeem

Het voordeel van het natte betonspuit systeem is dat de mortel al voor het verspuiten wordt gemengd. Hierdoor ontstaat minder stofvorming en rebound. Het is een duurdere manier dan het “droge systeem”.

Mortel

- Max 8mm toeslagmateriaal;
- Lage W/C factor;
- Grote dichtheid;
- Hoge sterkte;
- Goede waterdichtheid;
- Vorst bestendig;
- Sterk alkalisch.



Afbeelding 19 - Smitbeton²⁰

(Sika, 2009) (Kreeft, 2014) (Vereniging van gecertificeerde beton reparatiebedrijven , 2014)
(Broomfield, 1996)

3.3 Versterkingstechnieken

Een brug kan door functieverandering, hogere capaciteitseisen of aantastingen te zwak worden gevonden om naar wens te functioneren. Er zijn verschillende mogelijkheden een brug te versterken. Veelal zijn de oplossingen kostbaar, maar relatief goedkoper dan nieuwbouw. Veel voorkomende versterkingstechnieken worden behandeld.

3.3.1 Beton overlagen

Een makkelijke manier om de draagkracht van een brug te vergroten is het vergroten van de constructiedikte. De toename van de sterkte is evenredig met toename van de laagdikte. Afhankelijk van de wapening kan ook trek of dwarskracht worden opgenomen. In tegenstelling tot andere oplossingen worden ook vervormingen tegengegaan.

Overlagen kan met spuitbeton of door middel van een druklaag. Het voordeel van spuitbeton is dat het een lage W/C factor; grote dichtheid; hoge sterkte en goede waterdichtheid heeft en ook vorst bestendig en sterk alkalisch is.

Een druklaag kan alle eigenschappen van verschillende beton hebben, en is dus afhankelijk van de wens. Een nadeel is echter dat het eigengewicht van de constructie ook sterk toeneemt. Toch is er met een HSB druklaag veel te bereiken.

3.3.2 Plak-/Lijmwapening

Wanneer de trekkrachten in de betonconstructie niet voldoen kan lijm- of plakwapening toegepast worden. Dit zijn koolstof of stalen strippen die berekend op schuifkracht op de beton gemonteerd worden. Deze uitwendige wapening zal de trekkrachten uit de beton deels overnemen. De toename van treksterkte kan 10-20% zijn, afhankelijk van het type en de hoeveelheid wapening.

Koolstof is een lichter en sterker dan staal, maar is ook duurder. Beider verstijven ze de constructie niet, de dwarskracht wordt niet opgenomen in de strippen. Lijm- of plakwapening wordt voornamelijk toegepast wanneer een constructie de trekkrachten niet kan opnemen.

²⁰ <http://www.magnumpumps.com/applications/shotcrete.aspx>



Afbeelding 20 - Plakwapening²¹

3.3.3 Uitwendige of externe voorspanning

Uitwendige voorspanning is voorgespannen wapening dat op of in het geval van “holle” liggers in het bestaande kunstwerk aangebracht kan worden. Er zijn verschillende manieren van aanbrengen die verschillende vlakken werkzaam zijn. De voorspanwapening kan worden aangebracht om reden:

1. Reductie van de optredende momenten
 2. Reductie van de dwarskracht en vergroten van het draagvermogen
 3. Verlagen van spanningen in de oorspronkelijke wapening (duurzaamheid)
 4. Versterken van zones bij opleggingen / voegovergangen
 5. Doorkoppelen van constructieonderdelen
- (Grundlehne, 2006)

3.3.4 Onderspannen ligger

Bij grote belastingwijzigingen kan een ligger ondersteund worden met een drukstaaf. Zo wordt de overspanning gehalveerd en het draagvermogen neemt sterk toe. Er moet wel een mogelijkheid zijn deze drukstaaf te kunnen plaatsen onder de constructie.



Afbeelding 21 - Onderspannen brug²²

(Sika, 2009) (Kreeft, 2014) (Vereniging van gecertificeerde beton reparatiebedrijven , 2014)
(Ervas, 2014)

²¹ <http://www.balmbv.nl/?PAGREF=9>

²² <http://www.hillebrand.nu/en/bridges/2/21/sint-jansbrug/3.html>

3.3.5 Verkorten overspanning

Een manier om doorbuiging of scheurvorming door overbelasting te voorkomen is het verkorten van de overspanning. Hierdoor wordt het maximale moment aanzienlijk lager en zal de constructie een hoge sterkte krijgen. Er zijn verschillende manieren dit te realiseren. Dit kan door de landhoofden als het ware te verlengen met behulp van jukken of door een extra tussensteunpunt te plaatsen. Dit zijn beide effectieve methoden die vaak niet mogelijk zijn door ruimtegebrek.

3.3.6 Versterken, vervangen hoofddraagconstructie

Om een constructie weer op gewenst niveau te krijgen is het mogelijk een deel van de constructie te vervangen of te versterken, als het overige nog voldoet aan de eisen. Er kan bijvoorbeeld een ondersteuning moeten worden vervangen terwijl het dek nog voldoet. Vaak is dit niet mogelijk omdat de constructie een functieverandering krijgt om de gebruiksfunctie te verbeteren. Hierbij kan gedacht worden aan wegverbreding of verhoging van het viaduct.

3.4 Conclusie onderhoudstechnieken

De onderhoudstechnieken worden toegepast om de constructie een langere levensduur mee te geven dan het oorspronkelijk had. Dit kan worden gerealiseerd door verwachte schade te voorkomen of verminderen met behulp van conserveringstechnieken. Als er al een schadebeeld aanwezig is, kan deze worden gerepareerd met behulp van reparatietechnieken. Mocht dit nog niet afdoende zijn, kan de constructie nog versterkt worden met versterkingstechnieken. Dit zijn ingrijpende maatregelen, waarbij de overweging met nieuwbouw moet worden meegenomen.

Een combinatie van maatregelen is in veel gevallen nodig om de brug zijn gewenste restlevensduur te geven. Het is altijd verstandig om een combinatie van conserverings- en reparatie- of versterkingstechnieken toe te passen. De reparatie- of versterkingstechnieken zijn in dat geval bedoeld om de huidige schade te behandelen. De conserveringstechnieken worden dan toegepast om herhaling van het probleem te voorkomen.

Bij verschillende schadebeelden kunnen verschillende maatregelen worden toegepast. Mochten deze maatregelen conflicteren met elkaar dan moet de naar omstandigheden meest nuttige maatregel worden gekozen.

De eigenschappen van de meest voorkomende bruggen zijn bekend. Hierbij zijn de problemen in beeld gebracht en de mogelijke maatregelen omschreven. Deze informatie wordt gebruikt om een model op te zetten waar de maatregelen gewaardeerd worden op criteria. Met deze informatie kan de meest optimale maatregel voor het probleem gekozen worden. Wat uiteindelijk zal leiden tot een oplossing.

4 Opzet onderzoeksmodel

Het onderzoeksmodel is opgezet in Excel, waarin de verschillende bezwijk- en aantastingsmechanismen beschreven staan. Met dit model is het mogelijk de optimale maatregel voor het probleem te kiezen. De handleiding voor het gebruik van het model is als bijlage bijgevoegd.

4.1 Indeling model

Het model is opgezet met het doel Heijmans inzicht te geven in de maatregelen die de gepaste oplossing opleveren voor de gewenste levensduurverlenging bij betonnen bruggen. De indeling van het model is tot stand gekomen met de gedachte:

- De verschillende maatregelen moeten leiden tot een passende oplossing bij het probleem.
- De staat van het kunstwerk is van belang voor het kiezen van de maatregelen;
- De ernst van het probleem is van belang voor het bepalen van de maatregel;
- De maatregelen worden gewaardeerd op criteria, welke afhankelijk zijn van de wens van klant of uitvoerder;

Met deze gedachte is het model ontstaan dat is ingedeeld in 7 tabbladen. Deze tabbladen moeten één voor één doorgewerkt worden, zodat uiteindelijk in het laatste tabblad het juiste advies gegeven wordt.

In het eerste tabblad is de “kwantificatie” beschreven, waar een beschrijving van de in te vullen waarden wordt gegeven. In dit tabblad zijn ook de waarde percentages van de criteria in te voeren. Dit is de manier om de gepaste oplossing te vinden, hier kan bijvoorbeeld worden toegespijst op een zo goedkoop of effectief mogelijke maatregel. Dit is afhankelijk van de omstandigheden, deze percentages worden vervolgens gebruikt bij de weging van de criteria op de maatregelen.

In het tweede tabblad wordt het type onderhoud bepaald. Bij het bepalen van het type onderhoud wordt onder andere rekening gehouden met het risico niveau van het kunstwerk. Het risiconiveau is een manier om de kwaliteit van het kunstwerk te achterhalen. De kwaliteit van het kunstwerk is vaak het gevolg van meerdere problemen. Hierom is het belangrijk de invloed van de schade te bepalen. Dit wordt gedaan met behulp van de kenmerkende schade. De kenmerkende schade is afhankelijk van het type probleem en de daarbij horende grenstoestanden.

Beoordelingspunt	Oorszaak
Risico niveau laag	Het risiconiveau van de brug wordt bepaald aan de hand van de graai. Er wordt een schatting gemaakt van de staat van het kunstwerk en de toestand van de omgeving.
Kenmerkende schade	De kenmerkende schade is de schade die voortvloeit uit een of meerdere problemen. De kenmerkende schade is de schade die voortvloeit uit een of meerdere problemen. De kenmerkende schade is de schade die voortvloeit uit een of meerdere problemen.
Esthetica	De esthetische aspecten van het kunstwerk. Reguleer problemen op: Verontreiniging, Schade aan het uiterlijk, etc.
Mechanisch	De mechanische aspecten van het kunstwerk. Reguleer problemen op: Verontreiniging, Schade aan het uiterlijk, etc.

Score	Esthetica	Mechanisch	Kenmerkende schade
Maakte 50	50-80	80-100	50-80
50-80	80-100	100-120	80-100
80-100	100-120	120-140	100-120
100-120	120-140	140-160	120-140
120-140	140-160	160-180	140-160
140-160	160-180	180-200	160-180
160-180	180-200	200-220	180-200
180-200	200-220	220-240	200-220
200-220	220-240	240-260	220-240
220-240	240-260	260-280	240-260
240-260	260-280	280-300	260-280
260-280	280-300	300-320	280-300
280-300	300-320	320-340	300-320
300-320	320-340	340-360	320-340
320-340	340-360	360-380	340-360
340-360	360-380	380-400	360-380
360-380	380-400	400-420	380-400
380-400	400-420	420-440	400-420
400-420	420-440	440-460	420-440
420-440	440-460	460-480	440-460
440-460	460-480	480-500	460-480
460-480	480-500	500-520	480-500
480-500	500-520	520-540	500-520
500-520	520-540	540-560	520-540
520-540	540-560	560-580	540-560
540-560	560-580	580-600	560-580
560-580	580-600	600-620	580-600
580-600	600-620	620-640	600-620
600-620	620-640	640-660	620-640
620-640	640-660	660-680	640-660
640-660	660-680	680-700	660-680
660-680	680-700	700-720	680-700
680-700	700-720	720-740	700-720
700-720	720-740	740-760	720-740
720-740	740-760	760-780	740-760
740-760	760-780	780-800	760-780
760-780	780-800	800-820	780-800
780-800	800-820	820-840	800-820
800-820	820-840	840-860	820-840
820-840	840-860	860-880	840-860
840-860	860-880	880-900	860-880
860-880	880-900	900-920	880-900
880-900	900-920	920-940	900-920
900-920	920-940	940-960	920-940
920-940	940-960	960-980	940-960
940-960	960-980	980-1000	960-980
960-980	980-1000	1000-1020	980-1000
980-1000	1000-1020	1020-1040	1000-1020
1000-1020	1020-1040	1040-1060	1020-1040
1020-1040	1040-1060	1060-1080	1040-1060
1040-1060	1060-1080	1080-1100	1060-1080
1060-1080	1080-1100	1100-1120	1080-1100
1080-1100	1100-1120	1120-1140	1100-1120
1100-1120	1120-1140	1140-1160	1120-1140
1120-1140	1140-1160	1160-1180	1140-1160
1140-1160	1160-1180	1180-1200	1160-1180
1160-1180	1180-1200	1200-1220	1180-1200
1180-1200	1200-1220	1220-1240	1200-1220
1200-1220	1220-1240	1240-1260	1220-1240
1220-1240	1240-1260	1260-1280	1240-1260
1240-1260	1260-1280	1280-1300	1260-1280
1260-1280	1280-1300	1300-1320	1280-1300
1280-1300	1300-1320	1320-1340	1300-1320
1300-1320	1320-1340	1340-1360	1320-1340
1320-1340	1340-1360	1360-1380	1340-1360
1340-1360	1360-1380	1380-1400	1360-1380
1360-1380	1380-1400	1400-1420	1380-1400
1380-1400	1400-1420	1420-1440	1400-1420
1400-1420	1420-1440	1440-1460	1420-1440
1420-1440	1440-1460	1460-1480	1440-1460
1440-1460	1460-1480	1480-1500	1460-1480
1460-1480	1480-1500	1500-1520	1480-1500
1480-1500	1500-1520	1520-1540	1500-1520
1500-1520	1520-1540	1540-1560	1520-1540
1520-1540	1540-1560	1560-1580	1540-1560
1540-1560	1560-1580	1580-1600	1560-1580
1560-1580	1580-1600	1600-1620	1580-1600
1580-1600	1600-1620	1620-1640	1600-1620
1600-1620	1620-1640	1640-1660	1620-1640
1620-1640	1640-1660	1660-1680	1640-1660
1640-1660	1660-1680	1680-1700	1660-1680
1660-1680	1680-1700	1700-1720	1680-1700
1680-1700	1700-1720	1720-1740	1700-1720
1700-1720	1720-1740	1740-1760	1720-1740
1720-1740	1740-1760	1760-1780	1740-1760
1740-1760	1760-1780	1780-1800	1760-1780
1760-1780	1780-1800	1800-1820	1780-1800
1780-1800	1800-1820	1820-1840	1800-1820
1800-1820	1820-1840	1840-1860	1820-1840
1820-1840	1840-1860	1860-1880	1840-1860
1840-1860	1860-1880	1880-1900	1860-1880
1860-1880	1880-1900	1900-1920	1880-1900
1880-1900	1900-1920	1920-1940	1900-1920
1900-1920	1920-1940	1940-1960	1920-1940
1920-1940	1940-1960	1960-1980	1940-1960
1940-1960	1960-1980	1980-2000	1960-1980
1960-1980	1980-2000	2000-2020	1980-2000
1980-2000	2000-2020	2020-2040	2000-2020
2000-2020	2020-2040	2040-2060	2020-2040
2020-2040	2040-2060	2060-2080	2040-2060
2040-2060	2060-2080	2080-2100	2060-2080
2060-2080	2080-2100	2100-2120	2080-2100
2080-2100	2100-2120	2120-2140	2100-2120
2100-2120	2120-2140	2140-2160	2120-2140
2120-2140	2140-2160	2160-2180	2140-2160
2140-2160	2160-2180	2180-2200	2160-2180
2160-2180	2180-2200	2200-2220	2180-2200
2180-2200	2200-2220	2220-2240	2200-2220
2200-2220	2220-2240	2240-2260	2220-2240
2220-2240	2240-2260	2260-2280	2240-2260
2240-2260	2260-2280	2280-2300	2260-2280
2260-2280	2280-2300	2300-2320	2280-2300
2280-2300	2300-2320	2320-2340	2300-2320
2300-2320	2320-2340	2340-2360	2320-2340
2320-2340	2340-2360	2360-2380	2340-2360
2340-2360	2360-2380	2380-2400	2360-2380
2360-2380	2380-2400	2400-2420	2380-2400
2380-2400	2400-2420	2420-2440	2400-2420
2400-2420	2420-2440	2440-2460	2420-2440
2420-2440	2440-2460	2460-2480	2440-2460
2440-2460	2460-2480	2480-2500	2460-2480
2460-2480	2480-2500	2500-2520	2480-2500
2480-2500	2500-2520	2520-2540	2500-2520
2500-2520	2520-2540	2540-2560	2520-2540
2520-2540	2540-2560	2560-2580	2540-2560
2540-2560	2560-2580	2580-2600	2560-2580
2560-2580	2580-2600	2600-2620	2580-2600
2580-2600	2600-2620	2620-2640	2600-2620
2600-2620	2620-2640	2640-2660	2620-2640
2620-2640	2640-2660	2660-2680	2640-2660
2640-2660	2660-2680	2680-2700	2660-2680
2660-2680	2680-2700	2700-2720	2680-2700
2680-2700	2700-2720	2720-2740	2700-2720
2700-2720	2720-2740	2740-2760	2720-2740
2720-2740	2740-2760	2760-2780	2740-2760
2740-2760	2760-2780	2780-2800	2760-2780
2760-2780	2780-2800	2800-2820	2780-2800
2780-2800	2800-2820	2820-2840	2800-2820
2800-2820	2820-2840	2840-2860	2820-2840
2820-2840	2840-2860	2860-2880	2840-2860
2840-2860	2860-2880	2880-2900	2860-2880
2860-2880	2880-2900	2900-2920	2880-2900
2880-2900	2900-2920	2920-2940	2900-2920
2900-2920	2920-2940	2940-2960	2920-2940
2920-2940	2940-2960	2960-2980	2940-2960
2940-2960	2960-2980	2980-3000	2960-2980
2960-2980	2980-3000	3000-3020	2980-3000
2980-3000	3000-3020	3020-3040	3000-3020
3000-3020	3020-3040	3040-3060	3020-3040
3020-3040	3040-3060	3060-3080	3040-3060
3040-3060	3060-3080	3080-3100	3060-3080
3060-3080	3080-3100	3100-3120	3080-3100
3080-3100	3100-3120	3120-3140	3100-3120
3100-3120	3120-3140	3140-3160	3120-3140
3120-3140	3140-3160	3160-3180	3140-3160
3140-3160	3160-3180	3180-3200	3160-3180
3160-3180	3180-3200	3200-3220	3180-3200
3180-3200	3200-3220	3220-3240	3200-3220
3200-3220	3220-3240	3240-3260	3220-3240
3220-3240	3240-3260	3260-3280	3240-3260
3240-3260	3260-3280	3280-3300	3260-3280
3260-3280	3280-3300	3300-3320	3280-3300
3280-3300	3300-3320	3320-3340	3300-3320
3300-3320	3320-3340	3340-3360	3320-3340
3320-3340	3340-3360	3360-3380	3340-3360
3340-3360	3360-3380	3380-3400	3360-3380
3360-3380	3380-3400	3400-3420	3380-3400
3380-3400	3400-3420	3420-3440	3400-3420
3400-3420	3420-3440	3440-3460	3420-3440
3420-3440	3440-3460	3460-3480	3440-3460
3440-3460	3460-3480	3480-3500	3460-3480
3460-3480	3480-3500	3500-3520	3480-3500
3480-3500	3500-3520	3520-3540	3500-3520
3500-3520	3520-3540	3540-3560	3520-3540
3520-3540	3540-3560	3560-3580	3540-3560
3540-3560	3560-3580	3580-3600	3560-3580
3560-3580	3580-3600	3600-3620	3580-3600
3580-3600	3600-3620	3620-3640	3600-3620
3600-3620			

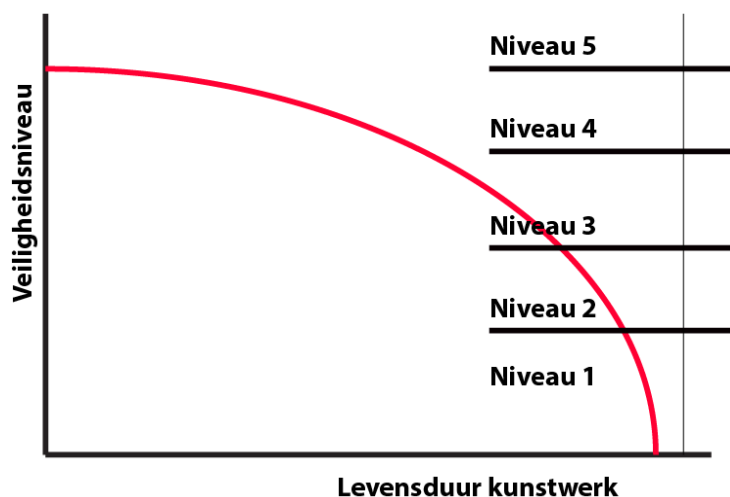
schade. Het risiconiveau hangt samen met de levensduur van een kunstwerk. De levensduur van een kunstwerk is een aflopende curve waarbij de kwaliteit tegen de levensduur wordt uitgezet. Deze methode wordt gebruikt om de restlevensduur van kunstwerken te bepalen en wordt in dit geval toegepast om het risiconiveau van de constructie te bepalen. De kenmerkende schade is de schade die het kunstwerk heeft waardoor de levensduur is afgenomen. Dit kan bijvoorbeeld chloride aantasting zijn, waarbij de chloride x aantal centimeters in de beton is getrokken in y jaar en z cm van de wapening verwijderd is. Een ander voorbeeld is scheurvorming die wel of niet tot de wapening is gescheurd en daarmee de kans op schade beïnvloed. Verder wordt de mate van esthetische en mechanische schade bepaald. De Esthetische schade is de zichtbare schade, de schade hoeft geen bedreiging van de restlevensduur te zijn maar is niet mooi. De mechanische schade is de schade die het kunstwerk fysiek kent. Deze schade kan de veiligheid van gebruikers in gevaar brengen.

4.1.2.1 Risiconiveau

In dit tabblad moet het risiconiveau ingevoerd worden, welke bepaald kan worden met de bevindingen uit de inspectie. De levensduur van een kunstwerk is uit te zetten in een grafiek, deze grafiek is weergegeven in Tabel 7. In deze grafiek zijn verschillende niveaus aangegeven die het risiconiveau van het kunstwerk aangeven. Het niveau van een kunstwerk is afhankelijk van de leeftijd en kwaliteit. De kwaliteit wordt bepaald met verschillende proeven, berekeningen en schouwen.

Met de proeven en berekeningen wordt de toestand van het kunstwerk bepaald en waar deze staat ten opzichte van de grenstoestanden. Er zijn bij de problemen of aantastingen normen geschreven met daarin toelaatbare waarden van aantasting of grenstoestanden van bezwijken.

Met een schouw kan de esthetische waarde van het kunstwerk bepaald worden. Overigens is deze veelal afhankelijk van de mechanische of aantastingsproblemen. Toch worden ook algengroei, graffiti of andere optische problemen opgemerkt. Deze zijn niet in het model opgenomen omdat dit niet direct problemen voor de veiligheid met zich meebrengt.



Tabel 7 - Theoretische levensduur

Het is aan de inspecteur om te bepalen in welk risiconiveau het kunstwerk zich bevindt. Op de x-as is de tijd uitgezet, op de y-as de kwaliteit van het kunstwerk.

- Niveau 5: Het kunstwerk is zo goed als nieuw;
- Niveau 4: Het kunstwerk is in gebruiksfase, maar ondervindt nog geen ernstige schade;
- Niveau 3: Het kunstwerk krijgt zichtbaar schade, maar voldoet nog aan de eisen*;
- Niveau 2: Het kunstwerk heeft schade, de levensduur van het kunstwerk neemt snel af als er geen maatregelen genomen worden;
- Niveau 1: Het kunstwerk voldoet niet meer aan de uiterste grenstoestand, maatregelen zijn nodig om het kunstwerk functionerend te houden.

*Eisen uit de RBK 1.1, NEN-EN 206, NEN 8700 en NEN-EN 1990 met aanvulling EN 1991 tot en met 1999.

4.1.2.2 Kenmerkende schade:

De kenmerkende schade is afhankelijk van het schadebeeld. De verschillende kenmerkende schades zijn: scheurvorming, vervorming, vermoeiing, wapeningscorrosie, oplossing, krachtsverlies of dekkingsverlies van beton. Deze mechanismen hebben verschillende maatgevende toestanden.

4.1.2.3 Bepalen maatregel

In de tabbladen “Preventief” en “Correctief” worden de onderhoudsmaatregelen beschreven. Hier is af te lezen met welke criteria rekening is gehouden voor het bepalen van de maatregel. De criteria waar de maatregelen op gewaardeerd worden zijn:

- Of de maatregel constructief is;
Een maatregel kan constructief of puur preventief tegen aantasting zijn. Dit heeft voornamelijk met de keuze van het reparatiemateriaal te maken.
- Of de maatregel esthetische waarde heeft;
Wat doet de maatregel met de uitstraling van het kunstwerk. Het kan zo zijn dat het kunstwerk na het nemen van maatregelen weer terug op zijn oorspronkelijke waarde is of dat het eigenlijk minder mooi is maar constructief wel een goede waarde heeft.
- Wat de kosten voor de maatregelen zijn (relatief);
De kosten van een maatregel moeten bekeken worden op life-cycle basis. Of de maatregel goedkoper is dan de andere maatregelen of zelfs goedkoper dan nieuwbouw wordt geschat.
- Of de maatregel makkelijk uitvoerbaar is;
Kost de maatregel veel tijd en verkeersmaatregelen, dan kan het wel eens negatief zijn voor de doorstroming van het verkeer. Over het algemeen wil de opdrachtgever zo min mogelijk hinder.
- Wat de werkelijke levensduurverlenging is;
De werkelijke opbrengst van de maatregel is de levensduur verlenging. Hier kan worden gekeken of de maatregel voldoet aan de gewenste levensduurverlenging.
- Wat de kans op herhaling van het probleem is; Hier is te vinden of de kans aanwezig is dat het probleem terugkomt.

4.1.2.4 Advies en conclusie

In dit tabblad is het advies geschreven. Er is een opsomming van maatregelen gemaakt, deze maatregelen vormen samen de oplossing. Vaak is dit een combinatie van reparatie-, versterkings- of conserveringstechnieken. Ook zijn verschillende maatregelen tegen verschillende problemen mogelijk, wel moet er dan op gelet worden dat verschillende maatregelen niet dubbelzinnig zijn.

De verschillende maatregelen zijn in de conclusie opgesomd. Hier is een duidelijk overzicht van de benodigde maatregelen weergegeven.

4.2 Verificatie model

Om het model te verifiëren zijn verschillende ervaren en betrokken personen gevraagd. Deze hebben de maatregelen op de criteria gewaardeerd. De betreffende personen hebben de tabellen waarin de maatregelen gewaardeerd worden gecontroleerd en desnoods aangevuld. De verschillende uitkomsten zijn vergeleken en de verschillen ter discussie gesteld. Dit heeft uiteindelijk tot de uitkomsten geleid die in de tabel staan. Dit kan eventueel door de gebruiker nog gewijzigd worden.

4.2.1 Controle bepalen type maatregel

Allereerst wordt de eerste tabel “Bepalen type onderhoud” gecontroleerd op uiteenlopende waarden. Hier zijn alle mogelijke en realistische waarden ingevoerd. Het advies dat we zien is: Risico niveau 1: Voornamelijk nieuwbouw; bij geringe schadebeelden correctief onderhoud.

Risico niveau 2: Voornamelijk correctief onderhoud; bij geringe schadebeelden preventief; bij ernstige schadebeelden nieuwbouw.

Risico niveau 3: Verdeling tussen correctief- en preventief onderhoud, afhankelijk van de ernst van het schadebeeld

Risico niveau 4: Voornamelijk preventief onderhoud; bij ernstige schadebeelden correctief onderhoud.

Risico niveau 5: Alleen preventief onderhoud.

Risico niveau brug	Kenmerkende schade	Esthetisch aangetast	Mechanisch aangetast	Schadegetal	Type maatregel
5-1	0-3	0-3	0-3		
1	3	3	3	9	NWB
1	3	3	2	6	NWB
1	3	2	3	9	NWB
1	2	3	3	6	NWB
1	2	2	3	6	NWB
1	2	3	2	4	CRO
1	3	2	2	6	NWB
1	2	2	2	4	CRO
1	1	2	2	2	CRO
1	2	1	2	4	CRO
1	2	2	1	2	CRO
2	3	3	3	4,5	NWB
2	3	3	2	3	CRO
2	3	2	3	4,5	NWB
2	2	3	3	3	CRO
2	2	2	3	3	CRO
2	2	3	2	2	CRO
2	3	2	2	3	CRO
2	2	2	2	2	CRO
2	1	2	2	1	PVO
2	2	1	2	2	CRO
2	2	2	1	1	PVO
3	3	3	3	3	CRO
3	3	3	2	2	CRO
3	3	2	3	3	CRO
3	2	3	3	2	CRO
3	2	2	3	2	CRO
3	2	3	2	1,333333	PVO
3	3	2	2	2	CRO
3	2	2	2	1,333333	PVO
3	1	2	2	0,666667	PVO
3	2	1	2	1,333333	PVO
3	2	2	1	0,666667	PVO
3	2	1	1	0,666667	PVO
3	1	2	1	0,333333	PVO
3	1	1	2	0,666667	PVO
3	1	1	1	0,333333	PVO
4	2	2	3	1,5	CRO
4	2	3	2	1	PVO

4	3	2	2	1,5	CRO
4	2	2	2	1	PVO
4	1	2	2	0,5	PVO
4	2	1	2	1	PVO
4	2	2	1	0,5	PVO
4	2	1	1	0,5	PVO
4	1	2	1	0,25	PVO
4	1	1	2	0,5	PVO
4	1	1	1	0,25	PVO
5	2	2	3	1,2	PVO
5	2	3	2	0,8	PVO
5	3	2	2	1,2	PVO
5	2	2	2	0,8	PVO
5	1	2	2	0,4	PVO
5	2	1	2	0,8	PVO
5	2	2	1	0,4	PVO
5	2	1	1	0,4	PVO
5	1	2	1	0,2	PVO
5	1	1	2	0,4	PVO
5	1	1	1	0,2	PVO

Hier zien we terug dat naarmate het risico niveau van de brug afneemt ook de mate van ingrijpen afneemt. Zo zien we bij een risico niveau 1 veel nieuwbouw, of anders correctief onderhoud. Naarmate het risico niveau bij 3 is, wordt er geen nieuwbouw meer geadviseerd. Dit is ook zoals het gezien moet worden. Want een brug met een risiconiveau dat op niveau 3 is, is nog niet aan nieuwbouw toe. Wel correctief of preventief onderhoud, afhankelijk van de mate van de kenmerkende schade. Bij risico niveau 5 wordt alleen preventief onderhoud geadviseerd. Dit is ook logisch, want de brug is nog in zeer goede staat en hierbij is geen ernstige schade zichtbaar.

4.2.2 Controle op advies

Het werkblad “Advies” wordt gecontroleerd. Daarvoor moet het type onderhoud bepaald worden. Vervolgens moeten waarden van de “Preserverings-, Reparatie- en Versterkingstechnieken” gecontroleerd worden. De hoogste waarde is de maatregel die uiteindelijk deel uitmaakt van de oplossing is. Daarom moet gecontroleerd worden of dit zo overeen komt met wat in het werkblad “Advies” staat.

Waarde percentages bij de controle zijn (tenzij anders aangegeven):

Score	Esthetica	Kosten	Uitvoering	Levensduur verlenging	Kans op herhaling probleem
Waarde %	25,0%	75,0%	50,0%	100,0%	50,0%
0	Maatregel verbeterd de uitstraling van het kunstwerk	Geen kosten	Kost geen tijd en werkzaamheden	Geen levensduur verlenging	Geen kans op herhaling
1	Maatregel brengt de constructie terug in zijn waarde	Lage kosten	Kost weinig tijd en werkzaamheden	> 10 jaar verlenging	Kans op herhaling >50%
2	Maatregel zichtbaar beter dan het was, maar niet tot	Kosten	Kost wel tijd en werkzaamheden	5 – 10 jaar verlenging	Kast op herhaling 10-50%
3	Maatregel heeft negatieve invloed op esthetische waarde	Hoge kosten	Kost veel tijd en werkzaamheden	< 5 jaar verlenging	Kleine kans op herhaling <10%

Een voorbeeld van de controle is weergegeven, de overige zijn in bijlage 4 toegevoegd.

4.2.2.1 Chloride aantasting Preventief Onderhoud + Externe Sulfaat aantasting Correctief Onderhoud

In het model (tabblad “Bepalen type onderhoud”) wordt het probleem ingevoerd. In dit geval hebben we een chloride aantastingsprobleem en een sulfaat aantastingsprobleem. In dit geval zijn de sulfaten in ernstigere mate aanwezig en zorgen voor een degradatie van de brug.

Het type onderhoud wordt bepaald:

Carbonatatie	5	0	0	0	0	GO
Chloride aantasting	4	2	1	2	1	PVO
Zuren	5	0	0	0	0	GO
Sulfaat aantasting (ESA)	2	2	2	2	2	CRO
Sulfaat aantasting (ISA)	5	0	0	0	0	GO
ASR	5	0	0	0	0	GO

In de tabbladen “Preserveringstechnieken, Reparatietechnieken en Versterkingstechnieken” is de verhouding te zien tussen de maatregelen. Waarom wordt er voorkeur gegeven aan de ene maatregel of waarom is die maatregel juist niet gekozen. Het is een onderbouwing van het advies. In het tabblad “Advies” moet de maatregel die de meeste punten gescoord heeft geadviseerd worden. Deze wordt dan als “WAAR” weergegeven.

De preserveringstechnieken:

Chloride aantasting	Dampdoorlatende coating met een hoge diffusie weerstand aanbrengen die zuurstof buiten constructie houdt	NEE	1	1	2	3	2	39
	Beton impregneren (hydrofoberen) zodat vocht buiten de constructie blijft	NEE	1	1	2	3	2	39
	Kathodische bescherming (opgedrukte stroom)	NEE	1	2	2	1	1	53
	Injectie scheuren met poly-urethaan	NEE	2	1	2	2	2	42
	Hogedruk injectie scheuren met poly-urethaan	NEE	2	2	2	1	2	39
Sulfaat aantasting ESA	Beton impregneren (hydrofoberen) zodat vocht buiten de constructie blijft	NEE	1	1	2	3	2	39
	Injectie scheuren met poly-urethaan	NEE	2	1	2	2	2	42
	Hogedruk injectie scheuren met poly-urethaan	NEE	2	2	2	1	2	39

De reparatietechnieken:

Chloride aantasting	Injectie scheuren met epoxy	JA	2	1	2	2	2	42
	Handmatig repareren (epoxylaag)	JA	3	1	2	2	2	39
	Beton dechloreren	NEE	1	2	3	2	2	31
	Realkaliseren (elektrochemisch)	NEE	1	2	3	2	2	31
Sulfaat aantasting ESA	Injectie scheuren met epoxy	JA	2	1	2	2	2	42
	Hogedruk injectie scheuren met epoxy	JA	2	2	2	1	2	39
	Handmatig repareren (epoxylaag)	JA	3	1	2	2	2	39
	Handmatig repareren (PCC mortel)	JA	3	0	2	2	2	47

De versterkingstechnieken:

Chloride aantasting	Hogedruk injectie scheuren met epoxy	JA	2	2	1	3	3	22
	Handmatig repareren (epoxymassa's)	JA	1	2	2	2	2	36
	Handmatig repareren (PCC mortel)	JA	2	2	2	2	3	22
	Handmatig repareren (cementgebonden gietmortel)	JA	1	2	2	2	3	25
	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Natte mortel	JA	2	2	3	2	3	17
	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Droge mortel	JA	2	2	3	2	2	28
	Lijmwapening toepassen	JA	2	3	2	2	3	14
	Uitwendige voorspanwapening toepassen	JA	3	2	3	2	3	14
	Koolstofvezel versterking aanbrengen	JA	2	3	2	2	1	36
Sulfaat aantasting ESA	Hogedruk injectie scheuren met epoxy	JA	2	2	1	3	3	22
	Handmatig repareren (epoxymassa's)	JA	1	2	2	2	2	36
	Handmatig repareren (PCC mortel)	JA	2	2	2	2	3	22
	Handmatig repareren (cementgebonden gietmortel)	JA	1	2	2	2	3	25
	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Natte mortel	JA	2	2	3	2	3	17
	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Droge mortel	JA	2	2	3	2	2	28
	Lijmwapening toepassen	JA	2	3	2	2	3	14
	Uitwendige voorspanwapening toepassen	JA	3	2	3	2	3	14

Conclusie:

In het werkblad "Advies" zou naar voren moeten komen:

Preservering = Kathodische bescherming, Scheuren Injecteren (poly-urethaan).

Reparatie = Injectie scheuren met epoxy, Handmatig repareren (PCC Mortel)

Versterking = Handmatig repareren (epoxymassa's).

Preserveringstechnieken				
Dampdoorlatende coating met een hoge diffusie weerstand aanbrengen die zuurstof buiten constructie houdt	Beton impregneren (hydrofoberen) zodat vocht buiten de constructie blijft	Kathodische bescherming (opgedrukte stroom)	Injectie scheuren met poly-urethaan	Hogedruk injectie scheuren met poly-urethaan
ONWAAR	ONWAAR	WAAR	ONWAAR	ONWAAR

Preserveringstechnieken		
Beton impregneren (hydrofoberen) zodat vocht buiten de constructie blijft	Injectie scheuren met poly-urethaan	Hogedruk injectie scheuren met poly-urethaan
ONWAAR	WAAR	ONWAAR

Reparatie technieken				
Injectie scheuren met epoxy	Handmatig repareren (epoxylaag)	Beton dechloreren	Injectie scheuren met epoxy	Realkaliseren (elektrochemisch)
WAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR

Reparatie technieken			
Injectie scheuren met epoxy	Hogedruk injectie scheuren met epoxy	Handmatig repareren (epoxylaag)	Handmatig repareren (PCC mortel)
ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	WAAR

Versterkingstechnieken								
Hogedruk injectie scheuren met epoxy	Handmatig repareren (epoxymassa's)	Handmatig repareren (PCC mortel)	Handmatig repareren (cementgebonden gietmortel)	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Natte mortel	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Droge mortel	Lijmwapening toepassen	Uitwendige voorspanwapening toepassen	Koolstofvezel versterking aanbrengen
ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR

Versterkingstechnieken							
Hogedruk injectie scheuren met epoxy	Handmatig repareren (epoxymassa's)	Handmatig repareren (PCC mortel)	Handmatig repareren (cementgebonden gietmortel)	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Natte mortel	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Droge mortel	Lijmwapening toepassen	Uitwendige voorspanwapening toepassen
ONWAAR	WAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR

Klopt!

Controle of dit ook terugkomt in de conclusie:

Injectie scheuren met poly-urethaan	ONWAAR
Hogedruk injectie scheuren met poly-urethaan	WAAR
Belasting verlagen	ONWAAR
Snelheid verkeer verlagen (frequentie)	ONWAAR
Dampdoorlatende coating met een hoge diffusie weerstand aanbrengen die zuurstof buiten constructie houdt	ONWAAR
Beton impregneren (hydrofoberen) zodat vocht buiten de constructie blijft	ONWAAR
Kathodische bescherming (opgedrukte stroom)	WAAR
De beton onder vacuüm behandelen met siliciumtetrafluoridegas (SiF ₄)	ONWAAR
De beton behandelen met natriumsilicaat of magnesiumfluorsilicaat	ONWAAR
Extra laagdekking aanbrengen (opofferingslaag) met spuitbeton; Natte mortel	ONWAAR
Extra laagdekking aanbrengen (opofferingslaag) met spuitbeton; Natte mortel	ONWAAR
Omgeving neutraliseren	ONWAAR
Hogedrukinjectie beton met lithium nitraat	ONWAAR
Aanbrengen brandwerende laag	ONWAAR
Aanbrengen hittewerende bekleding	ONWAAR

Reparatietechnieken	
Injectie scheuren met epoxy	WAAR
Hogedruk injectie scheuren met epoxy	WAAR
Handmatig repareren (epoxylaag)	ONWAAR
Handmatig repareren (PCC mortel)	ONWAAR
Handmatig repareren (cementgebonden gietmortel)	ONWAAR
Handmatig repareren (epoxytroffelmassa)	ONWAAR
Beton dechloreren	ONWAAR
Realkaliseren (elektrochemisch)	ONWAAR

Versterkingstechnieken	
Hogedruk injectie scheuren met epoxy	ONWAAR
Handmatig repareren (epoxymassa's)	WAAR
Handmatig repareren (PCC mortel)	ONWAAR
Handmatig repareren (cementgebonden gietmortel)	ONWAAR
Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Natte mortel	ONWAAR
Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Droge mortel	ONWAAR
Lijmwapening toepassen	ONWAAR
Uitwendige voorspanwapening toepassen	ONWAAR
Koolstofvezel versterking aanbrengen	ONWAAR

Klopt!

In de conclusie staan de aanbevolen onderhoudstechnieken. Hieruit moet dan nog een keuze gemaakt worden, welke afhankelijk is van de omstandigheden. Grotere scheuren kunnen gerepareerd worden met epoxymassa's. Diepere smalle of scheuren op niet horizontaal oppervlak kunnen met hogedruk injectie gerepareerd worden. Andere horizontale scheuren die niet tot de wapening komen kunnen geïnjecteerd worden. Wanneer de scheuren niet constructief maar slechts tegen aantasting gedicht moeten worden kan er ook voor worden gekozen om te injecteren met poly-urethaan. Het voordeel hiervan is dat dit flexibel is, dus minder snel opnieuw zal scheuren. De wapening kan worden beschermd met Kathodische bescherming. Dit is een effectieve maatregel tegen wapeningscorrosie, maar dit is wanneer de wapening goed geïsoleerd is in het alkalische milieu niet perse nodig. Het zal de kans op corrosie wel sterk doen afnemen, vooral als meer scheurvorming verwacht wordt.

4.2.3 Conclusie verificatie

Het model werkt zoals het moet werken. De verwijzingen en opsommingen gaan zoals deze zouden moeten, hierdoor komen de verwachte antwoorden naar boven.

De verificatie is gedaan door verschillende waarden in te vullen bij verschillende schades. Hierbij wordt gecontroleerd of de doorloop van de waarden klopt en of de verwachte maatregelen als oplossing worden gegeven. Er zijn 7 verschillende invullingen gedaan, welke allen tot het juiste antwoord kwamen.

Nu de verificatie van het model in orde is, is het van belang het model te verifiëren. Dit wordt gedaan in de volgende paragraaf.

4.3 Validatie model

Het model is gecontroleerd op fouten, hier is geen probleem uit gekomen. In deze paragraaf wordt het model geverifieerd. Dit wordt gedaan door een eerder uitgevoerd onderhoudswerk in te voeren en de uitkomst hiervan te controleren met de werkelijk uitgevoerde werkzaamheden.

Voor de verificatie zijn eerder uitgevoerde werkzaamheden bekeken, uit de projecten:

- Spitsstrook A1/A50
- Groot onderhoud A1 Bussem – Muiderberg

Spitsstrook A1/A50

Dit is een project, aangenomen met een van de eerste D&C contracten. Toch werden de onderhoudsmaatregelen voorgeschreven door Rijkswaterstaat, waardoor hier geen Trade-off van bekend is. Bij dit project zijn 3 bruggen onderhanden genomen. Dit zijn:

- Zutphensestraat: Een liggerbrug die een extra rijstrook moest dragen waardoor deze de maximale belasting overschreed. Als maatregel is de druklaag vervangen voor Hoge Sterkte Beton. De brug kende zowel een dwars- als langskracht probleem.
- Spoorviaduct: De plaatbrug kende zowel een dwars-, langskracht als doorbuiging probleem. Om de belasting te verlagen is de overspanning verkort door middel van stalen jukken.
- IJsselbrug: Een kokerbrug die een extra rijstrook moest dragen waardoor deze de maximale belasting overschreed waarbij voorspanwapening is toegepast. De brug kende een dwarskracht probleem.

Groot onderhoud A1 Bussem – Muiderberg

Dit project is ook aangenomen met een van de eerste D&C contracten. In dit project is versterking van de Naardertrekvaartbrug opgenomen. De onderhoudsmaatregelen werden voorgeschreven door Rijkswaterstaat, waardoor hier geen Trade-off van bekend is.

- Naardertrekvaartbrug: Een liggerbrug die niet voldeed aan de huidige Europese en Nederlandse veiligheidseisen. waarbij de druklaag is vervangen voor Hoge Sterkte Beton.

4.3.1 Advies uit model

Het advies dat het model geeft bij het invoeren van de problemen bij de bruggen wordt hier beschreven. Vervolgens wordt dit vergeleken met de werkelijk uitgevoerde maatregelen.

4.3.1.1 Zutphensestraat:

Voor de maatregelen worden de criteria op de volgende waardes beoordeeld:

Score	Esthetica	Kosten	Uitvoering	Levensduur verlenging	Kans op herhaling probleem
Waarde %	25,0%	50,0%	50,0%	100,0%	75,0%
0	Maatregel verbeterd de uitstraling van het kunstwerk	Geen kosten	Kost geen tijd en werkzaamheden	Geen levensduur verlenging	Geen kans op herhaling
1	Maatregel brengt de constructie terug in zijn waarde	Lage kosten	Kost weinig tijd en werkzaamheden	> 10 jaar verlenging	Kleine kans op herhaling <10%
2	Maatregel zichtbaar beter dan het was, maar niet tot	Kosten	Kost wel tijd en werkzaamheden	5 - 10 jaar verlenging	Kast op herhaling 10-50%
3	Maatregel heeft negatieve invloed op esthetische waarde	Hoge kosten	Kost veel tijd en werkzaamheden	< 5 jaar verlenging	Kans op herhaling >50%

Deze brug heeft een dwarskracht en treksterkte probleem, dit wordt ingevoerd in het model. Het risico niveau van de brug is: 2. Dit houdt in dat het kunstwerk schade heeft en dat de levensduur van het kunstwerk snel afneemt als er geen maatregelen genomen worden.



Afbeelding 22 - Viaduct Zutphensestraat A1

De kenmerkende schade is niet bekend. De maatregelen worden preventief uitgevoerd, na de verbreding zal dit kunstwerk niet meer voldoen. Dus de schade die dit oplevert is niet bekend. De verwachte schade is scheurvorming en mogelijk doorbuiging. Met deze verwachting heb ik de keuze gemaakt voor kenmerkende schade 2; Scheuren met regelmatig patroon, scheuren evenwijdig aan wapening, watervoerende scheuren.

Bij het advies volgt de conclusie dat overlagen met hoge sterkte beton de beste maatregel is; in combinatie met het injecteren van scheuren met Epoxy of Poly-urethaan. Afhankelijk of de scheur constructief of tegen preventief aantasting gerepareerd moet worden wordt de keuze tussen het type reparatie gemaakt.

Het overlagen met HSB met een score van "53" wordt kort gevolgd door toepassen van uitwendige voorspanning, met een score van "50". Het verschil zit in de kosten en uitvoerbaarheid. Dit kunstwerk mocht afgesloten worden voor de werkzaamheden, hierom was het mogelijk het kunstwerk te overlagen. Was dit niet het geval geweest was het toepassen van uitwendige voorspanning het advies geweest.

Oorzaak	Versterkings technieken	Correctieve	Constructief	Kosten	Esthetica	Uitvoering	Leveringsduur verlenging	Kans op herhaling probleem	Waarde % maatregel
Dwarskracht	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Natte mortel		JA	1	2	3	2	1	39
	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Droge mortel		JA	1	2	3	2	1	39
	Lijmwapening toepassen		JA	2	3	2	2	2	28
	Uitwendige voorspanwapening toepassen		JA	3	2	2	1	1	50
	Koolstofvezel versterking aanbrengen		JA	2	3	2	2	2	28
	Druklaag vervangen door Hoge Sterkte Beton		JA	2	1	3	1	1	53
	Overspanning verkorten dmv jukken		JA	2	3	1	2	2	33
	Overspanning verkorten dmv tussensteunpunt		JA	2	3	2	2	2	28

De bestaande constructie wordt dus verlaagd met HSB en de scheuren moeten dus geïnjecteerd worden.

In de eisen van Rijkswaterstaat is overlaging met HSB opgegeven als passende maatregel: *"5.06 Aanpassingen dienen te worden verricht in de vorm van een overlaging van het kunstwerk met hogesterktebeton (HSB)"*

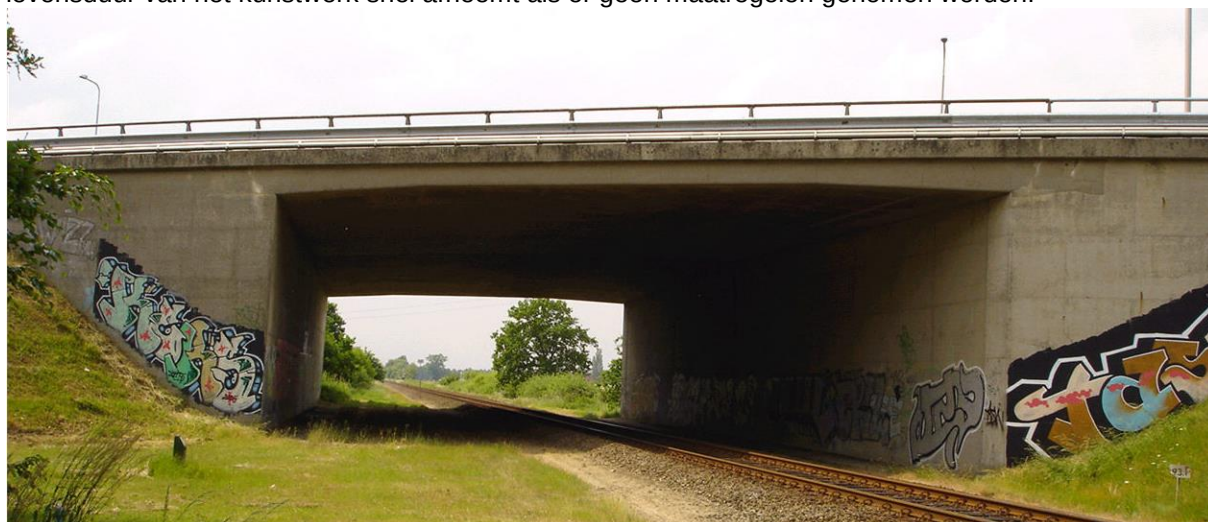
4.3.1.2 Spoorviaduct:

Voor de maatregelen worden de criteria op de volgende waardes beoordeeld:

Score	Esthetica	Kosten	Uitvoering	Levensduur verlenging	Kans op herhaling probleem
Waarde %	25,0%	50,0%	50,0%	100,0%	75,0%
0	Maatregel verbeterd de uitstraling van het kunstwerk	Geen kosten	Kost geen tijd en werkzaamheden	Geen levensduur verlenging	Geen kans op herhaling
1	Maatregel brengt de constructie terug in zijn waarde	Lage kosten	Kost weinig tijd en werkzaamheden	> 10 jaar verlenging	Kleine kans op herhaling <10%
2	Maatregel zichtbaar beter dan het was, maar niet tot	Kosten	Kost wel tijd en werkzaamheden	5 - 10 jaar verlenging	Kast op herhaling 10-50%
3	Maatregel heeft negatieve invloed op esthetische waarde	Hoge kosten	Kost veel tijd en werkzaamheden	< 5 jaar verlenging	Kans op herhaling >50%

Deze brug heeft een dwars-, langskracht en doorbuigingsprobleem. Dit wordt ingevoerd in het model.

Het risico niveau van de brug is: 2. Dit houdt in dat het kunstwerk schade heeft en dat de levensduur van het kunstwerk snel afneemt als er geen maatregelen genomen worden.



Afbeelding 23 - Spoorviaduct A1

De kenmerkende schade is scheurvorming en doorbuiging.

Scheurvorming: 2; Scheuren met regelmatig patroon, scheuren evenwijdig aan wapening, watervoerende scheuren;

Doorbuiging: 2; Nadert doorbuiging bruikbaarheidsgrenstoestand in constructie.

Bij het advies volgt de conclusie dat overlagen met hoge sterkte beton of overspanning verkorten d.m.v. jukken de beste maatregel is. De overspanning verkorten door middel van het toevoegen van een tussensteunpunt was ook mogelijk geweest mocht deze ruimte niet nodig zijn. Verder moeten de scheuren in de beton geïnjecteerd worden door Epoxy of Poly-urethaan. Afhankelijk of de scheur constructief of tegen preventief aantasting gerepareerd moet worden wordt deze keuze gemaakt.

Het overlagen met HSB en het verkorten van de overspanning met jukken of een extra tussensteunpunt hebben allen een score van "53". Nu is het van belang naar de uitvoering te kijken, wat is handig voor het project. Het extra tussensteunpunt is niet mogelijk door het onderliggende spoor. Voor het overlagen zal het bovenliggende verkeer eraf moeten. De jukken hebben het voordeel dat deze zonder veel hinder gebouwd kunnen worden. Vandaar dat deze de voorkeur krijgen.

De scheuren in de constructie moeten worden geïnjecteerd met epoxy of poly-urethaan. Afhankelijk of de scheur constructief of tegen preventieve aantasting gerepareerd moet worden.

De eis die Rijkswaterstaat had opgegeven is:

"5.00 Na uitvoering van het werk dient het kunstwerk de belastingen behorend bij het aantal rijstroken conform tekening bijlage ONIX-2003-21864 te kunnen dragen".

In de verdere correspondentie tussen Heijmans infra en RWS is leesbaar:

“Voor de versterking van het viaduct is uitgegaan van verstijvingen in de aansluiting wand-dek conform tekening: A1 Spoorlijnviaduct Apeldoorn met reg.nr. BD 203706 d.d. 11-10-2004. In het aanbiedingsontwerp is de oplossing, zoals aangedragen door Rijkswaterstaat, overgenomen.”

Het ontwerp van de maatregel is dus opgegeven door Rijkswaterstaat. Vervolgens is er correspondentie over meerwerk dat reparatiewerk betreft. Dit wordt meegenomen in het werk.

“Op dit moment is de aanleg van de spits en plusstroken rijksweg 1/rijksweg 50 in uitvoering. Onderdeel van deze werkzaamheden is het versterken van een spoorwegviaduct. Het betreft hier het spoorwegviaduct rijksweg 1 t.p.v. km 88.650 over de spoorlijn Apeldoorn – Zutphen. Het viaduct heeft een aantal schades die lopende de levensduur zijn ontstaan. Reparatie van deze schades zijn niet opgenomen in de opgedragen werkzaamheden aan dit viaduct. Omdat de werkzaamheden aan een spoorwegviaduct, in verband met het buitendienststellen van baanvakken, veel voorbereidingstijd vragen willen we de versterking en reparaties aan dit viaduct laten samenvallen.

De reparatiewerkzaamheden bestaan hoofdzakelijk uit:

1. Repareren van de hoeken van betondek en landhoofd;
2. Repareren conusgaten;
3. Injecteren scheuren.”

4.3.1.3 IJsselbrug:

Voor de maatregelen worden de criteria op de volgende waardes beoordeeld:

Score	Esthetica 25,0%	Kosten 50,0%	Uitvoering 100,0%	Levensduur verlenging 75,0%	Kans op herhaling probleem 75,0%
Waarde %					
0	Maatregel verbeterd de uitstraling van het kunstwerk	Geen kosten	Kost geen tijd en werkzaamheden	Geen levensduur verlenging	Geen kans op herhaling
1	Maatregel brengt de constructie terug in zijn waarde	Lage kosten	Kost weinig tijd en werkzaamheden	> 10 jaar verlenging	Kleine kans op herhaling <10%
2	Maatregel zichtbaar beter dan het was, maar niet tot	Kosten	Kost wel tijd en werkzaamheden	5 - 10 jaar verlenging	Kast op herhaling 10-50%
3	Maatregel heeft negatieve invloed op esthetische waarde	Hoge kosten	Kost veel tijd en werkzaamheden	< 5 jaar verlenging	Kans op herhaling >50%

Deze brug heeft een dwarskracht en treksterkte probleem, dit wordt ingevoerd in het model. Het risico niveau van de brug is: 2. Dit houdt in dat het kunstwerk schade heeft en dat de levensduur van het kunstwerk snel afneemt als er geen maatregelen genomen worden.



Afbeelding 24 - IJsselbrug A1

De kenmerkende schade is niet bekend. De maatregelen worden preventief uitgevoerd, na de verbreding zal dit kunstwerk niet meer voldoen. Dus de schade die dit oplevert is niet bekend. De verwachte schade is scheurvorming en mogelijk doorbuiging. Met deze verwachting heb ik de keuze gemaakt voor kenmerkende schade 2; scheuren met regelmatig patroon, scheuren evenwijdig aan wapening, watervoerende scheuren.

Bij het advies volgt de conclusie dat overlagen met hoge sterkte beton of het toepassen van uitwendige voorspanning de beste oplossingen zijn. Beide oplossingen hebben voor- en nadelen. Argumenten voor HSB zijn: Het kost minder dan uitwendige voorspanning en het heeft geen esthetische gevolgen voor het kunstwerk.

Argumenten voor uitwendige voorspanwapening zijn: Het is makkelijk uitvoerbaar (zonder verkeershinder) en de voorspankabels zijn in dit geval weg te werken in de kokerliggers.

In dit geval heeft verkeershinder een hogere afweging dan kosten en zal er voor uitwendige voorspanning gekozen worden.

De eis van Rijkswaterstaat was:

“5.10 Versterkingen van het kunstwerk dienen te worden uitgevoerd middels externe voorspanning gelegen in het inwendige van de koker gebruik makend van stalen voorspankabels”.

Vraag

a. Waarom staat een type oplossing materiaalkwaliteit bindend voorgeschreven?

Antwoord:

Gezien de beperkte ontwerpduur zullen andere alternatieven bij de aanbidding onvoldoende uitgewerkt zijn waardoor de risico's voor de opdrachtgever onacceptabel zijn. Bij de vergunningsaanvraag is uitgegaan van externe voorspanning. Uitwendige versterking is in verband met welstand niet acceptabel, bovendien leidt werken in de koker niet tot stremming van het verkeer. De betonkwaliteit van de huidige prefab betononderdelen is met name genoemd voor het berekenen van de elastische verkorting van de voegen tijdens voorspannen: de E-modulus dient dan bekend te zijn.

b. Betekent de eis dat het aanbieden van een alternatieve oplossing zinloos is omdat een alternatief niet voldoet aan de vraagspecificatie en daarmee geen te accepteren aanbidding is?

Antwoord:

Alternatieven zijn niet toegestaan.

4.3.1.4 Naardertrekvaartbrug:

Voor de maatregelen worden de criteria op de volgende waardes beoordeeld:

Score	Esthetica	Kosten	Uitvoering	Levensduur verlenging	Kans op herhaling probleem
Waarde %	25,0%	50,0%	50,0%	100,0%	75,0%
0	Maatregel verbeterd de uitstraling van het kunstwerk	Geen kosten	Kost geen tijd en werkzaamheden	Geen levensduur verlenging	Geen kans op herhaling
1	Maatregel brengt de constructie terug in zijn waarde	Lage kosten	Kost weinig tijd en werkzaamheden	> 10 jaar verlenging	Kleine kans op herhaling <10%
2	Maatregel zichtbaar beter dan het was, maar niet tot	Kosten	Kost wel tijd en werkzaamheden	5 - 10 jaar verlenging	Kast op herhaling 10-50%
3	Maatregel heeft negatieve invloed op esthetische waarde	Hoge kosten	Kost veel tijd en werkzaamheden	< 5 jaar verlenging	Kans op herhaling >50%

Deze brug heeft een dwarskracht en treksterkte probleem, dit wordt ingevoerd in het model. Het risico niveau van de brug is: 2. Dit houdt in dat het kunstwerk schade heeft en dat de levensduur van het kunstwerk snel afneemt als er geen maatregelen genomen worden.

De kenmerkende schade is niet bekend. De maatregelen worden preventief uitgevoerd, na de verbreding zal dit kunstwerk niet meer voldoen. Dus de schade die dit oplevert is niet bekend. De verwachte schade is scheurvorming en mogelijk doorbuiging. Met deze verwachting heb ik de keuze gemaakt voor kenmerkende schade 2; scheuren met regelmatig patroon, scheuren evenwijdig aan wapening, watervoerende scheuren.

Bij het advies volgt de conclusie dat overlagen met hoge sterkte beton de beste maatregel is; in combinatie met het injecteren van scheuren met Epoxy of Poly-urethaan. Afhankelijk of de scheur constructief of tegen preventieve aantasting gerepareerd moet worden wordt deze keuze gemaakt.

Hier wordt dezelfde conclusie getrokken als bij de Zutphensestraat.

In de overeenkomst met Rijkswaterstaat is het volgende opgegeven:

1. *het verwijderen van de volledige asfaltconstructie tot op het betondek;*
2. *het aanbrengen van een constructieve overlaging op het betondek van 70 mm gewapend beton;*
3. *het aanbrengen van een waterwerend membraan op de constructieve overlaging;*
4. *het vervangen van kitvoegen in de randelementen van de schampanten*
5. *het volledig verwijderen en vervangen van de voegovergangsconstructies;*
6. *het vervangen van de geleiderailconstructies incl. leuningregel;*
7. *het herstellen van beschadigingen aan betonconstructies;*

4.3.2 Conclusie advies

In de afgelopen paragraaf is de validatie van het model gedaan. Hier zijn dezelfde antwoorden verkregen als werkelijk uitgevoerd. Dit is een mooie uitkomst en dit vergroot de betrouwbaarheid van het model.

4.4 Implementatie kunstwerken A12 VEG

In het project zijn 17 bestaande kunstwerken opgenomen, waarvan er 2 worden vernieuwd en er wordt 1 onderdoorgang bij gemaakt. Hieronder is een overzicht van de kunstwerken gegeven. In volgorde van west naar oost.

Welk kunstwerk:	Type kunstwerk	Werkzaamheden
Onderdoorgang Stationstraat;	Tunnel	onderhoud
Fietstunnel Rondweg Oost;	Tunnel	onderhoud
Viaduct Maanderbuurtweg;	Prefab liggerbrug	onderhoud
Viaducten Maanderbroek;	Prefab liggerbrug	onderhoud
Viaduct Statenpad;	Prefab liggerbrug	onderhoud
Viaduct Dr. W. Dreeslaan (N781);	Prefab liggerbrug	onderhoud
Bovenbuurtweg;	Prefab liggerbrug	verbreden
Onderdoorgang Parklaan	Ingeschoven tunnel	nieuwbouw
Viaduct Edeseweg;	Prefab liggerbrug	verbreden
Baron van Wassenaertunnel;	Tunnel	verbreden
Spoorkruising	Prefab liggerbrug	nieuwbouw
Tunnel Renkumseweg;	Tunnel	verbreden
Tunnel Wijde Veldweg;	Tunnel	verbreden
Tunnel Buunderkamp;	Tunnel	verbreden
Viaduct Wolfhezerbrug (N224)	Plaatbrug	nieuwbouw
Onderdoorgang Van Nieuwehuizenweg;	Tunnel	verbreden
Viaducten Grijsoord;	Plaatbrug	onderhoud
Viaduct A50/Amsterdamseweg;	Plaatbrug	onderhoud

Er zijn twee interessante objecten, viaduct Edeseweg en viaduct Wolfhezerbrug (N224). Het viaduct aan de Edeseweg is een liggerbrug, er is een toestandsinspectie uitgevoerd. De uitkomsten uit de inspectie worden ingevoerd in het model zo kunnen de maatregelen bepaald worden. Evenals bij de Edeseweg is er een onderzoek gedaan naar de staat van de Wolfhezerbrug (N224), dit is een plaatbrug. Ook deze zal worden ingevoerd in het model.

4.4.1 Viaduct Edeseweg:

Ontwerp specificatie	Waarde
Aantal overspanningen	3
Belastingscoëfficiënt	1
Belastingsklasse	A
Kruishoek	70,03
Lengte	60.9
Maximale constructiebreedte	24
Stootcoëfficiënt	1

Van dit kunstwerk is een DISK paspoort bekend, waar verschillende kenmerken van dit kunstwerk in beschreven staan. Behalve de afmetingen zijn ook de materiaaleigenschappen gegeven.

Er zijn verschillende inspecties gedaan. In 2006 is een instandhoudingsplan gemaakt naar aanleiding van voorgaande inspecties. Vervolgens is er in 2008 een gerichte technische inspectie geweest, en in 2011 een toestandsinspectie. Vervolgens heeft Heijmans voor de inschrijving zelf een schouw gedaan. De gegevens van deze inspecties zijn hieronder opgesomd.

Er is geconstateerd:

Conservering van de kolommen wordt vervangen in realisatie (capex)

Dek betonconstructie ingoede staat.

Ingezaagde voeg in asfalt (voeg) gescheurd/ gerafeld.

Uitspoelingen en verzakkingen ter plaatse landhoofd/ overstek dekeinden. worden bij dekverbredingen in realisatie (capex) hersteld.

Aandacht voor uitgezakt taluds onder dek bestaande /blijvend gedeelte.

Aandachtspunten:

- *Herstel /ophalen talud onder het dek ter plaatse eindsteunpunten*
- *Na verwijdering totale asfaltconstructie wat is de staat van bovenkant beton?*
- *Herstellen en hydrofoberen bovenkant bestaande dek?*
- *Frequentie van inspectie verhogen.:*

De betonconstructie:

- *Er zijn geen gebreken geconstateerd die een bedreiging vormen voor de draagkracht of duurzaamheid van de constructie.*
- *Er dient wel op redelijk korte termijn onderhoud gepleegd te worden omdat diverse geconstateerde gebreken nu nog eenvoudig te herstellen zijn (o.a. verwerking conservering opleggingen). Dit wordt door de scope: verbreding viaduct aangepakt.*
- *Carbonatatie en chloriden-indringing vormen, bij gelijkblijvende omstandigheden, geen bedreiging voor de duurzaamheid van de gehele constructie.*
- *Wel kan er plaatselijk betonschade ontstaan in de onderzijde van de kolommen, als gevolg van chloriden-geïnitieerde corrosie.*
- *De druksterkte van het beton van de rijvloer bedraagt minimaal 80 N/mm², ruim meer dan de ontwerp druksterkte*
- *De minimale restlevensduur van het kunstwerk bedraagt meer dan 200 jaar. Dit geldt voor het scenario waarbij de conservering wordt onderhouden. Plaatselijk kunnen wel betonschades ontstaan, deze zullen echter goed te repareren zijn .*
- *Herberekening toont aan dat het dek niet voldoet op scheurvorming, waardoor wordt aanbevolen de frequentie van inspecties van het viaduct te verhogen. De uitbreiding is wel een onmisbare versterking van het bestaande dek. Zonder deze versterking kan uitbreiding van de A12 op dit viaduct niet plaatsvinden*

Architectonische programma van eisen:

- *Bestaand in het zicht blijven beton moet schoon gestraald worden.*
- *Beschadigingen van het beton in het zicht moeten hersteld worden conform CUR 100 10.2.*
- *Waar nieuw en oud beton op elkaar aansluiten moet het beton (nieuw en bestaand) geverfd worden in kleur KEIM 9516.*

4.4.1.1 Invoeren in model

Het kunstwerk is in redelijke staat. De conservering is verouderd en bladdert, deze moeten vervangen worden. Verder is er scheurvorming in het dek zichtbaar. Scheurvorming kan verschillende oorzaken hebben. Bij de herberekening is de uitkomst dat de constructie niet overal voldoet aan dwarskracht. Het dwarskrachtsprobleem voeren we in, met een risico niveau 2: *Het kunstwerk heeft schade, de levensduur van het kunstwerk neemt snel af als er geen maatregelen genomen worden.*

Hierbij is de kenmerkende schade laag, 1: *Craquelé, Droge scheuren afgedicht met kalk, scheuren kleiner dan 0,2 mm (gew. beton), scheuren kleiner dan 0,1 mm (voorgesp. beton).*

Voor de maatregelen worden de criteria op de volgende waardes beoordeeld:

Score	Esthetica	Kosten	Uitvoering	Levensduur verlenging	Kans op herhaling probleem
Waarde %	25,0%	50,0%	50,0%	100,0%	75,0%
0	Maatregel verbeterd de uitstraling van het kunstwerk	Geen kosten	Kost geen tijd en werkzaamheden	Geen levensduur verlenging	Geen kans op herhaling
1	Maatregel brengt de constructie terug in zijn waarde	Lage kosten	Kost weinig tijd en werkzaamheden	> 10 jaar verlenging	Kleine kans op herhaling <10%
2	Maatregel zichtbaar beter dan het was, maar niet tot	Kosten	Kost wel tijd en werkzaamheden	5 - 10 jaar verlenging	Kans op herhaling 10-50%
3	Maatregel heeft negatieve invloed op esthetische waarde	Hoge kosten	Kost veel tijd en werkzaamheden	< 5 jaar verlenging	Kans op herhaling >50%

4.4.1.2 Advies model:

De constructie vraagt preventief onderhoud, uit het advies volgt hogedruk injectie met Epoxy of Poly-urethaan. Dit is afhankelijk van de scheur, of de scheur constructief of preventief tegen aantasting gerepareerd moet worden.

4.4.2 Viaduct Wolfhezerbrug (N224):

Ontwerp specificatie	Waarde
Aantal overspanningen	4
Belastingscoëfficiënt	1
Belastingsklasse	A
Kruishoek	49,47
Lengte	66.52
Maximale constructiebreedte	12.75
Stootcoëfficiënt	1

Ook van dit kunstwerk is een DISK paspoort bekend, waar verschillende kenmerken van dit kunstwerk in beschreven staan. Dit kunstwerk is 14 jaar ouder dan het viaduct Edeseweg.

In 2008 is de programmeringsinspectie gedaan. Hier zijn verschillende schadegevallen gevonden. Deze worden als een risico gezien en er is aangegeven dat hier iets tegen gedaan moet worden. In 2011 heeft het viaduct nog eens een toestandsinspectie gehad, waar ook geen positief nieuws uit kwam. Door de functieverandering van de A12, van 2x2 naar 3x3 baans is de onderdoorgang van het viaduct te smal. Door de verbreding is het viaduct afgekeurd, en zal een nieuw viaduct worden gerealiseerd.

Er is geconstateerd:

*Onthechting van de slijtlaag, waardoor glad betonoppervlak;
Aanwezigheid van ASR in
Leuning voldoet niet aan eisen.
Scheuren in schampkant.
Corrosie bij opleggingen.
Corrosie bij voeg.*

Aandachtspunten:

- Gladheid betonoppervlak ter plaatse van slijtlaag
- Mogelijk ASR in hoofdconstructie
- Losbrekend beton van schampkant

De betonconstructie:

- Er is ASR gevonden in de betonconstructie.
- Scheuren in Schampkant

4.4.2.1 Invoeren in model

Het kunstwerk is in slechte staat. Het dek heeft last van Alkali-silicareactie. Verder zijn er scheuren aanwezig in de schampkant. Het ASR probleem voeren we in, met een risico niveau 1: *Het kunstwerk voldoet niet meer aan de uiterste grenstoestand, maatregelen zijn nodig om het kunstwerk functionerend te houden.*

Hierbij is de kenmerkende schade, 3: *Watervoerende scheuren met roestwater of uitbloeiingen, scheuren groter dan 0,3mm.*

Voor de maatregelen worden de criteria op de volgende waardes beoordeeld:

Score	Esthetica	Kosten	Uitvoering	Levensduur verlenging	Kans op herhaling probleem
Waarde %	25,0%	50,0%	50,0%	100,0%	75,0%
0	Maatregel verbeterd de uitstraling van het kunstwerk	Geen kosten	Kost geen tijd en werkzaamheden	Geen levensduur verlenging	Geen kans op herhaling
1	Maatregel brengt de constructie terug in zijn waarde	Lage kosten	Kost weinig tijd en werkzaamheden	> 10 jaar verlenging	Kleine kans op herhaling <10%
2	Maatregel zichtbaar beter dan het was, maar niet tot	Kosten	Kost wel tijd en werkzaamheden	5 - 10 jaar verlenging	Kast op herhaling 10-50%
3	Maatregel heeft negatieve invloed op esthetische waarde	Hoge kosten	Kost veel tijd en werkzaamheden	< 5 jaar verlenging	Kans op herhaling >50%

4.4.2.2 Advies model:

De constructie moet worden vervangen. In ieder geval de delen waar ASR in gevonden is. De onderbouw kan mogelijk gebruikt worden voor de vervangende constructie, deze is namelijk nog in orde.

4.4.3 Conclusie Implementatie

Er zijn 2 kunstwerken ingevoerd in het model welke in 2015 of 2016 hersteld gaan worden. De problemen van de kunstwerken zijn bekend door een inventarisatie en toestandsinspectie. Hierbij zijn verschillende problemen in beeld gekomen. Deze problemen zijn ingevoerd in het model. Dit heeft geleid tot een advies. Dit advies kan worden gebruikt om de onderhoudsmaatregelen te bepalen.

4.5 Conclusie model

Het model is opgezet met het doel Heijmans inzicht te geven in de maatregelen die de gepaste oplossing opleveren voor de gewenste levensduurverlenging bij betonnen bruggen. Met behulp van de handleiding is dit model in te vullen en zijn de passende maatregelen te bepalen. De maatregelen worden beoordeeld op criteria, welke afhankelijk zijn van de wensen ten behoeve van de uitvoering of restlevensduur. Hierbij kan een wens uitgesproken worden over kosten, uitvoerbaarheid, esthetische gevolgen, levensduurverlenging en kans op herhaling van het probleem.

Als de schade die de brug heeft bekend is kan deze vervolgens ingevoerd worden. Hiervoor moet een risico niveau van de schade worden bepaald. Dit hangt nauw samen met de theoretische levensduur van een kunstwerk. Het kenmerkende probleem bij de schade wordt bepaald, welke nodig is om de ernst van de schade in te schatten. Kenmerkende problemen zijn per probleem beschreven. Vervolgens wordt ingevoerd of de schade voornamelijk esthetisch of mechanisch is. Mechanische schade telt zwaarder dan esthetische schade, dit is te zien en ook aan te passen in de kwantificatie.

In de conclusie volgen vervolgens de mogelijke maatregelen. De onderbouwing van de keuze is te vinden in de tussenliggende sheets. Uit het model kunnen meerdere maatregelen geadviseerd worden welke samen een oplossing vormen voor de problemen van het kunstwerk. De beoordeling van de maatregelen kan worden aangepast, dit kan voor een andere uitkomst zorgen. Er kunnen ook maatregelen worden aangevuld, hier is een uitleg over gegeven in de handleiding.

Het model is geverifieerd en gevalideerd. Hier zijn de gegevens gecontroleerd en de uitkomsten vergeleken. Vervolgens is het model gebruikt om de maatregelen voor een toekomstig

onderhoudsproject te bepalen. De uitkomst hiervan is niet te controleren aangezien de uit te voeren maatregelen nog niet bekend zijn.

5 Conclusies en aanbevelingen

Bruggen

Er zijn in Nederland veel verschillende typen bruggen. De verschillende typen worden onderscheiden in bouwwijze, materiaalkeuze en functie. In dit rapport worden alleen betonnen bruggen en viaducten bekeken, omdat deze komen het meest voor in A-wegen. Er zijn in Nederland voornamelijk betonnen ligger- en plaatbruggen gebouwd. In de jaren '60 en '70 zijn de meeste bruggen gebouwd. Deze bruggen zijn op een levensduur van 60 tot 80 jaar gebouwd, maar veel bruggen zijn door de snelle toename van belastingen toch te zwak.

Eisen

In 2002 zijn de Europese en Nederlandse normen aangescherpt. Alle nieuwe of bruggen die een andere functie krijgen moeten hier aan voldoen. Met de uitbreiding van het wegennet kan het zijn dat er een extra rijstrook of spitsstrook over de constructie moet. Na een dergelijke functieverandering kan het zo zijn dat een constructie niet meer aan de eisen voldoet.

Problemen

Beton is een sterk, constructief en duurzaam bouwmiddel dat het voordeel kent dat het in elke vorm te verwerken is. De belangrijkste eigenschap van beton is zijn druksterkte. Gewapend of voorgespannen beton heeft het voordeel dat het ook trekspanningen kan opnemen. Toch heeft beton een spanningsgrens en deze wordt aangetast door de omgeving. Hierdoor zal de kwaliteit van de constructie achteruit gaan. De verschillende problemen worden ingedeeld in drie categorieën, die toch veel samenhang kennen. De problemen zijn onder te verdelen in:

- Mechanisch falen
- Aantastingsmechanismen
- Esthetische problemen

Maatregelen

Tegen de verschillende aantastingen worden verschillende maatregelen genomen. De maatregelen zijn afhankelijk van het type onderhoud dat er gevraagd wordt, preventief- of correctief onderhoud. De maatregelen voor preventief onderhoud zijn minder ingrijpend dan de maatregelen die worden getroffen als het kunstwerk om correctief onderhoud vraagt. Hier zit een verschil in kosten, levensduur verlenging, kans op herhaling en uitvoerbaarheid. De onderhoudsmaatregelen zijn ingedeeld in de volgende categorieën:

- Preserveringstechnieken;
- Reparatietechnieken;
- Versterkingstechnieken.

Onderzoeksmodel

Het onderzoeksmodel is opgezet in Excel. Het model is opgezet met het doel Heijmans inzicht te geven in de maatregelen die de gepaste oplossing opleveren voor de gewenste levensduurverlenging bij betonnen bruggen. Met behulp van de handleiding is dit model in te vullen en is de passende oplossing te bepalen. De maatregelen worden beoordeeld op criteria, welke afhankelijk zijn van de wensen. Hierbij kan een wens uitgesproken worden over kosten, uitvoerbaarheid, esthetische gevolgen, levensduurverlenging en kans op herhaling van het probleem. In dit model wordt de schade en de ernst van de schade ingevuld. In het model worden verschillende bezwijk- en aantastingsmechanismen bepaald. Met deze gegevens is het mogelijk de optimale maatregel bij het probleem te kiezen. Het model is geverifieerd en gevalideerd. Hier zijn de gegevens gecontroleerd en de uitkomsten vergeleken. De uitkomsten kwamen veelal overeen met de werkelijk uitgevoerde maatregelen, wat de betrouwbaarheid van het model ten goede doet.

Aanbeveling

In het model zijn veel aantastingsmechanismen beschreven. De aantastingsmechanismen hebben kenmerkende problemen. Met de kenmerken is de ernst van de schade en daarbij de

restlevensduur van de brug te bepalen. Met de kennis van de restlevensduur is de status van een kunstwerk, ofwel het risiconiveau, beter te bepalen. De verwachte restlevensduur of de gewenste levensduurverlenging en de daarbij horende maatregel kan in dat geval precies bepaald worden. Het is verstandig als Heijmans zich meer verdiept in de afzonderlijke aantastingsmechanismen, zodat de restlevensduur zorgvuldig bepaald kan worden.

Ook zou dit model kunnen worden gebruikt als opzet voor een model om de maatregelen te bepalen die de restlevensduur van stalen bruggen verlengt. Hiervoor zou een inventarisatie naar de problemen en maatregelen afdoende zijn. Deze kunnen vervolgens ingedeeld worden in het model. Waarbij er een dergelijk advies uitkomt.

Bijlagen

Bijlage 1: Plan van aanpak

Plan van aanpak

Levensduur verlenging betonnen bruggen



STATUS: Definitief

VERSIE: 1.0

DATUM: 8 oktober 2014

Student

Dennis Jongste
Marialaan 137
6541 RD Nijmegen
06 46 32 37 99
Djongste@hotmail.com
St. nr. 478652

Afstudeer bedrijf

Heijmans Civiel B.V.
Graafsebaan 67
5248 JT Rosmalen
073 – 543 6611

Begeleider:

Ir. R.W.H. Pepers
06 21 81 76 34
RPepers@Heijmans.nl

Instantie

Hogeschool van Arnhem
en Nijmegen
Ruitenberglaan 26
6826 CC Arnhem
0646323799

Begeleiders:

Dick Jan Schaap
Marianne van as

Eerste lezer:

Dick Jan Schaap

Tweede lezer:

Marianne van as

Paraaf voor akkoord

Paraaf voor akkoord

Paraaf voor akkoord

Inhoud

1. INLEIDING.....	2
1.1 AANLEIDING	2
1.2 CENTRALE VRAAG	2
1.3 LEESWIJZER	2
2. PROBLEEMANALYSE	3
3. STELLINGEN	4
3.1 PROBLEEMSTELLING	4
3.2 DOELSTELLING	4
3.3 VRAAGSTELLING	4
4. DEELVRAGEN.....	5
5. ONDERZOEKSOPZET	7
5.1 OPZET FASEN	7
5.2 FASE 1: INFORMATIE VERGAREN	8
5.3 FASE 2: INVENTARISEREN	9
5.4 FASE 3: WAARDEREN	9
5.5 FASE 5: MODELLEREN	10
5.6 FASE 4: EVALUEREN EN VERIFIËREN	11
5.7 FASE 6: IMPLEMENTEREN EN VALIDEREN	11
6. AFBAKENING	12
7. OPBOUW RAPPORT	13
8. PLANNING	14
8.1 BELANGRIJKE DATA	14
9. BIJLAGEN	15
9.1 BIJLAGE 1: ROADMAP PROBLEEMANALYSE	
9.2 BIJLAGE 2: MINDMAP AFBAKENEN ONDERWERP	
9.3 BIJLAGE 3: PLANNING.....	
BRONNEN	

1. Inleiding

In dit hoofdstuk is de aanleiding van het onderzoek te lezen en is de centrale vraag opgesteld. In paragraaf 1.3 wordt een toelichting gegeven over de opbouw van het rapport.

1.1 Aanleiding

De grote verkeersgroei in de jaren zestig heeft geleid tot een “bouw golf” van Rijkswegen. In deze periode zijn veel bruggen en viaducten gebouwd. Die bruggen en viaducten zijn gebouwd met de bouw- en materiaalkennis van toen en werden gedimensioneerd op de verwachte verkeersbelastingen. Men ging er vanuit dat deze kunstwerken nog 60 tot 80 jaar zouden voldoen aan de eisen.

In 2002 zijn de zowel de Europese als de Nederlandse (veiligheids)eisen aangescherpt. Ook is de verkeersintensiteit aanzienlijk gestegen, vooral die van vrachtverkeer. Na zorgvuldige inspectie is de overheid tot de conclusie gekomen dat veel van de viaducten die in deze periode gebouwd zijn niet meer aan de constructieve eisen voldoen (Rijkswaterstaat, 2007, p. 5-10).

De overheid moet de ingrepen die gedaan moeten worden om aan de eisen te voldoen gaan bekostigen. Sinds enkele jaren kijkt de overheid meer naar de gebruiksfunctie, de onderbouwing van het uit te voeren onderhoud wordt steeds belangrijker. De overheid heeft als onderbouwing van de onderhoudsmaatregel een onderhoudsmodel opgesteld waarin levensduurverlengende maatregelen en preventief vervangen tegenover elkaar worden gezet. Met dit model worden de kosten van de onderhoudsmaatregelen geoptimaliseerd. (Noortwijk, 2002, p. nr. 1-2).

In dit rapport zijn de levensduur verlengende mogelijkheden bestudeerd en gewaardeerd. Hier is ook een keuzemodel voor opgesteld, waarbij de gepaste maatregelen bij de problemen gevonden kunnen worden. Dit model is geïmplementeerd in een project, hiermee wordt getest of het model als gewenst functioneert.

1.2 Centrale vraag

Hoe kan een model de meest geschikte levensduurverlengende maatregelen van betonnen bruggen, die niet meer voldoen aan de gewenste prestaties of (veiligheids)eisen, in beeld brengen voor Heijmans?

1.3 Leeswijzer

In dit plan van aanpak begint u met het lezen van de probleemanalyse, hier wordt het probleem geschetst. Meerdere problemen kunnen aanleiding zijn voor dit onderzoek zijn. De problemen zijn door middel van een roadmap geanalyseerd en vervolgens geformuleerd in de probleemstelling. Nu het probleem bekend is wordt het doel van het onderzoek bepaald. Het uiteindelijke doel wordt beschreven in de doelstelling. Om het doel te bereiken is de centrale vraag opgesteld. Deze wordt in het onderzoek beantwoord met behulp van deelvragen. Er wordt door middel van een literatuurstudie, de ervaring van specialisten en de bekende gegevens een antwoord gevonden op deze vragen.

In het zesde hoofdstuk wordt de onderzoeksoptzet beschreven. Hier is de opbouw van het onderzoek en het eindproduct omschreven. Vervolgens wordt het onderzoek afgebakend, dit is gedaan door middel van een mindmap. In hoofdstuk zeven is de opbouw van het rapport weergegeven en in het achtste hoofdstuk staat de daarbij horende planning. Tot slot zijn de bijlagen toegevoegd.

2. Probleemanalyse

In dit hoofdstuk wordt het probleem beschreven. Om het probleem in beeld te brengen is een roadmap gemaakt, zie bijlage 1.

Algemeen

Zoals in de aanleiding ook genoemd is zullen veel vruggen de komende jaren tegen het einde van de levensduur aanlopen. Dit komt doordat er in de jaren '60 en '70 veel bruggen gebouwd zijn die nu niet meer voldoen aan de nieuwe Nederlandse en Europese (veiligheids)eisen.

Wat is het probleem van de klant?

De beschikbaarheid van verschillende bruggen kan niet gewaarborgd worden, omdat er niet voldaan wordt aan de bruikbaarheids- en/of uiterste grenstoestanden volgens NEN-EN 1990. Wanneer er geen maatregelen genomen worden bestaat de kans dat de bruggen als onveilig worden beschouwd en dus niet meer naar wens functioneren. Hierdoor wordt de levensduur van het kunstwerk beperkt.

Wat wil de klant?

De klant wil dat de beschikbaarheid van de huidige bruggen gewaarborgd is. Mochten de bruggen niet meer aan de eisen voldoen en dus niet meer beschikbaar zijn voor hun gewenste functie, dan moet er gekeken worden naar maatregelen. De klant wil een optimale oplossing waarin de restlevensduur van de kunstwerken verlengd wordt en de kosten en baten worden afgewogen.

Wat is het probleem van Heijmans?

Heijmans heeft niet het inzicht in welke oplossingen bij betrouwbaarheids- en/of beschikbaarheids problemen van een kunstwerk toegepast kunnen worden. De oplossingen moeten aan de hand van NEN-EN 8700 toegepast worden en moeten invloed hebben op de restlevensduur van het kunstwerk. De maatregelen dienen oplossingen te bieden aan problemen in belastingen, aantasting, functie en veiligheid.

Wat wil Heijmans?

Voor Heijmans is het belangrijk de, naar omstandigheden, beste oplossingen aan te bieden, zodat er aan de betrouwbaarheid- en/of beschikbaarheids eisen wordt voldaan. Het maakt dan niet uit of dat een compleet nieuw kunstwerk is of levensduur verlengende maatregelen. Daarom is het voor Heijmans goed om mee te denken en te proberen aan de behoefte van de klant te voldoen. Er liggen voor Heijmans kansen om passende oplossingen te bieden en hiermee de markt te versterken.

Ook bij huidige projecten is het probleem bekend, bijvoorbeeld bij het project A12 VEG. worden alle kunstwerken in het tracé geïnspecteerd. Hiervan wordt een restlevensduur bepaald, welke mogelijk niet voldoet aan de wensen. Heijmans wil hier de mogelijkheden bekijken.

Wat is het probleem bij het project A12 VEG?

De A12 van Veenendaal, Ede tot Grijsoord wordt verbreed van 2x2 naar 2x3 rijstroken. In dit tracé zitten verschillende kunstwerken. Een aantal van deze kunstwerken worden verbreed en zullen dus een nieuw deel aangebouwd krijgen. Dit nieuwe aangebouwde onderdeel heeft een andere levensduur dan het bestaande. Heijmans wil aan de klant voorstellen het huidige deel onderhanden te nemen zodat deze gelijk met het nieuwe gedeelte onderhoud vraagt. Dit komt het tracé onderhoud ten goede.

3. Stellingen

3.1 Probleemstelling

Het probleem voor dit onderzoek kan als volgt worden samengevat:

Heijmans heeft op dit moment nog niet genoeg inzicht in de type maatregelen om de levensduur van een kunstwerk te verlengen, mocht een kunstwerk door verschillende omstandigheden niet meer voldoen aan de (veiligheids)eisen of de gewenste prestatie van de klant.

3.2 Doelstelling

Het doel van het onderwerp is te omschrijven als:

Heijmans door middel van een keuzemodel inzicht geven in de, op eisen en wensen van de klant beoordeelde, maatregelen die de gepaste oplossing opleveren voor de gewenste levensduurverlenging bij betonnen bruggen.

Dit onderzoek moet leiden tot een model opgesteld wordt waarmee Heijmans inzicht krijgt in de in de mogelijkheden de levensduur van een kunstwerk te verlengen. In het onderzoek wordt beschreven hoe de levensduur door naar omstandigheden gepaste maatregelen verlengt kan worden, wat de uiteindelijke levensduurverlenging is en wat de daarbij horende kosten zijn. Met deze kennis kan Heijmans bij verschillende problemen de juiste maatregelen kiezen die een gepaste oplossing bieden.

3.3 Vraagstelling

De centrale vraag van het onderzoek luidt:

Hoe kan een model de meest geschikte levensduurverlengende maatregelen van betonnen bruggen, die niet meer voldoen aan de gewenste prestaties of (veiligheids)eisen, in beeld brengen voor Heijmans?

4. Deelvragen

In dit hoofdstuk staan de deelvragen om te bepalen hoe een model de meest geschikte levensduurverlengende maatregelen van betonnen bruggen, die niet meer voldoen aan de gewenste prestaties of (veiligheids)eisen, in beeld kan brengen voor Heijmans?

Literatuur Onderzoek

Bruggen

- Wat is de definitie van een brug?
- Wat voor bruggen zijn er?
- Welke problemen doen zich voor bij ligger of plaatbruggen?
 - o Wat zijn de constructieve problemen?
 - o Wat zijn de capaciteitsproblemen?
 - o Wat zijn de functionele problemen?
- Welk type kunstwerken bevinden zich in het tracé van de A12 VEG?

Levensduur verlengende Maatregelen

- Welke levensduur verlengende maatregelen zijn al bekend?
- Welke levensduur verlengende maatregelen zijn al toegepast?
- Wat zijn de ervaringen met deze maatregelen?
 - o Wat zijn de kosten voor de maatregelen?
 - o Hoeveel is de werkelijke levensduur verlengd?
 - o Hoe is de uitvoering verlopen?
- Op welke aspecten kunnen de huidige maatregelen verbeterd worden?
- Waarom zijn de wel bekeken maar (nog) niet toegepaste maatregelen niet toegepast?
- Welke maatregelen zijn al toegepast op kunstwerken in tracé A12 VEG?

Praktijk onderzoek:

Ervaringen met levensduurverlengende maatregelen

- Wat zijn de ervaringen van Heijmans?
- Wat zijn de ervaringen van specialisten?
- Wat zijn de ervaringen in het buitenland?

Inventariseren huidige mogelijkheden

Categorisatie

- Op welke probleem heeft welke maatregel invloed?
- Hoe zijn de corrigerende-, preventieve- of levensduur verlengende maatregelen in te delen?
- Is de informatie betrouwbaar?

Overig te inventariseren tbv onderzoek

Nederlandse en Europese (Veiligheids)eisen

- Door wie worden deze eisen opgesteld?
- Door wie worden deze eisen getoetst?
- Hoe worden deze eisen getoetst?
- Welke eisen gelden wanneer?

Levensduur bruggen

- Wie bepaald de levensduur van een brug?
- Hoe wordt de levensduur van een brug bepaald?
- Hoe wordt de restlevensduur van een brug bepaald?
- Met hoeveel moet de levensduur van een brug verlengt worden?
- Wat is de restlevensduur van de kunstwerken in tracé A12 VEG?

Behoefte

- Wat is de behoefte van de klant?
 - o Wat zijn de trends?
- Wat vind de klant belangrijke aspecten
 - o Gekeken naar de kosten en baten?
 - o Gekeken naar tijd?

Waardering maatregelen

- Wat zijn de criteria in het model waar de maatregelen op beoordeeld moeten worden?
- Hoe ziet de waardematrix eruit om de maatregelen te beoordelen?

Modelleren

- Hoe kan een model de meest geschikte levensduurverlengende maatregelen van betonnen bruggen, die niet meer voldoen aan de gewenste prestaties of (veiligheids)eisen, in beeld brengen voor Heijmans?

Evalueren en valideren

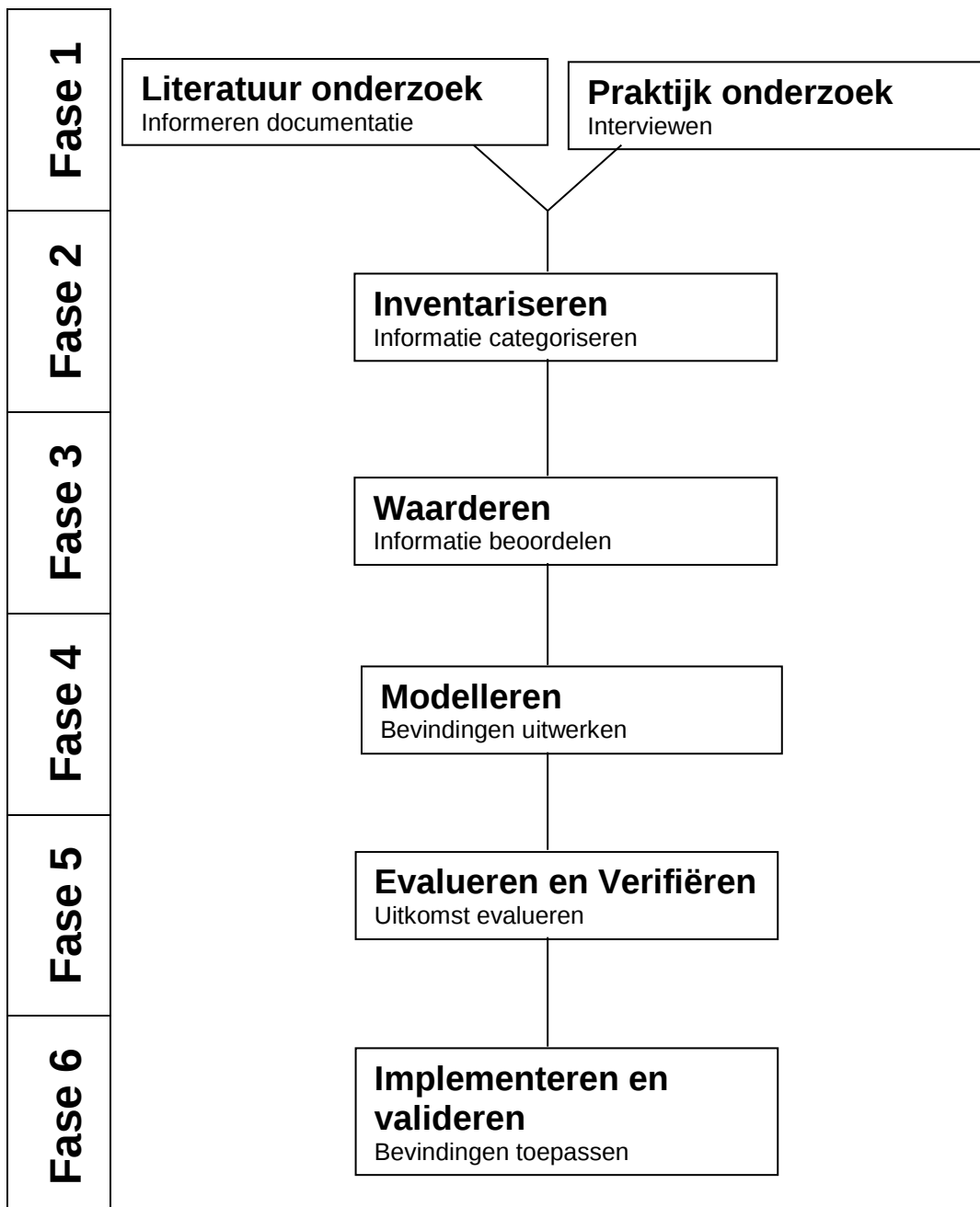
- Waarom is het gewenste resultaat wel/niet behaald?
- Waarom is het product wel/niet bruikbaar?

Implementeren model

- Hoe functioneert het model in de praktijk?
- Wat was de gewenste uitkomst uit het model, en is deze behaald?

5. Onderzoeksopzet

5.1 Opzet fasen



5.2 Fase 1: Informatie vergaren

Literatuur onderzoek

Bij de start van een onderzoek is het verkrijgen van de informatie die er al bestaat over het onderwerp belangrijk. De informatie die verkregen wordt moet antwoord op een van de deelvragen geven. In het literatuuronderzoek wil ik voornamelijk de bekende problemen en maatregelen analyseren. Met behulp van interviews wil ik meer informatie over de praktijkervaringen van de problemen en maatregelen verkrijgen.

In het literatuuronderzoek wordt informatie verzameld over:

- Betonnen bruggen en de voorkomende problemen
- De levensduurverlengende maatregelen voor betonnen bruggen

Deze informatie wordt verzameld uit documenten die opgesteld zijn door de klant, door Heijmans zelf of door buitenlandse bedrijven of specialisten. De kennis die het bedrijf al heeft opgedaan in eerdere opdrachten wordt meegenomen in het onderzoek. In veel projecten wordt gewerkt met een trade-off waar verschillende afwegingen van mogelijke maatregelen tegenover elkaar staan. In een trade-off zijn goed de voor- en nadelen van een maatregel te achterhalen. Ook in de interviews is praktijkinformatie over bepaalde maatregelen verkregen.

Het is belangrijk eerst duidelijk te hebben wat de definitie van een brug is. Vervolgens om hoeveel bruggen het gaat en tot welk type ze behoren. Bij verschillende typen kunstwerken komen verschillende problemen voor, deze worden in kaart gebracht.

Om een compleet beeld te krijgen van de mogelijke maatregelen om de levensduur van een kunstwerk te verlengen worden verschillende uitgevoerde onderzoeken en ervaringen bestudeerd. In deze studie wordt uitgezocht welke maatregelen er zijn, welke van de maatregelen toegepast is en de ervaren voor- en nadelen worden beschreven. Alle voor- en nadelen worden later in de waardering meegenomen. Ook worden verbeterpunten in de huidige maatregelen beschreven, mochten deze er zijn.

Interviews

Door middel van interviews met specialisten wordt meer informatie verkregen over de levensduur verlengende maatregelen. Er worden werkzaamheden uit het verleden bekeken, maar ook zeer recente, waaronder van de A12 VEG. Er worden verschillende werknemers naar hun ervaringen gevraagd van eerder uitgevoerde projecten. Met deze interviews wordt de praktijkervaring aan het licht gebracht. Het is ook interessant om buiten de deur te kijken, inbreng van een internationaal bedrijf verbreed het beeld en kan een interessant aandeel van het onderzoek zijn.

5.3 Fase 2: Inventariseren

Na alle informatie te hebben verkregen, is het belangrijk dit te ordenen en te filteren. De oplossingen moeten gecontroleerd worden om te kijken of ze haalbaar en reëel zijn. Mocht dit niet zo zijn is er geen reden deze mee te nemen in het onderzoek. Het is belangrijk om alle informatie te controleren op betrouwbaarheid. Alleen de bruikbare informatie mag overblijven. Deze informatie moet makkelijk te doorzoeken zijn. De gevonden maatregelen worden gecategoriseerd in het type maatregel op het type kunstwerk.

Om het onderzoek te vervolgen is kennis van een aantal zaken van belang. Als eerst moeten de gestelde eisen duidelijk zijn. Om duidelijk te hebben welke eisen gesteld worden moet eerst bekend zijn wie de eisen opstelt en door wie en wanneer deze worden gecontroleerd. Met de eisen hangt samen met de levensduur van een kunstwerk. Er moet geanalyseerd worden wat de levensduur van een kunstwerk inhoudt, en waar deze van afhangt.

De gewenste levensduur verlenging verschilt per brug en is afhankelijk van de behoefte en gewenste prestatie. Voor de waardering is het daarom belangrijk om te onderzoeken welke maatregel hoeveel levensduurverlenging opbrengt. Daarbij moet wel gekeken worden naar de daarbij gepaarde kosten. Het evenwicht tussen kosten en baten is belangrijk en ook de tijd die de maatregelen kosten kan als uitgangspunt worden genomen. Wanneer kennis is opgedaan van deze zaken is de inventarisatie compleet, dan kunnen de maatregelen gewaardeerd worden.

5.4 Fase 3: Waarderen

In deze fase wordt besloten aan welke criteria de maatregelen worden getest. Het beoordelen van de verschillende oplossingen wordt in een waarderingmatrix gedaan. In de matrix worden de verschillende maatregelen met de verschillende criteria tegenover elkaar gezet. In de matrix staan de criteria die bepaald zijn aan de hand van de eisen en wensen van zowel klant als uitvoerder bepaald zijn. De waardering van de maatregel per criterium wordt bepaald. Deze waardering kan per type brug verschillen, afhankelijk van het materiaal of de vorm. Bij de waardering is een combinatie van maatregelen mogelijk om de oplossing zo effectief mogelijk te maken.

Brugtype					
Probleem X	Criterium 1	Criterium 2	Criterium 3	Criterium 4	Totaal:
Maatregel 1					
Maatregel 2					
Maatregel 3					
Maatregel 4					
Beschrijving maatregelen:					
Conclusie oplossing:					

In de waardematrix zal er door middel van positieve of negatieve waardering van de criteria een totale waardering van de maatregel komen.

Zo krijgt elk bekeken type brug bij elk probleem de maatregelen en zullen deze in zulke tabellen beoordeeld worden.

Er zal bij de tabel een kleine beschrijving van de maatregel te vinden zijn.

Tot slot zal de conclusie gegeven en onderbouwd worden. Het is mogelijk dat meerdere maatregelen een oplossing vormen.

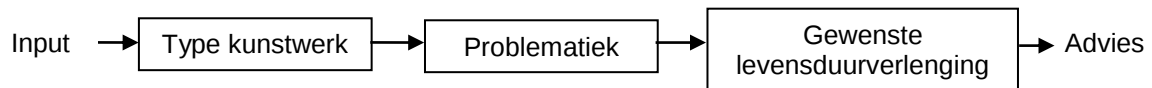
5.5 Fase 5: modelleren

Het resultaat van het onderzoek zal hier uitgewerkt worden. De bevindingen worden in een model uitgewerkt om de toegankelijkheid te waarborgen.

Hier staan de bevindingen beschreven die Heijmans inzicht moeten geven in het kiezen van de juiste maatregelen bij verschillende levensduur beperkende problemen van bruggen. Dit is de afsluiting van het onderzoek.

De maatregelen worden in een keuzemodel geschematiseerd, waarmee aan het eind de oplossing als advies wordt gegeven. In het model wordt het advies opgebouwd naarmate de kenmerken, problematiek en gewenste levensduurverlenging bekend zijn. Met deze kennis zal uiteindelijk per probleem een maatregel naar boven komen en bij meerdere problemen meerdere maatregelen, die samen een oplossing vormen.

Een schematische weergave van de te doorlopen stappen zijn:



Het advies zullen maatregelen zijn die oplossing bieden tot de problemen die het betreffende kunstwerk ondervindt. In dit advies zal rekening worden gehouden met het effect, wat is de levensduurverlenging die de maatregelen bieden, en de kosten.

5.6 Fase 4: Evalueren en verifiëren

Het model wordt geëvalueerd en geverifieerd. Werkt het model zoals verwacht, en is de uitkomst de gewenste uitkomst? Het model wordt geverifieerd aan de hand van de klantvraag.

De maatregelen worden ook geëvalueerd en geverifieerd. Er wordt geverifieerd of alle maatregelen aan de beschreven eisen en aan de normen NEN 8700 en NEN-EN 1990 voldoen. Als dit zo is zijn ze volgens de wet. Ook wordt er naar de haalbaarheid in tijd, kosten en uitvoerbaarheid gekeken.

5.7 Fase 6: Implementeren en valideren

Het eerder ontworpen model wordt gebruikt om een brug in het tracé van de A12 VEG te analyseren. De levensduur van het kunstwerk is bekend en de gewenste levensduurverlenging bepaald. Met het model wordt bekeken of deze gewenste levensduurverlenging haalbaar is. In deze fase wordt gevalideerd of het juiste systeem is gemaakt en of het voldoet aan de wens van Heijmans.

6. Afbakening

Om het onderzoek duidelijkheid te geven is een afbakening gemaakt met wat wel en niet onderzocht wordt. Dit is gedaan om de projectgrenzen aan te geven, zodat er zo gericht mogelijk naar een antwoord op de centrale vraag gewerkt wordt.

Het project wordt afgebakend met randvoorwaarden en uitgangspunten.

Randvoorwaarden zijn opgesteld om de doelgerichtheid van het onderzoek te verbeteren.

Uitgangspunten zijn opgesteld om de breedte van het onderzoek aan te geven, zodat het onderzoek haalbaar blijft binnen de daarvoor gestelde tijd.

Om de afbakening in beeld te brengen is een mindmap gemaakt, zie bijlage 2.

Kunstwerken	Wel onderzoeken:	Niet onderzoeken:
Type kunstwerken	Bruggen	Tunnels, sluizen en overige
Type bruggen	Ligger- en plaatbruggen*	Overige
Materiaal	Beton	Staal en overige

Klanten	Wel onderzoeken:	Niet onderzoeken:
Opdrachtgevers	Overheid	Overige
Beheerders	Rijkswaterstaat	Provincie, Gemeente of overige
Wegtypen	A-wegen	N-wegen of overige
Budget	Kosten	Beschikbaar budget

Projecten	Wel onderzoeken:	Niet onderzoeken:
Tijd	Interessante projecten <20jaar van nu	Projecten >20 jaar van nu

Eisen	Wel onderzoeken:	Niet onderzoeken:
Opsteller	Europese Unie, Rijkswaterstaat	Overige
Capaciteitseisen	-	Over- en onder viaduct
Functionele eisen	Veiligheid en beschikbaarheid	Uiterlijk en bedieningsfuncties
Constructie eisen	Type belastingen	Hoeveelheden belasting
Fundamentele eisen	Beschrijving Bruikbaarheid grenstoestanden en uiterste grenstoestanden	Hoeveelheden grenstoestanden

Beheer en Onderhoud	Wel onderzoeken:	Niet onderzoeken:
Beheer	Wat houdt beheren in	Beheer processen
Onderhoud	Preventief, Correctief en Levensduurverlengend onderhoud	Capaciteitsproblemen

Gebruikers	Wel onderzoeken:	Niet onderzoeken:
Gebruikers	Wie de gebruikers zijn	Wat de gebruikers wensen

* Eerder door Heijmans verricht onderzoek heeft uitgewezen dat deze typen bruggen in Nederland het meest voorkomen en daardoor het meest interessant zijn om te onderzoeken.

7. Opbouw rapport

Voor een goed lopend rapport is het van belang dat vooraf al de opbouw van het verslag wordt bepaald. Deze opbouw is de chronologische werkvolgorde voor het onderzoek en zorgt ervoor dat de goede werkwijze wordt aangehouden. Het rapport zal er als volgt uit komen te zien:

Voorwoord

Samenvatting

Inhoudsopgave

1. Inleiding
2. Literatuur onderzoek
3. Onderzoeksmethoden
4. Onderzoeksresultaten
5. Keuzemodel
6. Implementatie model op A12 VEG
7. Conclusie
8. Nawoord
9. Literatuurlijst

Bijlagen

8. Planning

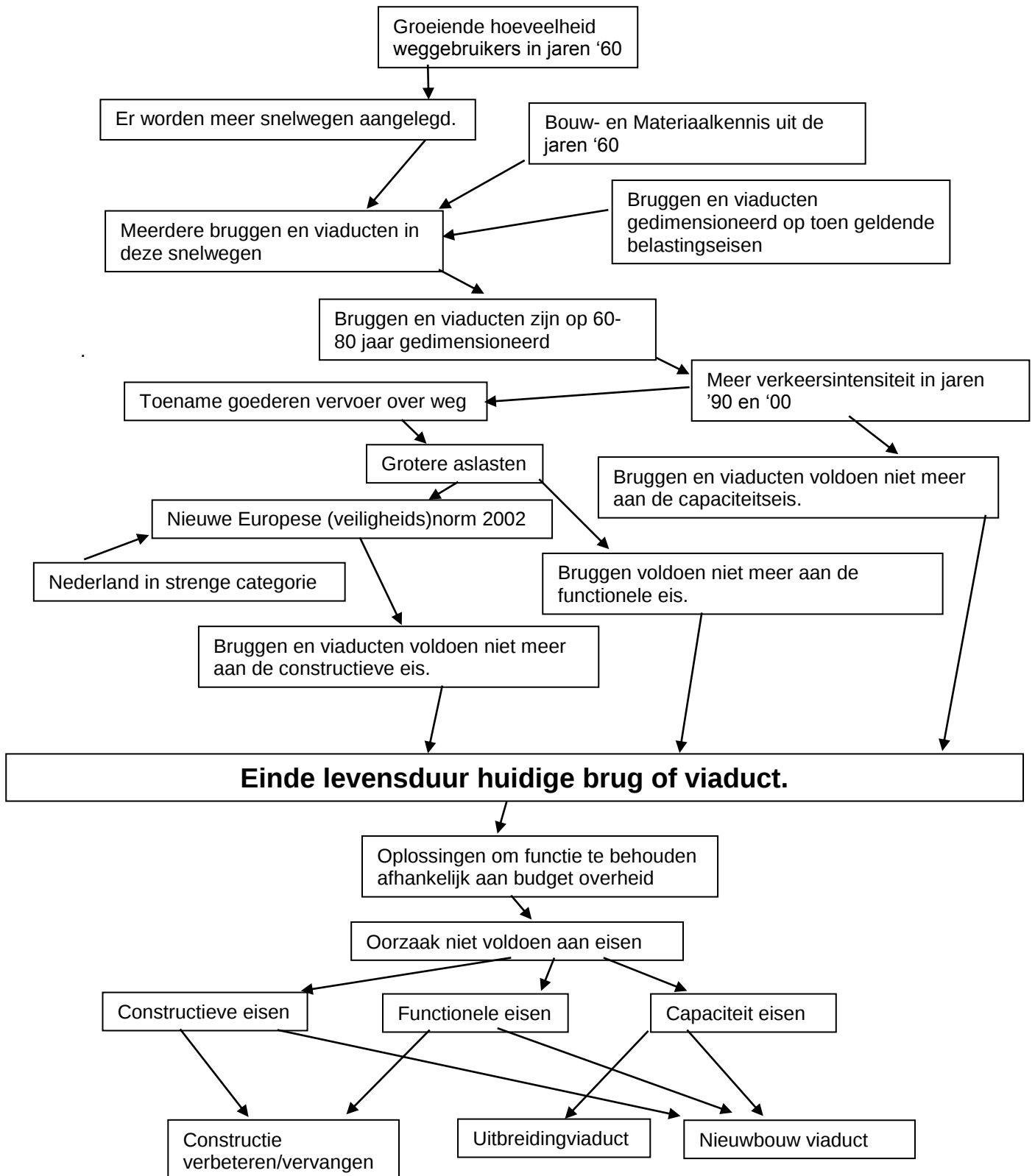
De planning is te zien in bijlage 3.

8.1 Belangrijke data

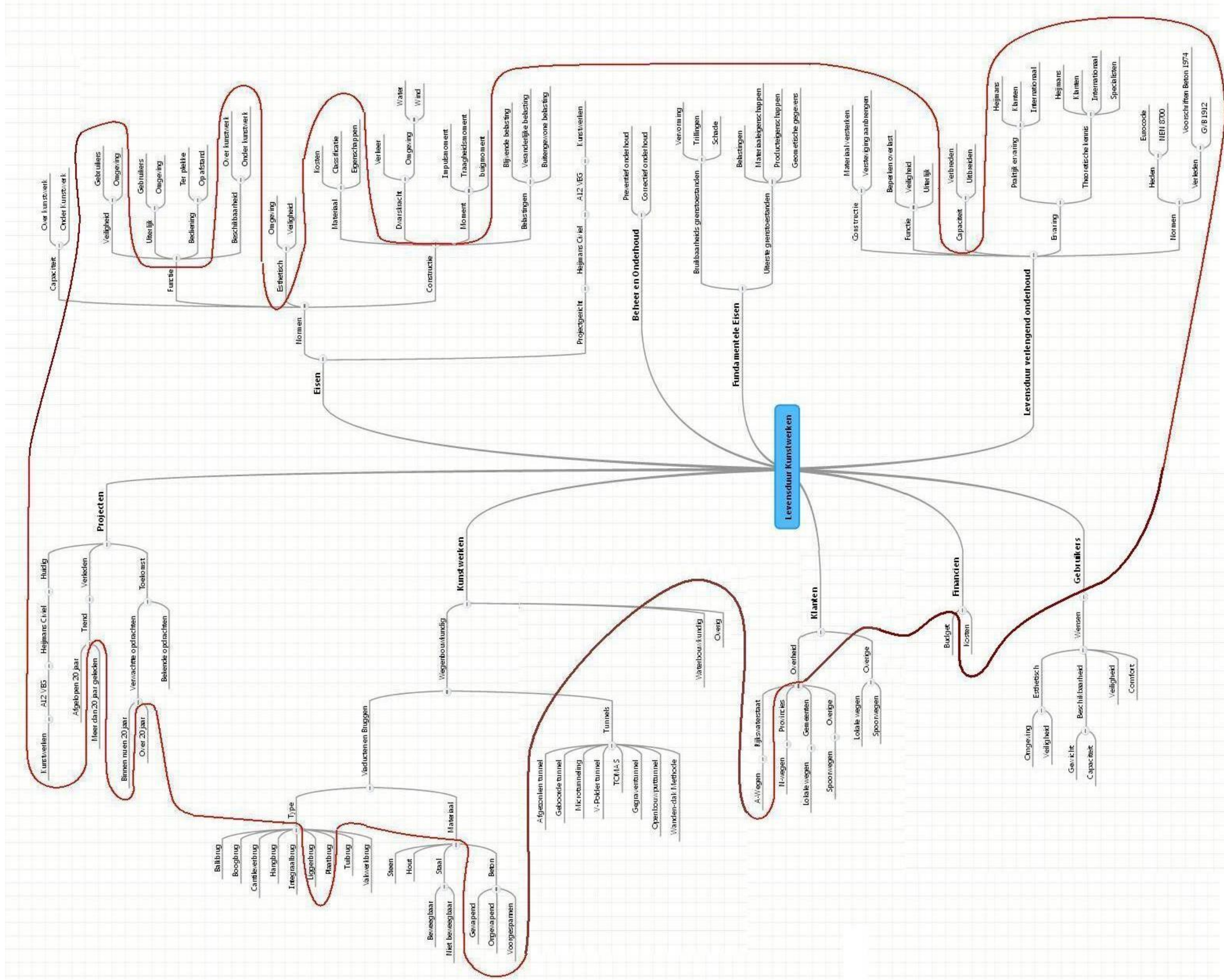
Week 38	Plan van aanpak concept inleveren
Week 39	Plan van aanpak Definitief inleveren
Week 44	Tussenpeiling
Week 51	Inleveren afstudeeronderzoek
Week 1	Beoordeling
Week 7	Presentatie

9. Bijlagen

9.1 Bijlage 1: Roadmap Probleemanalyse



9.2 Bijlage 2: Mindmap afbakenen onderwerp



9.3 Bijlage 3: Planning

[illegible]

Bronnen

Prof. Dr. Ir. J.M. van Noortwijk. (2002) *Onderhoudsoptimalisatie*

Gedownload op 11 September 2014, van

http://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/efficient_onderhoud/levensduurverlengend_onderhoudmodel/publicaties/

Rijkswaterstaat. (2007) *Inventarisatie Kunstwerken (bruggen, tunnels en viaducten)*.

Gedownload op 2 september 2014, van

<http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/rapporten/2007/09/26/inventarisatie-kunstwerken-bruggen-tunnels-en-viaducten.html>

Afbeelding op omslagpagina - <http://kassa.vara.nl/actueel/diginieuws/artikel/nieuws/spitsstrook-werkt-als-boetefuik/>

Bijlage 2: Literatuuronderzoek

Literatuuronderzoek

Levensduur verlenging betonnen bruggen



STATUS: Definitief

VERSIE: 1.0

DATUM: 5 januari 2015

Student

Dennis Jongste
Marialaan 137
6541 RD Nijmegen
06 46 32 37 99
Djongste@hotmail.com
St. nr. 478652

Afstudeer bedrijf

Heijmans Civiel B.V.
Graafsebaan 67
5248 JT Rosmalen
073 – 543 6611

Begeleider:

Ir. R.W.H. Pepers
06 21 81 76 34
RPepers@Heijmans.nl

Instantie

Hogeschool van Arnhem
en Nijmegen
Ruitenberglaan 26
6826 CC Arnhem
0646323799

Begeleiders:

Dick Jan Schaap
Marianne van as

Eerste lezer:
Dick Jan Schaap
Tweede lezer:
Marianne van as

Paraaf voor akkoord

Paraaf voor akkoord

Paraaf voor akkoord

Inleiding

Heijmans heeft op dit moment nog niet genoeg inzicht in de type maatregelen om de levensduur van een brug te verlengen, mocht een kunstwerk door verschillende omstandigheden niet meer voldoen aan de (veiligheids)eisen of de gewenste prestatie van de klant. Om die reden wordt in dit literatuuronderzoek het type bruggen en maatregelen in beeld gebracht

Het literatuur onderzoek is een ondersteuning van het hoofdonderzoek en wordt in het hoofdonderzoek gebruikt als onderbouwing. In het literatuuronderzoek worden de kenmerken van bruggen onderzocht. Welke bruggen veel voorkomen in Nederland en welke problemen deze kennen. Er wordt geanalyseerd waar de technische levensduur van de kunstwerken van afhankelijk is.

Er worden maatregelen beschreven die de technische levensduur van bruggen kunnen verlengen door de problemen te reduceren of te voorkomen. De maatregelen worden geïnventariseerd, waarna genoeg informatie bekend is om aan het onderzoek te beginnen.

In het onderzoek wordt de kennis uit het literatuuronderzoek van de Nederlandse betonnen bruggen, de voorkomende problemen en de maatregelen daartegen gebruikt om een model op te zetten. Het model wordt toegepast om de gepaste oplossing te vinden voor onderhoud aan een betonnen brug.

Samenvatting

In Nederland zijn veel kunstwerken toegepast om weg/weg- en weg/water kruisingen te realiseren. Deze kruisingen worden vaak met behulp van bruggen gerealiseerd. In dit onderzoek worden de typen bruggen beschreven en de gradatie is in beeld gebracht. Dit onderzoek is toegespitst op betonnen bruggen, hiervan zijn de ligger- en plaatvariant het meest uitgevoerd in de Nederlandse A- en N-wegen.

De problemen die voorkomen bij deze kunstwerken, vloeien voort uit de materiaal-, vorm- en functie-eigenschappen. Door de eigenschappen van het kunstwerk worden verschillende aantastingen gevonden. De drie hoofdzakelijke aantastingen zijn mechanische-, fysische- en chemische aantasting. De oorzaken van deze problemen zijn in beeld gebracht en de mogelijke oplossingen beschreven. Voor de mechanische aantasting zijn normen en aanbevelingen opgesteld. Deze kunnen worden toegepast om deze problemen te voorkomen. Tegen fysische- en chemische aantasting zijn geen maatregelen beschreven in normen. Hier wordt een advies voor geschreven.



Afbeelding 1 - Betonnen liggerbrug¹

¹ <http://www.parool.nl/parool/nl/4/AMSTERDAM/article/detail/2974721/2011/10/18/Tolweg-Almere-Amsterdam-niet-rendabel.dhtml>

Inhoudsopgave

Inleiding	i
Samenvatting	i
1 Bruggen en Viaducten	2
1.1 Definitie brug	2
1.2 Type Bruggen	2
1.3 Eigenschappen bruggen	8
2 Problemen bruggen	11
2.1 Esthetische eigenschappen	12
2.2 Mechanisch falen	13
2.3 Aantastingsproblemen	16
2.4 Conclusie materiaaleigenschappen	21
3 Maatregelen	24
3.1 Definitie levensduurverlengend onderhoud	24
3.2 Onderhoud	24
3.3 Onderhoudsmaatregelen	28
3.4 Innovatie	33
3.5 Conclusie maatregelen betonnen brug	33
4 Conclusie	34
Bronnen	
Literatuur	
Afbeeldingen	

1 Bruggen en Viaducten

1.1 Definitie brug

Brug: een verbinding tussen twee punten die van elkaar gescheiden zijn door een waterweg, ravijn, (spoor)weg of soortgelijke barrières.

- Viaduct: Een brug ten dienste van verkeer
- Aquaduct: Een brug ten dienste van water

(Nederlandse bruggenstichting, 2014)

1.2 Type Bruggen

Nederland is een klein laaggelegen land met veel inwoners en rivieren, hierdoor zijn er veel verschillende weg/water kruisingen. Deze kruisingen worden voor de functie of veiligheid vaak ongelijkvloers uitgevoerd. Er wordt een afweging gemaakt tussen het realiseren van een brug of een tunnel. In veel gevallen wordt er dan gekozen een brug te realiseren.

Niet elke brug is hetzelfde. Er zijn verschillende typen van verschillende materialen met verschillende functies. Deze verschillende typen bruggen hebben allen andere eigenschappen. Deze eigenschappen hebben een verband met elkaar. Zo is het materiaaltype afhankelijk van de afmetingen, zijn de afmetingen afhankelijk van het constructietype en is het constructietype afhankelijk van de functie. Bij deze afwegingen spelen veiligheid, functie, kosten en budget een grote rol.

Het type brug wordt bepaald aan de hand van drie eigenschappen, de functie eigenschappen, de bouwtechnische eigenschappen en de daarbij horende materiaal eigenschappen. De kosten worden dan even buiten beschouwing gelaten.

Zoals eerder beschreven kunnen deze eigenschappen niet onafhankelijk van elkaar worden bekeken. Voor het bepalen van een type brug is in het beginsel van belang te weten voor welke functie de brug gebruikt gaat worden. De functie-eigenschappen van bruggen worden opgedeeld in de volgende functies:

- *Verkeersbruggen:*
 - *Fiets-/Voetgangersverkeer;*
 - *Voetgangersverkeer;*
 - *Fietsverkeer;*
 - *Gemengd verkeer;*
 - *Langzaam verkeer;*
 - *Snelverkeer;*
 - *Tramverkeer;*
 - *Treinverkeer;*
- *Leidingenpassage;*
- *Dierenpassage;*
- *Watertransport.*

Wanneer er gesproken wordt over een brug met een verkeersfunctie noemt men dat een viaduct. Deze verschillende functies vragen om verschillende eisen en afmetingen. Zo is een fietsbrug in veel gevallen kleiner dan een brug voor snelverkeer en moeten bruggen in sommige gevallen beweegbaar zijn. Deze afmetingen en functionele eisen leiden tot verschillende constructietypen. De bruggenstichting onderscheidt een groot aantal constructietypen. Om de lijst overzichtelijk te maken zijn de bruggen opgesplitst in de volgende typen:

- *Beweegbaar:*
 - *Ophaal-/klapbrug;*
 - *Basculebrug;*
 - *Hefbrug;*
 - *Draaibrug;*
 - *Overige.*

- Vast:
 - Vakwerkbrug;
 - Tuibrug/Hangbrug;
 - Boogbrug;
 - Welfbrug;
 - Plaatbrug;
 - Liggerbrug;
 - Overige.

Nu bekend is wat voor constructietype de brug heeft, kan er een afweging worden gemaakt van het type materiaal dat toegepast kan worden. Bepaalde constructietypen vragen een type materiaal. Andere afwegingen kunnen zijn de kosten, uitvoerbaarheid of esthetische wensen. Voor beweegbare bruggen wordt altijd voor een stalen brug gekozen. Een plaatbrug wordt voornamelijk in beton uitgevoerd en ligger bruggen van verschillende materiaaltypen. Er zijn ook typen waarbij een combinatie van materialen wordt toegepast. Bij een boog, tui- of hangbrug wordt het dek vaak van beton gemaakt, waar het bovenwerk van staal is.

- Beton:
 - Vaste bruggen;
 - Liggerbrug;
 - Plaatbrug;
 - Welfbrug.
- Staal:
 - Beweegbare bruggen;
 - Alle typen;
 - Vaste bruggen;
 - Liggerbrug;
 - Tuibrug/Hangbrug;
 - Boogbrug;
 - Vakwerkbrug.
- Hout:
 - Vaste bruggen;
 - Vakwerkbrug;
 - Liggerbrug.
- Kunststof:
 - Vaste bruggen;
 - Plaatbrug;
 - Vakwerkbrug.
- Combinatie:
 - Vaste bruggen;
 - Tuibrug/Hangbrug;
 - Boogbrug;
 - Vakwerkbrug.

Ook binnen deze materiaaltypen zijn ook weer verschillende kenmerken. De kenmerkende eigenschappen van betonnen bruggen zijn:

- Het type beton:
 - Opbouw:
 - Sterkteklasse;
 - Cementtype;
 - Toeslagmateriaal;
 - Hoge-sterkte-beton;
 - Vezelbeton.
- De wapening:
 - Ongewapend beton;
 - Gewapend beton;
 - Deels voorgespannen beton;
 - Voorgespannen beton.
- De verwerking en nabehandeling.

De afweging voor deze keuze is afhankelijk van de gewenste sterkte en afmetingen van de brug. Ongewapend beton komt eigenlijk niet voor, omdat dit niet voldoet aan de duurzaamheids- en sterkte eisen. Voorgespannen bruggen zijn vaak bruggen met een grote overspanning. Hoge-sterkte-beton wordt toegepast waar een normale beton de krachten niet aan kan en vezelbeton waar de treksterkte van de beton van belang is.

1.2.1 Bekende informatie van Nederlandse bruggen

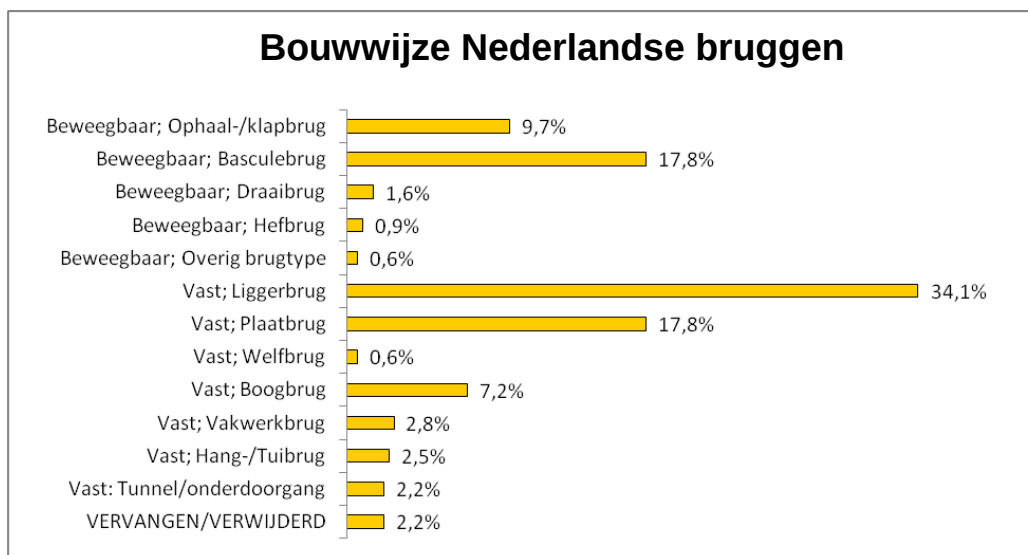
Door Heijmans is een marktonderzoek gedaan naar bestaande bruggen. Dit marktonderzoek is gedaan om inzichtelijk te maken hoeveel bruggen er zijn, wanneer deze gebouwd zijn en van welk materiaal. Met deze kennis kan een vervanging van-, of levensduurverlengend onderhoud voor een bestaande brug verwacht worden. Een kanttekening aan het onderzoek is, dat er is gekeken naar de bruggen die bekend zijn bij de Nederlandse bruggenstichting. Hier staan niet alle bruggen van Nederland in, maar wel een grote hoeveelheid. Ter controle is de spreiding van de leeftijd en type bruggen vergeleken met de totale hoeveelheid die Rijkswaterstaat in beheer heeft.

Interessante informatie verkregen uit het onderzoek zijn het aantal bruggen per:

1. Bouwwijze;
2. Materiaaltype;
3. Verkeersfunctie;
4. Bouwjaar.

Bouwwijze

In zijn het aantal bruggen per bouwwijze weergegeven. Er zijn 1744 bruggen bekeken, dit zijn niet alle bruggen in Nederland maar wel een groot deel. In dit rapport worden de betonnen bruggen in A- en N-wegen onderzocht. Om specifiek naar betonnen bruggen te kunnen kijken worden ook de materiaaleigenschappen van de bruggen per bouwwijze bekeken. In Tabel 1 zijn de percentages van de bouwwijze weergegeven. Dit zijn de percentages van bruggen in A- en N-wegen.

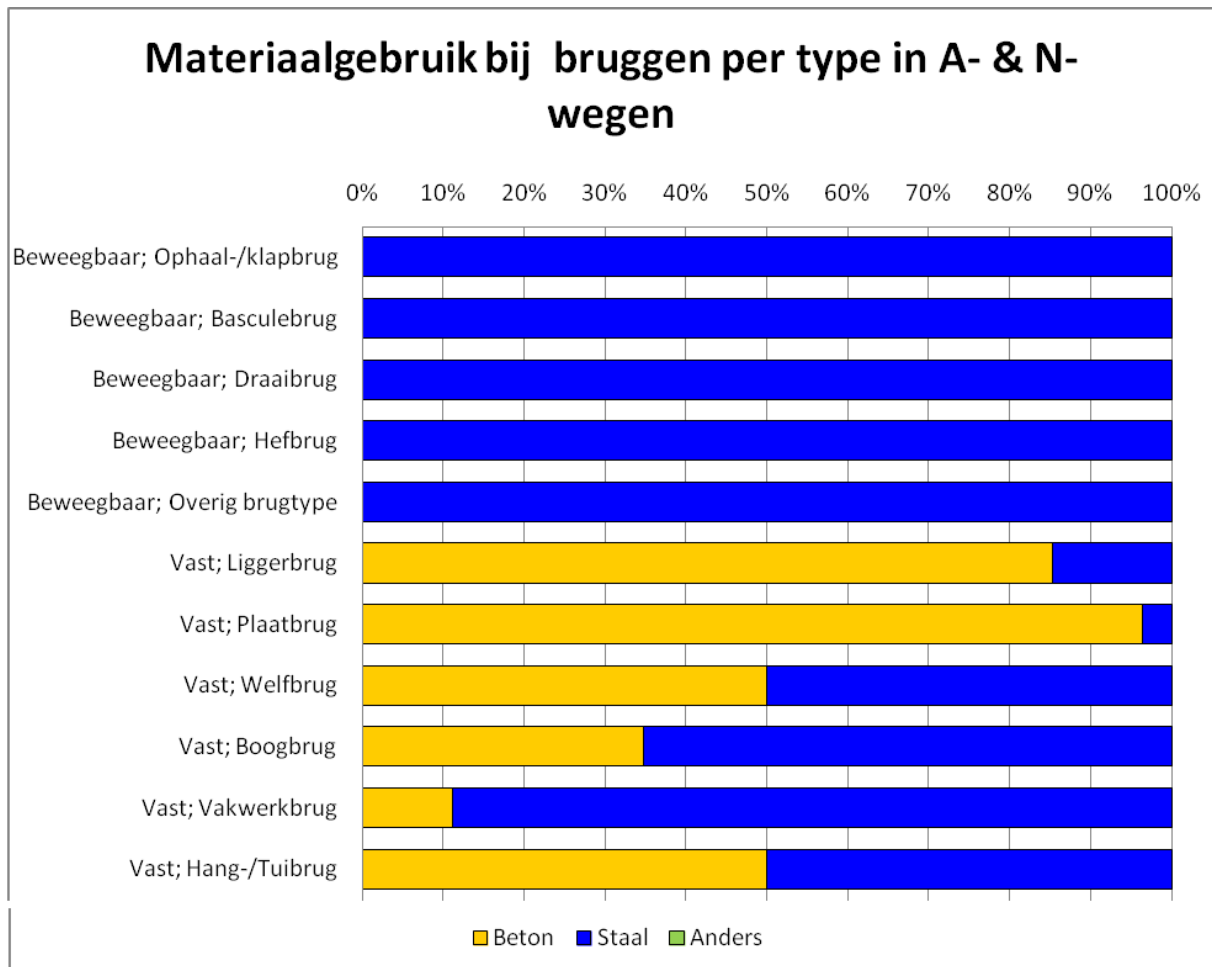


Tabel 1 – Bouwwijze bruggen

Uit de gegevens van Tabel 1 is te concluderen dat er voornamelijk ophaal-, ligger-, en plaatbruggen toegepast zijn in de A- en N-wegen van Nederland.

Materiaalgebruik

De onderstaande Tabel 2 geeft van de bouwwijze het toegepaste materiaal weer.



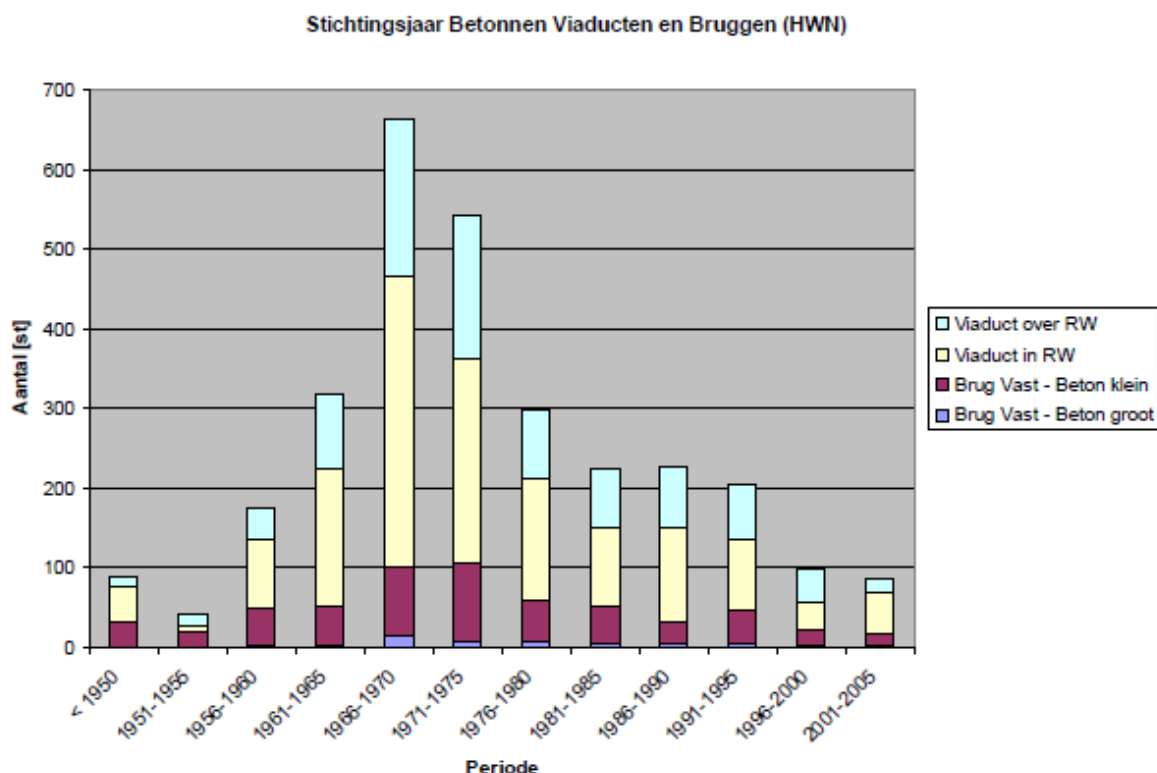
Tabel 2 - Materiaal bij Bouwwijze bruggen

Uit Tabel 2 is te concluderen dat er geen beweegbare bruggen in beton uitgevoerd zijn. De liggerbrug wordt veelal in beton uitgevoerd, maar in sommige gevallen in staal. Ook de plaatbruggen worden voornamelijk in beton uitgevoerd. Omdat de ligger- en plaatbrug het meest voorkomen in de Nederlandse A- en N-wegen, worden deze uitgebreid bekeken. (Erp, 2014)

Gegevens Rijkswaterstaat

Om de gegevens uit het onderzoek te relativeren met de werkelijke hoeveelheid bruggen, zijn de gegevens van Rijkswaterstaat geraadpleegd. Hier vinden we dat Rijkswaterstaat in totaal ca. 4000 bruggen in beheer heeft. Waarvan 274 stalen bruggen (zowel vaste als beweegbare) en meer dan 2500 betonnen bruggen.

Ook de spreiding van de bouwperiode is geanalyseerd, zo wordt gecontroleerd of de grafiek van de bruggen opgenomen in de database van de bruggenstichting in verhouding gelijk is aan de grafiek van Rijkswaterstaat. De gegevens van Afbeelding 3 zijn gevalideerd met de gegevens van de bruggenstichting. Dit is wordt weergegeven in Tabel 4 en hier is een conclusie uit getrokken.



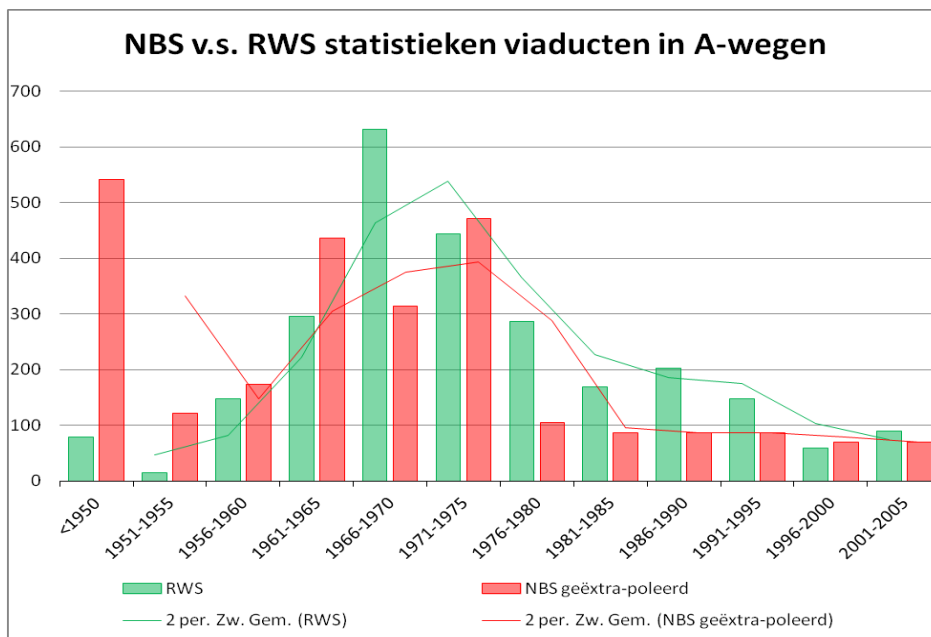
Afbeelding 3 - Stichtingsjaar betonnen bruggen²

(Rijkswaterstaat, 2014)

² Rijkswaterstaat (2007) *Inventarisatie Kunstwerken*

1.2.2 Validatie gegevens

In Tabel 4 zijn de gegevens van de Nederlandse Bruggenstichting en Rijkswaterstaat tegenover elkaar gezet. De hoeveelheden van de bruggenstichting zijn geëxtrapoleerd. De bruggenstichting heeft namelijk niet alle bruggen meegenomen. Er is een trend zichtbaar in de gegevens. De bruggenstichting heeft meer bruggen voor de jaren 50 opgenomen in hun bestand, mogelijk zijn deze niet in beheer van Rijkswaterstaat. Verder is er een zichtbare piek in de jaren '70 zichtbaar. Wat overeenkomt met het voorkomende probleem.



Tabel 4- Validatie

(Erp, 2014)

1.2.3 Conclusie

Er zijn in Nederland veel verschillende typen bruggen. De verschillende typen worden onderscheiden in bouwwijze, materiaalkeuze en functie. In dit rapport worden alleen betonnen bruggen en viaducten bekeken, deze komen het meest voor in A-wegen. A-wegen hebben de hoogste prioriteit voor levensduurverlengende maatregelen, want dit zijn de hoofdlijnen van de Nederlandse infrastructuur. In de A-wegen zijn voornamelijk betonnen bruggen en viaducten gerealiseerd, om deze reden is gekozen de levensduurverlengende maatregelen van betonnen kunstwerken te analyseren. Door de keuze voor betonnen bruggen vallen de bruggen van materiaal anders dan beton en bouwwijze kenmerkend voor een ander materiaaltype af. Door deze keuze worden er geen beweegbare bruggen bekeken. Er zijn in Nederland voornamelijk ligger- en plaatbruggen gebouwd, deze worden uitgebreid behandeld in dit rapport.

1.3 Eigenschappen bruggen

Er zijn veel verschillende bruggen met verschillende kenmerken. Deze kenmerken worden vertaald in eigenschappen, welke kunnen leiden tot problemen. Deze problemen hebben verschillende oorzaken en gevolgen. Bruggen kennen functionele-, vorm- en materiaaleigenschappen. In deze paragraaf worden de eigenschappen behandeld.

De problemen komen in veel gevallen voort uit fouten in de ontwerp-, uitvoerings-, of onderhoudsfase, toch zijn niet alle problemen te voorkomen. Mechanische problemen zijn in alle gevallen te voorkomen of te voorzien. Hier zijn normen en aanbevelingen voor geschreven waar de bruggen aan moeten voldoen. Er zijn echter meer mogelijkheden om dit te bereiken, daarom is het interessant te adviseren over de juiste, economische, functionele of constructieve oplossing voor de capaciteits- of mechanische problemen.

Aantasting is een vaker voorkomend en een lastig te voorkomen probleem. Waar vooral wapeningsaantasting nog veel aandacht vraagt. Deze aantasting maakt het lastig de levensduur van een kunstwerk te bepalen.



Afbeelding 2 - Liggerbrug³

De eigenschappen van bruggen worden verdeeld in:

- Functionele eigenschappen; Voor deze eigenschap wordt bekeken of de constructie functioneert naar wens. Hier zijn de maximale capaciteit, gewicht en afmetingen maatgevend. Dit hangt nauw samen met de vorm.
- Vormeigenschappen; De vorm is grotendeels afhankelijk van de functie. De vorm moet voldoen aan de geëiste afmetingen en esthetische uitstraling. De aannemer moet rekening houden met omgevingsfactoren.

De functie en vorm bepalen de deels het materiaaltype.

- Materiaaleigenschappen; Materiaal wordt gekozen naar gewenste functie en uiteindelijke vorm. Bij veel functies en vormen zijn verschillende materialen toe te passen. In dit onderzoek worden uitsluitend betonnen bruggen behandeld. Ook binnen de verschillende typen beton zijn verschillende materiaaleigenschappen te omschrijven.

1.3.1 Functie eigenschappen

Bruggen worden voor verschillende functies gebouwd, met het doel een punt a met punt b te verbinden. Deze verschillende bruggen hebben verschillende eigenschappen en ook verschillende bijbehorende eisen.

Een belangrijk verschil in functie is de verkeersklasse van het viaduct en daarbij of het viaduct over of in de betreffende A-weg zit. Wanneer de functie van een viaduct in aan A-weg verandert, is voornamelijk de nieuwe belastingverdeling relevant voor de constructie. Wanneer de onderliggende A-weg van functie verandert, moet er voornamelijk naar de overspanningslengte en -hoogte gekeken worden. Mocht deze door de wegverbreding of veranderde maximale hoogte niet gehaald worden moet deze worden aangepast. Dit houdt in de meeste gevallen in dat het viaduct vervangen moet worden. (Afbeelding 3)⁴ (Heiden, 2014)

³ <http://www.vbkgroep.nl/portfolio/bruggen-kolhorn-schagen>

⁴ http://www.refdag.nl/nieuws/politiek/minister_wil_spitsstroken_altijd_open_1_516465

Het voornaamste probleem bij de functionele eigenschappen zit in de functieverandering van een brug in de A-weg. Veel voorkomende functieveranderingen zijn wegverbreding of veranderingen in gewichtsklasse. Een functie verandering heeft invloed op de constructie, en voornamelijk op de afmetingen van- en krachten op de constructie. Door functie verandering bestaat de kans op mechanische aantasting.⁵



Afbeelding 3 - Bord spitsstroken

1.3.2 Vorm eigenschappen

De constructieve eigenschappen van een brug zijn afhankelijk van de bouwmethode. Een brug kan met verschillende omstandigheden gebouwd worden waar verschillende eigenschappen van bouwmethoden een uitkomst bieden. Dit kan afhankelijk zijn van de overspanning, wat te overbruggen en in welk tijdbestek dit moet gebeuren.

Bij de deelvraag: "Wat voor bruggen zijn er?" is de conclusie getrokken dat in Nederland vooral betonnen ligger- en plaatbruggen voorkomen. Vandaar dat deze hier besproken worden. Waarom er voor het ontwerp van een ligger- of plaatbrug gekozen is heeft geen invloed op het onderzoek en wordt niet onderzocht. Hier worden deconstructieve eigenschappen en de daarbij horende problemen van betonnen ligger- en plaatbruggen beschreven.

Plaatbruggen

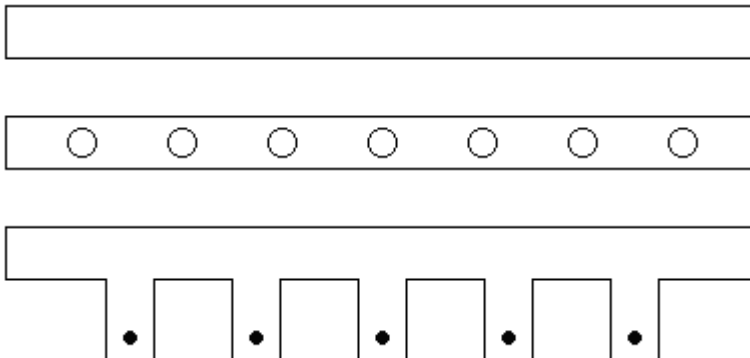
Ongeveer 18% van de in Nederland toegepaste bruggen in A-wegen zijn plaatbruggen. Er zijn verschillende type plaatbruggen, welke andere eigenschappen hebben. Plaatbruggen hebben over het algemeen niet een grote overspanning. Met behulp van voorspanning kan nog wel een redelijke overspanning bereikt worden. Met meerdere tussensteunpunten zijn langere overspanningen te creëren.

Plaatbruggen worden op verschillende manieren gerealiseerd. De keuze voor de bouwmethode is afhankelijk van de eigenschappen van de omgeving en het budget. De verschillende typen bouwmethoden zijn:

- In-situ plaatbruggen;
- Prefab plaatbruggen.

Plaatbruggen hebben het kenmerk dat het brugdek uit een geheel bestaat, dit geheel kent wel verschillende vormen. Zo kunnen er gewicht besparende maatregelen genomen worden door sparingsbuizen toe te passen of kan er een bepaalde vorm worden aangenomen die een positieve invloed heeft op het uiterlijk of de krachtafdracht.

De overspanning van deze bruggen is over het algemeen minder dan 20m. De grootste kracht die op het viaduct komt is het eigen gewicht. Door het toepassen van gewicht besparende buizen kan dit gereduceerd worden.



Afbeelding 4 - Vorm plaatbrug⁶

⁵ http://www.refdag.nl/nieuws/politiek/minister_wil_spitsstroken_altijd_open_1_516465

⁶ <http://nl.wikipedia.org/wiki/Plaatbrug>

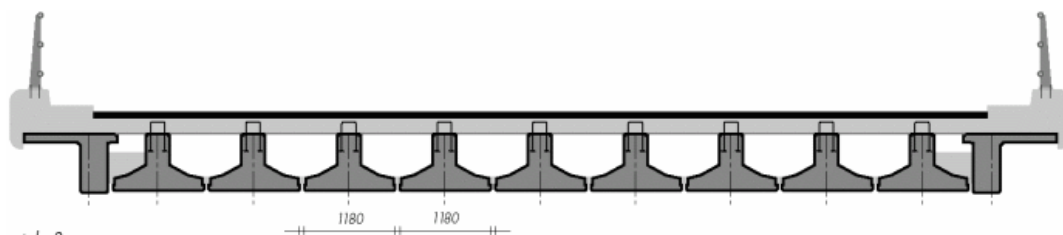
Problemen:

Bij plaatbruggen is de slankheid ten opzichte van de overspanning van belang. Wanneer de plaat erg slank is voor de overspanning bestaat de kans dat deze constructief niet voldoet. De hoeveelheid wapening en de plek waar deze aangebracht is heeft ook invloed op de levensduur.

(Rijkswaterstaat, 2014)

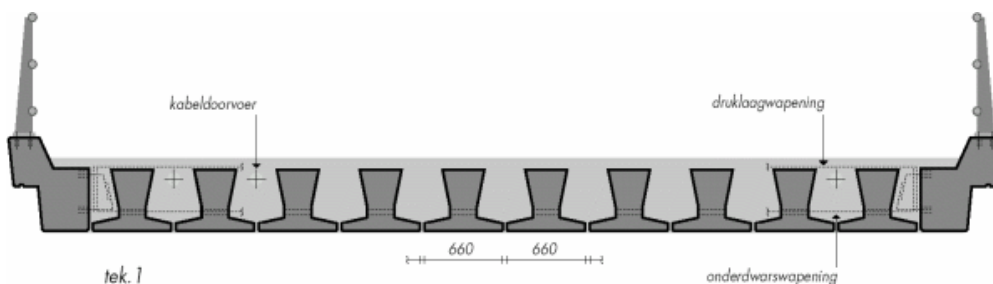
Liggerbruggen

Er zijn verschillende type liggerbruggen, met verschillende afmetingen en eigenschappen die toegepast worden bij verschillende omstandigheden. Liggerbruggen hebben het kenmerk uit verschillende balken te bestaan die in zijn geheel een brugdek vormen.



tek. 3

Afbeelding 5 - Vorm liggerbrug druklaag⁷



tek. 1

Afbeelding 6 - Vorm liggerbrug volstortliggers⁸

Problemen:

Een belangrijk element vooral bij oudere liggerbruggen is dwarskracht, vaak is er bij deze bruggen geen dwarskrachtwapening doorgevoerd. Deze wapening is van groot belang voor de constructieve waarde van de brug. Ook de hoeveelheid en indeling van de wapening van belang voor de sterkte constructie.

Ook zijn het type profiel invloed op de problemen, zo bestaat er een probleem met de typen uitgevoerd met een druklaag. Dit komt voornamelijk voor bij omgekeerde T-liggers, waar de tussenruimte tussen de liggers vrij groot is. Het probleem is ontstaan door de vergrote krachten op de druklaag door de toename van zwaar vrachtverkeer en de overgang van dubbellucht- naar supersingle banden. Door het laatste worden de puntlasten op de druklaag vergroot. Dit levert problemen op bij een aantal type liggerbruggen.

(Rijkswaterstaat, 2014) (Heiden, 2014)

⁷ <http://www.giverbo.nl/index.asp?id=507&pagenr=&chapid=>

⁸ <http://www.giverbo.nl/index.asp?id=489&pagenr=&chapid=>

1.3.3 Materiaaleigenschappen.

De definitie van beton is: *"Mengsel van cement, kalk, zand, water met kiezel enz.: zeer harde en duurzame bouwstof"* (Van Dale, 2014)

Alle korrelachtige materialen die door cement worden gebonden tot een steenachtig materiaal zijn in feite beton te noemen. Zo zijn er veel verschillende soorten betonmengsels, welke allen andere eigenschappen hebben. Door de verschillende mengsels zijn de eigenschappen van beton niet algemeen te beschrijven. In de betonnorm, NEN-EN 206 en NEN 8005 wordt onderscheidt gemaakt in:

- Schuimbeton 500-1000kg/m³
- Licht beton 1200-2000kg/m³
- Normaal beton 2300-2600kg/m³
- Zwaar beton >2600kg/m³

Verder zit er verschil in de sterkteklasse van de beton. Met behulp van de minimale sterkte wordt de cement-, toeslagmateriaal- en water/cement-factor bepaald. De keuze is afhankelijk van de esthetische- en constructieve eisen.

(Cement en Betoncentrum, 2014)

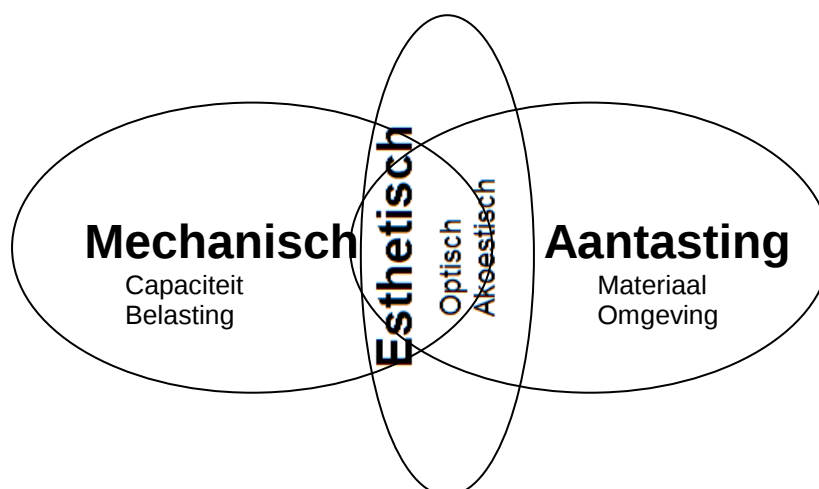
2 Problemen bruggen

De eigenschappen van de bruggen zijn bekend, nu worden de verschillende problemen die deze bruggen kennen beschreven. De problemen zijn vaak oorzaak van fouten die in het ontwerp of in de uitvoering gemaakt zijn.

De problemen worden opgesplitst in drie categorieën. De categorieën zijn ingedeeld in: Belasting, waar alle mechanische problemen onder vallen; Esthetisch, waar alle optische en akoestische problemen besproken worden en aantasting, waar alle materialistische aantastingen geanalyseerd zijn.

Toch zijn de verschillende problemen niet los van elkaar te beschouwen. Aantasting zorgt vaak voor een optisch probleem. Aantasting kan er ook voor zorgen dat de constructie de gewenste belasting niet meer kan dragen. Bij Belasting- en aantastingsproblemen kan de veiligheid van de gebruiker in gevaar komen, deze zijn hierom van groot belang voor de functie en waarde van een brug.

De esthetische-, belasting- en aantastingsproblemen kennen verschillende oorzaken. Deze oorzaken worden beschreven en de gevolgen benoemd. Later in dit rapport worden bij de verschillende mechanismen de onderhoudsmaatregelen beschreven. De onderhoudsmaatregelen moeten deze problemen voorkomen of reduceren. Om de samenhang van de problemen in beeld te brengen is een schematische tekening gemaakt waarin de raakvlakken te zien zijn.



Esthetische problemen:

Zijn afhankelijk van de belasting- en aantastingsproblemen.

Optische of akoestische eigenschappen worden aangetast.

Mechanische problemen:

Zijn afhankelijk van de functie, vorm en materiaal van de brug.

De constructie wordt schade aangedaan door overbelasting. Dit kan zijn door wijzigingen in verkeersklasse; functie veranderingen of aanrijdingen. Er zijn normen en aanbevelingen de constructies te herberekening of herstellen.

Aantastingsproblemen:

Zijn afhankelijk van materiaalkeuze en omgeving van de brug.

Wapeningsaantasting:

De wapening in beton wordt aangetast door in beton gedrongen stoffen.

Chemisch aantasting:

Het beton wordt schade aangedaan door een chemische reactie van stoffen uit de omgeving van de beton, of door stoffen in de beton onderling.

Fysische aantasting:

De beton wordt aangetast door de fysieke omgeving van de beton. De aantasting is afhankelijk van de thermische-, hygrische-, optische- of akoestische eigenschappen.

2.1 Esthetische eigenschappen

Behalve voor de constructieve functie wordt beton ook vaak als esthetisch materiaal gebruikt. Dit omdat het in elke vorm te gieten is en daardoor niet vormvast is. Ook het oppervlak kan net als de vorm eindeloos variëren. Wanneer er eisen gesteld zijn aan de esthetische kwaliteiten wordt gesproken over 'schoon beton'. Hiervoor is CUR-aanbeveling 100 Schoon beton in het leven geroepen. Er zijn aanbevelingen voor zowel wanden, vloeren, balken als kolommen.

Problemen bij esthetische eigenschappen:

- Verschil in betonkleur;
- Vlakheid oppervlak;
- Zichtbare scheuren;
- Uitbloeiingen;
- Zicht/voelbare vervormingen;
- Zichtbare stortnaad.

Het betonoppervlak is afhankelijk van de gebruikte bekisting, de betonsoort, de verwerking en de afwerking. De bekisting moet vlak genoeg zijn en heeft een plaatpatroon. Deze kan afgestemd worden op de vorm van het te storten onderdeel. Ook details als vellingkanten en stornaden hebben invloed op de esthetische eigenschappen.

De grijstint en vlakheid van de beton is afhankelijk van de toeslagmaterialen. Wanneer donkere toeslagmaterialen gebruikt zijn, zal het beton donkerder aftekenen. Verder is de uitstraling erg afhankelijk van de uitvoering, bijvoorbeeld de hoeveelheid luchtbellen op het oppervlak en of de stornaden zichtbaar zijn. Ook de nabehandeling heeft een belangrijke invloed op de definitieve uitstraling van de beton.

Een veel voorkomend probleem is kalkuitslag, ook wel uitbloeiingen genoemd. Dit is een witte uitslag op de huid van het beton. Deze uitslag ontstaat in het verhardingsproces van beton en water en het kalk in het poriewater wordt door de poriën naar het oppervlak geleid.

Het heeft geen negatieve consequenties voor de sterkte of duurzaamheid van het beton, maar het wordt niet mooi gevonden.

Esthetische problemen hebben chemische-, fysische aantasting maar ook mechanische aantasting als oorzaak. Vervormingen en scheurvormingen worden optisch niet geaccepteerd en worden door fysische- of mechanische aantasting veroorzaakt. (Cement en Betoncentrum, 2014) (Holcim, N.V., 2014)

2.2 Mechanisch falen

Mechanische eigenschappen bepalen of de beton sterk genoeg is de belastingen en spanningen aan te kunnen. Als de mechanische eigenschappen niet voldoen kan dit zich uiten in constructieve vervormingen. Kan de beton deze vervormingen niet opnemen vormen zich scheuren in de beton. Deze scheuren vormen verschillende problemen voor de constructie.

Oorzaken vervormingen:

- Fouten in ontwerp;
- Beton voldoet niet aan druksterkte;
- Beton voldoet niet aan treksterkte;
- Omgevingsfactoren.

Verschillende vervormingen:

- Doorbuiging;
- Krimp;
- Kruip;
- Vermoeiing;
- Dwarskracht;
- Zetting.



Afbeelding 7 - Bezweken balk⁹

Scheuren in beton zijn niet verkeerd. Wapeningsstaal kan ook pas werken als er scheuren in het beton zitten. De zorgen komen als de scheuren niet in het patroon voorkomen die de constructeur voorzien had. Een constructie zal niet snel bezwijken door enkel scheurvorming. De constructies worden zo berekend dat belasting nooit de oorzaak van bezwijken zal zijn. Een scheur vormt zich waar de trekkrachten op de beton komen, hier is de wapening om de krachten op te nemen. De beton is een bescherming van de wapening, door scheurvorming komt er een breuk in de beschermingslaag. Het probleem bij scheurvorming met een te grote scheurwijdte is dat de wapening niet meer in een volledig beschermde omgeving ligt, en hierdoor gaat corroderen. Ook zullen stoffen als zuur, koolstofdioxiden of sulfaten eerder diep in de constructie treden, waardoor deze aantastingsprocessen sneller zullen verlopen. Scheuren ontstaan vaak in de plastische fase, als het beton nog niet zijn eindsterkte heeft bereikt.

Scheuren ontstaan vaak in de plastische fase, als het beton nog niet zijn eindsterkte heeft bereikt. Scheuren in beton kunnen we in de volgende categorieën onderverdelen:

- Sedimentatie of zetting scheuren, ontstaan vlak na de stort door uitzakken toeslagmateriaal;
- Krimpscheuren, ontstaan door het te snel drogen van het uitgestoten water (bleeding);
- Trekscheuren, ontstaan wanneer er trekspanningen in de beton voorkomen, jong beton is nog niet sterk genoeg om deze op te kunnen opvangen.

Scheuren in latere fase:

⁹ <http://www.scheikundeinbedrijf.nl/Docentenhandleiding/index.rails?id=4>

- Scheuren door vervormingen, bij teveel krachten op de constructie zal deze vervormen, de hoeveelheid is afhankelijk van de eigenschappen;
- Scheuren door chemische aantasting.

Scheuren zijn niet altijd mechanische problemen maar kunnen ook chemische problemen zijn. Het probleem bij scheurvorming is het indringen van zowel vocht, zuurstof als andere stoffen die de beton of wapening aantasten.

(Cement en Betoncentrum, 2014) (Betoniek, 1991) (Betoniek, 2014) (Holcim, N.V., 2014)

Zoals gezegd, een constructie zal niet snel bezwijken door enkel scheurvorming. De constructies worden zo berekend dat dit nooit de oorzaak van bezwijken zal zijn. Een scheur vormt zich waar de trekkrachten op de beton komen, hier is de wapening om de krachten op te nemen. De beton zit daar als bescherming van de wapening.

Een bij betonnen kunstwerken zelden voorkomend bezwijkmechanisme is vermoeiing. Dit is eigenlijk een probleem dat voornamelijk bij stalen kunstwerken voorkomt, omdat dit materiaal zich er meer voor leent. Toch wordt deze genoemd, omdat het wel een mogelijke kans op bezwijken geeft.

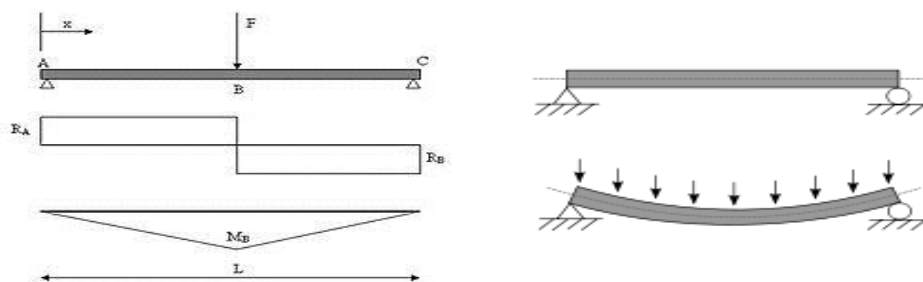
Mechanische scheurvorming

Scheurvorming heeft verschillende oorzaken. Deze zijn op te splitsen in mechanische problemen en aantasting. Mechanische problemen ontstaan door belastingen. Behalve bij extreme gevallen door aanrijdbelastingen zijn er ook gevallen waar de lasten van het verkeer al invloed heeft op de constructie. Meestentijd ontstaan de problemen na een functieverandering, waar het maximale gewicht of puntlasten gewijzigd worden. Een brug wordt op een bepaalde belasting berekend en zal te allen tijde voldoen aan de belasting eisen. Deze problemen ontstaan na een functiewijziging waarbij de maximale belasting overschreden wordt. Een gevolg hiervan is scheurvorming.

Scheurvorming kan ook een probleem zijn ontstaan door chemische aantasting. Door sulfaat aantasting of ASR wordt beton uit elkaar gedrukt. Door deze krachten ontstaan scheuren in de beton. Vorst schade of vries-/dooi en brand bestendigheid wordt als fysische aantasting gezien.

Behalve dat scheurvorming esthetisch niet mooi, heeft het ook constructieve gevolgen. De gevolgen zijn afhankelijk van de scheurwijdte en omgeving. Scheuren versnellen degradatieprocessen, en geven meer kans op wapeningscorrosie. Als de wapening roest verliest het nuttige diameters, waardoor het minder krachten kan opnemen. Hierdoor kan de brug minder trekkrachten opnemen waardoor de kans op bezwijken groter wordt.

Waar de constructie belast wordt met trekkrachten heeft aantasting van de wapening de grootste gevolgen. Ook scheurvorming bij de opleggingen is een aandachtspunt, omdat hier veel drukkracht van het dek naar de steunpunten wordt overgebracht.¹⁰



Afbeelding 8 - Belasting op constructie

Ook heeft het afbreken van schollen van de beton invloed op de druksterkte van de constructie. In de meeste gevallen is scheurvorming meer een esthetisch- dan een mechanisch probleem. Wel versneld of vergroot het andere aantastingsmechanismen.

¹⁰ http://nl.wikipedia.org/wiki/Sterkteleer_en
http://es.wikipedia.org/wiki/Flexi%C3%B3n_mec%C3%A1nica

Probleem scheurvorming

Er zijn verschillende mechanische oorzaken voor scheurvorming. Deze worden hier opgesomd, later in het rapport worden er maatregelen benoemd die kunnen worden getroffen om scheurvorming te voorkomen of te onderhouden.

Druksterkte:

Druksterkte is de drukkracht die de beton kan opnemen. De druksterkte is niet eenzijdig, het is behalve van het materiaal ook afhankelijk van de omgevingsfactoren. Over het algemeen wordt de druksterkte van beton bepaald met de kubusdruksterkte, welke beschreven is in de betonnorm. Als de beton een te lage druksterkte heeft zal deze bij de gewenste kracht teveel vervormen, waardoor deze zal scheuren of zelfs bezwijken.

(Betonlexicon, 2014) (Betoniek, 1995) (Betoniek, 1987) (Betoniek, 2003) (Holcim, N.V., 2014)

Treksterkte:

De treksterkte van beton is aanzienlijk lager dan de druksterkte. De treksterkte heeft een verband met de druksterkte van een mengsel. In de regel is de treksterkte ca. 10% van de druksterkte, afhankelijk van het type beton. Hoe de maximale trek precies bepaald wordt staat beschreven in NEN 6720.

(Betonlexicon, 2014) (Betoniek, 1995) (Betoniek, 1987) (Betoniek, 2003) (Holcim, N.V., 2014)

Krimp:

Krimp is de belangrijkste oorzaak van scheurvorming in beton. Krimp ontstaat ten gevolge van vochtverlies. Er zijn verschillende type krimp te onderscheiden, welke afhankelijk zijn van het stadium van de verharding van de beton. Deze soorten krimp zijn te onderscheiden door de samenstelling en de invloed factoren. We onderscheiden krimp in:

- Plastische krimp;
- Verhardingskrimp;
- Autogene krimp;
- Uitdrogingskrimp;
- Thermische krimp.

Deze krimpproblemen zijn te controleren, De problemen zijn afhankelijk van de elasticiteitsmodulus en de krachten die de beton moet verdragen. Een andere oorzaak is temperatuurverschil, waarbij de beton uitzet of krimpt.

(Cement en Betoncentrum, 2014) (Betoniek, 1986) (Holcim, N.V., 2014)

Kruip:

Kruip is de blijvende vervorming die optreedt na de belasting gedurende langere tijd op het beton is los gelaten. De hoeveelheid kruip in beton wordt uitgedrukt in de kruipcoëfficiënt. De kruip is afhankelijk van de elastische vervorming.

(Cement en Betoncentrum, 2014) (Betoniek, 1986)

Vermoeiing:

De oorzaak is een zeer lang aanhoudende maar wisselende belasting, hierdoor zal er een breuk in het materiaal ontstaan. Merkwaardig is, dat deze breuk kan ontstaan bij een belasting die ver onder de grensspanning is, als deze maar vaak herhaald wordt. Het vermoeiingsproces begint wanneer een materiaal een spanning boven zijn vermoeiingsgrens krijgt. Het vermoeiingsproces bestaat uit drie fasen: De initiatie-, propagatie- en terminatiefase. De terminatiefase is de fase waar de constructie bezwijkt.

(Sitra Engineers, 2014)

Dwarskracht

De normaalkracht is de kracht die haaks op de lengte van de constructie staat. De spanning neemt toe naarmate de spanning dicht bij het steunpunt bepaald wordt. Hierdoor komen er schuifspanningen in de beton. Deze schuifspanningen moeten kunnen worden opgenomen, anders komen er scheuren in de beton. Tegenwoordig wordt in de meeste gevallen dwarskrachtwapening toegepast. Vroeger waren ze zich hier nog niet van bewust en is dit dus niet toegepast.

Zetting

Door zetting en voornamelijk verschil in zetting kan er vervorming in het kunstwerk komen. Deze vervorming kan scheurvorming veroorzaken. Ook zou het mechanicaschema van het kunstwerk kunnen veranderen door een andere oplegging dan oorspronkelijk mee gerekend.

2.3 Aantastingsproblemen

Een algemeen probleem bij beton is de aantasting. De kwaliteit van de constructie gaat achteruit wanneer het aangetast wordt door de omgeving. Dit gebeurt op verschillende manieren en bij verschillende omstandigheden. Aantastingmechanismen veroorzaken wapeningscorrosie, scheurvorming of degradatie van de beton.

2.3.1 Wapeningsaantasting

De kwaliteit van de constructie gaat achteruit wanneer de wapening aangetast wordt door de omgeving. Dit gebeurt op verschillende manieren en door bij omstandigheden. Verschillende aantastingmechanismen veroorzaken wapeningscorrosie.

In beton, vooral in constructief beton, wordt wapening toegepast. Dit omdat het de trekkrachten kan opnemen waar beton niet de eigenschappen voor heeft. Dit staal wordt in de beton gestort, de beton zou het staal moeten beschermen. Door de hogere PH-waarde van de beton wordt een alkalisch milieu gecreëerd. Dit fenomeen wordt passivering van de beton genoemd.

De passivering van de beton kan door aantasting verloren gaan. En de wapening zal hierdoor niet meer in een beschermde omgeving liggen. Oorzaken van depassivering zijn:

- Carbonatatatie
- Chloride indringing

Depassivering beton

Het gevolg van depassivering is corrosie van de wapening. De aantasting van de wapening komt door indringing van stoffen in de beton. Beton zorgt voor een alkalische milieu om de wapening. Dit weerhoudt de wapening van corrosie. Oorzaken van deze depassivering zijn:

Carbonatatatie

Koolstofdioxide(CO_2) werkt in op de alkalische bestandsdeling die zich bevinden in het poriewater van beton. Hierdoor wordt een zwak zuur gevormd, waar beton normaliter een base is. Het gas reageert met het kalk dat zich in het water van de poriën bevindt. Dit verlaagd de pH-waarde van het water naar 8, waar die van beton tussen de 12 en 13 is.

Het kalk dat door deze reactie gevormd wordt slaat neer in de poriën. Dit is positief want vertraagd het proces. Het wapeningsstaal zal vooral in een zeer wisselend vochtig milieu snel gaan corroderen. Bij beton dat zich volledig onder water of in droog milieu bevindt treedt geen carbonatatatie op.

(Betoniek, 1991) (Betonlexicon, 2014) (Holcim, N.V., 2014)



Afbeelding 9 - Chloride aantasting¹¹

¹¹ <http://www.rbtechnics.be/chlorures-nl.html>

Chloride aantasting

Chloorionen maken ijzerionen uit de passiveringslaag (betondekking) vrij. Met deze ionen vormt het zoutzuur. Dit zoutzuur veroorzaakt een lagere pH-waarde in het beton, door deze lagere pH-waarde wordt dit proces versneld. Het is een zeer lokale aantasting en is zichtbaar met bruine roestvlekken op het oppervlaktebeton. Aantasting van chloriden kan op twee manieren: Door ingemengde of ingedrongen chloriden. Bij ingemengde chloriden bevonden de chloriden zich al in de beton bij de realisatie. Ingedrongen chloriden komen uit de omgeving, bijvoorbeeld uit grondwater.

(Betoniek, 2003) (Betonlexicon, 2014) (kb-kenniscentrum, 2014) (Cement en Betoncentrum, 2014)(Betoniek, 1993)

Carbonatatie en chloride aantasting vallen niet onder chemische aantasting omdat de aantasting geen invloed zou hebben op beton waar geen wapening in verwerkt is. Bij gewapend beton wordt slechts de wapening aangetast, de aantasting heeft geen gevolgen voor de duurzaamheid van de beton. Door de corrosie van de wapening kan de beton wel worden kapot gedrukt. Bij chemische aantasting wordt de constructieve waarde van de beton zonder toegepaste wapening alsnog schade aangedaan.

2.3.2 Chemische aantasting

Chemische aantasting is de aantasting van de beton door een reactie van stoffen uit de beton onderling of met stoffen uit de omgeving. Chemische aantasting leidt tot scheurvorming, oplossing of krachtsverlies van de beton. Deze aantasting wordt veroorzaakt door:

- Aantasting door sulfaten;
- Alkaline-Silica-reactie (ASR);
- Aantasting door zuur.

Chemische scheurvorming

Eerder is scheurvorming door belasting behandeld. In deze paragraaf wordt ingegaan op scheurvorming met een chemische oorzaak. Door deze scheurvorming wordt de kans op wapeningscorrosie vergroot, verder neemt de trekkracht van de beton ook af.

ASR

Is een chemische reactie tussen, zoals de naam het al zegt, alkaliën en silica bevattende bestandsdelen. Alkaliën bevinden zich in het beton, deze reageren in combinatie met silica uit de toeslagmaterialen en vormen een gel. Deze gel drukt het beton van binnenuit kapot. ASR wordt ook wel de "kanker van de beton" genoemd. In de meeste gevallen moeten de onderdelen waarin ASR is opgetreden worden vervangen.

(Rijkswaterstaat, 2014) (Rademaker, 2014) (Cement en Betoncentrum, 2014) (Betoniek, 2004) (Betoniek, 1994) (Betoniek, 2002) (Holcim, N.V., 2014)



Afbeelding 10 - ASR scheuren¹²

¹² http://en.wikipedia.org/wiki/Alkali%E2%80%93silica_reaction

Sulfaat aantasting

Sulfaten bevinden zich in de bodem, deze werken zich in het beton. Dit komt door een reactie van de sulfaten uit de bodem met het portlandcementklinkermineraal. Met deze reactie wordt ettringiet gevormd, wat een coating over het beton creëert. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen externe- en interne sulfaataantasting.

De externe sulfaataantasting wordt veroorzaakt door het in contact komen met het sulfaat houdende grondwater. Het gevolg hiervan is scheurvorming. Scheuren die veroorzaakt worden door de volumevergroting bij het vormen van ettringiet; en sterkteverlies door vorming van gips of de vorming van thaumasiet (bij temperaturen $<5^{\circ}\text{C}$). Als de beton in contact komt met zeewater kunnen er ook silicaathydraten gevormd worden.

Interne sulfaataantasting kan optreden bij massabeton, waar de inwendige temperatuur door hydratatiewarmte bij jong beton kan oplopen tot $>70^{\circ}\text{C}$. Door deze hoge temperatuur komt het sulfaat vrij uit het cementsteen en komt dit sulfaat in reactie met het klinkermineraal en vormt ettringiet. De swelling die ettringiet vormt heeft evenals bij de externe variant scheurvorming als gevolg.

(Cement en Betoncentrum, 2014) (Betonlexicon, 2014) (Betoniek, 1998) (Holcim, N.V., 2014)

Degradatie van beton

Degradatie is een chemische aantasting. Degradatie is de afbraak of de verlies van kwaliteit van een moleculenverbinding door een reactie. Degradatie kan door oplossing of krachtsverlies worden veroorzaakt. De oorzaak van oplossing van beton is het reageren van zuur uit de omgeving met de bestanddelen van beton, welke oplossing van de beton als gevolg heeft. De oorzaak van krachtsverlies van beton is het reageren van bestanddelen van beton met elkaar of met stoffen uit de omgeving waardoor de betonsterkte wordt aangetast.

Oplossen van beton

De oplossing van beton heeft als oorzaak de PH verhoging van de omgeving wanneer een zuur in de omgeving komt van de beton. Vaste stoffen in de beton lossen op in contact met zuur omdat er geen chemisch evenwicht meer is.

Aantasting door zuur

zuur komt voor in de bodem, voornamelijk bij een agrarische of industriële omgeving. De aantasting van zuur kan leiden tot aantasting door uitloging (oplossing). Uitloging ontstaat door de hogere concentratie van calcium- of hydroxide-ionen in het poriewater dan in de omgeving. Hierdoor transporteert het zich naar de omgeving.

Vaste stoffen in de beton lossen op in contact met zuur omdat er geen chemisch evenwicht meer is. Beton is basisch en zal hierdoor reageren met de zure bestanddelen in de omgeving. Hierdoor zal de vaste beton zich oplossen in de zure omgeving.

(Cement en Betoncentrum, 2014) (Betonlexicon, 2014) (Betoniek, 1998) (Holcim, N.V., 2014)

Sterkteverlies beton

Sterkteverlies van beton is een chemische aantasting. Door chemische reacties worden de bindingen tussen de bestandsmaterialen van beton gebroken. Hierdoor heeft de beton niet meer de sterkte die het in oorsprong had of zou moeten hebben. Er zijn twee chemische oorzaken die de sterkte van de beton aantasten. Dat zijn:

- ASR*
- Sulfaat aantasting*

*Deze aantastingsmechanismen zijn onder chemische scheurvorming al omschreven.

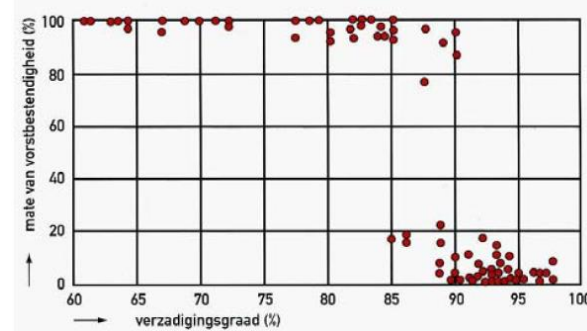
2.3.3 Fysische aantasting

Behalve door chemische aantasting wordt de constructie ook aangetast door fysische aantastingsprocessen. Fysische aantasting is de aantasting door de omgevingseigenschappen als wind, water en temperatuur. Voorbeelden van fysische aantastingen zijn:

- Vorst
- Vries-/dooi bestendigheid
- Brandbestendigheid

Vorst:

Beton wordt door verschillende oorzaken aangetast door vorst. De aantasting is het ergst wanneer vorst en dooi zich snel afwisselen. Bij het bevriezen van water zet het ongeveer 9% uit. Ook de poriën van beton bevatten water. Het poriewater zet uit wanneer het bevroert, door deze uitzetting wordt er een kracht in de beton opgebouwd. Is deze kracht groter dan de trekkracht van de beton dan vormt zich een scheur, dit wordt ook wel scaling genoemd. De verzadigingsgraad van de beton is van belang, de hoeveelheid lucht die zich in de poriën bevindt is maatgevend voor de kans op scheurvorming.



Afbeelding 11 - Verzadigingsgraad en vorst¹³

In Fout! Verwijzingsbron niet gevonden. is de verzadigingsgraad uitgezet tegen de mate van vorstbestendigheid. Te zien dat de kans op scaling na een verzadigingsgraad van 85% aanzienlijk groter wordt.

De kans op vorstschade wordt aanzienlijk kleiner met een

Vries-/dooi bestendigheid:

De vorst zelf is niet enkel het probleem. Tegen vorst strooien we zout, om de wegen begaanbaar te houden. Zout onttrekt warmte uit de omgeving, in dit geval dus uit de beton, waardoor er ter plaatse van de zoutkorrel een lagere temperatuur ontstaat. Hier zal het water ter plaatse bevriezen en uitzetten, ter plaatse zal de beton eraf breken (Dit wordt 'pop-out' genoemd).

Door het strooien bevinden zich ook zouten in de poriën, wanneer het water bevroert scheiden de zouten zich af, wat de concentratie van deze zouten plaatselijk verhoogd. Omdat het water dat zich in kleinere poriën bevindt niet zo koud is als dat in de grotere, is de zoutconcentratie gelijk gebleven. Het zout dat zich in hoge concentratie in de grotere bevroren holtes begeeft wil volgens de osmosewetten de concentraties gelijk houden. Deze poriën zullen een toestroom van kleine naar grote poriën veroorzaken, is deze toestroom sterker dan de cohesie van het beton, dan zal er scheurvorming optreden.

Tegelijkertijd stoot het ijs, dat zich aan het uitzetten is het toestromende water af. Afhankelijk van de koelsnelheid wordt bepaald hoeveel water er moet worden uitgedreven. Het uitgedreven water moet een volgende porie vinden om te verblijven. De weg naar die porie veroorzaakt een stromingsweerstand, die afhankelijk is van de afstand naar de porie. Vanzelfsprekend moet de afstand zo klein mogelijk zijn, anders wordt de weerstand te groot en zal de drukkracht van het water de trekkracht van de beton overtreffen.

(Ployaert, Ontwerp van betonconstructies bestand tegen vorst-dooicycli en dooizouten, 2014) (Betoneik, 2007) (Betoneik, 1999) (Betoneik, 1980) (Holcim, N.V., 2014)

Brandbestendigheid:

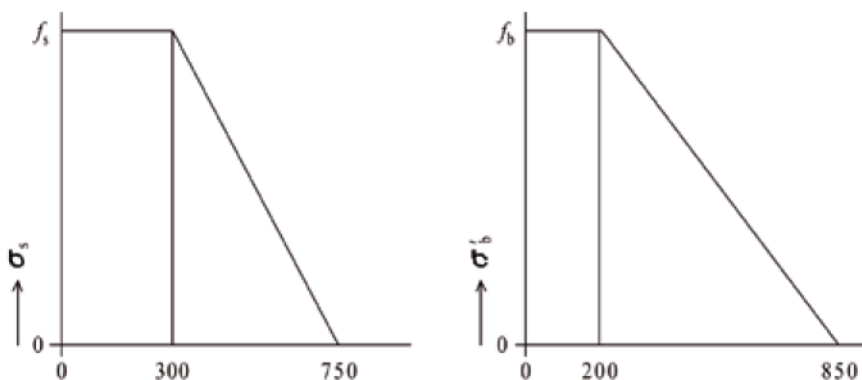
Brand zorgt voor een temperatuurverhoging in de omgeving van beton. Deze temperatuurverhoging heeft negatieve gevolgen voor de beton. De temperatuur is maatgevend voor de ernst van de gevolgen. De tijd dat een beton met brand- en de temperatuur van de brand waarmee de beton

Temperatuur [°C]	Omzettingen bij hoge temperaturen
1300 – 1400	Beton is volledig gesmolten
1150 – 1200	Beton gaat smelten, eerst de cementsteen daarna de toeslagmaterialen
Vanaf 400	Cementsteen wordt chemisch ontbonden
150-180	Chemisch gebonden water komt vrij uit calciumhydroxide. De toeslagmaterialen zetten uit
Vanaf 100	Water verdampt in de poriën

¹³ Betoneik (1999) *Vorst en dooi*

in aanraking komt zijn hierbij maatgevend. Gevolgen van brand zijn het afspatten van beton en het verminderen van sterkte. De hoeveelheid krachtsverlies hangt nauw samen met de hoogte van de temperatuur in de beton.
(Betoniek, 2008)

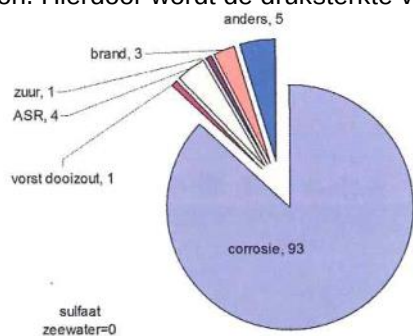
Figuur 1 - Gevolgen temperatuur¹⁴



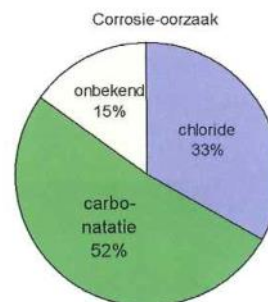
Figuur 2 - Treksterkte en druksterkte / Temperatuur grafiek¹⁵

Corrosie van wapening is het grootste probleem, de levensduur van een brug is hiervan afhankelijk. Door depassivering corrodeert de wapening. Door wapeningscorrosie neemt de functionele diameter van de staven af, en zet het materiaal uit door roestvorming. Door deze uitzetting worden er scheuren in- of stukken van de beton gebroken.

Ook chemische en fysische aantasting is een probleem. Deze problemen leiden tot scheurvorming in- of degradatie van de beton. Degradatie is de krachtsverlies- of het oplossen van beton. Hierdoor wordt de druksterkte van beton aangetast.



Afbeelding 13 - Aantastingsproblemen¹⁶



Afbeelding 12 - Oorzaak corrosie

¹⁴ Betoniek (2008) *Brand!*

¹⁵ Betoniek (2008) *Brand!*

¹⁶ Ven, P. van de & Steen, C. van der (2011) *Betononderhoud*

2.4 Conclusie materiaaleigenschappen

Een brug heeft bepaalde eigenschappen bij functie, vorm en daarbij gekozen materiaal. De functie wordt bepaald en vervolgens wordt een constructie wordt hierop berekend en ontworpen. Na een functieverandering kan het zo zijn dat een constructie de belastingen niet meer kan opnemen.

Beton is een sterk, constructief en duurzaam bouwmiddel dat het voordeel kent dat het in elke vorm te verwerken is. De belangrijkste eigenschap van beton is zijn druksterkte. Gewapend of voorgespannen beton heeft het voordeel dat het ook trekspanningen kan opnemen. Toch heeft beton een spanningsgrens en wordt de beton aangetast door de omgeving. Hierdoor zal de kwaliteit van de constructie achteruit gaan. De verschillende problemen worden ingedeeld in drie categorieën, die toch veel samenhang kennen. De problemen zijn onder te verdelen in:

Esthetisch

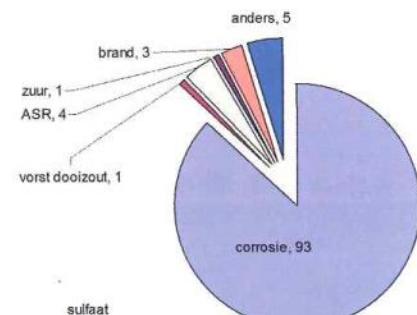
- Beton oppervlak;
- Betonvorm.

Belasting

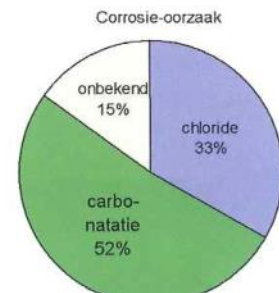
- Belasting problemen:
 - *Scheurvorming*;
 - *Vervorming*;
 - *Vermoeiing*.

Aantasting¹⁷

- Wapeningsaantasting:
 - *Carbonatatie*;
 - *Chloride aantasting*.
- Chemische aantasting:
 - *Aantasting door zuur*;
 - *Sulfaat aantasting*;
 - *Alkaline-Silica-reactie*.
- Fysische aantasting:
 - *Vorst*;
 - *Vries-dooi-bestendigheid*;
 - *Brandbestendigheid*.



Afbeelding 14 - Aantastingsproblemen



Afbeelding 15 - Oorzaak corrosie

Esthetische problemen zijn minder kritisch dan problemen waarbij de veiligheid of bruikbaarheid wordt aangetast, aangezien dit niet direct de levensduur van een kunstwerk bepaald. De esthetische eigenschappen zijn wensen, en worden niet als duurzaamheidseisen gezien.

Wapeningsaantasting is het meest voorkomende probleem. Chloriden en koolstofdioxiden dringen in de beton en veroorzaken depassivering van de beton. Een ander probleem is de krachtsverlies- of het oplossen van beton wat leidt tot degradatie. Dit komt door een reactie van de materialen in de beton met de omgeving. Hierdoor wordt de sterkte van beton aangetast

De problemen bij de bruggen zijn in deze paragraaf behandeld. Op de volgende pagina wordt een overzicht gegeven van de verschillende faalmechanismen.

¹⁷ Ven, P. van de & Steen, C. van der (2011) *Betononderhoud*

FAAL-MECHANISME	GEVOLG	PROBLEEM	OORZAAK	MECHANISME	BEÏNVLOEDING
OPTISCHE AANTASTING	OPTISCH MINDER MOOI	Vershil in betonkleur	Verwerking en afwerking beton	Kleur eigenschappen beton	Toeslagmateriaal; Nabehandeling
		Vlakheid van oppervlakte	Verwerking en afwerking beton	Verwerkingseigenschappen beton	Soort cement; Toeslagmateriaal; Wapening; Nabehandeling; W/C factor.
		Uitbloeiingen	Kalk	Dehydratatie van poriën	W/C factor; Temperatuur; Kalkgehalte in water.
		Uitbloeiingen	ASR	Alkaliën reageren met Silicaat	Soort cement; Toeslagmateriaal.
		Vervorming	Onvoldoende druk- of treksterkte	Belasting	Sterkteklasse; Vorm bouwwerk.
		Zichtbare stortnaad	Fasering; afwerking	Fasering stort	Uitvoering; Vorm bouwwerk; Nabehandeling.
		Scheurvorming	Nader te bepalen	Nader te bepalen	Nader te bepalen
AKOESTISCHE AANTASTING	GELUIDS-OVERLAST	Geluid door verkeer	Vorm bouwwerk	Trillingen	Vorm bouwwerk
MECHANISCH FALEN	AANTASTEN DUURZAAMHEID CONSTRUCTIE	Scheurvorming	Druksterkte	Karakteristieke druksterkte	Soort cement; Toeslagmateriaal; W/C factor.
	*KANS OP AANTASTING VERGROTEN	Scheurvorming	Treksterkte	Karakteristieke treksterkte	Soort cement; Toeslagmateriaal; W/C factor.
		Scheurvorming	Dwarskracht	Normaalkracht	Wapening; Toeslagmateriaal;
	AANTASTEN DUURZAAMHEID CONSTRUCTIE	Scheurvorming	Krimp	Vochtverlies; Elasticiteitsmodulus; Temperatuur	Uitvoering; Vorm bouwwerk; Soort cement; Toeslagmateriaal. W/C factor.
	*KANS OP AANTASTING VERGROTEN	Scheurvorming	Kruip	Elasticiteitsmodulus	Vorm bouwwerk; Soort cement; Toeslagmateriaal; W/C factor.
	VERMOEIING	Krachtsverlies beton	Wisselende belastingen	Sterkteklasse beton	Frequentie belastingen.
		Krachtsverlies betonstaal	Wisselende belastingen	Hoeveelheid toegepast staal	Frequentie belastingen.
CORROSIE VAN WAPENING	CORROSIE WAPENING	Depassivering beton	Carbonatatie	PH-waarde beton	Dekking; W/C factor; Nabehandeling.
		Depassivering beton	Chloride aantasting	PH-waarde beton	Soort cement; Dekking; W/C factor;

					Nabehandeling.
CHEMISCHE AANTASTING	DEGRADERING BETON	Oplossen beton	Zuur	PH-waarde omgeving	Soort cement; W/C factor; Dekking; Nabehandeling; zuurtegraad omgeving.
		Krachtsverlies beton	Sulfaat aantasting	Sulfaat reageert met Portlandklinker mineraal	Soort cement; Verdichting; Nabehandeling.
		Scheurvorming; Afdrukken beton	ASR	Alkaliën reageren met Silicaat	Soort cement; Toeslagmateriaal.
FYSISCH AANTASTING	DEGRADERING BETON	Scheurvorming; Afdrukken beton	Vorst	Temperatuur; Poriewater	Nabehandeling; Soort cement; W/C factor.
		Pop-outs	Vries-/dooi bestendigheid	Temperatuur Zouten	Nabehandeling; Soort cement; W/C factor.
		Spatten beton; Krachtsverlies.	Brand bestendigheid	Temperatuur	Dekking; Poriënvolume; Toeslagmateriaal.

3 Maatregelen

3.1 Definitie levensduurverlengend onderhoud

De definitie luidt: *Onderhoudsmaatregelen die de levensduur van een betonnen brug verlengen.* Er zijn verschillende typen onderhoudsmaatregelen. In dit onderzoek wordt de totale levensduur van een kunstwerk beschouwd. Hiervoor wordt er naar de combinatie van levensduur verlengend, preventief en correctief onderhoud gekeken.



Afbeelding 16 - Bezweken brug¹⁸

3.2 Onderhoud

Er zijn veel landen waar onderhoud aan de infrastructuur een probleem is geworden. We zien dit bij de landen om ons heen, zoals Frankrijk, België en Duitsland. Dit wordt duidelijk uit de artikelen “Helft van Vlaamse bruggen heeft herstelling nodig” (Nieuwsblad, 2014) en “Duitse snelwegen in slechte staat” (Plante, 2014). In deze artikelen wordt gesproken over de onderhoudsproblemen die de landen hebben, voornamelijk door achterstallig onderhoud aan de kunstwerken. Niet alleen in Europa spelen de problemen met het onderhoud, ook in Amerika spelen de levensduur problemen van bruggen. De problemen werden bekend gemaakt in een toespraak die President Obama in mei 2014 gaf in Terry Town, New York (Whitehouse, 2014). Waar hij het voornamelijk positief wilde brengen door meer werkgelegenheid te bieden. Dit is ook te lezen in het artikel “VS laten infrastructuur versloffen” (NRC, 2014). De problemen zullen moeten worden verholpen, er moeten bruggen worden vervangen of de levensduur van de kunstwerken moet worden verlengd door middel van onderhoudsmaatregelen. Om te weten of de problemen overeenkomen met de problemen die we hier ondervinden moet dit geanalyseerd worden.

3.2.1 Maatregelen in het buitenland

De maatregelen die nu genomen worden in omliggende landen zijn voornamelijk gewichts- en snelheidsbeperkingen. In Duitsland zijn inmiddels twee bruggen afgesloten voor zwaar-verkeer. In Nederland willen we dit voorkomen, daardoor moeten er goede maatregelen getroffen worden, waar het verkeer zo min mogelijk gehinderd wordt. (Nieuwsbladtransport, 2014)

Rijkswaterstaat heeft een onderzoek gestart in samenwerking met de TU Delft en TNO waar ze onderhoud van de infrastructuur onderzoeken, dit team is InfraQuest genoemd. Hier is ook de problematiek van kunstwerken onderzocht. Dit is internationaal bekeken, en er is geconcludeerd dat niet alleen Nederland, maar ook Duitsland, Verenigd Koninkrijk en Frankrijk met deze problemen zit. Bij dit onderzoek is geconcludeerd dat Nederland voorloopt op de structurele aanpak van deze problematiek. Het internationale experts team was van mening dat het verstandig was een internationaal beoordelingsprotocol van bestaande kunstwerken op te zetten. Dit zou enkele jaren duren, wat Rijkswaterstaat te lang vond. Hierdoor heeft Rijkswaterstaat een

¹⁸ <http://blog.cvsflags.com/flag-news/flags-at-half-staff-for-five-year-anniversary-of-35w-bridge-collapse>

eigen methodiek ontwikkeld. De internationale experts hebben aanbevelingen gedaan en de methodiek vervolgens bevestigd.
(Eurlings, 2014)(Rijkswaterstaat, 2014)

3.2.2 Nederlandse aanpak

De levensduur van een kunstwerk is afhankelijk van de beginconditie en de maatregelen die er worden genomen de (rest)levensduur te waarborgen. Er zijn verschillende eigenschappen die invloed hebben op de levensduur van een kunstwerk. Verschillende maatregelen kunnen deze invloeden voorkomen, verbeteren of verhelpen.

De verschillende maatregelen zijn te onderscheiden in het moment en de mate van ingrijpen. Dit hangt samen met de conditie van het onderdeel waaraan het onderhoud gepleegd wordt. De conditie wordt bepaald bij de bouw van de brug. Om de conditie te waarborgen is in alle begin de gewenste levensduur vastgesteld.

De duurzaamheid van de constructie is afhankelijk van de omgeving, materiaal, uitvoering en ontwerp. De duurzaamheid kan worden aangetast door capaciteitseisen, mechanische problemen en/of aantasting. Dit heeft esthetische-, functionele of constructieve gevolgen. Er wordt voornamelijk naar de constructieve gevolgen gekeken, deze zijn relevant voor de veiligheid en bruikbaarheid van een brug.

Oorzaken	Problemen	Gevolgen
Ontwerp	Capaciteit	Esthetisch
Uitvoering	Mechanisch	Functioneel
Materiaal		
Omgeving	Aantasting	Constructief

Aan de mechanische aantasting wordt in NEN 6720 eisen gesteld. In de norm staan eisen over het draagvermogen en de vervormingen waaraan de constructies moeten voldoen. Ook de bepalingsmethoden hoe de constructies getoetst kunnen worden staan in deze norm beschreven. Om de sterkte van het materiaal te waarborgen is een Norm opgesteld. Een belangrijke norm voor de materiaaleigenschappen is NEN-EN 206 met als aanvulling NEN 8005. In deze normen worden de beton- specificaties, eigenschappen, vervaardiging en conformiteit besproken. Verder zijn er bij verschillende onderdelen nog toepassingsadviezen geschreven. Deze adviezen zijn geschreven in de CUR-aanbevelingen.

De bestandheid tegen wapenings-, fysische- en chemische aantasting is afhankelijk van de materiaal- en omgevingseigenschappen. Voor de problemen door depassivering, fysische- of chemische aantasting bij bestaande kunstwerken zijn geen normen of aanbevelingen geschreven. Om de maatregelen tegen deze aantasting in kaart te brengen worden eerst de oorzaken en gevolgen beschreven.

In Nederland kennen we verschillende typen onderhoud. Welk onderhoud benodigd is, is afhankelijk van de leeftijd, staat en gewenste levensduur van de brug. We onderscheiden de typen onderhoud in:

- *Preventief onderhoud*
Preventief onderhoud is bedoeld om de levensduur van een kunstwerk zo goed mogelijk te waarborgen, en wordt uitgevoerd voor een probleem ontstaan is.
- *Correctief onderhoud*
Mochten de onderdelen van het kunstwerk niet meer voldoen, dan kunnen er correctieve maatregelen uitgevoerd worden. Deze maatregelen zijn vaak kostbaar.

3.2.3 Aantasting

Men is zich tegenwoordig wel bewust van het probleem de aantasting. Om die reden is in NEN-EN 206 een milieuklasse gevraagd om in de ontwerpfase te kunnen garanderen dat de beton aan de eisen kan voldoen van de gewenste levensduur. In de milieuklasse wordt allereerst de aantasting bepaald, dit wordt gedaan door middel van de letter X, gevolgd door:

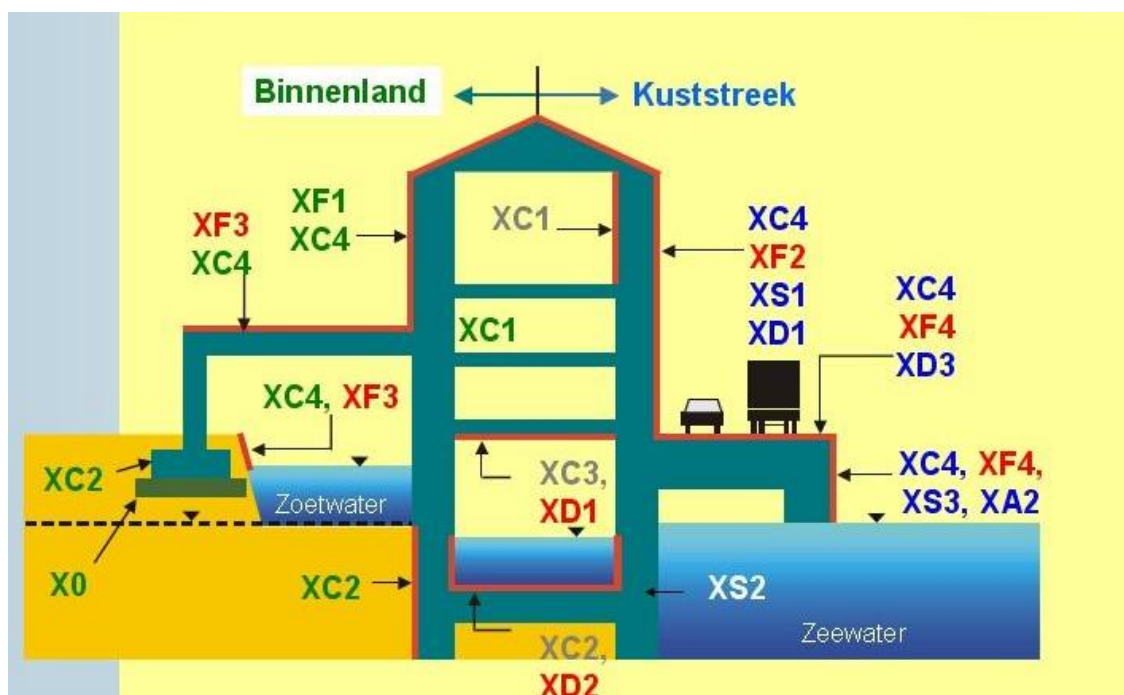
- O Geen aantasting
- C Carbonatatie
- D Chloriden
- F Vorst
- A Chemische stoffen
- M Mechanisch

Na de X en de letter wordt een cijfer toegevoegd, deze houdt de mate van aantasting in, oplopend van klasse 1 tot 4. Er zijn verschillende aantastingen per onderdeel mogelijk, ook is elk apart te realiseren onderdeel van een kunstwerk apart te waarderen. Zo zullen de pijlers een andere milieuklasse hebben dan het dek.

De Milieuklasse heeft invloed op de Water/cementfactor, de grote van de granulaten en de minimale betondekking die nodig is om de wapening te beschermen. Deze maatregelen zijn van belang voor de juiste duurzaamheid, zo wordt het kunstwerk beschermt tegen verschillende aantasting mechanismen.

Wanneer de beginconditie van een brug bepaald is, door een ontwerp en de uitvoering, is de levensduur van het kunstwerk bepaald. Deze levensduur is berekend met een aantal onderhoudsintervallen. Wanneer deze onderhoudsintervallen zijn wordt bepaald aan de hand van inspecties. Ook wordt met deze inspecties het type benodigde onderhoud bepaald.

Deze norm is geschreven wat te doen bij bouw van een kunstwerk. Voor onderhoud, lees behoud van bestaande kunstwerken, zijn geen normen of aanbevelingen geschreven betreft de aantastingsmechanismen.



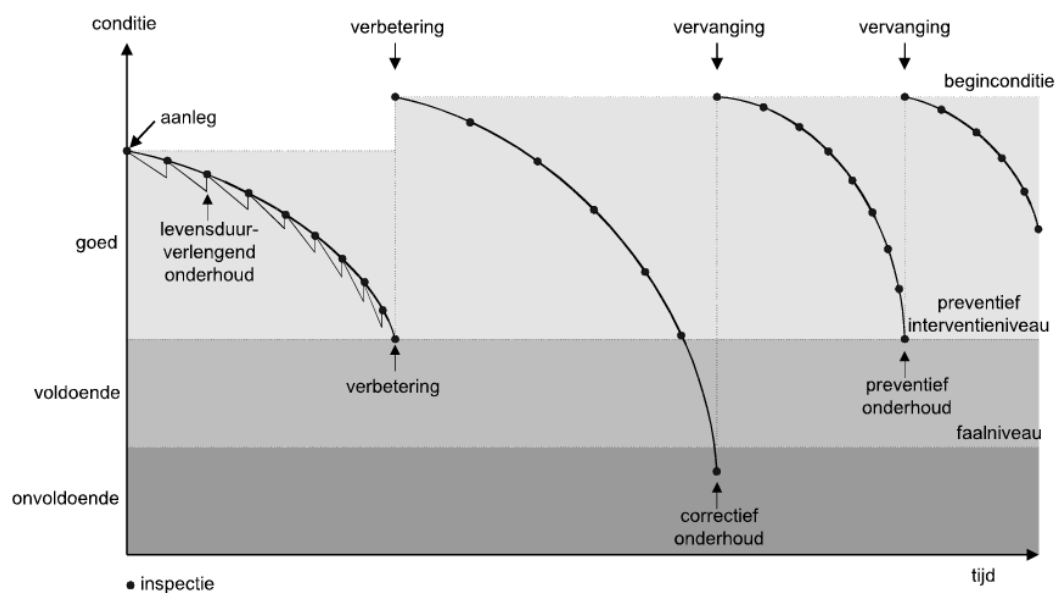
Afbeelding 17 - Milieuklassen¹⁹

¹⁹ <http://www.joostdevree.nl/shtmls/milieuklasse.shtml>

3.2.4 De te onderscheiden onderhoudstypen zijn:

Onderhoudsmaatregelen zijn bedoeld om de levensduur van een betonnen brug te waarborgen of opwaarderen. Rijkswaterstaat maakt onderscheid in de volgende onderhoudstypen:

- Levensduurverlengend onderhoud: Om het kunstwerk een zo lang mogelijke tijd in goede conditie te houden worden er levensduur verlengende maatregelen toegepast. Deze maatregelen zorgen ervoor dat de kans op van faal- en aantastingsmechanismen beperkt blijft, hierdoor zullen deze mechanismen minder snel voor problemen zorgen;
- Preventief onderhoud: Preventief onderhoud is bedoeld om de levensduur van een kunstwerk zo goed mogelijk te waarborgen en wordt uitgevoerd voor een probleem is ontstaan;
- Correctief onderhoud: Mochten de onderdelen van het kunstwerk niet meer voldoen, dan kunnen er correctieve maatregelen uitgevoerd worden. Deze maatregelen zijn vaak kostbaar.



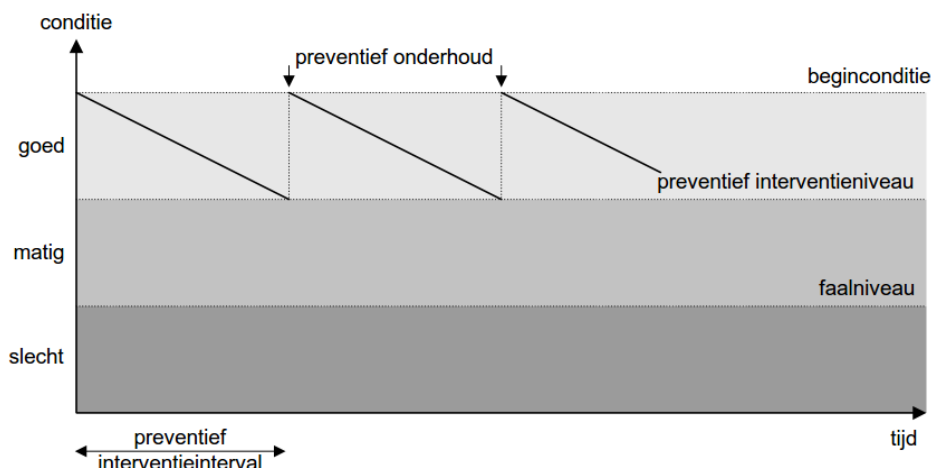
Afbeelding 18 - Onderhoudstypen 1²⁰

Verwarrend is het zo genoemde 'levensduurverlengend onderhoud'. De betontechnoloog bij Heijmans was het hier ook niet mee eens, en adviseerde het onderhoud in te delen in:

- Preventief: Onderhoud dat wordt gepleegd wanneer er problemen verwacht worden, maar deze nog niet zichtbaar zijn;
- Correctief: Waar het probleem al zichtbaar is, dit zo goed mogelijk hersteld wordt en verdere aantasting zoveel mogelijk wordt gereduceerd.

Samen zijn deze onderhoudsmaatregelen "Levensduur verlengend".

²⁰ https://www.rijkswaterstaat.nl/images/Handleiding%20voor%20het%20LVO-model_tcm174-331397.pdf



Afbeelding 19 - Onderhoudstypen 2²¹

In Afbeelding 19 - Onderhoudstypen 2 is het voorbeeld weergegeven dat gehanteerd wordt in dit onderzoek. Hierbij is een onderscheid gemaakt tussen preventief- en correctief onderhoud. Waarbij de constructie bepaalde niveaus kent.

3.3 Onderhoudsmaatregelen

Tegen de verschillende aantastingen worden verschillende maatregelen genomen. De maatregelen zijn afhankelijk van het type onderhoud dat er gevraagd wordt. De maatregelen voor preventief onderhoud zijn minder ingrijpend dan de maatregelen die worden getroffen als het kunstwerk om correctief onderhoud vraagt. Hier zit een verschil in kosten, tijd en uitvoerbaarheid. De maatregelen zullen zich richten op de mechanismen die het probleem veroorzaken. Er worden maatregelen genomen tegen belasting problemen of wapenings-, fysische- en chemische aantasting. Daarbij wordt ook beschreven wat het mechanisme beïnvloed en versterkt.

De maatregelen worden ingedeeld onder vier mechanismen en vervolgens beschreven. Ook wordt beschreven hoe de maatregelen bij het ontwerp of de uitvoering kunnen worden voorkomen.

- **Maatregelen tegen scheurvorming**
 - Mechanische Scheurvorming voorkomen
 - Chemische scheurvorming voorkomen
 - Fysische scheurvorming voorkomen
 - Preventieve maatregelen
 - Corrigerende maatregelen
- **Maatregelen tegen depassivering**
 - Depassivering voorkomen
 - Preventieve maatregelen
 - Corrigerende maatregelen
- **Maatregelen tegen oplossing**
 - uitloging voorkomen
 - Preventieve maatregelen
 - Corrigerende maatregelen
- **Maatregelen tegen sterkteverlies van beton**
 - krachtsverlies voorkomen
 - Preventieve maatregelen
 - Corrigerende maatregelen

²¹ http://www.rijkswaterstaat.nl/images/Onderhoudsoptimalisatie_tcm174-331347.pdf

3.3.1 Maatregelen tegen scheurvorming

Mechanische Scheurvorming voorkomen:

- Krimpvoegen toepassen;
- Wapening en stortfasering afstemmen op ontwerp;
- Goed nabehandelen Vooral jong beton is erg gevoelig voor vorstschade, de jonge beton afdekken en opspuiten met curing compound. Wanneer er vorst verwacht moet niet met water worden nabehandeld en juist nathouden bij warm weer;
- Een goede verdichting van de beton.

Chemische scheurvorming voorkomen:

- In een nat milieu is een laag alkaligehalte in beton ($<3\text{kg/m}^3$) van belang, dit wordt bereikt door hoogovenslag of poederkoolvliegashoeveel toe te passen in plaats van portlandcement;
- Een laag silicaat gehalte in toeslagmateriaal (vuursteen/chalcedon/opaal $<2\%$) reduceert de kans op ASR;
- Een lage water/cementfactor heeft positieve invloed op de mechanismen.

Fysische scheurvorming voorkomen:

- Goed nabehandelen conform Bijlage B van NEN 6722; Vooral jong beton is erg gevoelig voor vorstschade, de jonge beton afdekken en opspuiten met curing compound. Wanneer er vorst verwacht moet niet met water worden nabehandeld;
- In tegenstelling tot de andere aantastingsmechanismen is portlandcement (met luchtbelvormer) in het geval van veel vries en dooi beter dan hoogovenslak. Dit komt door de grotere expansieruimte die portlandcement biedt.
- Een lage water/cementfactor heeft positieve invloed op de mechanismen.

Preventieve maatregelen:

- (Hogedruk) Injecteren scheuren;
- Beschadigde oppervlakten handmatig repareren;
- Coating herstellen of aanbrengen;
- Beton impregneren (hydrofoberen) zodat vocht buiten de constructie blijft.

Corrigerende maatregelen:

- Weghakken beschadigd/aangetast beton, nieuwe beton aanbrengen;
- Constructie versterken door constructieve overlaging;
- Extra (voorspan) wapening aanbrengen.

3.3.2 Maatregelen tegen depassivering

Depassivering voorkomen:

- Voldoende dekking toepassen, hierdoor zal het langer duren voor de carbonatatie of chloride de wapening bereikt.
- Met een lage water/cementfactor wordt de reactiemogelijkheid kleiner. Hierdoor zal carbonatatie in mindere mate optreden, en de reactie met chloriden verminderen.
- Een goede nabehandeling, door bijvoorbeeld te impregneren of conserveren/hydrofoberen wordt de kans op indringing van zuurstof, water, Chloriden of CO₂ gereduceerd.
- De cementkeuze, hoogoven- of vliegascement zijn de betere keuze. Tegen chloride indringing gaat de voorkeur uit naar hoogoven of vliegascement. Deze cementtypen hebben een lager permeabiliteit dan "normaal" portlandcement, hierdoor zal er minder chloride indringen. Als carbonatatie het grootst verwachte probleem is kan er beter gekozen worden voor portlandcement. Door de hogere hydratatiegraat van hoogovencement zal eerder carbonatatie optreden. Deze hydratatiegraat wordt minder en op den duur zal het minder verschil uitmaken.

Preventieve maatregelen:

- Dampdoorlatende coating met een hoge diffusie weerstand aanbrengen die zuurstof buiten constructie houdt;
- Beton impregneren (hydrofoberen) zodat vocht buiten de constructie blijft;
- De wapening kathodisch beschermen
- (Hogedruk) Injecteren scheuren;
- Beschadigde oppervlakten handmatig repareren;
- Dechloreren beton.
- Realkaliseren beton

Corrigerende maatregelen:

- (Hogedruk) Injecteren scheuren;
- Beschadigde oppervlakten handmatig repareren;
- Constructie versterken door constructieve overlaging;
- Extra (voorspan) wapening aanbrengen.

3.3.3 Maatregelen tegen oplossing

Uitloging voorkomen

- Een goed soort cement, de voorkeur gaat uit naar hoogoven of vliegascement. Deze zijn minder permeabel dan beton gemaakt met portlandcement;
- Een lage water/cementfactor heeft positieve invloed op het voorkomen van de reactie;
- Gebruik kalksteen als toeslagmateriaal;
- Beton te beschermen met een extra dekking (opofferingslaag);
- De beton bedekken met kunststof;
- Een goede nabehandeling.

Preventieve maatregelen:

- Beton te voorzien van een coating of impregneermiddel (op basis van epoxy);
- Beschadigde oppervlakten handmatig repareren met epoxy;
- De beton onder vacuüm behandelen met siliciumtetrafluoridegas (SiF_4);
- De beton behandelen met natriumsilicaat of magnesiumfluorsilicaat;
- Toevoegen van calciumzout in omgeving van de beton om de omgeving te neutraliseren.
- Extra laagdekking aanbrengen (opofferingslaag) met spuitbeton.

Corrigerende maatregelen:

- Constructie versterken door constructieve laag, die tevens werking heeft als opofferingslaag;
- Beschadigde oppervlakten handmatig repareren met epoxy.

3.3.4 Maatregelen tegen sterkteverlies van beton

Krachtenverlies voorkomen:

ASR:

- Een goed soort cement, de voorkeur gaat uit naar hoogoven of poederkoolvliegascement. Deze zijn minder permeabel dan beton gemaakt met portlandcement;
- Bouwdelen met afmetingen <1m, hierdoor zal er in een droog milieu geen ASR kunnen optreden;
- Een laag silicaat gehalte in toeslagmateriaal (vuursteen/chalcedon/opaal <2%) reduceert de kans op ASR.

Sulfaataantasting (ESA):

- Een goed soort cement, de voorkeur gaat uit naar hoogoven of poederkoolvliegascement. Deze zijn minder permeabel dan beton gemaakt met portlandcement en bevatten minder tricalciumluminaat (C3A);
- Een niet te hoge (capillaire polen) en niet te lage (permeabiliteit) W/C factor van de cement;
- Micro scheurvorming vermijden;
- Een goede verdichting van de beton;
- Een goede nabehandeling.

Sulfaataantasting (ISA):

- Micro scheurvorming vermijden;
- Verwerkingstemperatuur <70°C;
- Een goede verdichting van de beton;
- Een goede nabehandeling.

Brandbestendigheid

- Polypropyleen vezels toepassen in beton;
- Lage W/C factor;
- Klein poriën volume
- Hittebestendig toeslagmateriaal.

Preventieve maatregelen:

- Beton impregneren (hydrofoberen) zodat vocht buiten de constructie blijft;
- (Hogedruk) Injecteren scheuren.
- Beschadigde oppervlakten handmatig repareren;

Corrigerende maatregelen:

- (Hogedruk) Injecteren scheuren.
- Beschadigde oppervlakten handmatig repareren;
- Extra (voorspan) wapening aanbrengen.
- Constructie versterken door constructieve overlaging;

Bij interne sulfaataantasting of ASR zal de constructie spoedig moeten worden vervangen.

3.4 Innovatie

In de documentatie waren geen nieuwe maatregelen aangetroffen waar de levensduur van betonnen kunstwerken mee wordt verlegd. TNO en de TU doet veel onderzoek naar materialen, maar deze levensduurverbetering zit voornamelijk in de realisatiefase. Waar de levensverwachting van de brug wordt bepaald met ontwerp en realisatie. Er zijn verschillende interviews met onderhoudsexperts geweest en daar zijn geen specifieke maatregelen uit naar voren gekomen.

Uit de interview met Cees Heiden is vernomen dat er behalve nieuwe coatings geen maatregelen zijn die de levensduur van kunstwerken daadwerkelijk zodanig gaat verlengen dat dit innoverend genoemd kan worden. De nieuwe coatings hebben hooguit wat andere samenstelling, maar zullen de houdbaarheid van de beton niet sterk verbeteren.

Voornamelijk worden de huidige maatregelen onder de loep genomen om goedkoper of sneller uitgevoerd te worden. Verder kwam ter sprake dat de maatregelen die we doorgaans gebruiken goed zijn. Alleen we stellen onderhoudsmaatregelen te veel uit. Hierdoor stuit je vervolgens op hogere kosten door ingrijpendere maatregelen. Het is dus zaak de levensduur van een kunstwerk goed te weten en bepalen. Zo kan de mate van onderhoud bepaald worden zodat het kunstwerk een zo lang mogelijke levensduur heeft met zo min mogelijke kosten.

(Heiden, 2014)

3.5 Conclusie maatregelen betonnen brug

Belangrijk voor de levensduur van een brug is de kwaliteit van het ontwerp en de uitvoering. Er zijn verschillende eigenschappen van een brug die invloed hebben op de levensduur. De constructie moet sterk genoeg gebouwd worden, zodat het de belastingen kan dragen. De materiaalkeuze voor bepaalde eigenschappen is van belang om aantastingsmechanismen zoveel mogelijk tegen te gaan. De aantastingsmechanismen van beton zijn in drie categorieën in te delen.

1. Wapeningsaantasting
2. Fysische aantasting
3. Chemische aantasting

Om de aantastingsmechanismen te voorkomen wordt bij het ontwerp de keuze gemaakt voor een goede betonsoort. Afhankelijk van de verwachte problemen worden hoogoven- vliegask- of portlandcement beton toegepast. Het liefst een beton die geen lage consistentie heeft, dus een laag water/cementgehalte en een goede korrelgradering. Een samenhang door fijn laag silicaat houdend toeslagmateriaal en een voldoende sterke sterkteklasse. Ook moet er op de vormgeving gelet worden, zodat er voldoende dekking, waar nodig krimp-scheuren en de juiste wapening wordt toegepast.

In de uitvoering moet er op gelet worden dat de beton goed verdicht en nabehandeld wordt. Na het storten de jonge beton afdekken en opspuiten met curing compound en eventueel nathouden bij warm weer. Belangrijk is om de scheurvorming in de beton zoveel mogelijk te minimaliseren. Dit verminderd de kans op aantastingsmechanismen. Daarnaast is het belangrijk de coatings en impregneermiddelen te onderhouden en maatregelen te nemen wanneer problemen zich vormen.

4 Conclusie

Duidelijk is dat in Nederland voor het grootste deel van de bruggen voor betonnen ligger of plaatbruggen gekozen wordt. Dit blijkt uit de cijfers van zowel de Nederlandse Bruggenstichting als de cijfers van Rijkswaterstaat. De problemen die bij deze bruggen voorkomen zijn over het algemeen bekend en goed te herkennen aan verschillende kenmerken. Ook zijn de maatregelen tegen de verschillende problemen bekend en kan er ook bij het ontwerp en uitvoering al veel gedaan worden om de levensduur van een kunstwerk te garanderen.

Het is lastiger te bepalen wat de restlevensduur van een kunstwerk is. De gewenste levensduur wordt bepaald door de wens van de beheerder. Of de brug deze levensduur haalt is afhankelijk van het onderhoud en omgevingsfactoren. Om de restlevensduur van bruggen te bepalen worden verschillende inspecties en schouwen gedaan om de voortgang of achteruitgang van de constructie te monitoren. De huidige staat van een constructie is in te delen in 5 niveaus. Deze niveaus staan parallel met de onderhoudsmaatregelen die afhankelijk van de gewenste levensduur nodig zijn om de constructie op te knappen.

De restlevensduur van een constructie komt in gevaar wanneer er een te grote belasting op de brug komt of wanneer de brug wordt aangetast door wapeningscorrosie, fysische- of chemische aantastingsmechanismen. mechanische problemen worden voornamelijk kritisch na een functieverandering. Aangezien de belastingen op de constructie dan worden gewijzigd. Deze problemen kunnen worden voorkomen door de constructie opnieuw te berekenen en waar nodig te versterken. Fysische aantasting ontstaat door fysieke aantasting van de omgeving. Voornamelijk lage of hoge temperaturen of snelle temperatuurswisselingen hebben een grote invloed op de constructie. Deze aantasting kan niet worden voorkomen, maar de gevolgen kunnen worden gereduceerd door hier rekening mee te houden bij het ontwerp van het kunstwerk.

Chemische aantasting is afhankelijk van vaak onbekende omstandigheden in de omgeving en vragen vaak tegengestelde maatregelen bij voorkomende aantastingen. Hierdoor is het lastig om met alle aantastingsmechanismen rekening te kunnen houden. Het is dan ook van belang de meest verwachte aantastingen te reduceren door passende maatregelen te treffen.

Wapeningscorrosie door depassivering van beton is een lastig controleerbaar mechanisme. De meest voorkomende oorzaak van corrosie is aantasting door chloriden. Ook carbonatatie is een veel voorkomende aantasting dat de beton depassiveert. Beiden worden ze veroorzaakt door omgevingsomstandigheden. Waar chloride aantasting kan worden gereduceerd door toepassen van hoogoven- of vliegascement, kan carbonatatie worden gereduceerd door toepassing van portlandcement.



Afbeelding 20 - Bezweken brug²²

²² <http://vorige.nrc.nl/buitenland/article1824804.ece>

Bronnen

Literatuur

- Betoniek. (1974). Chemische aantasting van beton. *Betoniek*.
- Betoniek. (1975). Injecteren van scheuren. *Betoniek*.
- Betoniek. (1980). Schade door vorst en dooizouten. *Betoniek*.
- Betoniek. (1986). Krimpen en zwellen. *Betoniek*.
- Betoniek. (1987). De treksterkte van beton. *Betoniek*.
- Betoniek. (1990). Eigenschappen van beton 1. *Betoniek*. Opgehaald van Betoniek.
- Betoniek. (1990). Eigenschappen van beton 2. *Betoniek*.
- Betoniek. (1991). Carbonatatie en corrosie. *Betoniek*.
- Betoniek. (1991). Scheurkalender. *Betoniek*.
- Betoniek. (1993). Kritisch chloridegehalte. *Betoniek*.
- Betoniek. (1994). Alkali-silica gehalte. *Betoniek*.
- Betoniek. (1995). Druksterkte in het werk. *Betoniek*.
- Betoniek. (1998). 't Is zuur. *Betoniek*.
- Betoniek. (1999). Vorst en dooi. *Betoniek*.
- Betoniek. (2002). Voorkomen van ASR. *Betoniek*.
- Betoniek. (2003). De B van beton. *Betoniek*.
- Betoniek. (2003). Gevraagd 100 jaar. *Betoniek*.
- Betoniek. (2004). ASR in beeld. *Betoniek*.
- Betoniek. (2007). De stukken eraf. *Betoniek*.
- Betoniek. (2008). Brand! *Betoniek*.
- Betoniek. (2014). Dicht die scheur! *Betoniek*.
- Betonlexicon. (2014, September; Oktober). *Hét woordenboek voor de betonwereld*. Opgehaald van Betonlexicon: <http://betonlexicon.nl/>
- Cement en Betoncentrum. (2014, Oktober 14). *Betontechnologie*. Opgehaald van Cement en Betoncentrum: <http://www.cementenbeton.nl/materiaal/betontechnologie>
- Cement en Betoncentrum. (2014, Oktober 15). *Materiaaleigenschappen*. Opgehaald van Cement en Betoncentrum: <http://www.cementenbeton.nl/materiaal/materiaaleigenschappen/mechanische-eigenschappen>
- Cement en Betoncentrum. (2014, Oktober 13). *Uitvoering Schoon Beton*. Opgehaald van Cement en Betoncentrum: <http://www.betoncentrale.nl/media/bestanden/brochure-uitvoering-schoon-beton-1.pdf>
- Erp, S. v. (2014). *Marktonderzoek bestaande bruggen*. Rosmalen: Heijmans.
- Eurlings, C. (2014, Oktober 31). *Documenten en publicaties*. Opgehaald van Rijksoverheid: <http://www.rijksoverheid.nl/bestanden/documenten-en-publicaties/kamerstukken/2008/04/02/200831461905-onderzoek-kunstwerken/200831461905.pdf>
- Heiden, C. (2014, Oktober 23). Maatregelen Betonschades. (D. Jongste, Interviewer)
- Holcim, N.V. (2014, Oktober 17). *Duurzaam beton, samenstelling, productie en verwerking*. Opgehaald van Yumpu: <https://www.yumpu.com/nl/document/view/19695983/praktische-handleiding-holcim/85>
- kb-kenniscentrum. (2014, Oktober 17). *Betonschade mechanismen*. Opgehaald van kb-kenniscentrum: <http://www.kb-kenniscentrum.nl/techniek/betonschade-mechanismen>
- Kouwenhoven, H. (2014, Oktober 17). *Duurzaamheid van fabrieksmatig vervaardigde betonproducten*. Opgehaald van Betonplaza: <http://betonplaza.nl/Documenten/AB-FAB%20Duurzaamheid.pdf>
- Nederlandse bruggenstichting. (2014, September 24). *Database bruggen*. Opgehaald van Nederlandse bruggenstichting: <http://www.bruggenstichting.nl/database-bruggen.html>
- Nieuwsblad. (2014, oktober 25). *Helpt van Vlaamse bruggen heeft herstelling nodig*. Opgehaald van Nieuwsblad: http://www.nieuwsblad.be/article/detail.aspx?articleid=dmf20131212_00884138
- Nieuwsbladtransport. (2014, Oktober 31). *Opnieuw gammele verkeersbrug in Duitsland gesloten*. Opgehaald van Nieuwsbladtransport: <http://www.nieuwsbladtransport.nl/Nieuws/Article/tabid/85/ArticleID/37030/ArticleName/Opnieuw-gammele-verkeersbrugin-Duitsland-gesloten/Default.aspx>
- Noortwijk, J. v. (sd). *Onderhoudsoptimalisatie*. Rijkswaterstaat.

- NRC. (2014, Oktober 25). *VS laten onderhoud infrastructuur versloffen*. Opgehaald van NRC: http://vorige.nrc.nl/buitenland/article1824678.ece/VS_laten_onderhoud_infrastructuur_versloffen
- Plante, J. (2014, oktober 25). *Duitse snelwegen in slechte staat*. Opgehaald van NOS: <http://nos.nl/artikel/643397-duitse-snelwegen-in-slechte-staat.html>
- Ployaert, C. (2014, Oktober 17). *Beton in de landbouw*. Opgehaald van Febelcem: http://www.febelcem.be/fileadmin/user_upload/dossiers-ciment-94-08/nl/27_nl.pdf
- Ployaert, C. (2014, September 29). *Ontwerp van betonconstructies bestand tegen vorst-dooicycli en dooizouten*. Opgehaald van Eupave: <http://www.eupave.eu/documents/graphics/inventory-of-documents/febelcem-publicaties/design-of-concrete-structures-resisting-to-frost-thaw-and-de-icing-salts-nl.pdf>
- Rademaker, E. (2014, Oktober 14). *Handboek voor oriënterende inspectie ASR*. Opgehaald van Rijkswaterstaat: http://www.rijkswaterstaat.nl/images/Handboek%20ASR_tcm174-329891.pdf
- Reuters. (2014, oktober 31). *Brug stortte in na botsing vrachtwagen tegen balk*. Opgehaald van Het Parool: <http://www.parool.nl/parool/nl/225/BUITENLAND/article/detail/3446975/2013/05/25/Brug-stortte-in-na-botsing-vrachtwagen-tegen-balk.dhtml>
- Rijkswaterstaat. (2014, September 29). *Alkali-silicareactie in beton*. Opgehaald van Rijkswaterstaat: http://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/efficient_onderhoud/alkali_silicareactie_in_beton/
- Rijkswaterstaat. (2014, oktober 31). *InfraQuest: samenwerking verbetert infrastructuur*. Opgehaald van Rijkswaterstaat: http://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/magazines/wegeninfo/juli_2012/infraquest-samenwerking-verbetert-infrastructuur.aspx
- Rijkswaterstaat. (2014, September 2). *Inventarisatie Kunstwerken Bruggen Tunnels en Viaducten*. Opgehaald van Rijkswaterstaat: <http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/rapporten/2007/09/26/inventarisatie-kunstwerken-bruggen-tunnels-en-viaducten.html>
- Sitra Engineers. (2014, September 29). *Restlevensduur Analyses*. Opgehaald van Sitra Engineers: http://www.sintra-engineers.nl/downloads/sintra_rest_levensduur.pdf
- Stijnen, J., & Noortwijk, J. v. (2004). *Handleiding voor het LVO-model (modelversie 1.3)*. Rijkswaterstaat.
- Van Dale. (2014). *Nederlands woordenboek*. Opgehaald van Van Dale: <http://vandale.nl/>
- Ven, P. v., & der, S. C. (2011). *Betononderhoud*. Technoconsult.
- Whitehouse. (2014, oktober 25). *President Obama speaks rebuilding our infrastructure*. Opgehaald van Whitehouse: <http://www.whitehouse.gov/photos-and-video/video/2014/05/14/president-obama-speaks-rebuilding-our-infrastructure>

Afbeeldingen

Afbeelding 1 - Betonnen liggerbrug	i
Afbeelding 2 - Liggerbrug	8
Afbeelding 3 - Bord spitsstroken	9
Afbeelding 4 - Vorm plaatbrug.....	9
Afbeelding 5 - Vorm liggerbrug druklaag.....	10
Afbeelding 6 - Vorm liggerbrug volstortliggers	10
Afbeelding 7 - Bezweken balk	13
Afbeelding 8 - Belasting op constructie	14
Afbeelding 9 - Chloride aantasting	16
Afbeelding 10 - ASR scheuren	17
Afbeelding 11 - Verzadigingsgraad en vorst	19
Afbeelding 12 - Oorzaak corrosie.....	20
Afbeelding 13 - Aantastingsproblemen	20
Afbeelding 14 - Aantastingsproblemen	21
Afbeelding 15 - Oorzaak corrosie.....	21
Afbeelding 16 - Bezweken brug.....	24
Afbeelding 17 - Mileuklassen.....	26
Afbeelding 18 - Onderhoudstypen 1.....	27
Afbeelding 19 - Onderhoudstypen 2.....	28
Afbeelding 20 - Bezweken brug.....	34

Afbeelding op omslagpagina - <http://kassa.vara.nl/actueel/diginieuws/artikel/nieuws/spitsstrook-werkt-als-boetefuik/>

Bijlage 3: Handleiding model

Handleiding model

Levensduur verlenging betonnen bruggen



STATUS: Concept

VERSIE: 1.0

DATUM: 5 januari 2015

Dit is de handleiding voor het model waarmee het benodigde onderhoud aan een betonnen brug bepaald kan worden. Het is een in Excel opgebouwd model, waarbij variabelen ingevuld moeten worden om zo het juiste advies te vormen. Het advies wordt gebaseerd op de gegevens die worden ingevoerd en is bepaald met de kennis die is opgedaan in het onderzoeksrapport “levensduur verlenging betonnen bruggen”.

In het onderzoek een inventarisatie naar de maatregelen gedaan. Deze inventarisatie is gedaan ter ondersteuning van het op te leveren model. In de inventarisatie zijn verschillende onderhoudstechnieken beschreven. Deze onderhoudstechnieken zijn beschreven in:

- Versterkingstechnieken;
- Reparatietechnieken;
- Preserveringstechnieken.

[illegible]

Dit advies is gebaseerd op de kennis van problemen uit de literatuur, de kennis van toepasbare maatregelen uit de inventarisatie en verkregen kennis uit gesprekken met ervaren werknemers van Heijmans.

Inhoud

Inleiding.....	i
Gebruiken model.....	2
Kwantificatie.....	2
Bepalen type onderhoud.....	4
Beschermings-, Reparatie- of Versterkingstechnieken	6
Advies en conclusie	8
Kenmerkende schade	8

Gebruiken model

Het model bestaat uit 7 sheets. Hiervan hoeven slechts 2 sheets ingevoerd te worden om een advies te krijgen. In de andere 5 sheets staat informatie die verwerkt wordt. Deze sheets kunnen aangevuld of gewijzigd worden naar wens, dit heeft invloed op het advies. Het model is opgebouwd uit de sheets: Kwantificatie, bepalen type onderhoud, beschermingstechnieken, reparatietechnieken, versterkingstechnieken, advies en conclusie.

Kwantificatie

In de kwantificatie staat een kleine uitleg bij het model. Hier staat wat de waarden die moeten worden aangehouden voor betekenis hebben. De kwantificatie is bedoeld om duidelijkheid te scheppen bij de waardes om het model in te vullen.

“Bepalen type onderhoud”

In deze sheet worden het Risiconiveau, kenmerkende schadebeeld, esthetische en mechanische schade gevraagd.

Aandachtspunt	Oorzaak
Risico niveau brug	Het risico niveau van de brug wordt bepaald aan de hand van de grafiek. Er wordt een schatting gemaakt van de staat van het kunstwerk en hierbij hoort een risiconiveau.
Kenmerkende schade	De kenmerkende schade is de schade die hoort bij het voorkomende probleem. De kenmerkende schades zijn in de handleiding uitgebreid beschreven.
Esthetica	Heeft invloed op het uiterlijk van het kunstwerk. Mogelijke problemen zijn: Vervorming; Zichtbare scheuren; Uitbloeiingen; Betonkleur of de Vlakheid van de beton.
Mechanisch	De mechanische eigenschappen zijn voornamelijk constructief. De constructie moet voldoen aan bepaalde belasting eisen, deze zijn afhankelijk van: Treksterkte wapening; Druksterkte beton en de vermoeiingsgevoeligheid.

Invullen ten behoeve van “Bepalen type onderhoud”

In de sheet kwantificatie moet de waarde % van een probleem criteria ingevoerd worden. Een voorwaarde is dat de mechanische of de esthetische waarde 100% is. Hieronder is een voorbeeld gegeven waarbij de esthetische waarde van een brug slechts 1/3^e zo zwaar meetelt als de mechanische waarde.

Score	Esthetica	Mechanisch	Kenmerkende schade
Waarde %	33,3%	100,0%	(Zie Handleiding)
0	Geen invloed op esthetische eigenschappen	Geen invloed op de constructie van het kunstwerk	Geen kenmerkend probleem in kunstwerk
1	Nauwelijks invloed op esthetische eigenschappen	Mechanische schade is de komende periode nog niet verwacht	Beginnende schade. Meer schade verwacht.
2	Kleine invloed op esthetische eigenschappen	Mechanische schade is verwacht.	Nadert bruikbaarheidsgrenstoestand in constructie
3	Invloed op esthetische eigenschappen	De constructie wordt mechanisch aangetast	Bruikbaarheidsgrenstoestand bereikt in constructie

De getallen 0 tot 3 worden in de sheet “Bepalen type onderhoud” gebruikt. Hier staat de uitleg wat deze getallen betekenen. De kenmerkende schade is afhankelijk van het probleem, en wordt los behandeld in het hoofdstuk “Kenmerkende schade”.

“Bescherminings-, Reparatie- of Versterkingstechnieken”

In deze sheets staan de mogelijke maatregelen, en hoe deze maatregelen gekwalificeerd zijn naar de criteria. De criteria zijn in de kwantificatie omschreven.

Criteria	Omschrijving
Esthetica	Wat doet de maatregel met de uitstraling van het kunstwerk. Het kan zo zijn dat het kunstwerk na het nemen van maatregelen weet terug op zijn oorspronkelijke waarde is, of dat het eigenlijk minder mooi is maar constructief wel een goede waarde heeft.
Kosten	De kosten van een maatregel moeten bekeken worden op life-cycle basis. Of de maatregel goedkoper is dan de andere maatregelen of zelfs dan nieuwbouw wordt geschat.
Uitvoering	Kost de maatregel veel tijd en verkeersmaatregelen, dan kan het wel eens negatief zijn voor de doorstroming van het verkeer. Over het algemeen wil de opdrachtgever zo min mogelijk hinder.
Levensduur verlenging	De werkelijke opbrengst van de maatregel is de levensduur verlenging. Hier kan worden gekeken of de maatregel voldoet aan de gewenste levensduurverlenging.
Kans op herhaling probleem	De hoeveelheid kans dat het probleem terugkomt.

Invullen ten behoeve van “Bescherminings-, Reparatie- of Versterkingstechnieken”

In de sheet kwantificatie moet de waarde % van een oplossingscriteria ingevoerd worden. Een voorwaarde is dat voor minimaal een van de criteria 100% wordt aangenomen. Het advies wijzigen als de kosten zwaarder meetellen dan de werkelijke levensduur verlenging. Hier worden de verschillende maatregelen op beoordeeld in de sheets “Bescherminings-, Reparatie- of Versterkingstechnieken”.

Score	Esthetica	Kosten	Uitvoering	Levensduur verlenging	Kans op herhaling probleem
Waarde %	25,0%	75,0%	50,0%	100,0%	50,0%
0	Maatregel verbeterd de uitstraling van het kunstwerk	Geen kosten	Kost geen tijd en werkzaamheden	Geen levensduur verlenging	Geen kans op herhaling
1	Maatregel brengt de constructie terug in zijn waarde	Lage kosten	Kost weinig tijd en werkzaamheden	> 10 jaar verlenging	Kleine kans op herhaling <10%
2	Maatregel zichtbaar beter dan het was, maar niet tot oorspronkelijke waarde teruggebracht	Kosten	Kost wel tijd en werkzaamheden	5 - 10 jaar verlenging	Kans op herhaling 10-50%
3	Maatregel heeft negatieve invloed op esthetische waarde van het kunstwerk.	Hoge kosten	Kost veel tijd en werkzaamheden	< 5 jaar verlenging	Kans op herhaling >50%

De getallen 0 tot 3 zijn in de sheets “Beschermings-, Reparatie- of Versterkingstechnieken” gebruikt. Hier staat de uitleg wat deze getallen betekenen. De waarden kunnen in de sheets worden naar wens worden aangepast. De waarden staan ingevuld naar kennis die is opgedaan in het afstudeeronderzoek “levensduur verlenging betonnen bruggen”.

Bepalen type onderhoud

In de sheet “Bepalen type onderhoud” wordt zoals de naam het zegt het type onderhoud bepaald. De onderhoudsmogelijkheden zijn afhankelijk van het risiconiveau van de brug. De ernst van de kenmerkende schade en daarbij of het kunstwerk esthetisch of mechanisch aangetast wordt. Het risiconiveau van de brug zegt veel over de staat en waarde van de brug. Hierbij kan ook theoretisch geschat worden welke restlevensduur haalbaar is voor het kunstwerk. Dit is natuurlijk sterk afhankelijk van het type schade en de kenmerkende schadebeelden. Het kan namelijk zo zijn dat een kunstwerk qua risico niveau nog makkelijk voldoet, maar dat de kenmerkende schade wel kritisch is. Verder zijn verschillende scenario denkbaar waarbij de brug er zeer aangetast uitziet, maar mechanisch geen problemen kent. Ook andersom is dit mogelijk, daarom is het van belang de aantasting te omschrijven. Het schade getal wordt bepaald aan de hand van deze criteria. Op basis van het schadegetal wordt het type onderhoud bepaald. Dit schadegetal is bepaald met de formule:

$$(1/\text{Risiconiveau brug}) * \text{Kenmerkende schade} * \text{MAX}((\text{Esthetische aantasting} * \text{Waarde \%}) \text{ of } (\text{Mechanische aantasting} * \text{Waarde \%}))$$

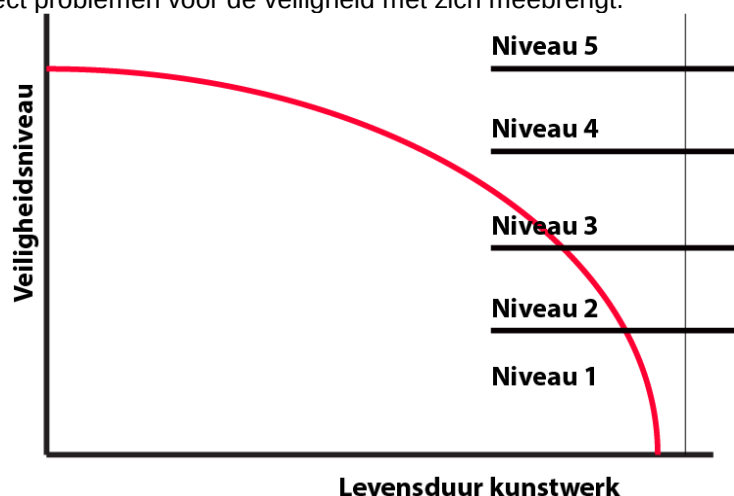
Het schadegetal is een getal tussen de 0 en 9, met dit getal wordt het type maatregel bepaald. De maatregelen zijn opgedeeld in: Geen Onderhoud (GO), Preventief Onderhoud (PVO), Correctief Onderhoud (CRO) en Nieuwbouw (NWB).

Risico niveau brug

Dit niveau wordt bepaald met de inspectie of toestandsbepaling van het kunstwerk. De levensduur van een kunstwerk ik uit te zetten in een grafiek, deze grafiek is weergegeven in Tabel 1. In deze grafiek zijn verschillende niveaus aangegeven welke het risiconiveau van het kunstwerk aangeven. Het niveau van een kunstwerk is afhankelijk van de leeftijd en kwaliteit. De kwaliteit wordt bepaald met verschillende proeven, berekeningen en schouwen.

Met de proeven en berekeningen wordt de toestand van het kunstwerk bepaald, en waar deze staat ten opzichte van de grenstoestanden. Er zijn bij de problemen of aantastingen normen geschreven met daarin toelaatbare waarden van aantasting of grenstoestanden van bezwijken.

Met een schouw kan de esthetische waarde van het kunstwerk bepaald worden. Overigens is deze veelal afhankelijk van de mechanische of aantastingsproblemen. Toch worden ook algengroei; graffiti of andere optische problemen opgemerkt. Deze zijn niet in het model opgenomen omdat dit niet direct problemen voor de veiligheid met zich meebrengt.



Tabel 1 - Theoretische levensduur

Het is aan de inspecteur om te bepalen in welke risiconiveau het kunstwerk zich bevindt. Op de x-as is de tijd uitgezet, op de y-as de kwaliteit van het kunstwerk.

Niveau 5: Het kunstwerk is zo goed als nieuw;

Niveau 4: Het kunstwerk is in gebruiksfase, maar ondervindt nog geen ernstige schade;

Niveau 3: Het kunstwerk krijgt zichtbaar schade, maar voldoet nog aan de eisen*;

Niveau 2: Het kunstwerk heeft schade, de levensduur van het kunstwerk neemt snel af als er geen maatregelen genomen worden;

Niveau 1: Het kunstwerk voldoet niet meer aan de uiterste grenstoestand, maatregelen zijn nodig om het kunstwerk functionerend te houden.

*Eisen uit de RBK 1.1, NEN-EN 206, NEN 8700 en NEN-EN 1990 met aanvulling EN 1991 tot en met 1999.

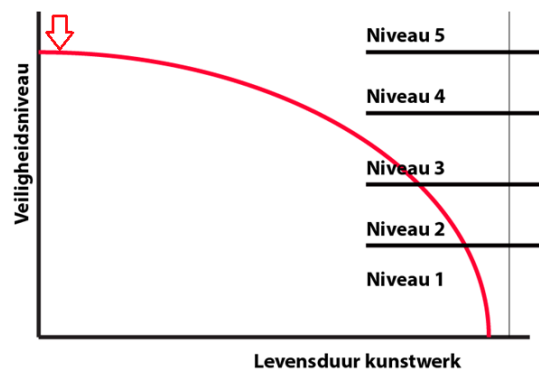
Kenmerkende schade

De kenmerkende schade is afhankelijk van het schadebeeld. De verschillende kenmerkende schade zijn: Scheurvorming, vervorming, vermoeiing, wapeningscorrosie, oplossing, krachtsverlies of dekkingsverlies van beton. Deze mechanismen hebben verschillende maatgevende toestanden. Deze zijn later in deze handleiding behandeld.

Voorbeelden

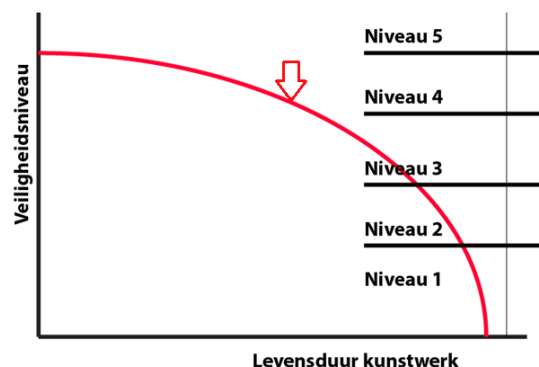
Risico niveau brug	Kenmerkende schade	Esthetisch aangetast	Mechanisch aangetast	Schadegetal	Type maatregel
5-1	0-3	0-3	0-3		
5	0	0	0	0	GO

De brug is nog in goede staat en kent nog geen schade. Daarom is het ook niet nodig om onderhoud te plegen. Dit is een scenario wat eigenlijk niet voorkomt, ook bij de bouw worden vaak al problemen geconstateerd.



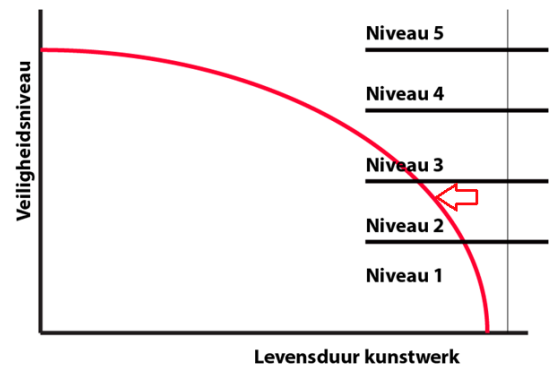
Risico niveau brug	Kenmerkende schade	Esthetisch aangetast	Mechanisch aangetast	Schadegetal	Type maatregel
5-1	0-3	0-3	0-3		
4	2	2	2	1	PVO

De brug is al een aantal jaar oud, en kent al een schadebeeld. Dit zou bijvoorbeeld carbonatatie of aantasting door zuren kunnen zijn. De brug bevindt zich nog in risico niveau 4, er zijn dus geen daadwerkelijke maatregelen nodig om de veiligheid of functionaliteit te waarborgen. Wel nadert de kenmerkende schade de bruikbaarheidsgrenstoestand. Om problemen te voorkomen kunnen preventieve maatregelen worden genomen.



Risico niveau brug	Kenmerkende schade	Esthetisch aangetast	Mechanisch aangetast	Schadegetal	Type maatregel
5-1	0-3	0-3	0-3		
2	3	2	2	3	CRO

De brug is inmiddels in risiconiveau 2, en het de kenmerkende schade heeft de bruikbaarheidsgrenstoestand overschreden. Hiervoor moeten correctieve maatregelen genomen worden. De mechanische schade is nog niet kritisch, maar wel aangetast. De brug zou in het zelfde risiconiveau kunnen zitten, maar wel mechanisch wel kritische problemen kennen zal nieuwbouw geadviseerd worden.



Risico niveau brug	Kenmerkende schade	Esthetisch aangetast	Mechanisch aangetast	Schadegetal	Type maatregel
5-1	0-3	0-3	0-3		
2	3	2	3	4,5	NWB

Conclusie

De gevraagde maatregel is afhankelijk van het risiconiveau, kenmerkende schade en mechanische- of esthetische aantasting. De weging van de esthetische of mechanische aantasting is in de sheet "Kwantificatie" te wijzigen. Ook is hier een beknopte uitleg van de criteria en in te vullen waarden te vinden.

Beschermings-, Reparatie- of Versterkingstechnieken

Een brug kan worden onderhouden met beschermings-, reparatie- of versterkingstechnieken. De namen vertellen de werkzaamheid van het onderhoud. Bij preventief onderhoud kan worden gedacht aan alleen beschermingstechnieken, of reparatietechnieken met aangevulde bescherming. Bij correctieve maatregelen moet vaak verstevigd worden, dit kan worden aangevuld met reparatie en beschermingstechnieken om kleinere ook aanwezige problemen onderhanden te nemen.

In de sheets hoeft niks ingevuld te worden. De sheets zijn ter informatie, de waardering op de criteria wordt weergegeven. Als er in de conclusie een maatregel geadviseerd wordt kan worden teruggekeken op welke criteria de maatregel goed gescoord heeft en dus waarom dit geadviseerd wordt.

Het is mogelijk de maatregelen aan te vullen of de waardering van de maatregelen naar wens aan te passen.

Constructief	Esthetica	Kosten	Uitvoering	Levensduur verlenging	Kans op herhaling probleem	Waarde % maatregel
JA/NEE	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3	
NEE	2	1	2	2	2	42

De betekenis van de waarden 0 tot 3 is te vinden in de kwantificatie. Ook de beschrijving van de criteria is in de sheet kwantificatie te vinden. Het waarde-percentages is afhankelijk van de waardering die gegeven is aan de maatregelen per criteria. Ook de weging van de criteria is van belang. De waarde van de maatregelen wordt bepaald door middel van de volgende formule:

$$((\text{Esthetica} * \text{waarde}\%) + (\text{Kosten} * \text{waarde}\%) + (\text{Uitvoering} * \text{waarde}\%) + (\text{Levensduur verlenging} * \text{waarde}\%) + (\text{Kans herhaling} * \text{waarde}\%)) * -11.1 + 100$$

Ter informatie is beschreven of de maatregel een constructieve waarde heeft. Dit kan van belang zijn voor het toepassen van de maatregel.

Aanvullingen

Mocht er een aanvulling of wijziging zijn van de sheet, hoeft dit slechts veranderd te worden in de beschermings-, reparatie- of versterkingstechnieken, en vervolgens aangevuld te worden bij de conclusie. De andere sheets zullen dit automatisch aanvullen. Er is ruimte vrij gehouden voor aanvullingen, zodat dit makkelijk verwerkt kan worden.

Beschermingsmaatregelen	Preventieve	Constructief	Esthetica	Kosten	Uitvoering	Levensduur verlenging	Kans op herhaling probleem	Waarde % maatregel
Dampdoorlatende coating met een hoge diffusie weerstand aanbrengen die zuurstof buiten constructie houdt	NEE	1	1	2	3	2	3	
Beton impregneren (hydrofoberen) zodat vocht buiten de constructie blijft	NEE	1	1	2	3	2	3	
Kathodische bescherming (opgedrukte stroom)	NEE	1	2	2	1	1	5	
Injectie scheuren met poly-urethaan	NEE	2	1	2	2	2	4	
Hogedruk injectie scheuren met poly-urethaan	NEE	2	2	2	1	2	3	
	-	3	3	3	3	3		
	-	3	3	3	3	3		
	-	3	3	3	3	3		
	-	3	3	3	3	3		
	-	3	3	3	3	3		

Hier kan een nieuwe maatregel ingevoerd worden. Deze moet gewaardeerd worden op de criteria, dan wordt deze opgenomen in het advies. Deze moet in het tabblad "Conclusie" bijgevoegd worden, zodat deze ook hier naar voren komt.

Extra laagdekking aanbrengen (opofferingslaag) met spuitbeton; Natte mortel	ONWAAR
Omgeving neutraliseren	ONWAAR
Hogedrukinjectie beton met lithium nitraat	ONWAAR
Aanbrengen brandwerende laag	ONWAAR
Aanbrengen hittewerende bekleding	ONWAAR
	ONWAAR
	ONWAAR
	ONWAAR

LET OP! Om de maatregel in de conclusie mee te nemen is het van belang de naam die ingevoerd is bij de maatregel precies hetzelfde in te voeren bij de conclusie. Anders komt de zoekfunctie niet overeen, dus zal er geen waarde gevonden worden.

Conclusie

In de sheets “beschermings-, reparatie- of versterkingstechnieken” hoeft in alle begin niets ingevoerd te worden. Er kunnen wel maatregelen toegevoegd worden of aangepast worden in criteria.

Advies en conclusie

In de sheet “Advies” is een overzicht van de maatregelen met daarbij de beste maatregelen in beeld gebracht. De geadviseerde maatregelen zijn overzichtelijk verwerkt in de sheet “Conclusie”, waar de oorzaak niet is weergegeven. Vaak is dit een combinatie van Reparatie-, versterkings- of beschermingstechnieken. Ook zijn verschillende maatregelen tegen verschillende problemen mogelijk.

Kenmerkende schade

De kenmerkende schade is afhankelijk van het schadebeeld. De verschillende kenmerkende schades zijn: Scheurvorming, vervorming, vermoeiing, wapeningscorrosie, oplossing, krachtsverlies of dekkingsverlies van beton. Deze mechanismen hebben verschillende maatgevende toestanden.

Scheurvorming.

In de NEN-EN 1992-1-1 wordt beschreven hoe de bruikbaarheidsgrenstoestanden (BGT) en uiterste grenstoestanden (UGT) voor scheurvorming in beton te berekenen is. Aan de hand van deze waarden kan de mate van kenmerkende schade ingevuld worden als:

0. Geen scheurvorming in het kunstwerk aanwezig;
1. Craquelé, Droge scheuren afgedicht met kalk, scheuren kleiner dan 0,2 mm (gew. beton), scheuren kleiner dan 0,1 mm (voorgesp. beton);
2. Scheuren met regelmatig patroon, Scheuren evenwijdig aan wapening, watervoerende scheuren;
3. Watervoerende scheuren met roestwater of uitbloeiingen, scheuren groter dan 0,3mm

Vervorming

In de NEN-EN 1992-1-1 wordt beschreven hoe de bruikbaarheidsgrenstoestanden (BGT) en uiterste grenstoestanden (UGT) voor doorbuiging van beton te berekenen is. Aan de hand van deze waarden kan de mate van kenmerkende schade ingevuld worden als:

0. Geen doorbuiging van het kunstwerk;
1. Kleine doorbuiging;
2. Nadert doorbuiging bruikbaarheidsgrenstoestand in constructie;
3. Bruikbaarheidsgrenstoestand voor doorbuiging bereikt in constructie.

Vermoeiing

In de NEN-EN 1994-2 staat beschreven hoe de grenstoestand van vermoeiing bepaald wordt. Aan de hand van deze waarden kan de mate van kenmerkende schade ingevuld worden als:

0. Geen vermoeiing in het kunstwerk aanwezig;
1. Beginnende vermoeiing, meer scheuren verwacht;
2. Nadert vermoeiings-grenstoestand in de constructie;
3. Grenstoestand van vermoeiing bereikt in de constructie.

Wapeningscorrosie

In CUR Rapport 92-7 wordt het kritisch chloridegehalte in gewapend beton bepaald, in CUR rapport 90-3 Carbonatatie, corrosie en vocht wordt de carbonatatie geïnitieerde corrosie beschreven. In deze rapporten zijn grenswaarden gegeven, welke de kenmerkende schade van deze schadebeelden beschrijven. Deze schadebeelden zijn in te delen in:

0. Geen indringing;
1. Geringe indringing in beton;
2. Indringing binnen 10jaar bij wapening in beton;
3. Indringing heeft de wapening bereikt.

Oplossing

In NEN 8005 is de indicatie van agressiviteit voor beton door zuren gegeven hier staan verschillende zuren met een zuurtegraad. Afhankelijk van de zuurtegraad waaraan de beton is

blootgesteld en de dekking die toegepast is op de wapening, wordt de kenmerkende schade gegeven. We beschrijven de schadebeelden als:

0. Geen oplossing;
1. Oplossing van beton, dekking voldoende, $PH > 4$;
2. Oplossing van beton, dekking voldoende, $PH < 4$;
Oplossing van beton, nadert minimale dekking $PH > 4$;
3. Oplossing van beton, nadert minimale dekking $PH < 4$;
Oplossing van beton, minimale dekking overschreden.

Dekkingsverlies

De betondekking is belangrijk voor de bescherming van de wapening. Door oplossing, scaling of afdrukken/spatten van beton kan de kritische dekking van de wapening verloren gaan. Deze dekking is van belang voor de duurzaamheid van de constructie. De minimale dekking is beschreven in NEN-EN 1992-1-1. De dekkingsschade wordt beschreven als:

0. Geen dekkingsverlies;
1. Dekkingsverlies, niet kritisch;
2. Dekkingsverlies nadert minimale dekking;
3. Dekking minder dan minimaal voorgeschreven dekking.

Krachtsverlies

De beton moet voldoen aan de minimaal vereiste druk en treksterkte. Deze sterkte is afhankelijk van de karakteristieke eisen, en moet dus bepaald worden.

De kenmerkende schade wordt beschreven als:

0. Geen krachtsverlies;
1. Krachtsverlies in beton niet kritisch;
2. Beton nadert minimale druk-/treksterkte;
3. Beton heeft de minimale druk-/treksterkte overschreden.

Bijlage 4: Controle model

Controle 1A - Carbonatatatie Preventief Onderhoud.

Het type onderhoud wordt bepaald:

Carbonatatatie	4	1	1	1	0,25	PVO
Chloride aantasting	5	0	0	0	0	GO

De conserveringstechnieken:

Carbonatatatie	Dampdoorlatende coating met een hoge diffusie weerstand aanbrengen die zuurstof buiten constructie houdt	NEE	1	1	2	3	2	39
	Beton impregneren (hydrofoberen) zodat vocht buiten de constructie blijft	NEE	1	1	2	3	2	39
	Kathodische bescherming (opgedrukte stroom)	NEE	1	2	2	1	1	53
	Injectie scheuren met poly-urethaan	NEE	2	1	2	2	2	42
	Hogedruk injectie scheuren met poly-urethaan	NEE	2	2	2	1	2	39

De reparatietechnieken:

Carbonatatatie	Injectie scheuren met epoxy	JA	2	1	2	2	2	42
	Handmatig repareren (epoxylaag)	JA	3	1	2	2	2	39
	Realkaliseren (elektrochemisch)	NEE	1	2	3	2	2	31

De versterkingstechnieken:

Carbonatatatie	Hogedruk injectie scheuren met epoxy	JA	2	2	1	3	3	22
	Handmatig repareren (epoxymassa's)	JA	1	2	2	2	2	36
	Handmatig repareren (PCC mortel)	JA	2	2	2	2	3	22
	Handmatig repareren (cementgebonden gietmortel)	JA	1	2	2	2	3	25
	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Natte mortel	JA	2	2	3	2	3	17
	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Droge mortel	JA	2	2	3	2	2	28
	Lijmwapening toepassen	JA	2	3	2	2	3	14
	Uitwendige voorspanwapening toepassen	JA	3	2	3	2	3	14
	Koolstofvezel versterking aanbrengen	JA	2	3	2	2	1	36

Conclusie:

In het werkblad "Advies" zou naar voren moeten komen:

Preservering = Kathodische bescherming

Reparatie = Handmatig repareren

Versterking = Niet van toepassing

Preserveringstechnieken				
Dampdoorlatende coating met een hoge diffusie weerstand aanbrengen die zuurstof buiten constructie houdt	Beton impregneren (hydrofoberen) zodat vocht buiten de constructie blijft	Kathodische bescherming (opgedrukte stroom)	Injectie scheuren met poly-urethaan	Hogedruk injectie scheuren met poly-urethaan
ONWAAR	ONWAAR	WAAR	ONWAAR	ONWAAR

Reparatie technieken			
Injectie scheuren met epoxy	Handmatig repareren (epoxylaag)	Realkaliseren (elektrochemisch)	Injectie scheuren met epoxy
WAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR

Versterkingstechnieken								
Hogedruk injectie scheuren met epoxy	Handmatig repareren (epoxymassa's)	Handmatig repareren (PCC mortel)	Handmatig repareren (cementgebonden gietmortel)	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Natte mortel	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Droge mortel	Lijmwapening toepassen	Uitwendige voorspanwapening toepassen	Koolstofvezel versterking aanbrengen
ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR

Klopt!

Controle of dit ook terugkomt in de conclusie:

Preserveringstechnieken	
Injectie scheuren met poly-urethaan	ONWAAR
Hogedruk injectie scheuren met poly-urethaan	ONWAAR
Belasting verlagen	ONWAAR
Snelheid verkeer verlagen (frequentie)	ONWAAR
Dampdoorlatende coating met een hoge diffusie weerstand aanbrengen die zuurstof buiten constructie houdt	ONWAAR
Beton impregneren (hydrofoberen) zodat vocht buiten de constructie blijft	ONWAAR
Kathodische bescherming (opgedrukte stroom)	WAAR
De beton onder vacuüm behandelen met siliciumtetrafluoridegas (SiF ₄)	ONWAAR
De beton behandelen met natriumsilicaat of magnesiumfluorsilicaat	ONWAAR
Extra laagdekking aanbrengen (opofferingslaag) met spuitbeton; Natte mortel	ONWAAR
Extra laagdekking aanbrengen (opofferingslaag) met spuitbeton; Natte mortel	ONWAAR
Omgeving neutraliseren	ONWAAR
Hogedrukinjectie beton met lithium nitraat	ONWAAR
Aanbrengen brandwerende laag	ONWAAR
Aanbrengen hittewerende bekleding	ONWAAR

Reparatietechnieken	
Injectie scheuren met epoxy	WAAR
Hogedruk injectie scheuren met epoxy	ONWAAR
Handmatig repareren (epoxylaag)	ONWAAR
Handmatig repareren (PCC mortel)	ONWAAR
Handmatig repareren (cementgebonden gietmortel)	ONWAAR
Handmatig repareren (epoxytroffelmassa)	ONWAAR
Beton dechloreren	ONWAAR
Realkaliseren (elektrochemisch)	ONWAAR

Versterkingstechnieken	
Hogedruk injectie scheuren met epoxy	ONWAAR
Handmatig repareren (epoxymassa's)	ONWAAR
Handmatig repareren (PCC mortel)	ONWAAR
Handmatig repareren (cementgebonden gietmortel)	ONWAAR
Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Natte mortel	ONWAAR
Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Droge mortel	ONWAAR
Lijmwapening toepassen	ONWAAR
Uitwendige voorspanwapening toepassen	ONWAAR
Koolstofvezel versterking aanbrengen	ONWAAR

Klopt!

Controle 1B - Carbonatatie Correctief Onderhoud.

Het type onderhoud wordt bepaald:

Carbonatatie	2	2	2	2	2	CRO
Chloride aantasting	5	0	0	0	0	GO

De conserveringstechnieken:

Carbonatatie	Dampdoorlatende coating met een hoge diffusie weerstand aanbrengen die zuurstof buiten constructie houdt	NEE	1	1	2	3	2	39
	Beton impregneren (hydrofoberen) zodat vocht buiten de constructie blijft	NEE	1	1	2	3	2	39
	Kathodische bescherming (opgedrukte stroom)	NEE	1	2	2	1	1	53
	Injectie scheuren met poly-urethaan	NEE	2	1	2	2	2	42
	Hogedruk injectie scheuren met poly-urethaan	NEE	2	2	2	1	2	39

De reparatietechnieken:

Carbonatatie	Injectie scheuren met epoxy	JA	2	1	2	2	2	42
	Handmatig repareren (epoxylaag)	JA	3	1	2	2	2	39
	Realkaliseren (elektrochemisch)	NEE	1	2	3	2	2	31

De versterkingstechnieken:

Carbonatatie	Hogedruk injectie scheuren met epoxy	JA	2	2	1	3	3	22
	Handmatig repareren (epoxymassa's)	JA	1	2	2	2	2	36
	Handmatig repareren (PCC mortel)	JA	2	2	2	2	3	22
	Handmatig repareren (cementgebonden gietmortel)	JA	1	2	2	2	3	25
	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Natte mortel	JA	2	2	3	2	3	17
	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Droge mortel	JA	2	2	3	2	2	28
	Lijmwapening toepassen	JA	2	3	2	2	3	14
	Uitwendige voorspanwapening toepassen	JA	3	2	3	2	3	14
	Koolstofvezel versterking aanbrengen	JA	2	3	2	2	1	36

Conclusie:

In het werkblad "Advies" zou naar voren moeten komen:

Preservering = Kathodische bescherming

Reparatie = Handmatig repareren

Versterking = Koolstofvezel versterking; Handmatig repareren (epoxymassa's)

Preserveringstechnieken				
Dampdoorlatende coating met een hoge diffusie weerstand aanbrengen die zuurstof buiten constructie houdt	Beton impregneren (hydrofoberen) zodat vocht buiten de constructie blijft	Kathodische bescherming (opgedrukte stroom)	Injectie scheuren met poly-urethaan	Hogedruk injectie scheuren met poly-urethaan
ONWAAR	ONWAAR	WAAR	ONWAAR	ONWAAR

Reparatie technieken			
Injectie scheuren met epoxy	Handmatig repareren (epoxylaag)	Realkaliseren (elektrochemisch)	Injectie scheuren met epoxy
WAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR

Versterkingsstechnieken								
Hogedruk injectie scheuren met epoxy	Handmatig repareren (epoxymassa's)	Handmatig repareren (PCC mortel)	Handmatig repareren (cementgebonden gietmortel)	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Natte mortel	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Droge mortel	Lijmwapening toepassen	Uitwendige voorspanwapening toepassen	Koolstofvezel versterking aanbrengen
ONWAAR	WAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	WAAR

Klopt!

Controle of dit ook terugkomt in de conclusie:

Preserveringstechnieken	
Injectie scheuren met poly-urethaan	ONWAAR
Hogedruk injectie scheuren met poly-urethaan	ONWAAR
Belasting verlagen	ONWAAR
Snelheid verkeer verlagen (frequentie)	ONWAAR
Dampdoorlatende coating met een hoge diffusie weerstand aanbrengen die zuurstof buiten constructie houdt	ONWAAR
Beton impregneren (hydrofoberen) zodat vocht buiten de constructie blijft	ONWAAR
Kathodische bescherming (opgedrukte stroom)	WAAR
De beton onder vacuüm behandelen met siliciumtetrafluoridegas (SiF ₄)	ONWAAR
De beton behandelen met natriumsilicaat of magnesiumfluorsilicaat	ONWAAR
Extra laagdekking aanbrengen (opofferingslaag) met spuitbeton; Natte mortel	ONWAAR
Extra laagdekking aanbrengen (opofferingslaag) met spuitbeton; Natte mortel	ONWAAR
Omgeving neutraliseren	ONWAAR
Hogedrukinjectie beton met lithium nitraat	ONWAAR
Aanbrengen brandwerende laag	ONWAAR
Aanbrengen hittewerende bekleding	ONWAAR

Reparatietechnieken	
Injectie scheuren met epoxy	WAAR
Hogedruk injectie scheuren met epoxy	ONWAAR
Handmatig repareren (epoxylaag)	ONWAAR
Handmatig repareren (PCC mortel)	ONWAAR
Handmatig repareren (cementgebonden gietmortel)	ONWAAR
Handmatig repareren (epoxytroffelmassa)	ONWAAR
Beton dechloreren	ONWAAR
Realkaliseren (elektrochemisch)	ONWAAR

Versterkingstechnieken	
Hogedruk injectie scheuren met epoxy	ONWAAR
Handmatig repareren (epoxymassa's)	WAAR
Handmatig repareren (PCC mortel)	ONWAAR
Handmatig repareren (cementgebonden gietmortel)	ONWAAR
Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Natte mortel	ONWAAR
Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Droge mortel	ONWAAR
Lijmwapening toepassen	ONWAAR
Uitwendige voorspanwapening toepassen	ONWAAR
Koolstofvezel versterking aanbrengen	WAAR

Klopt!

Controle 2A – Zuuraantasting Preventief Onderhoud.

Het type onderhoud wordt bepaald:

Zuren	4	1	1	1	0,25	PVO
Sulfaat aantasting (ESA)	5	0	0	0	0	GO
Sulfaat aantasting (ISA)	5	0	0	0	0	GO
ASR	5	0	0	0	0	GO

De conserveringstechnieken:

Zuren	De beton onder vacuüm behandelen met siliciumtetrafluoridegas (SiF ₄)	NEE	1	3	3	2	2	22
	De beton behandelen met natriumsilicaat of magnesiumfluorsilicaat	NEE	1	3	3	2	2	22
	Extra laagdekking aanbrengen (opofferingslaag) met spuitbeton; Natte mortel	JA	2	3	3	1	1	36
	Extra laagdekking aanbrengen (opofferingslaag) met spuitbeton; Droge mortel	JA	2	3	3	1	2	25
	Omgeving neutraliseren	NEE	1	1	2	2	3	33

De reparatietechnieken:

Zuren	Handmatig repareren (epoxylaag)	JA	3	1	2	2	2	39
-------	---------------------------------	----	---	---	---	---	---	----

De versterkingstechnieken:

Zuren	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Natte mortel	JA	1	2	3	2	1	42
	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Droge mortel	JA	1	2	3	2	1	42
	Handmatig repareren (epoxymassa's)	JA	1	2	2	2	2	36
	Handmatig repareren (cementgebonden gietmortel)	JA	1	2	2	2	3	25

Conclusie:

In het werkblad "Advies" zou naar voren moeten komen:

Preservering = Extra laagdekking aanbrengen (opofferingslaag) met spuitbeton; Natte mortel

Reparatie = Handmatig repareren (epoxylaag)

Versterking = Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Natte of Droge mortel

Preserveringstechnieken				
De beton onder vacuüm behandelen met siliciumtetrafluoridegas (SiF ₄)	De beton behandelen met natriumsilicaat of magnesiumfluorsilicaat	Extra laagdekking aanbrengen (opofferingslaag) met spuitbeton; Natte mortel	Extra laagdekking aanbrengen (opofferingslaag) met spuitbeton; Droge mortel	Omgeving neutraliseren
ONWAAR	ONWAAR	WAAR	ONWAAR	ONWAAR

Reparatie technieken	
Handmatig repareren (epoxylaag)	0
WAAR	ONWAAR

Versterkingstechnieken			
Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Natte mortel	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Droge mortel	Handmatig repareren (epoxymassa's)	Handmatig repareren (cementgebonden gietmortel)
ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR

Klopt!

Controle of dit ook terugkomt in de conclusie:

Preserveringstechnieken	
Injectie scheuren met poly-urethaan	ONWAAR
Hogedruk injectie scheuren met poly-urethaan	ONWAAR
Belasting verlagen	ONWAAR
Snelheid verkeer verlagen (frequentie)	ONWAAR
Dampdoorlatende coating met een hoge diffusie weerstand aanbrengen die zuurstof buiten constructie houdt	ONWAAR
Beton impregneren (hydrofoberen) zodat vocht buiten de constructie blijft	ONWAAR
Kathodische bescherming (opgedrukte stroom)	ONWAAR
De beton onder vacuüm behandelen met siliciumtetrafluoridegas (SiF ₄)	ONWAAR
De beton behandelen met natriumsilicaat of magnesiumfluorsilicaat	ONWAAR
Extra laagdekking aanbrengen (opofferingslaag) met spuitbeton; Natte mortel	WAAR
Extra laagdekking aanbrengen (opofferingslaag) met spuitbeton; Natte mortel	WAAR
Omgeving neutraliseren	ONWAAR
Hogedrukinjectie beton met lithium nitraat	ONWAAR
Aanbrengen brandwerende laag	ONWAAR
Aanbrengen hittewerende bekleding	ONWAAR

Reparatietechnieken	
Injectie scheuren met epoxy	ONWAAR
Hogedruk injectie scheuren met epoxy	ONWAAR
Handmatig repareren (epoxylaag)	WAAR
Handmatig repareren (PCC mortel)	ONWAAR
Handmatig repareren (cementgebonden gietmortel)	ONWAAR
Handmatig repareren (epoxytroffelmassa)	ONWAAR
Beton dechloreren	ONWAAR
Realkaliseren (elektrochemisch)	ONWAAR

Versterkingstechnieken	
Hogedruk injectie scheuren met epoxy	ONWAAR
Handmatig repareren (epoxymassa's)	ONWAAR
Handmatig repareren (PCC mortel)	ONWAAR
Handmatig repareren (cementgebonden gietmortel)	ONWAAR
Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Natte mortel	ONWAAR
Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Droge mortel	ONWAAR
Lijmwapening toepassen	ONWAAR
Uitwendige voorspanwapening toepassen	ONWAAR
Koolstofvezel versterking aanbrengen	ONWAAR

Klopt!

Controle 2B – Zuuraantasting Correctief Onderhoud.

Het type onderhoud wordt bepaald:

Zuren	2	2	2	2	2	CRO
Sulfaat aantasting (ESA)	5	0	0	0	0	GO
Sulfaat aantasting (ISA)	5	0	0	0	0	GO
ASR	5	0	0	0	0	GO

De conserveringstechnieken:

Zuren	De beton onder vacuüm behandelen met siliciumtetrafluoridegas (SiF ₄)	NEE	1	3	3	2	2	22
	De beton behandelen met natriumsilicaat of magnesiumfluorsilicaat	NEE	1	3	3	2	2	22
	Extra laagdekking aanbrengen (opofferingslaag) met spuitbeton; Natte mortel	JA	2	3	3	1	1	36
	Extra laagdekking aanbrengen (opofferingslaag) met spuitbeton; Natte mortel	JA	2	3	3	1	2	25
	Omgeving neutraliseren	NEE	1	1	2	2	3	33

De reparatietechnieken:

Zuren	Handmatig repareren (epoxylaag)	JA	3	1	2	2	2	39
-------	---------------------------------	----	---	---	---	---	---	----

De versterkingstechnieken:

Zuren	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Natte mortel	JA	1	2	3	2	1	42
	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Droge mortel	JA	1	2	3	2	1	42
	Handmatig repareren (epoxymassa's)	JA	1	2	2	2	2	36
	Handmatig repareren (cementgebonden gietmortel)	JA	1	2	2	2	3	25

Conclusie:

In het werkblad "Advies" zou naar voren moeten komen:

Preservering = Extra laagdekking aanbrengen (opofferingslaag) met spuitbeton; Natte mortel

Reparatie = Handmatig repareren (epoxylaag)

Versterking = Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Natte of Droge mortel

Preserveringstechnieken				
De beton onder vacuüm behandelen met siliciumtetrafluoridegas (SiF ₄)	De beton behandelen met natriumsilicaat of magnesiumfluorsilicaat	Extra laagdekking aanbrengen (opofferingslaag) met spuitbeton; Natte mortel	Extra laagdekking aanbrengen (opofferingslaag) met spuitbeton; Natte mortel	Omgeving neutraliseren
ONWAAR	ONWAAR	WAAR	ONWAAR	ONWAAR

Reparatie technieken	
Handmatig repareren (epoxylaag)	0
WAAR	ONWAAR

Versterkingstechnieken			
Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Natte mortel	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Droge mortel	Handmatig repareren (epoxymassa's)	Handmatig repareren (cementgebonden gietmortel)
WAAR	WAAR	ONWAAR	ONWAAR

Klopt!

Controle of dit ook terugkomt in de conclusie:

Preserveringstechnieken	
Injectie scheuren met poly-urethaan	ONWAAR
Hogedruk injectie scheuren met poly-urethaan	ONWAAR
Belasting verlagen	ONWAAR
Snelheid verkeer verlagen (frequentie)	ONWAAR
Dampdoorlatende coating met een hoge diffusie weerstand aanbrengen die zuurstof buiten constructie houdt	ONWAAR
Beton impregneren (hydrofoberen) zodat vocht buiten de constructie blijft	ONWAAR
Kathodische bescherming (opgedrukte stroom)	ONWAAR
De beton onder vacuüm behandelen met siliciumtetrafluoridegas (SiF ₄)	ONWAAR
De beton behandelen met natriumsilicaat of magnesiumfluorsilicaat	ONWAAR
Extra laagdekking aanbrengen (opofferingslaag) met spuitbeton; Natte mortel	WAAR
Extra laagdekking aanbrengen (opofferingslaag) met spuitbeton; Natte mortel	WAAR
Omgeving neutraliseren	ONWAAR
Hogedrukinjectie beton met lithium nitraat	ONWAAR
Aanbrengen brandwerende laag	ONWAAR
Aanbrengen hittewerende bekleding	ONWAAR

Reparatietechnieken	
Injectie scheuren met epoxy	ONWAAR
Hogedruk injectie scheuren met epoxy	ONWAAR
Handmatig repareren (epoxylaag)	WAAR
Handmatig repareren (PCC mortel)	ONWAAR
Handmatig repareren (cementgebonden gietmortel)	ONWAAR
Handmatig repareren (epoxytroffelmassa)	ONWAAR
Beton dechloreren	ONWAAR
Realkaliseren (elektrochemisch)	ONWAAR

Versterkingstechnieken	
Hogedruk injectie scheuren met epoxy	ONWAAR
Handmatig repareren (epoxymassa's)	ONWAAR
Handmatig repareren (PCC mortel)	ONWAAR
Handmatig repareren (cementgebonden gietmortel)	ONWAAR
Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Natte mortel	WAAR
Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Droge mortel	WAAR
Lijmwapening toepassen	ONWAAR
Uitwendige voorspanwapening toepassen	ONWAAR
Koolstofvezel versterking aanbrengen	ONWAAR

Klopt!

Controle 2C – Zuuraantasting Correctief Onderhoud + Andere waardepercentage

Waarden:

Score	Esthetica	Kosten	Uitvoering	Levensduur verlenging	Kans op herhaling probleem
Waarde %	50,0%	100,0%	50,0%	75,0%	50,0%
0	Maatregel verbeterd de uitstraling van het kunstwerk	Geen kosten	Kost geen tijd en werkzaamheden	Geen levensduur verlenging	Geen kans op herhaling
1	Maatregel brengt de constructie terug in zijn waarde	Lage kosten	Kost weinig tijd en werkzaamheden	> 10 jaar verlenging	Kans op herhaling > 50%
2	Maatregel zichtbaar beter dan het was, maar niet tot	Kosten	Kost wel tijd en werkzaamheden	5 – 10 jaar verlenging	Kans op herhaling 10-50%
3	Maatregel heeft negatieve invloed op esthetische waarde	Hoge kosten	Kost veel tijd en werkzaamheden	< 5 jaar verlenging	Kleine kans op herhaling < 10%

Het type onderhoud wordt bepaald:

Zuren	2	2	2	2	2	CRO
Sulfaat aantasting (ESA)	5	0	0	0	0	GO
Sulfaat aantasting (ISA)	5	0	0	0	0	GO
ASR	5	0	0	0	0	GO

De conserveringstechnieken:

Zuren	De beton onder vacuüm behandelen met siliciumtetrafluoridegas (SiF4)	NEE	1	3	3	2	2	17
	De beton behandelen met natriumsilicaat of magnesiumfluorsilicaat	NEE	1	3	3	2	2	17
	Extra laagdekking aanbrengen (opofferingslaag) met spuitbeton; Natte mortel	JA	2	3	3	1	1	25
	Extra laagdekking aanbrengen (opofferingslaag) met spuitbeton; Natte mortel	JA	2	3	3	1	2	17
	Omgeving neutraliseren	NEE	1	1	2	2	3	36

De reparatietechnieken:

Zuren	Handmatig repareren (epoxylaag)	JA	3	1	2	2	2	33
-------	---------------------------------	----	---	---	---	---	---	----

De versterkingstechnieken:

Zuren	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Natte mortel	JA	1	2	3	2	1	36
	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Droge mortel	JA	1	2	3	2	1	36
	Handmatig repareren (epoxymassa's)	JA	1	2	2	2	2	33
	Handmatig repareren (cementgebonden gietmortel)	JA	1	2	2	2	3	25

Conclusie:

In het werkblad “Advies” zou naar voren moeten komen:

Preservering = Omgeving neutraliseren

Reparatie = Handmatig repareren (epoxylaag)

Versterking = Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Natte of Droge mortel

Preserveringstechnieken				
De beton onder vacuüm behandelen met siliciumtetrafluoridegas (SiF4)	De beton behandelen met natriumsilicaat of magnesiumfluorsilicaat	Extra laagdekking aanbrengen (opofferingslaag) met spuitbeton; Natte mortel	Extra laagdekking aanbrengen (opofferingslaag) met spuitbeton; Natte mortel	Omgeving neutraliseren
ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	WAAR

Reparatie technieken	
Handmatig repareren (epoxylaag)	0
WAAR	ONWAAR

Versterkings technieken			
Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Natte mortel	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Droge mortel	Handmatig repareren (epoxymassa's)	Handmatig repareren (cementgebonden gietmortel)
WAAR	WAAR	ONWAAR	ONWAAR

Klopt!

Controle of dit ook terugkomt in de conclusie:

Preserveringstechnieken	
Injectie scheuren met poly-urethaan	ONWAAR
Hogedruk injectie scheuren met poly-urethaan	ONWAAR
Belasting verlagen	ONWAAR
Snelheid verkeer verlagen (frequentie)	ONWAAR
Dampdoorlatende coating met een hoge diffusie weerstand aanbrengen die zuurstof buiten constructie houdt	ONWAAR
Beton impregneren (hydrofoberen) zodat vocht buiten de constructie blijft	ONWAAR
Kathodische bescherming (opgedrukte stroom)	ONWAAR
De beton onder vacuüm behandelen met siliciumtetrafluoridegas (SiF4)	ONWAAR
De beton behandelen met natriumsilicaat of magnesiumfluorsilicaat	ONWAAR
Extra laagdekking aanbrengen (opofferingslaag) met spuitbeton; Natte mortel	ONWAAR
Extra laagdekking aanbrengen (opofferingslaag) met spuitbeton; Natte mortel	ONWAAR
Omgeving neutraliseren	WAAR
Hogedruk injectie beton met lithium nitraat	ONWAAR
Aanbrengen brandwerende laag	ONWAAR
Aanbrengen hittewerende bekleding	ONWAAR

Reparatietechnieken	
Injectie scheuren met epoxy	ONWAAR
Hogedruk injectie scheuren met epoxy	ONWAAR
Handmatig repareren (epoxylaag)	ONWAAR
Handmatig repareren (PCC mortel)	ONWAAR
Handmatig repareren (cementgebonden gietmortel)	ONWAAR
Handmatig repareren (epoxytroffelmassa)	ONWAAR
Beton dechloreren	ONWAAR
Realkaliseren (elektrochemisch)	ONWAAR

Versterkingstechnieken	
Hogedruk injectie scheuren met epoxy	ONWAAR
Handmatig repareren (epoxymassa's)	ONWAAR
Handmatig repareren (PCC mortel)	ONWAAR
Handmatig repareren (cementgebonden gietmortel)	ONWAAR
Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Natte mortel	WAAR
Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Droge mortel	WAAR
Lijmwapening toepassen	ONWAAR
Uitwendige voorspanwapening toepassen	ONWAAR
Koolstofvezel versterking aanbrengen	ONWAAR

Klopt!

Controle 3A – Chloride aantasting Preventief Onderhoud + Externe Sulfaat aantasting Correctief Onderhoud

Het type onderhoud wordt bepaald:

Carbonatatie	5	0	0	0	0	GO
Chloride aantasting	4	2	1	2	1	PVO
Zuren	5	0	0	0	0	GO
Sulfaat aantasting (ESA)	2	2	2	2	2	CRO
Sulfaat aantasting (ISA)	5	0	0	0	0	GO
ASR	5	0	0	0	0	GO

De preserveringstechnieken:

Chloride aantasting	Dampdoorlatende coating met een hoge diffusie weerstand aanbrengen die zuurstof buiten constructie houdt	NEE	1	1	2	3	2	39
	Beton impregneren (hydrofoberen) zodat vocht buiten de constructie blijft	NEE	1	1	2	3	2	39
	Kathodische bescherming (opgedrukte stroom)	NEE	1	2	2	1	1	53
	Injectie scheuren met poly-urethaan	NEE	2	1	2	2	2	42
	Hogedruk injectie scheuren met poly-urethaan	NEE	2	2	2	1	2	39
Sulfaat aantasting ESA	Beton impregneren (hydrofoberen) zodat vocht buiten de constructie blijft	NEE	1	1	2	3	2	39
	Injectie scheuren met poly-urethaan	NEE	2	1	2	2	2	42
	Hogedruk injectie scheuren met poly-urethaan	NEE	2	2	2	1	2	39

De reparatietechnieken:

Chloride aantasting	Injectie scheuren met epoxy	JA	2	1	2	2	2	42
	Handmatig repareren (epoxylaag)	JA	3	1	2	2	2	39
	Beton dechloreren	NEE	1	2	3	2	2	31
	Realkaliseren (elektrochemisch)	NEE	1	2	3	2	2	31
Sulfaat aantasting ESA	Injectie scheuren met epoxy	JA	2	1	2	2	2	42
	Hogedruk injectie scheuren met epoxy	JA	2	2	2	1	2	39
	Handmatig repareren (epoxylaag)	JA	3	1	2	2	2	39
	Handmatig repareren (PCC mortel)	JA	3	0	2	2	2	47

De versterkingstechnieken:

Chloride aantasting	Hogedruk injectie scheuren met epoxy	JA	2	2	1	3	3	22
	Handmatig repareren (epoxymassa's)	JA	1	2	2	2	2	36
	Handmatig repareren (PCC mortel)	JA	2	2	2	2	3	22
	Handmatig repareren (cementgebonden gietmortel)	JA	1	2	2	2	3	25
	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Natte mortel	JA	2	2	3	2	3	17
	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Droge mortel	JA	2	2	3	2	2	28
	Lijmwapening toepassen	JA	2	3	2	2	3	14
	Uitwendige voorspanwapening toepassen	JA	3	2	3	2	3	14
	Koolstofvezel versterking aanbrengen	JA	2	3	2	2	1	36
	Hogedruk injectie scheuren met epoxy	JA	2	2	1	3	3	22
Sulfaat aantasting ESA	Handmatig repareren (epoxymassa's)	JA	1	2	2	2	2	36
	Handmatig repareren (PCC mortel)	JA	2	2	2	2	3	22
	Handmatig repareren (cementgebonden gietmortel)	JA	1	2	2	2	3	25
	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Natte mortel	JA	2	2	3	2	3	17
	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Droge mortel	JA	2	2	3	2	2	28
	Lijmwapening toepassen	JA	2	3	2	2	3	14
	Uitwendige voorspanwapening toepassen	JA	3	2	3	2	3	14

Conclusie:

In het werkblad "Advies" zou naar voren moeten komen:

Preservering = Kathodische bescherming, Scheuren Injecteren (poly-urethaan).

Reparatie = Injectie scheuren met epoxy, Handmatig repareren (PCC Mortel)

Versterking = Handmatig repareren (epoxymassa's).

Preserveringstechnieken				
Dampdoorlatende coating met een hoge diffusie weerstand aanbrengen die zuurstof buiten constructie houdt	Beton impregneren (hydrofoberen) zodat vocht buiten de constructie blijft	Kathodische bescherming (opgedrukte stroom)	Injectie scheuren met poly-urethaan	Hogedruk injectie scheuren met poly-urethaan
ONWAAR	ONWAAR	WAAR	ONWAAR	ONWAAR

Preserveringstechnieken		
Beton impregneren (hydrofoberen) zodat vocht buiten de constructie blijft	Injectie scheuren met poly-urethaan	Hogedruk injectie scheuren met poly-urethaan
ONWAAR	WAAR	ONWAAR

Reparatie technieken				
Injectie scheuren met epoxy	Handmatig repareren (epoxylaag)	Beton dechloreren	Injectie scheuren met epoxy	Realkaliseren (elektrochemisch)
WAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR

Reparatie technieken			
Injectie scheuren met epoxy	Hogedruk injectie scheuren met epoxy	Handmatig repareren (epoxylaag)	Handmatig repareren (PCC mortel)
ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	WAAR

Versterkingstechnieken								
Hogedruk injectie scheuren met epoxy	Handmatig repareren (epoxymassa's)	Handmatig repareren (PCC mortel)	Handmatig repareren (cementgebonden gietmortel)	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Natte mortel	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Droge mortel	Lijmwapening toepassen	Uitwendige voorspanwapening toepassen	Koolstofvezel versterking aanbrengen
ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR

Versterkingstechnieken							
Hogedruk injectie scheuren met epoxy	Handmatig repareren (epoxymassa's)	Handmatig repareren (PCC mortel)	Handmatig repareren (cementgebonden gietmortel)	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Natte mortel	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Droge mortel	Lijmwapening toepassen	Uitwendige voorspanwapening toepassen
ONWAAR	WAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR

Klopt!

Controle of dit ook terugkomt in de conclusie:

Preserveringstechnieken	
Injectie scheuren met poly-urethaan	ONWAAR
Hogedruk injectie scheuren met poly-urethaan	WAAR
Belasting verlagen	ONWAAR
Snelheid verkeer verlagen (frequentie)	ONWAAR
Dampdoorlatende coating met een hoge diffusie weerstand aanbrengen die zuurstof buiten constructie houdt	ONWAAR
Beton impregneren (hydrofoberen) zodat vocht buiten de constructie blijft	ONWAAR
Kathodische bescherming (opgedrukte stroom)	WAAR
De beton onder vacuüm behandelen met siliciumtetrafluoridegas (SiF ₄)	ONWAAR
De beton behandelen met natriumsilicaat of magnesiumfluorsilicaat	ONWAAR
Extra laagdekking aanbrengen (opofferingslaag) met spuitbeton; Natte mortel	ONWAAR
Extra laagdekking aanbrengen (opofferingslaag) met spuitbeton; Natte mortel	ONWAAR
Omgeving neutraliseren	ONWAAR
Hogedrukinjectie beton met lithium nitraat	ONWAAR
Aanbrengen brandwerende laag	ONWAAR
Aanbrengen hittewerende bekleding	ONWAAR
Reparatietechnieken	
Injectie scheuren met epoxy	WAAR
Hogedruk injectie scheuren met epoxy	WAAR
Handmatig repareren (epoxylaag)	ONWAAR
Handmatig repareren (PCC mortel)	ONWAAR
Handmatig repareren (cementgebonden gietmortel)	ONWAAR
Handmatig repareren (epoxytroffelmassa)	ONWAAR
Beton dechloreren	ONWAAR
Realkaliseren (elektrochemisch)	ONWAAR
Versterkingstechnieken	
Hogedruk injectie scheuren met epoxy	ONWAAR
Handmatig repareren (epoxymassa's)	WAAR
Handmatig repareren (PCC mortel)	ONWAAR
Handmatig repareren (cementgebonden gietmortel)	ONWAAR
Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Natte mortel	ONWAAR
Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Droge mortel	ONWAAR
Lijmwapening toepassen	ONWAAR
Uitwendige voorspanwapening toepassen	ONWAAR
Koolstofverzel versterking aanbrengen	ONWAAR

Klopt!

Controle 3B – Chloride aantasting Preventief Onderhoud + Externe Sulfaat aantasting Correctief Onderhoud + Andere waardepercentage

Waarden:

Score	Esthetica	Kosten	Uitvoering	Levensduur verlenging	Kans op herhaling probleem
Waarde %	50,0%	100,0%	50,0%	75,0%	50,0%
0	Maatregel verbeterd de uitstraling van het kunstwerk	Geen kosten	Kost geen tijd en werkzaamheden	Geen levensduur verlenging	Geen kans op herhaling
1	Maatregel brengt de constructie terug in zijn waarde	Lage kosten	Kost weinig tijd en werkzaamheden	> 10 jaar verlenging	Kans op herhaling > 50%
2	Maatregel zichtbaar beter dan het was, maar niet tot	Kosten	Kost wel tijd en werkzaamheden	5 – 10 jaar verlenging	Kans op herhaling 10-50%
3	Maatregel heeft negatieve invloed op esthetische waarde	Hoge kosten	Kost veel tijd en werkzaamheden	< 5 jaar verlenging	Kleine kans op herhaling < 10%

Het type onderhoud wordt bepaald:

Carbonatatie	5	0	0	0	0	GO
Chloride aantasting	4	2	1	2	1	PVO
Zuren	5	0	0	0	0	GO
Sulfaat aantasting (ESA)	2	2	2	2	2	CRO
Sulfaat aantasting (ISA)	5	0	0	0	0	GO
ASR	5	0	0	0	0	GO

De preserveringstechnieken:

Chloride aantasting	Dampdoorlatende coating met een hoge diffusie weerstand aanbrengen die zuurstof buiten constructie houdt	NEE	1	1	2	3	2	36
	Beton impregneren (hydrofoberen) zodat vocht buiten de constructie blijft	NEE	1	1	2	3	2	36
	Kathodische bescherming (opgedrukte stroom)	NEE	1	1	2	2	1	50
	Injectie scheuren met poly-urethaan	NEE	2	1	2	2	2	39
	Hogedruk injectie scheuren met poly-urethaan	NEE	2	2	2	1	2	36
Sulfaat aantasting ESA	Beton impregneren (hydrofoberen) zodat vocht buiten de constructie blijft	NEE	1	1	2	3	2	36
	Injectie scheuren met poly-urethaan	NEE	2	1	2	2	2	39
	Hogedruk injectie scheuren met poly-urethaan	NEE	2	2	2	1	2	36

De reparatietechnieken:

Chloride aantasting	Injectie scheuren met epoxy	JA	2	1	2	2	2	39
	Handmatig repareren (epoxylaag)	JA	3	1	2	2	2	33
	Beton dechloreren	NEE	1	2	3	2	2	28
	Realiseren (elektrochemisch)	NEE	1	2	3	2	2	28
Sulfaat aantasting ESA	Injectie scheuren met epoxy	JA	2	1	2	2	2	39
	Hogedruk injectie scheuren met epoxy	JA	2	2	2	1	2	33
	Handmatig repareren (epoxylaag)	JA	3	1	2	2	2	33
	Handmatig repareren (PCC mortel)	JA	3	0	2	2	2	45

De versterkingstechnieken:

Chloride aantasting	Hogedruk injectie scheuren met epoxy	JA	2	2	1	3	3	20
	Handmatig repareren (epoxymassa's)	JA	1	2	2	2	2	33
	Handmatig repareren (PCC mortel)	JA	2	2	2	2	3	20
	Handmatig repareren (cementgebonden gietmortel)	JA	1	2	2	2	3	25
	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Natte mortel	JA	2	2	3	2	3	14
	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Droge mortel	JA	2	2	3	2	2	22
	Lijmwapening toepassen	JA	2	3	2	2	3	8
	Uitwendige voorspanwapening toepassen	JA	3	2	3	2	3	8
	Koolstofvezel versterking aanbrengen	JA	2	3	2	2	1	25
Sulfaat aantasting ESA	Hogedruk injectie scheuren met epoxy	JA	2	2	1	3	3	20
	Handmatig repareren (epoxymassa's)	JA	1	2	2	2	2	33
	Handmatig repareren (PCC mortel)	JA	2	2	2	2	3	20
	Handmatig repareren (cementgebonden gietmortel)	JA	1	2	2	2	3	25
	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Natte mortel	JA	2	2	3	2	3	14
	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Droge mortel	JA	2	2	3	2	2	22
	Lijmwapening toepassen	JA	2	3	2	2	3	8
	Uitwendige voorspanwapening toepassen	JA	3	2	3	2	3	8

Conclusie:

In het werkblad "Advies" zou naar voren moeten komen:

Preservering = Kathodische bescherming, Scheuren Injecteren (poly-urethaan).

Reparatie = Injectie scheuren met epoxy, handmatig repareren (PCC mortel)

Versterking = Handmatig repareren (epoxymassa's)

Preserveringstechnieken				
Dampdoorlatende coating met een hoge diffusie weerstand aanbrengen die zuurstof buiten constructie houdt	Beton impregneren (hydrofoberen) zodat vocht buiten de constructie blijft	Kathodische bescherming (opgedrukte stroom)	Injectie scheuren met poly-urethaan	Hogedruk injectie scheuren met poly-urethaan
ONWAAR	ONWAAR	WAAR	ONWAAR	ONWAAR

Preserveringstechnieken		
Beton impregneren (hydrofoberen) zodat vocht buiten de constructie blijft	Injectie scheuren met poly-urethaan	Hogedruk injectie scheuren met poly-urethaan
ONWAAR	WAAR	ONWAAR

Reparatie technieken				
Injectie scheuren met epoxy	Handmatig repareren (epoxylaag)	Beton dechloreren	Injectie scheuren met epoxy	Realkaliseren (elektrochemisch)
WAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR

Reparatie technieken			
Injectie scheuren met epoxy	Hogedruk injectie scheuren met epoxy	Handmatig repareren (epoxylaag)	Handmatig repareren (PCC mortel)
ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	WAAR

Versterkingstechnieken								
Hogedruk injectie scheuren met epoxy	Handmatig repareren (epoxymassa's)	Handmatig repareren (PCC mortel)	Handmatig repareren (cementgebonden gietmortel)	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Natte mortel	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Droge mortel	Lijmwapening toepassen	Uitwendige voorspanwapening toepassen	Koolstofvezel versterking aanbrengen
ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR

Versterkingstechnieken							
Hogedruk injectie scheuren met epoxy	Handmatig repareren (epoxymassa's)	Handmatig repareren (PCC mortel)	Handmatig repareren (cementgebonden gietmortel)	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Natte mortel	Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Droge mortel	Lijmwapening toepassen	Uitwendige voorspanwapening toepassen
ONWAAR	WAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR	ONWAAR

Klopt!

Controle of dit ook terugkomt in de conclusie:

Preserveringstechnieken	
Injectie scheuren met poly-urethaan	WAAR
Hogedruk injectie scheuren met poly-urethaan	ONWAAR
Belasting verlagen	ONWAAR
Snelheid verkeer verlagen (frequentie)	ONWAAR
Dampdoorlatende coating met een hoge diffusie weerstand aanbrengen die zuurstof buiten constructie houdt	ONWAAR
Beton impregneren (hydrofoberen) zodat vocht buiten de constructie blijft	ONWAAR
Kathodische bescherming (opgedrukte stroom)	WAAR
De beton onder vacuüm behandelen met siliciumtetrafluoridegas (SiF ₄)	ONWAAR
De beton behandelen met natriumsilicaat of magnesiumfluorsilicaat	ONWAAR
Extra laagdekking aanbrengen (opofferingslaag) met spuitbeton; Natte mortel	ONWAAR
Extra laagdekking aanbrengen (opofferingslaag) met spuitbeton; Natte mortel	ONWAAR
Omgeving neutraliseren	ONWAAR
Hogedrukinjectie beton met lithium nitraat	ONWAAR
Aanbrengen brandwerende laag	ONWAAR
Aanbrengen hittewerende bekleding	ONWAAR

Reparatietechnieken	
Injectie scheuren met epoxy	WAAR
Hogedruk injectie scheuren met epoxy	ONWAAR
Handmatig repareren (epoxylaag)	ONWAAR
Handmatig repareren (PCC mortel)	WAAR
Handmatig repareren (cementgebonden gietmortel)	ONWAAR
Handmatig repareren (epoxytroffelmassa)	ONWAAR
Beton dechloreren	ONWAAR
Realkaliseren (elektrochemisch)	ONWAAR

Versterkingstechnieken	
Hogedruk injectie scheuren met epoxy	ONWAAR
Handmatig repareren (epoxymassa's)	WAAR
Handmatig repareren (PCC mortel)	ONWAAR
Handmatig repareren (cementgebonden gietmortel)	ONWAAR
Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Natte mortel	ONWAAR
Constructie overlagen met gewapend spuitbeton; Droge mortel	ONWAAR
Lijmwapening toepassen	ONWAAR
Uitwendige voorspanwapening toepassen	ONWAAR
Koolstofvezel versterking aanbrengen	ONWAAR

Klopt!

Bronnen

Literatuur

- Bakker, R. e. (1992). *Realkalisatie en chloride-extractie van beton*. CUR.
- Betoniek. (1974). Chemische aantasting van beton. *Betoniek*.
- Betoniek. (1975). Injecteren van scheuren. *Betoniek*.
- Betoniek. (1980). Schade door vorst en dooizouten. *Betoniek*.
- Betoniek. (1986). Krimpen en zwellen. *Betoniek*.
- Betoniek. (1987). De treksterkte van beton. *Betoniek*.
- Betoniek. (1990). Eigenschappen van beton 1. *Betoniek*. Opgehaald van Betoniek.
- Betoniek. (1990). Eigenschappen van beton 2. *Betoniek*.
- Betoniek. (1991). Carbonatatie en corrosie. *Betoniek*.
- Betoniek. (1991). Scheurkalender. *Betoniek*.
- Betoniek. (1993). Kritisch chloridegehalte. *Betoniek*.
- Betoniek. (1994). Alkali-silica gehalte. *Betoniek*.
- Betoniek. (1995). Druksterkte in het werk. *Betoniek*.
- Betoniek. (1998). 't Is zuur. *Betoniek*.
- Betoniek. (1999). Vorst en dooi. *Betoniek*.
- Betoniek. (2002). Voorkomen van ASR. *Betoniek*.
- Betoniek. (2003). De B van beton. *Betoniek*.
- Betoniek. (2003). Gevraagd 100 jaar. *Betoniek*.
- Betoniek. (2004). ASR in beeld. *Betoniek*.
- Betoniek. (2007). De stukken eraf. *Betoniek*.
- Betoniek. (2008). Brand! *Betoniek*.
- Betoniek. (2014). Dicht die scheur! *Betoniek*.
- Betonlexicon. (2014, September; Oktober). *Hét woordenboek voor de betonwereld*. Opgehaald van Betonlexicon: <http://betonlexicon.nl/>
- Broomfield, J. (1996). *The Repair of Reinforced Concrete*. The Building Conservation Directory.
- Cement en Betoncentrum. (2014, Oktober 14). *Betontechnologie*. Opgehaald van Cement en Betoncentrum: <http://www.cementenbeton.nl/materiaal/betontechnologie>
- Cement en Betoncentrum. (2014, Oktober 15). *Materiaaleigenschappen*. Opgehaald van Cement en Betoncentrum: <http://www.cementenbeton.nl/materiaal/materiaaleigenschappen/mechanische-eigenschappen>
- Cement en Betoncentrum. (2014, Oktober 13). *Uitvoering Schoon Beton*. Opgehaald van Cement en Betoncentrum: <http://www.betoncentrale.nl/media/bestanden/brochure-uitvoering-schoon-beton-1.pdf>
- Erp, S. v. (2014). *Marktonderzoek bestaande bruggen*. Rosmalen: Heijmans.
- Ervas. (2014, November 17). *Realkalisatie voor beton middels elektrochemisch procédé*. Opgehaald van Ervas: <http://www.ervas.nl/betonrenovatie/oplossingen/electrochemisch-herstel/realkalisatie>
- Eurlings, C. (2014, Oktober 31). *Documenten en publicaties*. Opgehaald van Rijksoverheid: <http://www.rijksoverheid.nl/bestanden/documenten-en-publicaties/kamerstukken/2008/04/02/200831461905-onderzoek-kunstwerken/200831461905.pdf>
- Grundlehne, I. W. (2006). *Stufib - Rapport 9*. Stufib.
- Heiden, C. (2014, Oktober 23). Maatregelen Betonschades. (D. Jongste, Interviewer)
- Holcim, N.V. (2014, Oktober 17). *Duurzaam beton, samenstelling, productie en verwerking*. Opgehaald van Yumpu: <https://www.yumpu.com/nl/document/view/19695983/praktische-handleiding-holcim/85>
- Kamerling, M., & Daane, J. (2014). *Het versterken en verstijven van bestaande constructies*. Delft: TU Delft.
- kb-kenniscentrum. (2014, Oktober 17). *Betonschade mechanismen*. Opgehaald van kb-kenniscentrum: <http://www.kb-kenniscentrum.nl/techniek/betonschade-mechanismen>

- Kouwenhoven, H. (2014, Oktober 17). *Duurzaamheid van fabrieksmatig vervaardigde betonproducten*. Opgehaald van Betonplaza: <http://betonplaza.nl/Documenten/AB-FAB%20Duurzaamheid.pdf>
- Kreeft. (2014, November 17). *Kreeft*. Opgehaald van Betonrenovatie & injectietechnieken B.V.: <http://www.kreeft.nl/nl/diensten-en-producten/betonrenovatie/>
- Nederlandse bruggenstichting. (2014, September 24). *Database bruggen*. Opgehaald van Nederlandse bruggenstichting: <http://www.bruggenstichting.nl/database-bruggen.html>
- NEN. (2014, November 17). *NEN*. Opgehaald van Eurocode - Grondslagen van het constructief ontwerp: <http://www.nen.nl/NEN-Shop/Norm/NENEN-19902002NB2007-nl.htm>
- Nieuwsblad. (2014, oktober 25). *Helpt van Vlaamse bruggen heeft herstelling nodig*. Opgehaald van Nieuwsblad: http://www.nieuwsblad.be/article/detail.aspx?articleid=dmf20131212_00884138
- Nieuwsbladtransport. (2014, Oktober 31). *Opnieuw gammele verkeersbrug in Duitsland gesloten*. Opgehaald van Nieuwsbladtransport: <http://www.nieuwsbladtransport.nl/Nieuws/Article/tabid/85/ArticleID/37030/ArticleName/OpnieuwgammeleverkeersbruginDuitslandgesloten/Default.aspx>
- Noortwijk, J. v. (2002). *Onderhoudsoptimalisatie*. Rijkswaterstaat.
- NRC. (2014, Oktober 25). *VS laten onderhoud infrastructuur versloffen*. Opgehaald van NRC: http://vorige.nrc.nl/buitenland/article1824678.ece/VS_laten_onderhoud_infrastructuur_versloffen
- Plante, J. (2014, oktober 25). *Duitse snelwegen in slechte staat*. Opgehaald van NOS: <http://nos.nl/artikel/643397-duitse-snelwegen-in-slechte-staat.html>
- Ployaert, C. (2014, Oktober 17). *Beton in de landbouw*. Opgehaald van Febelcem: http://www.febelcem.be/fileadmin/user_upload/dossiers-ciment-94-08/nl/27_nl.pdf
- Ployaert, C. (2014, September 29). *Ontwerp van betonconstructies bestand tegen vorst-dooicycli en dooizouten*. Opgehaald van Eupave: <http://www.eupave.eu/documents/graphics/inventory-of-documents/febelcem-publicaties/design-of-concrete-structures-resisting-to-frost-thaw-and-de-icing-salts-nl.pdf>
- Rademaker, E. (2014, Oktober 14). *Handboek voor oriënterende inspectie ASR*. Opgehaald van Rijkswaterstaat: http://www.rijkswaterstaat.nl/images/Handboek%20ASR_tcm174-329891.pdf
- Reuters. (2014, oktober 31). *Brug stortte in na botsing vrachtwagen tegen balk*. Opgehaald van Het Parool: <http://www.parool.nl/parool/nl/225/BUITENLAND/article/detail/3446975/2013/05/25/Brug-stortte-in-na-botsing-vrachtwagen-tegen-balk.dhtml>
- Rijkswaterstaat. (2007). *Inventarisatie kunstwerken (bruggen, tunnels en viaducten)*. Rijkswaterstaat.
- Rijkswaterstaat. (2014, September 29). *Alkali-silicareactie in beton*. Opgehaald van Rijkswaterstaat: http://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/efficient_onderhoud/alkali_silicareactie_in_beton/
- Rijkswaterstaat. (2014, oktober 31). *InfraQuest: samenwerking verbetert infrastructuur*. Opgehaald van Rijkswaterstaat: http://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/magazines/wegeninfo/juli_2012/infraquest-samenwerking-verbetert-infrastructuur.aspx
- Rijkswaterstaat. (2014, September 2). *Inventarisatie Kunstwerken Bruggen Tunnels en Viaducten*. Opgehaald van Rijkswaterstaat: <http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/rapporten/2007/09/26/inventarisatie-kunstwerken-bruggen-tunnels-en-viaducten.html>
- Sika. (2009). *Brugversterking met Sika CarboDur*. Sika.
- Sitra Engineers. (2014, September 29). *Restlevensduur Analyses*. Opgehaald van Sitra Engineers: http://www.sintra-engineers.nl/downloads/sintra_rest_levensduur.pdf
- Van Dale. (2014). *Nederlands woordenboek*. Opgehaald van Van Dale: <http://vandale.nl/>
- Vereniging van gecertificeerde beton reparatiebedrijven . (2014, November 17). *Vereniging van gecertificeerde beton reparatiebedrijven* . Opgehaald van VBR.
- Whitehouse. (2014, oktober 25). *President Obama speaks rebuilding our infrastructure*. Opgehaald van Whitehouse: <http://www.whitehouse.gov/photos-and-video/video/2014/05/14/president-obama-speaks-rebuilding-our-infrastructure>

Afbeeldingen

Afbeelding 1 - Plaatbrug	7
Afbeelding 2 - Liggerbrug	7
Afbeelding 3 - Liggerbrug	8
Afbeelding 4 - Bord spitsstroken.....	9
Afbeelding 5 - Liggerbrug	9
Afbeelding 6 - Bezweken balk	13
Afbeelding 7 - Scheurwijdte.....	14
Afbeelding 8 - Chloride aantasting	17
Afbeelding 9 - Zuuraantasting	19
Afbeelding 10 - Verzuuringsgraad beton	20
Afbeelding 11 - Schollen van beton.....	20
Afbeelding 12 - Aantastingsproblemen	22
Afbeelding 13 - Oorzaak corrosie	22
Afbeelding 14 - Bezweken brug.....	23
Afbeelding 15 - Bruggen.....	30
Afbeelding 16 - Bezweken brug.....	31
Afbeelding 18 - Handmatig repareren gietmortel	34
Afbeelding 17 - Handmatig repareren cementgebonden grout	34
Afbeelding 19 - Spuitbeton	36
Afbeelding 20 - Plakwapening	37
Afbeelding 21 - Onderspannen brug	37
Afbeelding 22 - Viaduct Zutphensestraat A1	48
Afbeelding 23 - Spoorviaduct A1	49
Afbeelding 24 - IJsselbrug A1.....	50

Afbeelding op omslagpagina - <http://kassa.vara.nl/actueel/diginieuws/artikel/nieuws/spitsstrook-werkt-als-boetefuik/>

Tabellen

Tabel 1 - Bouwwijze bruggen	6
Tabel 2 - Materiaal bij Bouwwijze bruggen.....	6
Tabel 3 - Bouwjaar.....	7
Tabel 4 - Overzicht Esthetische aantasting	12
Tabel 5 - Overzicht bezwijkmechanismen	16
Tabel 6 - Overzicht aantastingsmechanismen	21
Tabel 7 - Theoretische levensduur	40

