

Eindrapport

Problematiek historische kunstwerken

Opdrachtgever Hogeschool Utrecht
Bedrijf Nebest B.V.
Status Definitief
Uitvoeringsdatum februari 2010 t/m juni 2010
Uitvoering Frank Boer
Studentennummer 1512747

Autorisatie	Naam	Paraaf	Datum
Opstelling	F. Boer		
Begeleiding Nebest B.V.	M.E. Lodema		
	K. Bosman		
Begeleiding Hogeschool Utrecht	F. van Heerden		
	U. Backhausen		

Voorwoord

Dit rapport vormt de eindschrift van het afstudeeronderzoek ter afronding van mijn studie Civiele Techniek aan de Hogeschool Utrecht. Ik heb me van februari tot en met begin juni 2010 beziggehouden met het onderzoeken van de voorkomende problemen en het herstel hiervan bij oudere typen civiele constructies.

Het onderzoek is uitgevoerd voor en bij het ingenieursbureau Nebest Adviesgroep te Groot Ammers. Nebest Adviesgroep was geen onbekend bedrijf voor mij. Ik heb hier in de eerste helft van 2009 stage gelopen en ben vervolgens parttime werkzaam gebleven bij Nebest Duikinspectie. Al tijdens mijn stage werd duidelijk dat er genoeg interessante onderwerpen waren die als afstudeeronderzoek konden dienen.

Tot slot wil ik een aantal mensen bedanken voor de begeleiding en hulp tijdens mijn onderzoek. Mijn begeleider Mark Lodema van Nebest Adviesgroep en de docentbegeleiders van de Hogeschool Utrecht, Frans van Heerden en Ursula Backhausen. Zij zijn echter niet de enigen die mij geholpen hebben. Daarom wil ik ook alle collega's bedanken voor de wijze waarop zij mij bij de verschillende onderdelen geholpen hebben.

Frank Boer

Lopik, 26 mei 2010

Samenvatting

Historische kunstwerken komen in Nederland in veelvoud voor. Alleen al Rijkswaterstaat heeft ca. 5000 constructies, waarvan er ca. 1600 ouder zijn dan 50 jaar. Ten behoeve van de programmering van onderhoud dienen deze periodiek geïnspecteerd te worden, het gaat hierbij om een visuele inspectie. Na een eventuele visuele inspectie kan geadviseerd worden een vervolg inspectie uit te voeren, zoals een funderingsinspectie.

Een inventarisatie van de veelvoorkomende constructies is van belang omdat verwacht wordt dat in de toekomst een groot aantal van deze constructies geïnspecteerd en onderhouden dienen te worden. Aan de hand van deze inventarisatie kan een beginnend inspecteur zich een goed beeld vormen van de verschillende constructies. Uiteraard zijn er altijd nog constructies welke hierin niet voorkomen, dit omdat deze afwijken van de veelvoorkomende.

Aan de hand van de constructies is een decompositie gemaakt van de onderdelen die voorkomen, met het toegepaste materiaal. Aan de hand van de schadebeelden en schades aan de materialen kan een beginnend inspecteur een goed beeld vormen van de oorzaken van de schades. Met name bij de historische kunstwerken komen materialen voor welke tegenwoordig slechts gering nog worden toegepast, zoals gietijzer. Een voorbeeld van een oorzaak van schade aan metselwerk is vocht. Door het vocht zet het metselwerk uit, of door vochttransport in het metselwerk spoelen oplosbare zouten uit, waarna deze kristalliseren. Daarnaast is er nog het probleem van bevriezing, waarbij het water uitzet. Belangrijk is dus te weten wat de oorzaak van een schade is om deze te verhelpen, het oplappen van de constructie is slechts een tijdelijke maatregel.

Aan de hand van de oorzaken van de schades kan herstel plaats vinden. Een veel voorkomend probleem aan historische kunstwerken is de fundering. In loop der tijd kunnen houten palen aangetast worden door schimmels en bacteriën. Door die aantasting neemt de sterkte van het hout af, waarna deze de belastingen niet meer kan opnemen. Met name de pen-gat verbinding tussen de paal en de kesp is hier zeer gevoelig voor. Door deze verbinding is het aan te tasten oppervlak vergroot en de resterende dikte verkleind, waardoor deze sneller geheel aangetast wordt. Daarnaast kunnen houten palen een geringe dwarskracht opnemen, door aantasting van het hout wordt het risico op bezwijken vergroot. Oplossingen voor dit probleem zijn het wegnemen van de horizontale belasting op de palen, zoals het gebruik van klapankers. Gelet dient te worden op het uiterlijk van het kunstwerk, zodat deze zo gering mogelijk wordt aangetast.

Bij twijfel aan de veiligheid van de constructie is het verstandig deze rekenkundig te controleren. Aan de hand van deze rekenkundige controle kan er eventueel een herstelmaatregel berekend worden.

Aan de hand van deze gedane inventarisaties is een matrix opgesteld waarin overzichtelijk is weergegeven wat per constructietypen de veelvoorkomende problemen zijn, met de bijbehorende oplossingen.

De inventarisatie is toegepast op een bastion te Deventer, met een bouwjaar van ca. 1600. Vanwege de geplande verhoging is er een funderingsinspectie verricht en is de kade rekenkundig gecontroleerd. Het bastion te Deventer bestaat uit een samenwerkende fundering, waarbij zowel de ondergrond als de palen de belastingen opnemen. In de toekomst zullen de palen verder aangetast worden, waarna de constructie zal bezwijken indien er geen maatregelen worden genomen. Daarnaast heeft de gemeente plannen gemaakt voor een ophoging van de kade, hiervoor zal de kade eveneens versterkt moeten worden.

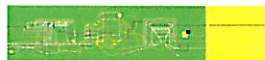
INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING.....	6
1.1	Aanleiding	6
1.2	Opbouw	6
1.2.1	Constructietypen	6
1.2.2	Schades aan materialen.....	6
1.2.3	Inspectiemethoden & schadebeelden	7
1.2.4	Omgevingsfactoren	7
1.2.5	Herstelmaatregelen.....	7
1.2.6	Matrix.....	7
2	BASTION.....	8
3	SCHADES	10
4	OMGEVINGSFACTOREN.....	12
5	REKENKUNDIGE CONTROLE.....	13
5.1	Rekenkundige controle.....	13
5.2	Optredende belastingen	14
5.3	Reactiekrachten van de palen	14
5.4	Kwaliteit palen.....	15
5.5	Toetsing verticale draagvermogen.....	15
5.6	Toetsing kantelen.....	16
5.7	Toetsing horizontale verplaatsing	17
5.8	Fundering op staal	19
5.8.1	Verticale verplaatsing, zakking	19
5.8.2	Horizontale verplaatsing, schuiven	20
5.8.3	Kantelen.....	20
5.9	Conclusie	20
6	HERSTELMAATREGELEN	21
6.1	Grout.....	21
6.2	Ankers	21
6.3	Tempex.....	21
7	CONCLUSIE.....	22
8	NAWOORD.....	23
9	LITERATUUROPGAVE	24

Bijlage 1 Constructietypen

Bijlage 2 Schade per materiaalsoort

Projectnaam : Eindrapport problematiek historische kunstwerken



5

Bijlage 3 Inspectiemethoden & schadebeelden

Bijlage 4 Omgevingsfactoren

Bijlage 5 Herstelmaatregelen

Bijlage 6 Matrix

Bijlage 7 Tekeningen Bastion

1 INLEIDING

1.1 Aanleiding

In Nederland bevinden zich vele civiele historische kunstwerken die periodiek geïnspecteerd worden, waaronder kademuren, sluizen, landhoofden van bruggen, stuwen en duikers. Nebest B.V. heeft normaliter 30 tot 40 projecten per jaar, die betrekking hebben op deze oudere typen civiele kunstwerken. Daarnaast heeft Nebest een veelzijdig archief van inspectiewerkzaamheden aan civiele historische kunstwerken. Deze inspecties zijn onderdeel van het onderhoud van het kunstwerk zelf; aan de hand van deze inspecties kan het onderhoudsplan opgesteld of aangepast worden.

De probleemstelling luidt als volgt:

Welke oplossing dan wel herstelmogelijkheden voor oudere typen civiele constructies zijn het best toepasbaar bij de meest voorkomende schades?

Een inventarisatie van de veelvoorkomende constructies is van belang omdat verwacht wordt dat in de toekomst een groot aantal van deze constructies geïnspecteerd en onderhouden dient te worden. Alleen al Rijkswaterstaat heeft ca. 5.000 constructies, waarvan er ca. 1.600 ouder zijn dan 50 jaar. Deze oude constructies staan vermoedelijk voor een groot deel op houten palen. Ten behoeve van de programmering van onderhoud dienen deze geïnspecteerd te worden. Door middel van een overzichtelijke matrix van deze constructies kan tijd bespaard worden.

Aan de hand van deze informatie is de volgende doelstelling samengesteld:

Het door middel van een matrix inzichtelijk maken van het constructietype, algemeen voorkomende problemen met bijbehorende gradaties en oplossingsmogelijkheden met een indicatie van de kosten.

1.2 Opbouw

Om het doel van dit afstudeerproject te realiseren is het in meerdere fasen onderverdeeld. Hieronder is door middel van een organigram een overzicht weergegeven hoe het onderzoek in stappen is verlopen.

De verschillende fasen zijn hieronder in het kort beschreven, waarbij wordt verwezen naar het rapport in de bijlage. Naast deze uitgewerkte fasen is het Bastion te Deventer geïnspecteerd, uitgewerkt, rekenkundig gecontroleerd en is een advies opgesteld voor de toekomst. Dit is beschreven vanaf hoofdstuk 2.

1.2.1 Constructietypen

Door middel van een inventarisatie zijn de meest voorkomende civiel historische typen kunstwerken overzichtelijk uitgewerkt. Hierbij is per soort constructie (kademuren, sluizen, bruggen, stuwen en duikers) een inventarisatie gemaakt van de verschillende typen constructies. Uiteraard is het mogelijk dat bepaalde constructies hierin niet in voorkomen; dit kan komen doordat deze niet of slechts in geringe mate voorkomen. De inventarisatie van de constructietypen is bijgevoegd in bijlage 1.

1.2.2 Schades aan materialen

Om inzicht te verkrijgen in de schades die kunnen voorkomen is onderscheid gemaakt in schades aan de materialen en schadebeelden aan de constructie. Schades aan de materialen betreft metselwerk, hout, beton en staal. De schadebeelden zijn in paragraaf 1.2.3 Inspectiemethoden & schadebeelden uitgewerkt. Bij het aantreffen van een schade zal getracht moeten worden de oorzaak te achterhalen, zodat de herstelmaatregelen hierop afgestemd kunnen worden. In bijlage 2 is de inventarisatie van de materialen bijgevoegd. Bij historische kunstwerken vindt in loop der tijd degradatie van de materialen plaats.

1.2.3 Inspectiemethoden & schadebeelden

Voor behoud of restauratie zal de status van een constructie achterhaald moeten worden. Het inspecteren van een constructie vormt onderdeel van het onderhoud, dat periodiek plaatsvindt. Aan de hand van de verschillende inspecties kan de oorzaak van een schade achterhaald worden. In bijlage 3 is het rapport bijgevoegd, waarin de inspectiemethoden met de veel voorkomende schadebeelden zijn uitgewerkt. Schade aan historische kunstwerken heeft grotendeels te maken met degradatie van de materialen.

1.2.4 Omgevingsfactoren

Constructies worden afgestemd op de omgeving, die dus alles bepalend is voor een constructie. Zo zijn de grondopbouw, grondwaterstand, waterkwaliteit etc. van belang voor de constructie. Daarnaast is tevens de bepaling van de monumentale waarde beschreven; dit rapport is te vinden in bijlage 4.

1.2.5 Herstelmaatregelen

Op basis van de vastgestelde oorzaak van de schade kan herstel plaatsvinden. Bij twijfel aan de constructie kan een rekenkundige controle geadviseerd worden. Van belang is de juiste oorzaak van de schades te achterhalen, zodat de herstelmaatregelen hierop afgestemd kunnen worden. Na goed herstel zal deze schade niet meer optreden; het rapport van de herstelmaatregelen is te vinden in bijlage 5. In het verleden zijn veel fouten gemaakt door gebrek aan kennis, zoals bij het repareren van metselwerk. Door het gebruik van een afwijkende mortel (ten opzichte van de bestaande) ontstaan veel ongewenste schades, zoals vochtproblemen.

1.2.6 Matrix

Aan de hand van de voorgaande rapporten is een matrix samengesteld, zoals deze is omschreven in de doelstelling van dit afstudeerrapport. De matrix is weergegeven in bijlage 6.

2 BASTION

In de volgende hoofdstukken is de nadruk gelegd op het bastion te Deventer. Een kade is niet zomaar gebouwd; deze heeft in het heden of verleden een aantal functies volbracht. Het bastion te Deventer bestaat uit een vijfhoekige uitbouw van een verdedigingswerk, die deel uitmaakt van een vesting of fort. In de huidige situatie bestaat het bastion nog uit drie hoeken, met een punt die aan beide kanten aansluit op een kade. Deze kade heeft een andere opbouw en een nieuwer bouwjaar ten opzichte van het bastion.

Het bouwjaar van het bastion ligt vermoedelijk tussen 1600 en 1700. In deze tijd werden voornamelijk gewichtsconstructies gebouwd. Hierbij wordt de grondkerende functie verkregen door het eigen gewicht van de muur. Dit gewicht rust op de ondergrond, waardoor zoveel schuifspanning wordt gemobiliseerd dat de constructie niet schuift of omvalt. De constructie kan op palen of op staal gefundeerd zijn, het bastion is een combinatie van beide. In de loop der tijd zijn diverse varianten van gewichtsconstructies gebouwd, zoals de veel voorkomende L-muur. Een overzichtsfoto van het bastion is weergegeven in figuur 2.1, terwijl in figuur 2.2 een doorsnede is weergegeven.

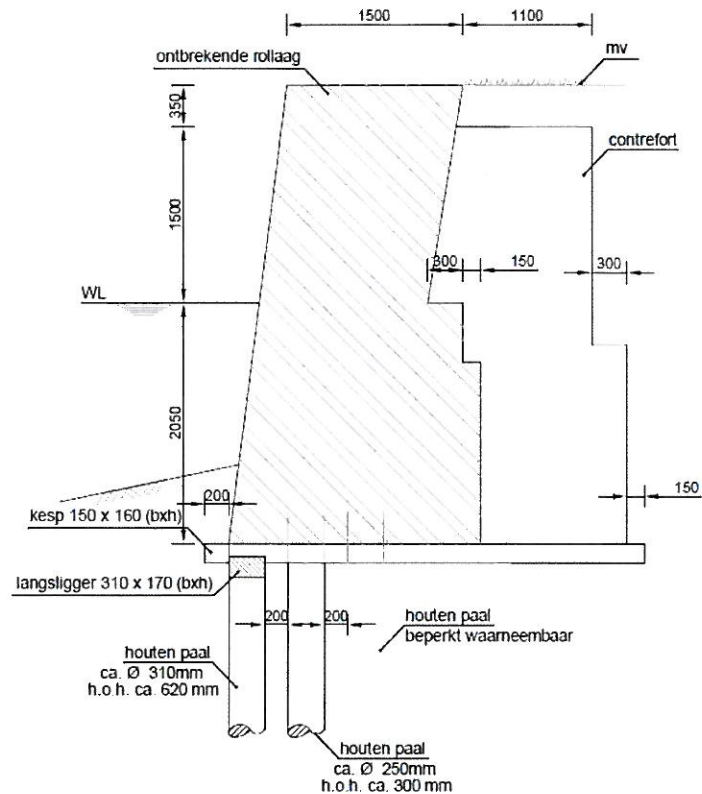


Figuur 2.1: Overzichtsfoto bastion te Deventer

In figuur 2.1 is een overzichtsfoto weergegeven van het vrij gegraven bastion. Hierin zijn met name de contreforts goed zichtbaar. Een contrefort is een steunbeer, een zijdelingse verdikking van de muur, verstijving in de langsrichting, waardoor de muur de gronddruk beter kan opnemen.

In totaal zijn op 7 locaties (3 buitenzijde, 4 binnenzijde) gaten gegraven tot onder de fundering. Vervolgens hebben duikers de toestand van de houten palen en het metselwerk beoordeeld en onderzocht. De aangetroffen schades zijn in hoofdstuk 3 beschreven.

In bijlage 7 zijn de tekeningen bijgevoegd van het bastion.



Figuur 2.2: Schematische doorsnede bastion

Het bastion is opgemetseld met een gebakken steen. Het metselwerk bestaat uit een laag koppen, afgewisseld met een laag strekken. De bovenzijde van de muur is afgewerkt met een rollaag van stenen.

Aan de waterzijde zijn de eerste twee paalrijen goed waarneembaar; door de geringe ruimte is de 3^e rij palen op slechts enkele locaties geconstateerd. Alle palen staan recht onder de muur. Er is geen grondkerend scherm aangetroffen onder de bastionmuur.

De palen hebben een h.o.h.-afstand van ca. 0,60 m; de palen zijn zowel rond als vierkant. In totaal zijn er drie rijen palen; de h.o.h.-afstand tussen de rijen is circa 0,60 m.

Aan de bovenzijde van de palen is een langsligger bevestigd, hoogstwaarschijnlijk door middel van een pen-gatverbinding. De kesp is door middel van een half houtverbinding verbonden met de langsligger.

3 SCHADES

Aan het bastion zijn onder andere zeer zachte paalkoppen aangetroffen. Enkele paalkoppen zijn met een mes indringbaar tot ca. 10 cm. De rest van de palen is in goede staat; de langsliggers en kespen zijn redelijk hard.

De bovenzijde van de muur is afgewerkt met een rollaag van stenen; deze ontbreekt gedeeltelijk. Ter plaatse van de waterlijn zijn de voegen uitgesleten; onder de waterlijn zijn ten gevolge van restauratie nieuwe stenen ingeboet. In het metselwerk zijn enkele scheuren aangetroffen ter plaatse van de overgang van de op staal gefundeerde naar de op palen gefundeerde muur.

De fundering is beproefd volgens het funderingsprotocol: een voorgeschreven naald is met een indringingsmeter (Specht) in het hout geschoten. De diepte van de indringing geeft een beeld van de aantasting van de buitenste schil van het onderzochte hout. De meetresultaten van deze indringing zijn weergegeven in tabel 3.1. Bij de onder water uitgevoerde indringingsmetingen is geen rekening gehouden met de weerstand die het apparaat onder water ondervindt.

paal	monsternr.	ø paal [mm]	gemiddeld [mm]	rest ø [mm]	afname ø [%]	afname A [%]
locatie 1	hm 2	240 x 280	1	238 x 278	2	2
locatie 2	hm 3	300	3	295	2	3
locatie 3	hm 4	340	5	330	3	6
locatie 4	hm 5	350	5	340	3	6

Tabel 3.1: Indringingsmetingen van de palen

Daarnaast zijn houtmonsters genomen van de houten onderdelen. Aan de hand van de genomen monsters kan het soort en de kwaliteit achterhaald worden. In de palen van het bastion zijn met name erosiebacteriën aangetroffen; deze tasten het hout aan, waardoor dit geen kracht meer kan opnemen. De meetresultaten zijn weergegeven in tabel 3.2.

Monster	Houtsoort	Aantasting
Paalkop 1	eiken	-
Paalkop 2	elzen	erosiebacteriën wisselend beeld
Langshout 3	eiken	erosiebacteriën wisselend beeld
Paalkop 4	elzen	erosiebacteriën en witrot wisselend beeld
Paalkop 5	elzen	erosiebacteriën sterk
Langshout 4	eiken	erosiebacteriën wisselend beeld
Paalkop 7	elzen	erosiebacteriën sterk
Paalkop 8	elzen	erosiebacteriën sterk
Paalkop 9	eiken	erosiebacteriën wisselend beeld

Tabel 3.2: Houtmonsteranalyse

De herkenning van de houtsoort gaat op basis van de anatomische structuur. Herkenning van de aantasting gaat op basis van anatomische aantastingspatronen en de aanwezigheid van micro-organismen. Er worden vijf patronen van aantasting onderscheiden, die door de volgende micro-organismen worden veroorzaakt: erosiebacteriën (EB), tunnelvormende bacteriën (TB), softrotschimmels (s), witrotschimmels (w) en bruinrotschimmels (b). In de fysieke aanwezigheid van schimmels worden twee soorten onderscheiden: blauwschimmels (B) en schimmeldraden (h). De afkorting tussen haakjes wordt in de houtmonsteranalyse van het rapport vermeld.

De classificatie van de mate van aantasting wordt gedaan volgens Klaassen (2008), waarbij de volgende klassen worden gebruikt: totale verwoesting (t), ernstige aantasting (e), matige aantasting (m), weinig aantasting (w) en gezond hout (g).

Om tot een zorgvuldige omschrijving van de mate van aantasting te komen, om een levensverwachting te kunnen uitspreken en om een inschatting te kunnen maken van de reststerkte worden het hout-

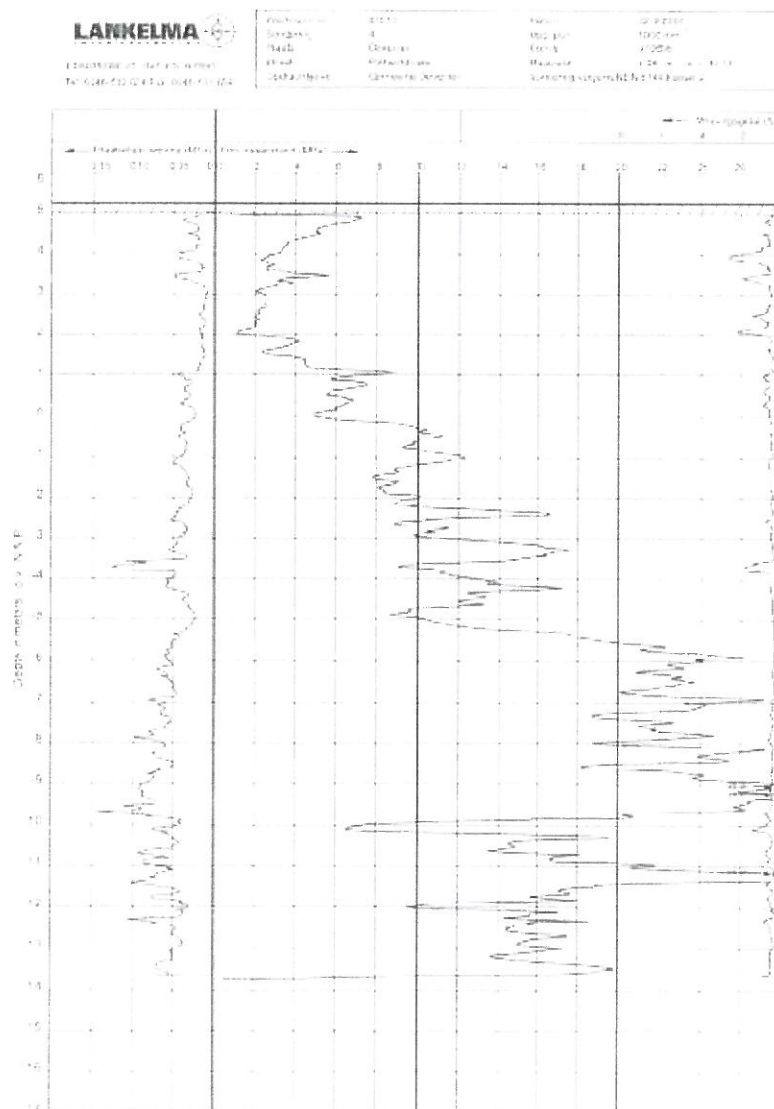
vochtgehalte en de volumieke massa van het houtmonster in stukjes van circa 15 mm bepaald door middel van wegen en drogen en wordt het aantal (aangetaste) jaarringen (JR) geteld. Op basis van het houtvochtgehalte kan met een door Klaassen (2008) opgesteld model, een redelijke schatting worden gemaakt van de druksterkte van het hout. De ingeschatte druksterkte is de zogenaamde korte druksterkte.

4 OMGEVINGSFACTOREN

Het bastion is gelegen aan de IJssel. Aan de achterzijde bevindt zich een primaire waterkering. Voor de rekenkundige controle en de herstel mogelijkheden zijn de omgevingsfactoren van groot belang. Aan het bastion zijn geen beschermde flora- en faunasoorten aangetroffen; de monumentale waarde is verder niet onderzocht.

De Gemeente Deventer heeft een aantal toekomstplannen nabij het bastion, waarbij de kade enkele meters wordt verhoogd. De exacte toekomstplannen zijn nog onduidelijk en zijn afhankelijk van de uitkomsten van de rekenkundige controle en de toe te passen herstel mogelijkheden.

De grondwaterstanden en grondopbouw zijn bekend; de grondopbouw bestaat hoofdzakelijk uit zand. Voor de berekening is er rekening gehouden met een tweetal sonderingen, één hiervan is in figuur 4.1 weergegeven



Figuur 4.1: Grondopbouw

5 REKENKUNDIGE CONTROLE

Voor het bastion is de huidige situatie getoetst op de veiligheid. De berekening is in dit hoofdstuk uitgewerkt.

De berekening van de fundatie op staal is niet relevant, omdat in de huidige situatie geen sprake is van een kerende hoogte en dus ook geen aanwezige kritische glijvlakken. Bij de berekening voor het gedeelte op palen wordt uitgegaan van een relatief hoge grondwaterstand en een relatief laag rivierpeil, omdat dit een ongunstige belastingssituatie is voor de kadeconstructie.

5.1 Rekenkundige controle

Voor de berekening is gebruikgemaakt van de volgende documenten:

- Inspectieresultaten Nebest B.V., uitgevoerd 22-24 maart 2010
- Geotechnisch onderzoek (sonderingen), door Lankelma Geotechniek Almelo b.v., uitgevoerd op 25 september 2008.
- NEN 3835 Mortels voor metselwerk van stenen, blokken of elementen van baksteen, kalkzandsteen, beton en gasbeton.
- NEN 5498 Gezaagd Hout. Sterkteklassen, classificatiemethode en bepalsingsmethoden.
- NEN 6702 Technische grondslagen voor bouwconstructies – TGB 1990 – Belastingen en vervormingen.
- NEN 6740 Geotechniek – TGB 1990 – Basiseisen en belastingen.
- NEN 6743 Geotechniek – Berekeningsmethode voor funderingen op palen – Drukpalen.
- NEN 6744 Geotechniek – Berekeningsmethode voor funderingen op staal.

Verder is uitgegaan van:

- Maaiveld : 5,2 m + NAP
- GWS : 2,8 m + NAP (gemeten tijdens grondonderzoek, 2008)
- Laag peil : 0,8 m + NAP (IJssel)
- Hoogst gem. peil : 7,3 m + NAP (IJssel)

De waterstand van de IJssel kan erg laag zijn; de overeengekomen laagste rivierstand (OLR) is 1,54 m + NAP. Vanuit project "gemaal Ankersmit" is zelfs een laagste waterstand van de IJssel aangegeven van 0,80 m + NAP; dit laatste peil is dan ook aangehouden. In tabel 5.1 is de grondopbouw van de ondergrond weergegeven.

Voor de houten palen wordt uitgegaan van Ø 250 mm, met een paalpuntniveau (ppn) van 6,0 m – NAP; de paalkop zit op circa 1,0 m + NAP, zodat de paallengte circa 7,0 meter bedraagt. Dit is echter een aanname; de lengte van de palen kan niet met zekerheid worden bepaald zonder destructief onderzoek. De paaldiameter bij de paalpunt wordt vastgesteld op 120 mm.

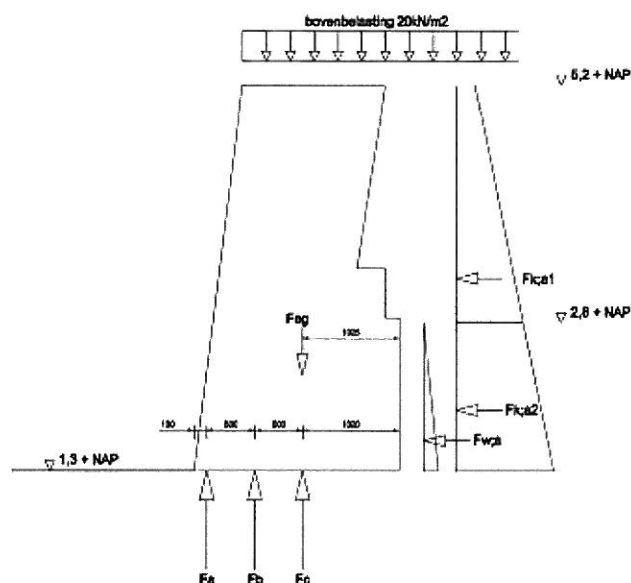
Grondsoort	Bovenzijde [m t.o.v. NAP]	γ / γ_{sat} [kN/m ³]
Zand, schoon los	+ 5,2	17 / 19
Klei, zwak zandig (vast)	+ 4,0	20 / 21
Zand, sterk siltig (kleilig)	+ 2,0	19 / 21
Zand, schoon (matig/vast)	- 5,0	20 / 22

Tabel 5.1 - Grondopbouw

Het bastion is gecontroleerd op:

- Verticale draagkracht
- Horizontale verplaatsing
- Kantelen

5.2 Optredende belastingen



Figuur 5.1: Optredende belastingen

In figuur 5.1 is een doorsnede van de kade weergegeven met de optredende belastingen. Voor de bovenbelasting is rekening gehouden met 20kN/m^2 , wat relatief gezien hoog is.

In tabel 5.2 zijn de optredende belastingen per strekkende meter uitgewerkt. In de volgende paragrafen zal gebruik worden gemaakt van deze belastingen.

Belasting [m ⁻¹]	[kN]	Arm ⊥ A [m]	Arm ⊥ C [m]
F_{eg}	$6,85 * 17 = 116$	1,00	0,00
$F_{ka;1}$	$\left(\frac{17 * 1,2 + 20 * 1,2 + 20 + 20}{2}\right) * 0,5 * 2,4 = 51$	2,50	2,50
$F_{ka;2}$	$\left(\frac{64,4 + 80,9}{2}\right) * 0,5 * 1,5 = 54,5$	0,72	0,72
$F_{w;a}$	$\left(\frac{15 + 0}{2}\right) * 1,5 = 11$	0,50	0,50

Tabel 5.2: Optredende belastingen

In de berekening is uitgegaan van een neutrale gronddruk, omdat de constructie als stijf kan worden beschouwd.

5.3 Reactiekrachten van de palen

Reactiekracht in Fa, per strekkende meter kade:

$$M_b = (0,5 * 116 * 0,9) - (2,5 * 52 + 0,72 * 57 + 0,5 * 11) * 1,2 + 0,5 * F_a - 0,5 * F_c$$

Gezien de verbinding tussen de paal en de kesp, een pen-gat verbinding, is verondersteld dat deze geen trek kan opnemen. Hiervoor is in de berekening uitgegaan van: $F_{c:trek} = 0$

$$M_b = 52,5 - 212 + 0,5 * F_a$$

$$F_{a;d} = 320 \text{ kN}$$

In totaal staan er $\frac{5}{3}$ palen onder de eerste palenrij:

$$F_{a;paal;d} = \frac{320}{\frac{5}{3}} = 192 \text{ kN}$$

5.4 Kwaliteit palen

Om de kwaliteit van de palen te achterhalen zijn paalmonsters genomen en in het laboratorium onderzocht. Aan de hand van de houtmonsteranalyse kan een inschatting gemaakt worden van de druksterkte van het hout. De beproefde druksterkte van de houtmonsteranalyse heeft betrekking op een korte duur belasting; voor het bepalen van de langdurige belasting moet hiervoor een reductiefactor in rekening worden gebracht. Daarnaast is gerekend met een materiaalfactor; de volgende reductiefactoren zijn meegerekend:

- 1,2 materiaalfactor
- 0,7 vochtigheid hout

De druksterkte is per paal bepaald. In de berekening wordt uitgegaan van de slechtste paal met een druksterkte van 7 N/mm^2 . Bij het toepassen van houten palen dient daarnaast rekening gehouden te worden met het taps toelopen van de paal. Voor de paalpunt zal hiervoor met 120 mm worden gerekend.

$$F_{paal} = \pi * 60^2 * 7 * 0,7 * \frac{1}{1,2}$$

$$F_{paal} = 46 \text{ kN}$$

In totaal staan er 5 palen per strekkende meter kade: $46 * 5 = 230 \text{ kN}$

5.5 Toetsing verticale draagvermogen

Om het draagvermogen van de ondergrond te berekenen wordt ervan uitgegaan dat het niveau van de paalpunt zich op -6 m t.o.v. Nap bevindt; hier bevindt zich namelijk een draagkrachtige zandlaag.

$$F_{r;fund,max;d} = \frac{F_{r;fund,max;rep}}{1,2}$$

$$F_{r;fund,max;rep} = M * F_{r,max;rep}$$

$$F_{r,max;rep} = \frac{3}{4} * F_{r,max}$$

$$F_{r,max} = F_{r,max;punt} + F_{r,max;schact}$$

Draagvermogen paalpunt:

$$F_{r,max;punt} = A_{punt} * P_{r,max;punt}$$

$$P_{r,max;punt} = \alpha_p * \beta * s * 0,5 * (0,5(q_{c,I \text{ gem}} + q_{c,II \text{ gem}}) + q_{c,III \text{ gem}})$$

$$\alpha_p = 1,0 \text{ (geheide paal)}$$

$$\beta = 1,0 \text{ (geen verbrede punt)}$$

$$s = 1,0 \text{ (enkele rechthoekige palen, geen invloed)}$$

$$P_{r,max;punt} = 1 * 1 * 1 * 0,5 * (0,5(16 + 15) + 12,5)$$

$$P_{r,max;punt} = 14 \text{ MN/m}^2$$

$$F_{r,max;punt} = A_{punt} * P_{r,max;punt}$$

$$F_{r,max;punt} = 158 \text{ kN}$$

Positieve kleeft:

$$P_{r,max;schacht} = \alpha_s * q_{c,gem}$$

$$P_{r,max;schacht} = 0,012 * 10 = 0,12 \text{ MN/m}^2$$

$$F_{r,max;schacht} = \pi * 0,12 * 7 * 120 = 316 \text{ kN}$$

Draagvermogen paal:

$$F_{r,max} = 158 + 316 = 474 \text{ kN}$$

$$F_{r,max;rep} = 0,75 * 474 = 355 \text{ kN}$$

Draagvermogen per rij palen:

$$F_{r,fund,max;rep} = \left(1 * \frac{1}{0,6}\right) * 355 = 592 \text{ kN}$$

$$F_{r,fund,max;d} = \frac{592}{1,2} = 493 \text{ kN}$$

Eis:

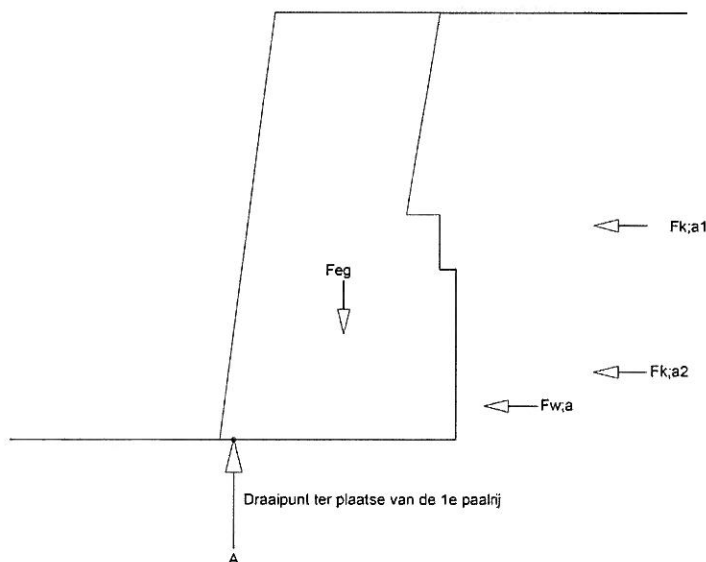
$$F_{r,fund,max;d} \geq F_{a,d}$$

$$493 \geq 320$$

Het verticale draagvermogen van de fundering voldoet.

5.6 Toetsing kantelen

Voor kantelen geldt dat de keermuur om punt A draait, als M_a richting het water draait (linksom), dan voldoet de constructie niet. Het draaipunt van de constructie bevindt zich in de eerste rij palen, in figuur 5.2 is hier een overzicht van weergeven.



Figuur 5.2: Optredende krachten t.b.v. het kantelen

$$M_a = (1 * 116 * 0,9) - (2,5 * 52 * 1,2) - (0,72 * 57 * 1,2) - (0,5 * 11 * 1,2) = -107,5 \text{ kNm}$$

De verbinding tussen kesp in de kade en de paalkop (pen-gatverbinding) kan geen trek/moment opnemen, hierdoor zou de constructie niet voldoen.

De praktijk bewijst echter dat deze kade al ca. 400 jaar staat, waarbij de kade niet kantelt. Het bastion loopt nog enkele meters door in het dijktafud. Hieruit kan gesteld worden dat het metselwerk een be-

perkte trekkracht kan opnemen, waarbij de sterkte van de mortel maatgevend is. Er zijn geen mortel-monsters van de kade genomen, waardoor de kwaliteit hiervan onbekend is. Met behulp van de norm NEN 3835 wordt gerekend met een minimale hechtsterkte van de mortel. Op basis van het bouwjaar kan aangenomen worden dat het een kalkmortel is. Met behulp van tabel 5.3 is uitgegaan van een mortelkwaliteit V.

eigenschappen	eenheid	eisen per morteltype					beproeving volgens
		I	II	III	IV	V	
druksterkte (f_{cu})	N/mm ²	afhankelijk van de vereiste mortelkwaliteit overeenkomstig de eis volgens tabel 4 binnen de voor de diverse typen aangegeven reeks					
		M 17,5 – M 10	M 12,5 – M 5	M 10 – M 5	M 5 – M 2,5	M 2,5	9.1
buigtreksterkte ($f_{mt,u}$)	N/mm ²	≥ 2	≥ 1,5	≥ 1	≥ 0,5	≥ 0,5	9.1
hechtsterkte ¹⁾ (f_b)	N/mm ²	≥ 0,2	≥ 0,2	≥ 0,15	≥ 0,1	≥ 0,05	9.2
krimp	‰ (l/l)	≤ 1,5	≤ 1,3	≤ 1,2	≤ 1,2	≤ 1,0	9.6.1
luchtgehalte: specie zonder bewust ingebrachte lucht ²⁾		≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	9.6.2
specie met bewust ingebrachte lucht ²⁾	% (V/V)	≤ 12	≤ 15	≤ 20	≤ 23	≤ 23	
volumieke massa (ρ) van specie met bewust ingebrachte lucht ²⁾	kg/m ³	≥ 1950	≥ 1850	≥ 1750	≥ 1600	n.v.t.	9.6.3
verwerkbaarheid	mm	de specie dient direct na aanmaak c.q. het moment van levering een spreidmaat te hebben die niet meer dan ± 15 mm afwijkt van een overeengekomen spreidmaat.					9.6.4

1) Zie ook 6.1.1.
2) Onder bewust ingebrachte lucht wordt verstaan lucht die wordt ingebracht in de vorm van fijn verdeelde stabiele luchtbelletjes, ongeacht de wijze waarop

Tabel 5.3: Eigenschappen mortel

Uitgaande van een hechtsterkte van 0,05 N/mm² kan de kade een trekkracht opnemen van ca. 340 kN.

De kade heeft een lengte van ca. 8 meter: $F_{trek;metselwerk} = \frac{340}{8} * 0,9 = 38,25 \text{ kN/m}$.

Daarnaast heeft de kade aan het begin van het talud een contrefort. Vanwege het hoge eigen gewicht van de contrefort kan deze een bepaalde tegenwerkende kracht leveren.

$$F_{eg;contrefort} = 195 * 1,4 * 0,9 = 245,7 \text{ kN}$$

Toepassing van de trekkracht in het metselwerk geeft:

$$M_a = (1 * 116 * 0,9) - (2,5 * 52 * 1,2) - (0,72 * 57 * 1,2) - (0,5 * 11 * 1,2) + (38,25 * 1,83) + \left(\frac{245,7}{8} * 1,73\right) = 15,7 \text{ kNm}$$

De kade is stabiel, deze zal niet kantelen.

5.7 Toetsing horizontale verplaatsing

Voor de toetsing van het horizontaal evenwicht zal de op te nemen horizontale belasting groter dan de optredende horizontale belasting zijn. De optredende horizontale belasting bedraagt totaal 120 kN/m.

Een deel van de horizontale gronddruk belasting zal worden opgenomen door de palen; de maximale belasting is afhankelijk van de ondergrond (horizontale beddingsconstante) en het opneembare moment in de palen.

Voor een eenvoudige, indicatieve berekening kan de horizontale beddingsconstante, overeenkomstig de norm NEN 6724, worden bepaald op basis van de onderstaande formule:

$$k_h = \frac{3q_c}{D}$$

$$k_h = \frac{3 * 8 * 10^3}{0,25} = 96 \text{ N/cm}^3$$

Aan de hand van de norm NEN 5498 zijn de representatieve waarden van het hout bepaald. Aan de hand van de houtmonsteranalyse kan gesteld worden dat het hout een sterkteklasse heeft van ca. D20. In de berekening zijn materiaaleigenschappen rechtlijnig geïnterpoleerd.

Eigenschap	Sterkteklasse					
	D30	D35	D40	D50	D60	D70
$f_{m,0;rep}$	30	35	40	50	60	70
ρ_{rep}	530	560	590	650	700	900
$f_{t,0;rep}$	18	21	24	30	36	42
$f_{t,90;rep}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
$f_{c,0;rep}$	23	25	26	29	32	34
$f_{c,90;rep}$	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
$f_{v,0;rep}$	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0
$E_{0;ser;rep}$	10000	10000	11000	14000	17000	20000
$E_{0;0;rep}$	8000	8700	9400	11800	14300	16800
$E_{90;ser;rep}$	640	690	750	930	1130	1330
$G_{ser;rep}$	600	650	700	880	1060	1250
ρ_{gem}	640	670	700	780	840	1080

Opmerking: * De waarden voor de gemiddelde volumieke massa (ρ_{gem}) zijn niet in NEN 5498 vermeld.

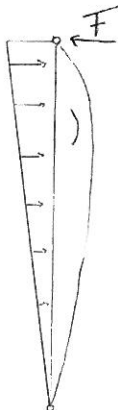
Tabel 5.4: Houteigenschappen

In de berekening is een conservatieve aanname gedaan voor de buigsterkte van de paal. Volgens tabel 5.4 kan grofweg gesteld worden dat de waarde van de druksterkte gelijk is aan de buigsterkte. In de berekening zal daarom een buigsterkte van 7 N/mm^2 worden aangehouden.

Het maximaal optredend moment in de paal bedraagt:

$$M_{d;paal} = W_{paal} * f_{m;0;rep} * y_m$$

$$M_{d;paal} = \frac{1}{32} * \pi * 250^3 * \left(\frac{7 * 0,7}{1,2}\right) * 10^{-6} = 6,3 \text{ kNm}$$



Figuur 5.2: Optredende horizontale krachten in de paal.

Voor de horizontale verplaatsing van de paal zal het maximaal optredende moment in de paal berekend worden.

$$M_{max} = 0,128 * Q * 7 = 6,3 \text{ kNm}$$

$$Q = \frac{6,3}{0,128 * 7} = 7,03 \text{ kN}$$

$$q = \frac{7,03 * 2}{7} = 2 \text{ kN}$$

$$\Delta L_h = \frac{\left(\frac{2 * 2}{7 * 0,25} \right)}{96} = 0,02 \text{ mm}$$

Bij een maximaal optredend moment in de paal, zal deze 0,02 mm horizontaal verplaatsen. Per paal kan een maximale horizontale kracht van 7 kN worden opgenomen.

Gezien de bodemopbouw kan gesteld worden dat de ondergrond door middel van wrijving een geringe belasting kan opnemen. In deze berekening is aangenomen dat circa de helft van de constructie op de ondergrond rust.

$$\omega = f * N$$

$$\omega = 0,5 * (50 * 0,9) = 22,5 \text{ kN}$$

De samengestelde fundering (staal en op palen) kan nu de volgende horizontale belasting opnemen:

$$F_{h;opn} = 7 * 5 + 22,5 + 38,25 + 53,1 = 148,85 \text{ kN}$$

$$F_{h;d} = 144 \text{ kN}$$

$$F_{h;opn} \geq F_{h;d}$$

De eis met betrekking tot afschuiving voldoet.

5.8 Fundering op staal

Vanwege het degradatieproces van het hout zal de kwaliteit/diameter van het hout afnemen. Uiteindelijk zullen de palen geheel vervallen; daarom is in deze paragraaf de kade berekend zonder palen.

5.8.1 Verticale verplaatsing, zakking

Met uitzondering van de funderingspalen is de situatie gelijk aan de situatie met palen.

$$F_{v;opn} = \sigma'_{max;d} * A_{ef}$$

$$F_{v;opn} = (\sigma'_v * N_q * s_q * i_q + 0,5 * \gamma'_d * B_{ef} * N_y * s_y * i_{yq}) * B_{ef} * l$$

$$F_{v;opn} = \left(\left(\frac{52 + 57 - 11}{1,2} \right) * 10,5 * \left(1 + \frac{1,74}{8} * \sin \left(\frac{30}{1,2} \right) \right) + 0,5 * \frac{21}{1,2} * 1,74 * 9 * \left(1 - 0,3 \frac{1,74}{8} \right) \right) * 1,74$$

$$F_{v;opn} = 1851,5 \text{ kN/m}$$

$$F_{v;d} = 116 * 1,2 + 20 * 1,5 * 1,5 = 185 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$F_{v;opn} \geq F_{v;d}$$

De draagkracht van de ondergrond voldoet.

5.8.2 Horizontale verplaatsing, schuiven

Voor de afschuiving geldt dat de opneembare horizontale belasting groter moet zijn dan de optredende belasting. De opneembare belasting is onder te verdelen in trek van het metselwerk en wrijving met de ondergrond.

$$\omega = f * N$$

$$\omega = 0,5 * (116 * 0,9) = 52,2 \text{ kN}$$

$$F_{h,opn} = 52,2 + 38,25 + 30,7 = 121,15 \text{ kN}$$

$$F_{h,opt} = 144$$

De constructie is instabiel en zal hierdoor horizontaal afschuiven. In hoofdstuk 6 zijn de herstelmaatregelen nader uitgewerkt.

5.8.3 Kantelen

Met uitzondering van de funderingspalen is de situatie gelijk aan de situatie met palen. In de hierna volgende berekening wordt niet het draaipunt ter plaatse van de paal genomen, maar het begin van de kade.

Voor kantelen geldt dat de keermuur om punt A draait. Als M_a richting het water draait (linksom), dan voldoet de constructie niet.

$$M_a = (1,15 * 116 * 0,9) - (2,5 * 52 * 1,2) - (0,72 * 57 * 1,2) - (0,5 * 11 * 1,2) + (38,25 * 1,83) + \left(\frac{245,7}{8} * 1,73\right) = 31,3 \text{ kNm}$$

De constructie is stabiel.

5.9 Conclusie

In de huidige situatie kan worden gesteld dat de keermuur voldoet. Wel zijn er onzekerheden over de exacte staat van de achterste rij palen, het paalpuntniveau en de kwaliteit van de palen.

In de berekening is met een bovenbelasting van 20 kN/m^2 gerekend, wat fors is. Bij verdere aantasting van de palen zal de constructie horizontaal verplaatsen. In hoofdstuk 6 zijn de te nemen herstelmaatregelen uitgewerkt.

6 HERSTELMAATREGELEN

In de huidige situatie kan gesteld worden dat de keermuur voldoet. Op termijn (binnen 20 jaar) zullen maatregelen tegen het bezwijken van de constructie genomen moeten worden.

In de toekomst wil de Gemeente Deventer de kade met ca. 2 meter verhogen. De bovenbelasting bestaat uit een grasveldje, hierin verandert niets. Echter door de ophoging treden grotere belastingen op. De kade zal, indien geen maatregelen worden genomen, bezwijken ten opzichte van het kantelen of het horizontaal verschuiven. Voor de ophoging zullen hiervoor dus maatregelen genomen moeten worden, zodat deze extra belastingen opgenomen kunnen worden. In de paragrafen hieronder zijn de eventuele methodes uitgewerkt.

Het uitvoeren van werkzaamheden in de buurt van de keermuur is risicovol. Trillingen kunnen een verstoring/herschikking van het korrelskelet geven, waardoor zettingen en zakkingen kunnen ontstaan. Bij eventuele terreinaanpassingen dient hiermee rekening te worden gehouden.

Afhankelijk van het toekomstige plan kan een herstelmaatregel toegepast worden.

6.1 Grout

Onder de kade en aan de binnenzijde hiervan kan grout geïnjecteerd worden, zodat dit één geheel vormt. Een innovatieve oplossing hierin is het toepassen van biogrout, waarbij bacteriën de grond versterken. Echter, deze toepassing staat nog in de kinderschoenen, waardoor er nog te weinig over bekend is. Daarnaast is het bekend dat indien biogrout het oppervlaktewater bereikt dat er een explosie aan algengroei verwacht kan worden.

6.2 Ankers

In de muur kunnen ankers aangebracht worden. Hierbij kan gedacht worden aan schroefankers, klapankers, groutankers, etc. Tegenwoordig kunnen deze aan de voorzijde van de kade met een groutkous worden weggewerkt, waardoor niet zichtbaar zijn. Hierbij worden aan de voorzijde de originele stenen herplaatst.

6.3 Tempex

Doordat de huidige situatie reeds voldoet, kan de verhoging bestaan uit een stenen muur met daarachter tempex-blokken. Hierdoor wordt de belasting achter de kade slechts gering verhoogd. Dan dient echter gelet te worden op de maximale waterstand van de IJssel, zodat de tempex niet gaat opdrijven.

7 CONCLUSIE

In de huidige situatie voldoet het bastion te Deventer, echter door verdere aantasting van de houten palen zal deze in de toekomst bezwijken. Daarnaast heeft de gemeente plannen gemaakt waarbij het maaiveld wordt verhoogd. Hierdoor zal de belasting op de constructie hoger worden en dient deze versterkt te worden. Innovatieve oplossingen zoals het injecteren van biogrout dienen eerst verder ontwikkeld te worden voordat deze toegepast kunnen worden. De combinatie van tempex met klapankers verdient hierbij de voorkeur.

8 NAWOORD

Tijdens het werken aan mijn afstudeerscriptie ben ik veel leerzame dingen tegengekomen. Ik heb nu een goed beeld verkregen van de veel voorkomende oudere, maar ook nieuwere constructies. Daarnaast heb ik veel kennis opgedaan van de verschillende schades aan de materialen. Helaas zijn door gebrek aan tijd de kosten voor de herstelmaatregelen overgeslagen. Echter is dit ook zeer lastig, de kosten hangen af van de grote en de bereikbaarheid van het project. Deze opgedane kennis zullen goed van pas komen in mijn toekomstige baan.

Tijdens mijn afstuderen heb ik het als lastig ervaren om met zo'n breed afstudeeronderzoek bezig te zijn. Vooral het overzicht hierin te houden en er niet te diep op in gaan waren lastige zaken. Daarnaast is tijdens het alleen afstuderen het soms lastig je te stimuleren voor je afstuderen. Echter ben je hierdoor wel geheel zelf aansprakelijk voor je producten.

Voor een eventuele nieuwe afstudeerder is het wellicht interessant om de verzamelde informatie te digitaliseren in een database, waarbij aangevinkt kan worden wat van toepassing is en vervolgens een globaal inspectierapport het resultaat is. Uiteraard zijn er altijd projectspecifieke details welke vervolgens nog toegevoegd zullen moeten worden.

9 LITERATUUROPGAVE

Boeken, rapporten en dictaten

- Briedé, R.Blok (2006).
Tabellen voor de Bouw en Waterbouwkunde.
- Duiker en sluizen, B. van Leusen (2005)
Duikers en sluizen.
- Historische sluizen en stuwen, G.J. Arends (2004).
Waardering en instandhouding.
- Sluizen en stuwen, G.J. Arends (1994).
Bouwtechniek in Nederland.
- Handboek kademuren, Stichting CUR (2003).
Handboek kademuren.
- Beknopt practisch leerboek der burgerlijke en waterbouwkunde, B.B. Plasschaert (1898).
Deel II Waterbouwkunde.
- De technische vraagbaak (1951).
Weg- en waterbouwkunde.
- Weg- en Waterbouwkunde (1936/1938).
Deel I Grondmechanica, grondwerken, funderingen, bemalingen, beschoeiingen, keermuren.
Deel II Sluizen, kanalen en havens.
Deel III Rivieren, rijshoutconstructies, dijken, duinen en stranden, waterschappen, polders en droogmakerijen.
Deel IV Bruggen.
- Bouwmaterialen, M. Sirag Jzn & K. Wiedijk (1941).
Bouwmaterialen.
- Materialen in het bouwbedrijf, A.H.Kooiman (1965).
Materialen in het bouwbedrijf.
- NEN 3835 (1991).
Mortels voor metselwerk van stenen, blokken of elementen van baksteen, kalkzandsteen, beton en gasbeton.
- NEN 5498 (1997).
Gezaagd Hout. Sterkteklassen, classificatiemethode en bepalsingsmethoden.
- NEN 6702 (2007).
Technische grondslagen voor bouwconstructies – TGB 1990 – Belastingen en vervormingen
- NEN 6740 (2006).
Geotechniek – TGB 1990 – Basiseisen en belastingen.
- NEN 6743 (2006).
Geotechniek – Berekeningsmethode voor funderingen op palen – Drukpalen.
- NEN 6744 (2007).
Geotechniek – Berekeningsmethode voor funderingen op staal.
- Protocol voor het uitvoeren van een inspectie aan houten paalfunderingen, TNO (2003).
Protocol voor het uitvoeren van een inspectie aan houten paalfunderingen.
- Referentiedocumenten, Bouwdienst Rijkswaterstaat (2004).
Materialen.
- Cursusmateriaal Nebest B.V.
Beton, staal, hout, metselwerk en natuursteen.

Projecten Nebest

- G-5140 Den Helder, Koopvaarderschutsluis
- B-5293 Medemblik, brug Opperdoes
- B-5317 Edem Voldendam, de Bult
- B-5406 Den Haag, Koninginne-Prinsessegracht
- B-5483 Schoonhoven, sluis

- B-5511 Nieuwegein, Geinbrug
- B-5566 Haastrecht, monumentale brug
- B-5577 Edam, schutsluis
- B-5608 Capelle aan den IJssel, stalen damwand
- B-5651 Vlissingen, kade
- B-5700 Delft, kade Oude Delft
- B-5706 Haarlem, kademuren, steigers en beschoeiingen
- B-5712 Hoorn, Oude Doelenkade
- B-5754 Vlieland, damwand
- B-5791 Alphen aan de Rijn, sluis
- B-5801 Valkenbosvaart, kade
- B-5814 Gouda, Havensluis
- B-5837 Schoonhoven, kademuren
- B-5843 Breda, kademuur De Waal
- B-5876 Den Haag, betonnen damwand
- B-5887 Hendrik Ido Ambacht, kade
- B-5891 Rotterdam, kade
- B-5920 Rotterdam, kade
- B-5922 Dordrecht, kade Maartensgat
- B-5946 Deventer, Lage Wellekade
- B-5967 Gouda, Voorwillensebrug / Tiendebrug
- B-5983 Gouda, Driewegsluis
- D-15004 Amsterdam, Veemkade
- D-15005 Mensingeweer, Westerbrug
- D-15006 Helwijk, Sabinasluis
- D-15012 Deventer, Bastion Pothoofdkade
- D-15014 Aalsmeer, Cleeffkade
- D-15021 Amsterdam, Erasmuskade

Internetbronnen

- www.platformfundering.nl
- www.funderingsinspecties.nl
- www.funderingsinspectie.nl
- www.wikipedia.nl
- www.google.nl

Geraadpleegde instanties

- SHR, Stichting Hout Research, te Wageningen
- Adviesbureau E.C.O. Logisch, te Nieuwerkerk aan den IJssel
- Natuur- Wetenschappelijk Centrum, te Dordrecht
- Stichting Deltares, Smartsoils, te Delft
- Wiertsema & Partners, te Tolbert
- D. van Biezen B.V., te Sassenheim
- Ingenieursbureau Ponte B.V., te Dordrecht

Inventarisatie constructietypen

Opdrachtgever Hogeschool Utrecht
Bedrijf Nebest B.V.
Status Concept 1
Uitvoeringsdatum februari 2010
Uitvoering F. Boer

Autorisatie	Naam	Paraaf	Datum
Opstelling	F. Boer		
Begeleiding Nebest B.V.	M.E. Lodema		
	K. Bosman		
Begeleiding Hogeschool Utrecht	F. van Heerden		
	U. Backhausen		

INHOUDSOPGAVE

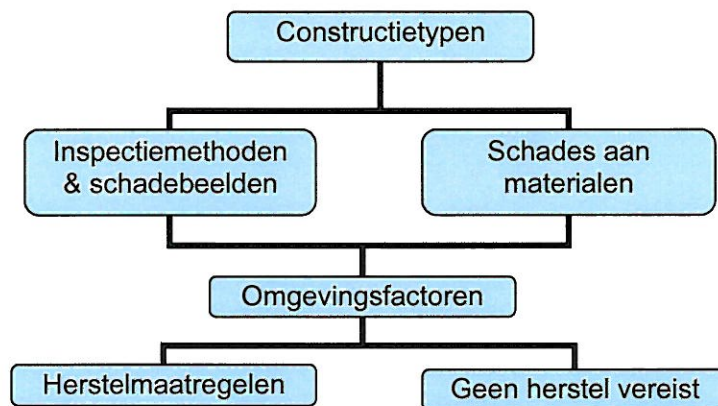
1	INLEIDING	4
2	KADEMUREN	5
2.1	Type kademuren.....	6
2.1.1	Gewichtsconstructie	6
2.1.2	Grondpenetrerende wandconstructies	9
2.1.3	Ontlastvloer constructies	10
2.1.4	Overbouwd talud	11
2.2	Decompositie kademuren.....	12
2.2.1	Deksloof.....	12
2.2.2	Muur	12
2.2.3	Verankering	13
2.2.4	Vloer	13
2.2.5	Dwars-/langsliggers	13
2.2.6	Palen	13
2.2.7	Grondkerend scherm.....	13
3	SLUIZEN	14
3.1	Type sluizen	14
3.1.1	Sluizen ten behoeve van de waterhuishouding.....	14
3.1.2	Sluizen ten behoeve van de scheepvaart	15
3.1.3	Sluizen met een militaire functie.....	15
3.2	Fundering sluizen	15
3.3	Decompositie sluizen.....	16
3.3.1	Sluishoofd.....	16
3.3.2	Sluisdeur.....	16
3.3.3	Sluiskolk	17
3.3.4	Nivelleermiddel	17
3.3.5	Bodembescherming.....	17
4	BRUGGEN	18
4.1	Type fundering bruggen	18
4.1.1	Landhoofden.....	18
4.1.2	Pijlers	19
4.2	Decompositie landhoofden en pijlers	20
4.2.1	Muur	20
4.2.2	Vloer	20
4.2.3	Dwars-/langsliggers	20
4.2.4	Palen	21
4.2.5	Grondkerend scherm.....	21
5	STUWEN	22
5.1	Vaste stuw	22
5.2	Regelbare stuw.....	22
5.3	Fundering stuwen	23
5.4	Decompositie stuwen	23
5.4.1	Vloer	23

5.4.2	Steunpunt	23
5.4.3	Stuwschuif/klep.....	23
6	DUIKERS	24
6.1	Onderscheid duikers.....	24
6.2	Typen duikers	24
6.2.1	Kunststof duikers	24
6.2.2	Gemetselde duiker	24
6.2.3	Houten duiker	25
6.2.4	Betonnen duiker	26
6.2.5	Stalen duiker.....	26
6.3	Decompositie duikers	27
6.3.1	Inlaatconstructie	27
6.3.2	Duiker	27
6.3.3	Fundering	27

1 INLEIDING

Dit rapport is onderdeel van het afstudeerproject "Problematiek historische kunstwerken". Voorafgaand aan dit rapport is een Plan van Aanpak opgesteld, waarin is vastgelegd hoe het project uitgevoerd zal worden. Hierin is onder andere beschreven wat de op te leveren producten zijn, waarvan dit rapport deel uitmaakt.

Om het doel van dit afstudeerproject te realiseren is deze in meerdere fasen onderverdeeld. Hieronder is door middel van een organigram een overzicht weergegeven hoe het onderzoek in stappen is verlopen.



In dit rapport zijn de constructietypen in functie en de toegepaste materialen uitgewerkt. De meest voorkomende typen zijn hierin uitgewerkt, welke door Nebest zijn onderzocht. Uiteraard is het mogelijk dat bepaalde minder voorkomende of moderne typen ontbreken. De constructies die in dit rapport zijn beschreven geven een beginnend inspecteur/adviseur een compleet beeld van de bestaande constructietypen.

In dit rapport zijn de verschillende typen van de volgende constructies toegelicht:

- Kademuren
- Sluizen
- Bruggen
- Stuwen
- Duikers

2 KADEMUREN

Kademuren zijn grondkerende constructies die ontwikkeld zijn om diverse functies te kunnen vervullen:

- afmeren van schepen;
- overslaan van goederen;
- opslag van goederen;
- transport van goederen over de kademuur;
- begrenzen van het vaarwater en terrein;
- keren van hoogwaterstanden;
- keren van grond achter de kademuur.

Verandering van functionaliteit en afname van de kwaliteit van de constructie zelf kunnen beperkingen met betrekking tot de bovenbelasting en diepgang tot gevolg hebben.

Bij het ontwerp van kademuurconstructies worden de veiligheid en functionaliteit van de constructie beoordeeld aan de hand van ongunstige belastingen en belastingcombinaties. Daarnaast is het belangrijk om inzicht te hebben in de wijze waarop de belastingen bepaald zijn en de betrouwbaarheid van de gebruikersbelastingen. Voor het vaststellen van de belastingcombinaties en de belastingfactoren wordt uitgegaan van belastingscategorieën. Hieronder staan de drie belastingscategorieën met belangrijke voorbeelden voor een kademuur opgesomd:

- Permanente belastingen
 - Eigen gewicht
 - Waterdruk
 - Gronddruk
 - Wrijvingskrachten
- Variabele belastingen
 - Gronddrukken ten gevolge van terreinbelasting
 - Bolderbelastingen
 - Afmeerkrachten
 - Laden en lossen
 - Golfbelastingen
 - Ijsbelastingen
 - Opslagbelastingen
 - Milieubelastingen
- Bijzondere belastingen
 - Stootbelasting door vallende lading
 - Belasting door aanvaring
 - Extreme tijdelijke terreinopslag
 - Belastingen door extreme waterstanden

Kademuren zijn onder te verdelen in vier hoofdtypen:

- Gewichtsconstructie
- Grondpenetrerende constructie
- Ontlastvloer constructies
- Overbouwd talud

Naast deze basistypen bestaan tevens innovatieve ontwerpen; deze zullen verder niet behandeld worden. De hoofdtypen zullen in dit hoofdstuk verder uitgewerkt worden. In de praktijk kunnen de constructies afwijken van deze behandelde typen. Dit komt door variaties die hierop zijn gemaakt. Ook kan het zijn dat bij het restaureren veranderingen zijn aangebracht. Hierdoor is het mogelijk dat een combinatie is gemaakt van zowel een historische uitstraling met daarin een moderne constructie.

2.1 Type kademuren

2.1.1 Gewichtsconstructie

Bij een gewichtsconstructie wordt de grondkerende functie verkregen door het eigen gewicht. Dit gewicht rust op de ondergrond, waardoor zoveel schuifspanning wordt gemobiliseerd dat de constructie niet schuift of omvalt. Deze constructie kan op palen of op staal worden gefundeerd. Het is dan ook een vereiste dat de onderliggende grond voldoende draagkracht heeft. De elementen die voor een gewichtsconstructie gebruikt worden, zijn tegenwoordig meestal prefab uitgevoerd; dit geeft een hoge bouwsnelheid maar wel hoge materiaalkosten. Hieronder zijn de meest voorkomende typen beschreven. Een groot aantal constructies wordt niet meer behandeld, omdat deze typen gering voorkomen.

L-muur

De stabiliteit bij een L-muur wordt gemobiliseerd doordat het gewicht van de betonconstructie samen met de op de L-muur rustende grond zorgen voor een tegenwerkend moment ten opzichte van de horizontale gronddruk. Dit tegenwerkende moment wordt veroorzaakt door de schuifspanningen van de L-muur met de ondergrond.

Deze constructie kan zowel in een natte als in een droge omgeving worden uitgevoerd. Bij uitvoering in den droge is wel een omvangrijke bouwput nodig. Bij uitvoering in den natte kunnen de elementen geprefabriceerd worden en op de locatie op de plaats worden gezet. Ook bij deze elementen zijn de voegen een punt van aandacht. Een L-muur kan zowel op staal als op palen gefundeerd zijn.

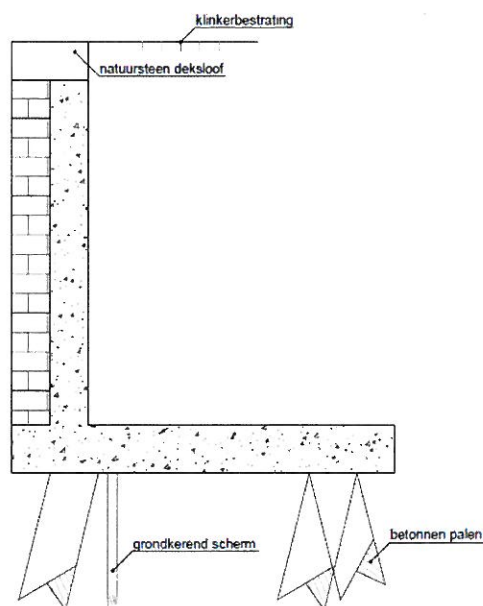


Fig. 1: L-muur op betonnen palen, bouwjaar ca. 1960

Gewichtsmuur

De eerste kademuren zijn op staal gefundeerd; dit gebeurde vanaf ca. 1600. Vanaf 1900 ongeveer zijn de kademuren op palen gefundeerd. Gewichtsmuren verkrijgen hun stabiliteit door hun hoog eigen gewicht, waarbij de horizontale gronddrukken overgebracht worden naar de fundering.

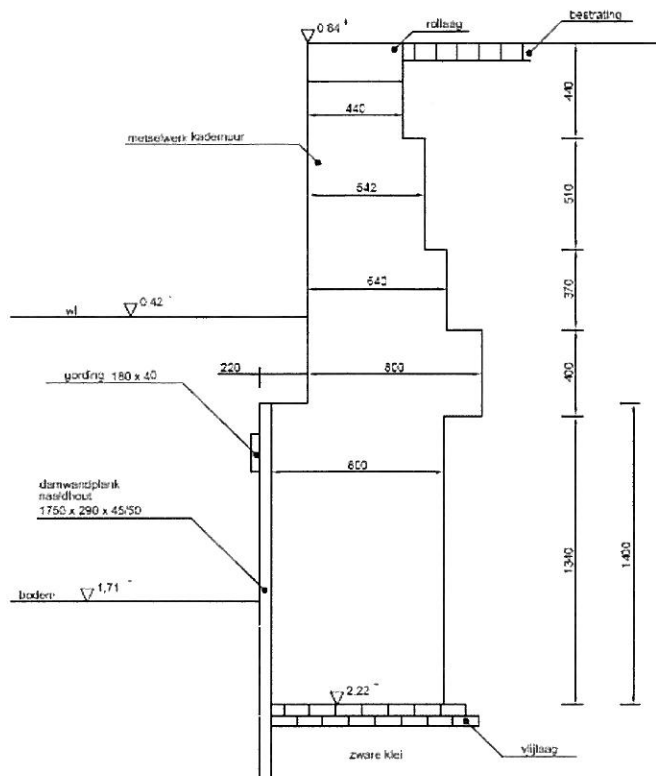


Fig. 2: Kade Oude Delft, doorsnede kademuur, bouwjaar ca. 1850.

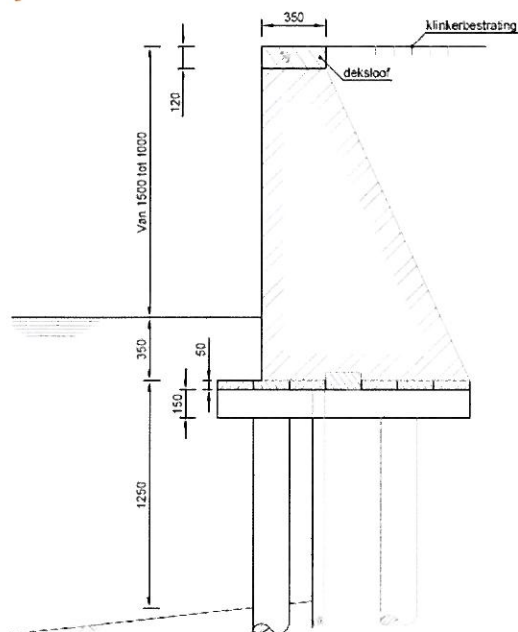


Fig. 3: Kademuur de Bult, Edam, bouwjaar ca. 1900.

Daarnaast zijn nog diverse variaties in de loop der tijd ontstaan, met name door het gebruik van beton. Hierbij kan het zijn dat een vloer van hout en kespen vervangen zijn door een betonnen vloer.

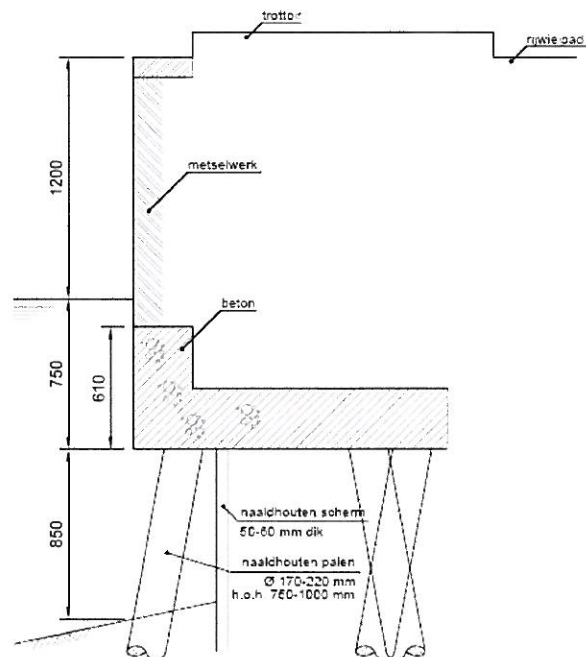


Fig. 4: Kade Raamsingel te Haarlem, bouwjaar ca. 1920

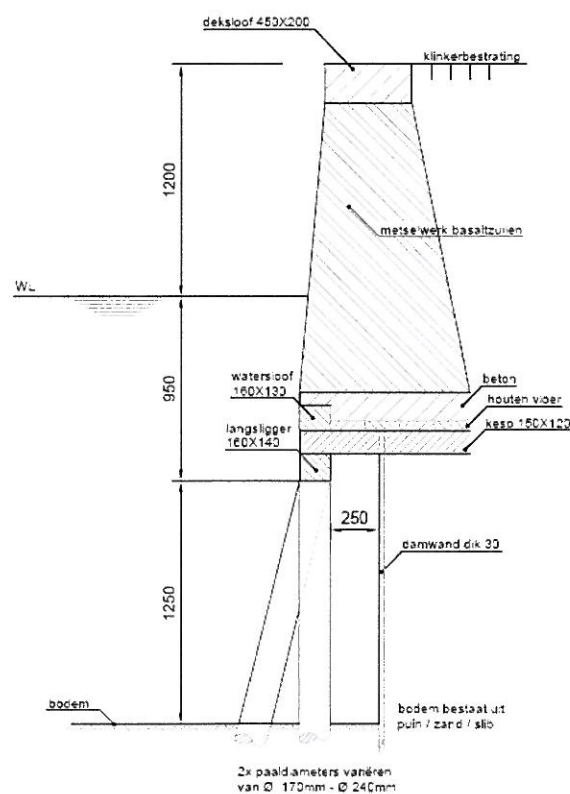


Fig. 5: Oude Doelenkade te Hoorn, bouwjaar ca. 1935

2.1.2 Grondpenetrerende wandconstructies

Deze constructies zijn grondpenetrerend en zijn eventueel voorzien van verankering. Deze ontleen hun grondkerende functie aan de inklemming met de ondergrond en de schuifweerstand van eventuele verankering. Grondpenetrerende constructies worden toegepast als er onvoldoende draagkracht is voor het funderen op staal en de ondergrond goed penetreerbaar is. De constructie bestaat meestal uit (samengestelde) damwanden die onderling zijn verbonden door een slotconstructie.

Enkelvoudige damwand

Er zijn twee hoofdsoorten enkelvoudige damwanden, te weten de vlakke damwand en de profielvormige damwand. De vlakke damwand is uitgevoerd in hout, beton of staal, terwijl de profielvormige damwand wordt gemaakt van beton of staal. De vlakke damwanden worden gebruikt als de kerende hoogte gering is, terwijl de profielen geschikt zijn voor grote kerende hoogte vanwege het hogere weerstandsmoment.

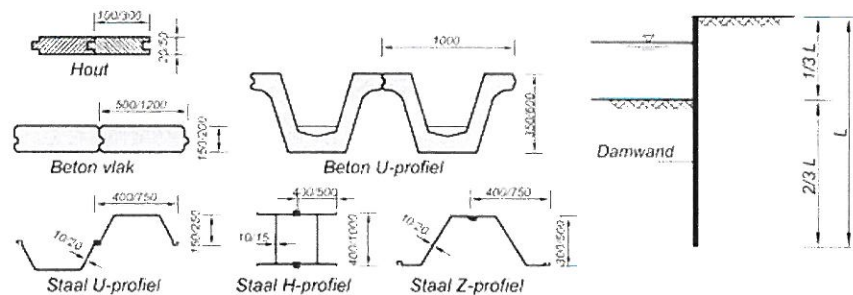


Fig. 6: Enkelvoudige damwanden, zonder verankering

Samengestelde wandsystemen

Voor grote kerende hoogtes met bovenbelastingen zijn zwaardere constructies nodig dan een enkelvoudige damwand. Deze constructies kunnen bestaan uit samengestelde wanden. De wanden bestaan uit primaire en secundaire elementen, die aan elkaar worden verbonden door middel van een slotconstructie.

De primaire elementen zijn zwaarder, worden op een vaste afstand van elkaar geïnstalleerd en zorgen voor de overdracht van de krachten naar de ondergrond. Tussen deze primaire elementen komen de tussenplanken, die zorgen voor de wandconstructie. Omdat de horizontale gronddrukken door middel van gewelfwerking op de primaire elementen komen, kunnen deze tussenplanken minder zwaar worden gedimensioneerd dan de primaire elementen.

Het meest voorkomende voorbeeld van een samengestelde wand is de combiwand. De combiwand bestaat uit open stalen buispalen met daartussen damwandprofielen. Op de stalen buispalen worden slotconstructies gelast, waarop de tussenplanken aangesloten kunnen worden.

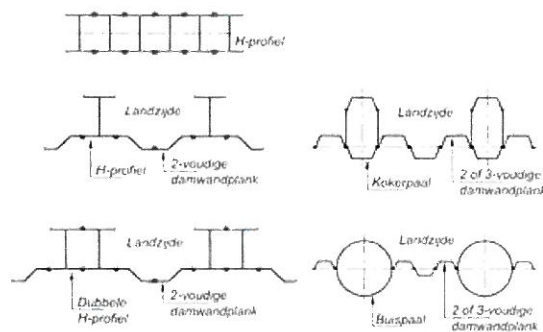


Fig. 7: Samengestelde damwanden

Verankering

Grondpenetrerende constructies dienen verankerd te worden om stabiel te blijven. Er zijn drie hoofdvormen van verankering: horizontale verankering, ankers met een groutlichaam en trekpalen. Deze vormen zijn hieronder verder uitgewerkt.

Horizontale verankering

Conventionele horizontale ankers bestaan uit een verankeringslichaam dat via een ankerstang is verbonden met de damwand.

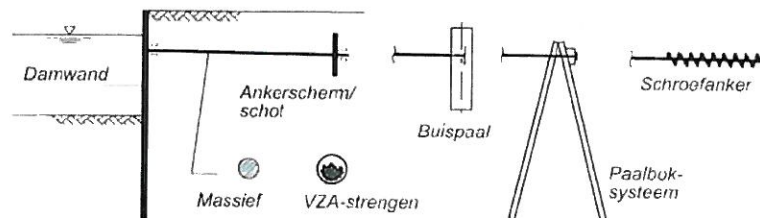


Fig. 8: Horizontale verankering

Ankerstangen kunnen uitgevoerd worden als staafanker, trekstang, kabelanker of als kabel. Bij toepassing van een anker zijn een ankerjuk, verticale schotten of een paalboksysteem noodzakelijk. Deze dienen voldoende ver weg geplaatst te worden, zodat de actieve gronddrukken op de damwand en de passieve gronddrukken voor het ankerschot elkaar niet beïnvloeden. Tevens is er een mogelijkheid tot gebruik van een schroefanker.

Trekankers, ankers met groutlichaam

Er zijn ook ankersystemen die bestaan uit elementen die in de grond worden gemaakt met cementgrout, zoals groutankers en schroefinjectieankers.

Trekpalen

Tenslotte kan de damwand verankerd worden met trekpalen die al of niet deel uitmaken van een paalboksysteem. Er zijn gesloten, stalen H-palen, open stalen buispalen en MV-palen. Bij alle typen wordt de trekkracht door middel van wrijving overgebracht.

2.1.3 Ontlastvloer constructies

Bij deze constructie wordt de horizontale belasting op de damwand gereduceerd door de ontlastvloer. De constructie bestaat uit een grondkerende en een dragende wand en een gefundeerde ontlastvloer, die op verschillende niveaus kan worden aangelegd. De fundering bestaat uit een systeem van druk- en trekpalen. Deze constructie wordt veel toegepast als sprake is van een grote kerende hoogte en een hoge terreinbelasting. Ook wanneer hoge eisen aan de vervormingen worden gesteld komt deze constructie in aanmerking.

Hooggelegen ontlastvloer

Bij een hooggelegen ontlastvloer worden de horizontale belasting van de grond en de bovenbelasting op de wand opgenomen door een paaljuk. Het is een systeem van druk- en trekpalen. Het voordeel van een hooggelegen ontlastvloer is dat een hooggelegen ontlastvloer eventueel in den droge kan worden uitgevoerd. Het nadeel is dat wanneer een grote bovenbelasting aanwezig is, de palen te dicht op elkaar komen te staan en heiproblemen kunnen voorkomen.

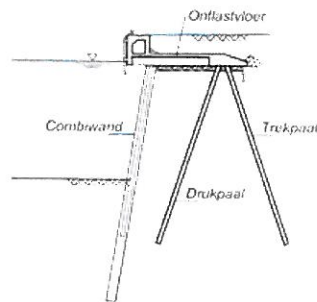


Fig. 9: Hooggelegen ontlastvloer

Diepgelegen ontlastvloer

Bij deze constructie is de ontlastvloer laag gelegen, zodat de horizontale druk op de damwand meer wordt gereduceerd. De ontlastvloer is opgelegd aan beide kanten: de waterzijde is aan de wandconstructie opgelegd en de landzijde op druk- en trekpalen. De aansluiting van de ontlastvloer op de combiwand kan gedaan worden met een gietijzeren zadel, waardoor een scharnieroplegging wordt gecreëerd. Ook bij deze constructie is de bovenbelasting van cruciaal belang; als deze teveel is, zal het palenveld zich als een scherm gedragen en wordt daarmee de reducerende werking tenietgedaan.

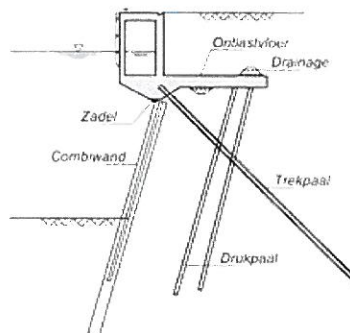


Fig. 10: Diepgelegen ontlastvloer

2.1.4 Overbouwd talud

Deze constructie verschilt van de hiervoor beschreven constructies, omdat hierbij het hoogteverschil wordt overwonnen met een talud in plaats van een kerende wand. De constructie bestaat uit een horizontaal dek, dat is gefundeerd op verticale en schoorstaande palen. De constructie kan mogelijk nog verankerd worden. Onder het dek wordt de grond afgewerkt met een talud, dat wel bestand moet zijn tegen golfaanvallen en stroming. Deze constructie lijkt dan ook wel op een steiger. Het nadeel van deze constructie is dat hij kwetsbaar is bij een eventuele aanvaring.

Overbouwd talud zonder kerende wand

Deze constructie lijkt het meest op een steiger. De verticale krachten worden overgedragen aan de palen en de horizontale krachten worden opgenomen door een paaljuk. Het talud onder het dek wordt vaak beschermd tegen stromingen en golfaanvallen door een filterconstructie op de bodem te installeren. Als het water zo hoog staat dat golfkrachten tegen de onderkant van het dek kunnen komen, moet hieraan extra aandacht worden besteed. Het nadeel van deze constructie is ook dat er een beperking zit aan de hoek van het talud, waardoor er een aanzienlijke ruimte aan de landzijde moet zijn om voldoende diepte te krijgen aan de voorkant van de fender.

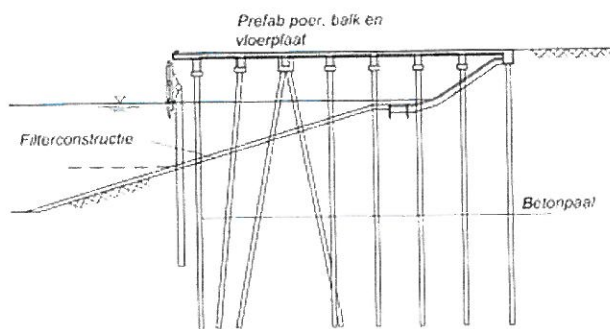


Fig. 11: Overbouwd talud zonder kerende wand

Overbouwd talud met kerende wand

Om de breedte van de bovenbouw te beperken, het aantal palen te reduceren en de diepte te vergroten kan deze constructie ook worden toegepast met een verticale, grondkerende wand met een eventueel versterkt talud.

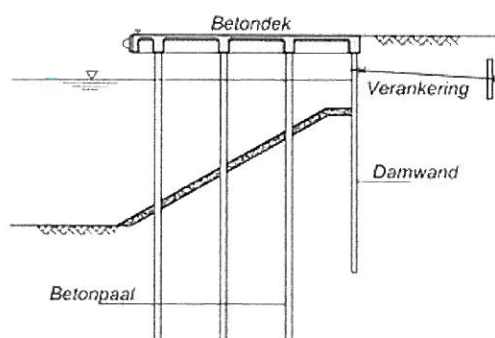


Fig. 12: Overbouwd talud met kerende wand

2.2 Decompositie kademuren

In dit hoofdstuk zullen alle meest voorkomende onderdelen van de historische kademuren beschreven worden. De decompositie zal opgebouwd worden vanaf de bovenzijde tot aan de onderzijde van de fundering.

2.2.1 Deksluif

Aan de bovenzijde van de kademuur bevindt zich een deksluif, die uit verschillende materialen kan bestaan:

- Metselwerk, een rollaag van stenen
- Natuursteen
- Beton
- Metaal

2.2.2 Muur

Onder de deksluif bevindt zich een muur/damwand; deze kan uit verschillende materialen bestaan:

- Metselwerk
- Basaltzuilen
- Beton
- Metaal
- Combinatie van beton en metselwerk

Aan de voorzijde van de muur/damwand kan tevens wrijfhout bevestigd zijn. Hierdoor wordt schade aan schepen bij aanmeren tegen de kade voorkomen.

2.2.3 Verankering

Indien sprake is van een grondpenetrerende constructie, zal deze verankerd zijn. De verankering kan bestaan uit verschillende onderdelen, zoals een trekstang en een ankershot. De volgende materialen worden toegepast:

- Metaal
- Beton
- Grout
- Hout

Bij toepassing van verankering zal een gording aan de damwand zijn bevestigd, zodat alle krachten evenredig worden verdeeld. Deze gording kan van staal of hout zijn en is aan het anker en de damwand bevestigd.

2.2.4 Vloer

Onder de kademuur is een fundatievloer opgebouwd. Deze kan uit verschillende materiaalsoorten bestaan, terwijl ook combinaties van de verschillende materialen voorkomen:

- Beton
- Hout
- Vleilaag

In de houten vloer kan eventueel een schuifhout zijn opgenomen. Deze verbindt de vloer met het metselwerk, zodat deze niet afschuift. Aan de voorzijde van de vloer kan ook een watersloof zijn opgenomen.

2.2.5 Dwars-/langsliggers

Indien een vloer van hout aanwezig is, bestaat de constructie meestal ook uit een dwarsligger, de kesp. Eventueel zijn ook langsliggers in de constructie opgenomen. De liggers nemen de krachten op van de kade en verdelen deze naar de fundering, bestaand uit palen of een stevige ondergrond.

2.2.6 Palen

Indien de ondergrond niet in staat is de optredende krachten op te nemen, is een betere fundering nodig. Hiervoor worden palen gebruikt; deze kunnen eventueel in schoorstand staan. De volgende materialen worden voor de palen gebruikt:

- Beton
- Hout
- Metaal

Houten palen bestaan voornamelijk uit naaldhout, een zachte houtsoort. De meest toegepaste naaldsoorten zijn grenen en vuren. De palen kunnen zowel verticaal als in schoorstand staan.

2.2.7 Grondkerend scherm

Tussen of voor de palen kan tevens een grondkerend scherm zijn opgenomen. Dit is altijd van hout. Indien de constructie op staal staat, kan een grondkerend scherm voor de muur zijn neergezet, zodat de vleilaag beschermd blijft. Tevens is het mogelijk dat een houten gording is bevestigd aan het grondkerende scherm.

3 SLUIZEN

Een sluis vormt een verbinding tussen twee of meer wateren. Door middel van het openen van de deuren worden deze watergangen met elkaar verbonden. Een sluis kan verschillende functies hebben; deze zullen in het volgende hoofdstuk beschreven worden.

3.1 Type sluizen

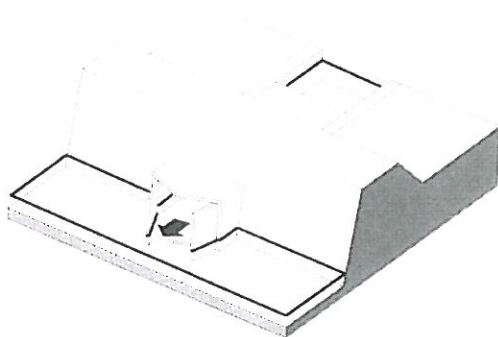
Sluizen kunnen worden ingedeeld in drie hoofdgroepen:

- Sluizen ten behoeve van de waterhuishouding: uitwateringssluizen, ontlastsluizen, inlaatsluizen, irrigatiesluizen en sommige keersluizen.
- Sluizen voor de scheepvaart: schutsluizen, keersluizen en spuisluizen.
- Sluizen met een militaire functie: inundatiesluizen en damsluizen.

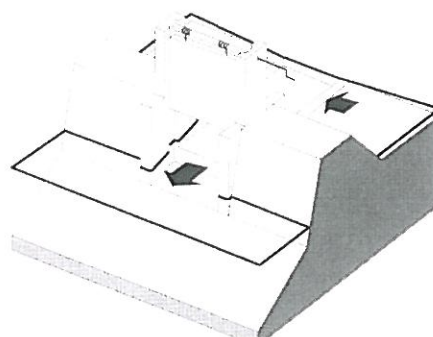
Veel sluizen hebben een gemengde functie. Zo hebben vaak schutsluizen een functie voor de scheepvaart en de waterhuishouding.

3.1.1 Sluizen ten behoeve van de waterhuishouding

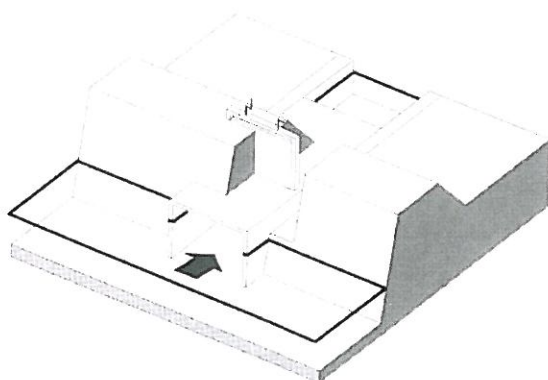
Deze sluizen voeren water aan of af in een polder. De volgende sluizen zijn te onderscheiden:



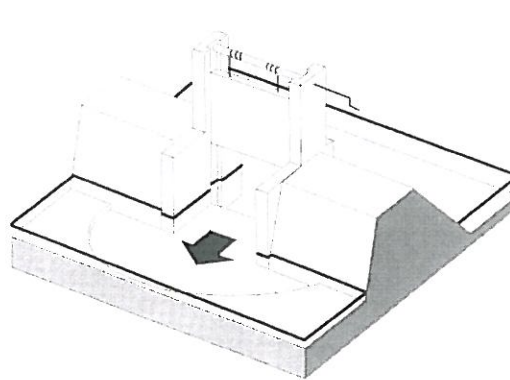
Figuur 13: Uitwateringssluis



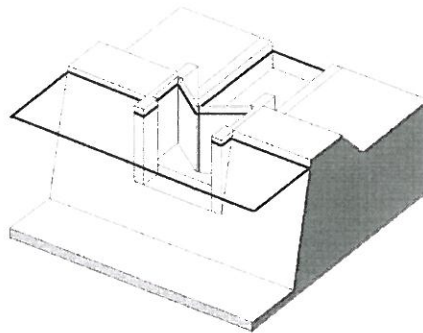
Figuur 14: Ontlastsluis



Figuur 15: Inlaatsluis

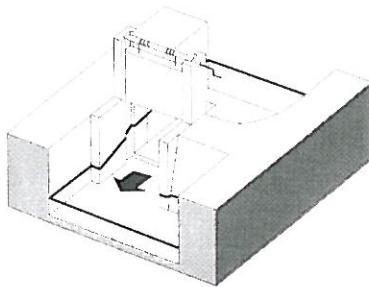


Figuur 16: Irrigatiesluis

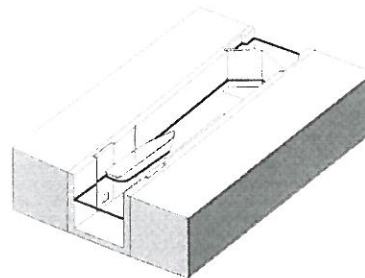


Figuur 17: Keersluis

3.1.2 Sluizen ten behoeve van de scheepvaart

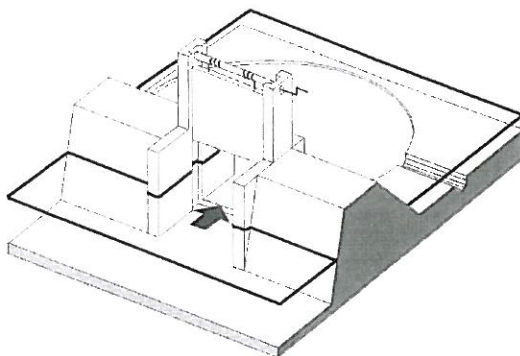


Figuur 18: Spuisluis

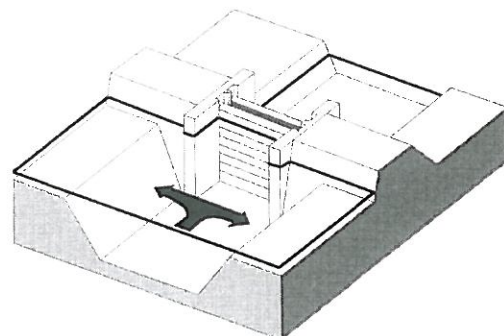


Figuur 19: Schutsluis

3.1.3 Sluizen met een militaire functie



Figuur 20: Inundatiesluis



Figuur 21: Damsluis

3.2 Fundering sluizen

In de fundering van sluizen kan onderscheid worden gemaakt op het type fundering. Er kan op staal zijn gefundeerd, maar meestal zijn palen toegepast. Op de paalkop is een kesp bevestigd; veel voorkomend is het gebruik hierbij van een hakkelbout. Boven de kesp bevindt zich een houten vloer, met eventueel daarboven een zwalp. Deze is verbonden met de kesp en voorkomt het opdrijven van de vloer. Naast het gebruik van de houten onderdelen is ook veel beton toegepast in de vorm van een funderingsbalk, vloer of palen. Ter plaatse van de deuren is op de vloer een drempel aangebracht. Op de vloer is aan de zijkanten een muur opgebouwd, de kolkmuur.

3.3 Decompositie sluisen

Een sluis kan grofweg onverdeeld worden in de volgende onderdelen:

- Sluishoofd
- Sluisdeur
- Sluiskolk
- Nivelleermiddel
- Bodembescherming
- Remming/geleidewerk

Deze hoofdonderdelen zijn hieronder verder uitgewerkt met de toegepaste materialen. Vanwege de grote verscheidenheid aan sluisen zullen alle hoofdonderdelen benoemd worden. Het komt daarom voor dat bij een bepaald type sluis sommige onderdelen niet voorkomen.

3.3.1 Sluishoofd

Een sluishoofd kan onderverdeeld worden in de volgende onderdelen:

- Bekleding (metselwerk, natuursteen)
- Bordes (beton, metselwerk)
- Damwand (metaal)
- Dekzerk (beton, natuursteen, metaal)
- Haalkom (metaal)
- Schotbalk (hout, metaal)
- Vloer (natuursteen, beton, hout)
- Wand (metselwerk, beton)
- Wrijfgording/stijl (hout, metaal, kunststof)

3.3.2 Sluisdeur

Een sluisdeur bestaat voornamelijk uit staal of hout. Een deur kan bestaan uit de volgende onderdelen:

- Bordes (metaal, hout)
- Leuning (metaal)
- Har (hout, metaal)
- Regel (hout, metaal)
- Beplanking/beplating (hout, metaal)
- Aanslag (hout, kunststof)
- Draaipunt (metaal)
- Stijl (natuursteen, metaal, beton)

In een sluisdeur kan tevens een schuif zijn opgenomen, waardoor de waterstand in de sluiskolk kan worden aangepast. Een schuif kan grofweg uit de volgende onderdelen bestaan:

- Schuif (hout, metaal)
- Trek/duwstang (metaal)
- Geleiding (hout, metaal)
- Stroombrekbalk (hout, metaal)
- Bewegingswerk, zoals een rijketaandrijving of een elektrische motor om de schuif te bedienen.

3.3.3 Sluiskolk

Een sluiskolk bevindt zich tussen de sluishoofden van een sluis. Deze kan bestaan uit de volgende onderdelen:

- Wand (metselwerk, beton)
- Bekleding (natuursteen, metselwerk)
- Dekzerk (metaal, beton, natuursteen)
- Bolders (metaal)
- Damwand (metaal)
- Haalkom (metaal)
- Ladder (metaal)
- Leuning (metaal)
- Vloer (beton, metselwerk, hout)
- Wrijfgording/stijl (kunststof, hout, metaal)

3.3.4 Nivelleermiddel

Voor het veranderen/nivelleren van de waterstand in de kolk zijn schuiven/omloopriolen aangebracht. Een schuif kan zich bevinden in de sluisdeur, een omloopriool in het sluishoofd. De onderdelen van een schuif in de deur zijn opgenomen bij de deuren zelf. De volgende onderdelen behoren tot een omloopriool:

- Dak (metselwerk, beton)
- Wand (metselwerk, beton)
- Vloer (metselwerk, beton)
- Schuif (metaal, hout, kunststof)
- Geleiding (metaal, hout, kunststof)
- Rooster (metaal)
- Stroombreekbalk (hout, metaal)

3.3.5 Bodembescherming

Aansluitend op het sluishoofd wordt bodembescherming toegepast, zodat de bodem niet uitspoelt bij de optredende stromingen. Bodembescherming kan uit verschillende materialen bestaan, voornamelijk steen, zoals stortsteen, puin of zetsteen. Onder deze steenlaag kan rijshout met riet aangelegd zijn; dit wordt op zijn plek gehouden met palen. Tevens is het mogelijk dat de bodembescherming uit beton bestaat.

4 BRUGGEN

Een brug is een vaste of beweegbare verbinding voor het verkeer, tussen twee punten die gescheiden zijn. Deze scheiding kan komen door een rivier, kloof, dal, weg of een ander overbrugbaar obstakel. Bruggen zijn onder te verdelen in vaste en beweegbare bruggen. In dit verslag zal slechts de fundering behandeld worden van deze bruggen, voornamelijk vaste bruggen. De fundering draagt de krachten van de brug af naar de ondergrond.

4.1 Type fundering bruggen

Deze paragraaf behandelt de fundering van historische bruggen. Onderscheid kan worden gemaakt in de landhoofden en de pijlers van bruggen. Deze worden hieronder uitgewerkt.

4.1.1 Landhoofden

Landhoofden van historische bruggen zijn redelijk te vergelijken met kademuuren. De opbouw kan erg verschillen, maar komt globaal overeen met die van een kademuur. Hieronder zijn diverse figuren weergegeven van reeds geïnspecteerde bruggen.

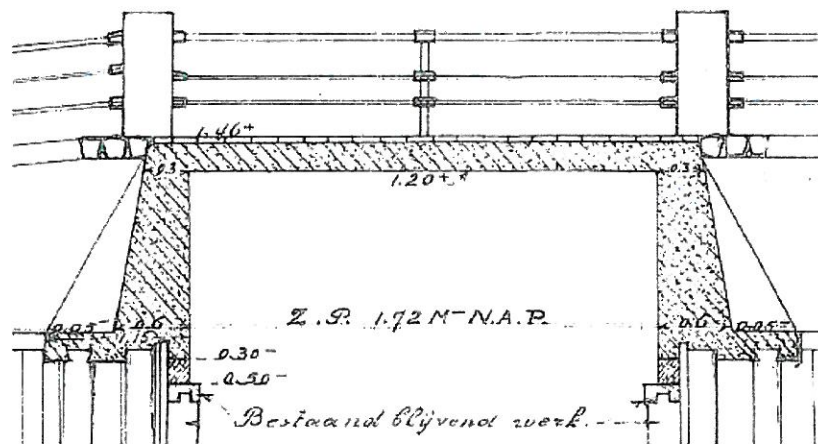


Fig. 22: Bouwtekening doorsnede brug uit 1932.

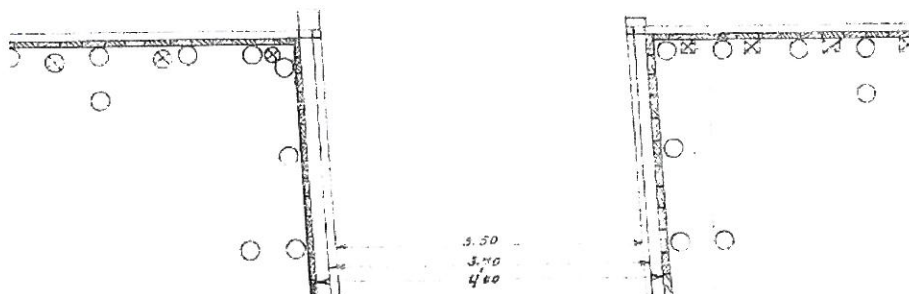


Fig. 23: Bouwtekening fundering uit 1932.

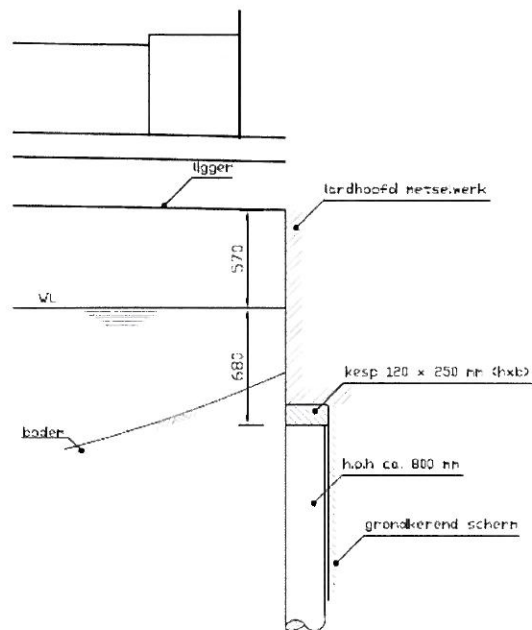


Fig. 24: Fundering landhoofd Doelenbrug Gouda

4.1.2 Pijlers

Pijlers van historische bruggen zijn redelijk te vergelijken met kademuuren. De opbouw kan erg verschillen, maar komt globaal overeen met die van een kademuur. De fundering van een pijler is veelal zwaarder uitgevoerd dan een kademuur: grotere paaldiameters en meer palen. Hieronder zijn diverse figuren weergegeven van reeds geïnspecteerde bruggen.

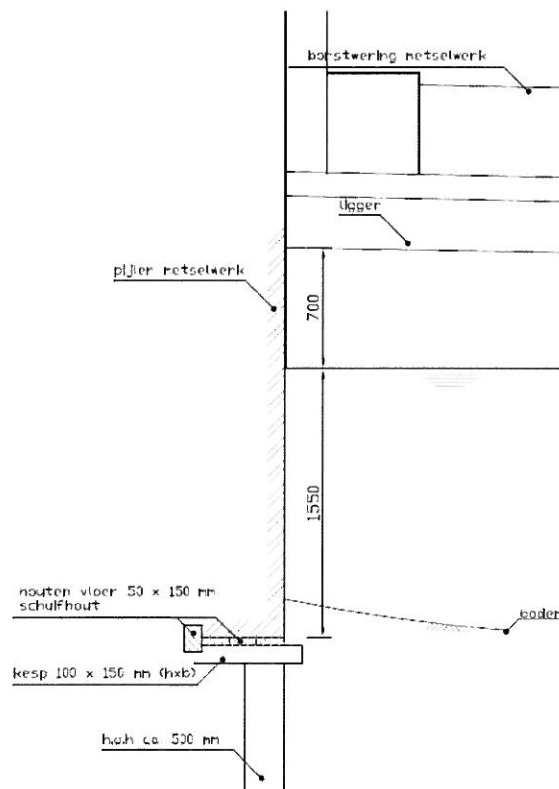


Fig. 25: Fundering pijler Doelenbrug Gouda

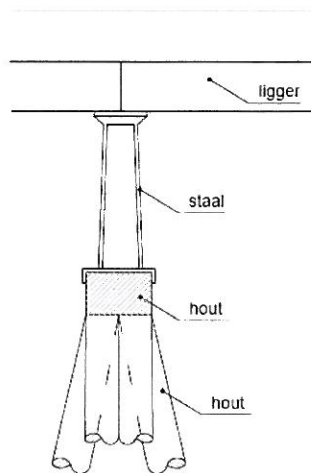


Fig. 26: Pijler Haastrechtsebrug Gouda

4.2 Decompositie landhoofden en pijlers

In dit hoofdstuk zullen alle meest voorkomende onderdelen van historische bruggen beschreven worden. De decompositie zal opgebouwd worden vanaf de onderzijde van de liggers tot aan de onderzijde van de fundering.

4.2.1 Muur

Onder de ligger van de brug bevindt zich een muur/wand. Deze kan uit verschillende materialen bestaan:

- Metselwerk
- Beton
- Metaal

Aan de voorzijde van de muur/wand kan tevens wrijfhout bevestigd zijn.

4.2.2 Vloer

Onder de muur/wand is een fundatievloer opgebouwd. Deze kan uit verschillende materiaalsoorten bestaan, maar ook komen combinaties van de verschillende materialen voor:

- Beton
- Hout

In de houten vloer kan eventueel een schuifhout zijn opgenomen. Deze verbindt de vloer met het metselwerk, zodat deze niet afschuift. Aan de voorzijde van de vloer kan ook een watersloof zijn opgenomen.

4.2.3 Dwars-/langsliggers

Indien een vloer van hout aanwezig is, bestaat de constructie meestal ook uit een dwarsligger, de kesp. Eventueel zijn ook langsliggers in de constructie opgenomen. De liggers nemen de krachten op van de kade en verdelen deze naar de fundering, bestaande uit palen of een stevige ondergrond.

4.2.4 Palen

Indien de ondergrond niet in staat is de optredende krachten op te nemen, is een betere fundering nodig. Hiervoor worden palen gebruikt; deze kunnen eventueel in schoorstand staan. De volgende materialen worden voor de palen gebruikt:

- Beton
- Hout

De palen kunnen zowel verticaal als in schoorstand staan.

4.2.5 Grondkerend scherm

Tussen of voor de palen kan tevens een grondkerend scherm zijn opgenomen; dit is altijd van hout.

5 STUWEN

Een stuw is een waterbouwkundige constructie, die in de doorstroomopening van een rivier, beek of sloot wordt geplaatst. Hierdoor wordt de doorstroming van water belemmerd, zodat de waterspiegel achter de stuw wordt verhoogd. Stuwen kunnen vast of regelbaar zijn; een vaste stuw heeft altijd een vast peil. Bij een regelbare stuw is er een inrichting, zoals een klep, die het waterpeil kan variëren. Een eenvoudige stuw wordt ook wel een overlaat genoemd; deze is niet in hoogte verstelbaar. Een stuw is te vergelijken met een sluis.

5.1 Vaste stuw

Vaste stuwen bestaan vaak uit een dam van aarde, die is bekleed met een steenzetting en vaak is voorzien van damwanden. Grote stuwdammen zijn uitgevoerd in gewapend beton. In kleine waterwegen, zoals sloten, komen dikwijls houten vaste stuwen voor in de vorm van een damwand.

5.2 Regelbare stuw

Regelbare stuwen kunnen onderverdeeld worden in de volgende typen:

- Schotbalkstuw
- Naaldstuw
- Klepstuw
- Dakstuw
- Schuifstuw

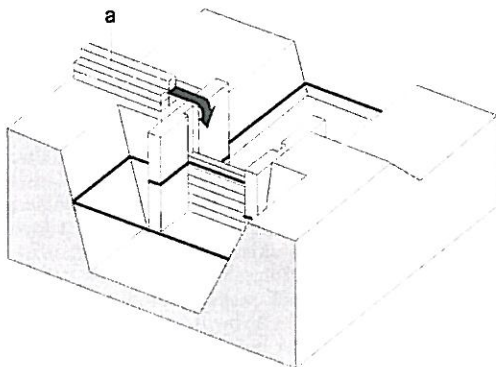


Fig. 27: Schotbalkstuw

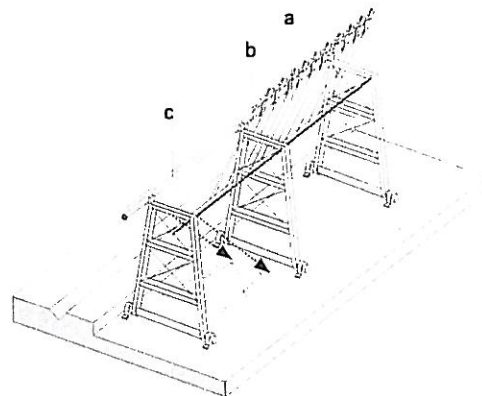


Fig. 28: Naaldstuw

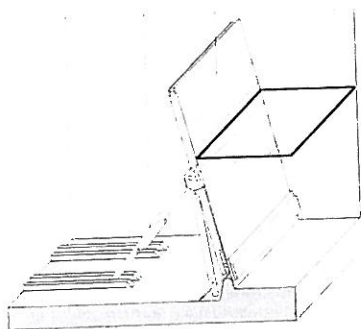


Fig. 29: Klepstuw

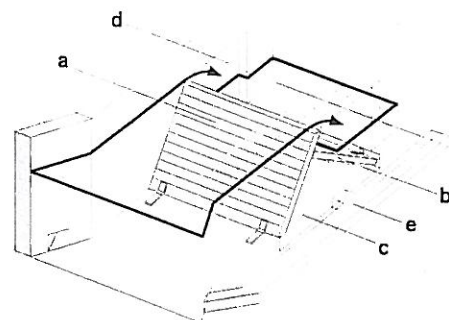


Fig. 30: Dakstuw

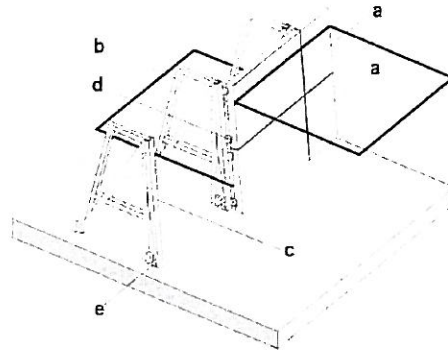


Fig. 31: Schuifstuw

5.3 Fundering stuwen

De fundering van een stuw is vergelijkbaar met die van een sluis. De opbouw van de fundering is afhankelijk van de constructie. Een vaste stuw is voornamelijk op staal gefundeerd, een regelbare stuw op palen. Deze fundering bestaat uit palen, kespen en vervolgens een vloer.

5.4 Decompositie stuwen

Een stuw kan grofweg onderverdeeld worden in de volgende onderdelen:

- Vloer
- Steunpunt
- Stuwsluif/klep

Deze hoofdonderdelen zijn hieronder verder uitgewerkt met de toegepaste materialen. Vanwege de grote verscheidenheid van de typen stuwen zullen alle hoofdonderdelen benoemd worden. Hierdoor is het mogelijk dat onderdelen niet voorkomen bij een bepaalde stuw.

5.4.1 Vloer

De vloer van een stuw kan in de volgende onderdelen worden opgedeeld:

- Aanslag (metaal, beton, hout)
- Vloer (metselwerk, beton)

5.4.2 Steunpunt

Het steunpunt van een stuw kan in de volgende onderdelen worden opgedeeld:

- Aanslag (hout, kunststof, metaal)
- Bekleding (natuursteen, metselwerk)
- Dekzerk (natuursteen, beton, metaal)
- Wand (metselwerk, beton)
- Gording (hout, kunststof)

5.4.3 Stuwsluif/klep

De stuwsluif/klep van een stuw kan in de volgende onderdelen worden opgedeeld:

- Aanslag (hout, kunststof, metaal)
- Beplanking (metaal, hout)
- Ophangconstructie (metaal)
- Regel (hout, metaal)
- Stijl (hout, metaal)
- Trek/duwstang (metaal)

6 DUIKERS

Een duiker is een gesloten constructie onder een dijk of een weg en vormt een verbinding tussen twee wateren aan weerszijden van de dijk of weg. Duikers liggen niet alleen onder een dijk of een weg, maar kunnen ook onder een kanaal, spoorweg et cetera liggen. Onderscheid in de verschillende types zullen gemaakt worden aan de hand van de gebruikte materialen in de constructies.

Een duiker is te vergelijken met een (uitwaterings)sluis; een aantal functies is immers hetzelfde. Echter bij een sluis zou een brug gebouwd moeten worden om de overkant te bereiken; bij een duiker is dit niet nodig. In een duiker zijn tevens deuren/schuiven opgenomen om de doorstroom te blokkeren, zodat de doorstroom regelbaar is.

6.1 Onderscheid duikers

Onderscheid kan gemaakt aan de hand van de gebruikte materialen:

- Kunststof (PVC)
- Beton
- Metselwerk
- Metaal
- Combinatie van materialen

Naast de toepassing van de materiaalsoorten kan ook onderscheid gemaakt worden in soorten duikers:

- Sifon, een duiker onder een watergang door
- Zinker, een pijpleiding onder een watergang die is afgezonken op de bodem
- Afsluitbare duiker, een duiker waarbij de afvoer beperkt kan worden
- Duiker, een normale duiker onder een object door zonder toevoegingen.

6.2 Typen duikers

6.2.1 Kunststof duikers

Voor tijdelijk of eenvoudig werk komen kunststof buizen in aanmerking; deze zijn van polyvinylchloride (PVC) en polyethyleen (PE). Door de flexibiliteit is een fundering niet nodig; daarnaast komen deze uitsluitend voor met een kleine diameter.

6.2.2 Gemetselde duiker

Een gemetselde duiker is een verouderde constructie, die tegenwoordig niet meer wordt toegepast. Het nadeel van deze duikers is dat de bouw erg arbeidsintensief is, waarbij ook veel materiaal wordt gebruikt. Door het hoge materiaalverbruik hebben deze duikers een hoog eigen gewicht; het metselwerk kan trekspanningen niet opnemen, waardoor een goede paalfundering van groot belang is.

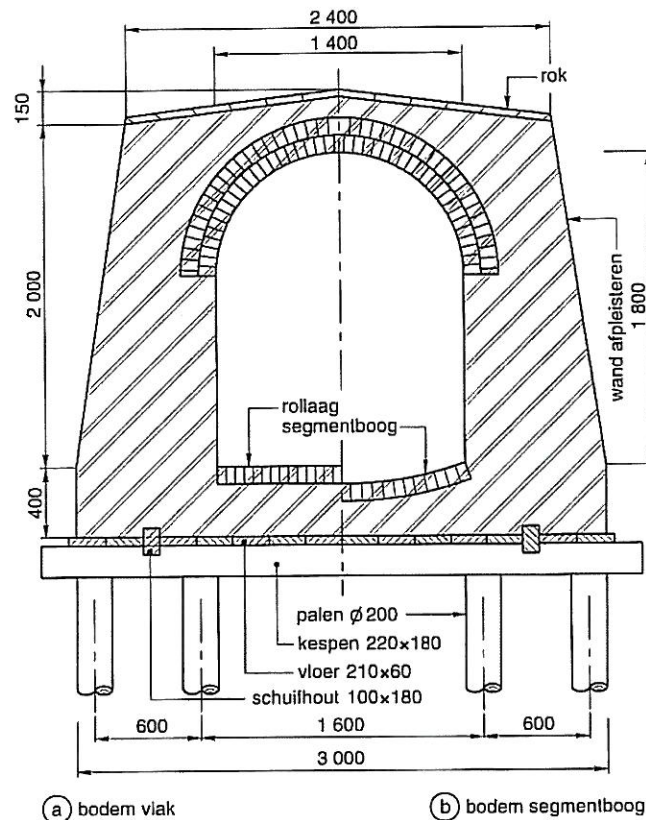


Fig. 32: Doorsnede metselwerk duiker

6.2.3 Houten duiker

In het verleden zijn veel duikers van hout gemaakt. Dit kan variëren van een uitgeholde boomstam tot een constructie van balken en planken. Voor de houten duikers zijn er veel mogelijkheden; deze bestaan uit een fundering op staal of op houten palen. Vervolgens bevinden zich kespen onder de duiker, waarna met een structuur van balken en planken een duiker wordt gevormd.

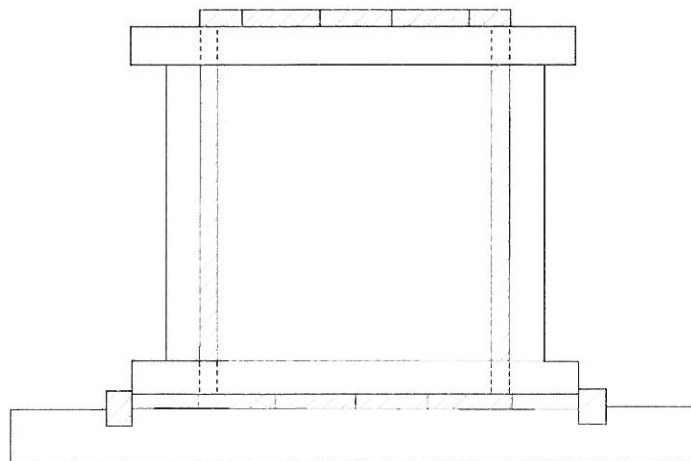


Fig. 33: Duiker van hout

6.2.4 Betonnen duiker

Betonnen duikers kunnen zowel prefab als in het werk gestort zijn. Onderscheid kan gemaakt worden in het gebruik van wapening, of zelfs voorspanning, en de vorm van een duiker (rond, rechthoekig of ovaal). Duikers kunnen met elkaar verbonden zijn door middel van een mof en spieverbinding. De fundering van deze duikers kan op staal zijn, de gewone ondergrond, of op roosterwerk met eventueel palen. Bij toepassing van een roosterwerk bevindt zich dwars onder de duiker een kesp, met eventueel palen hieronder. Aan de bovenzijde van de kesp in de langsrichting bevindt zich een gording met eventueel een klos. Deze kan in beton of in hout zijn uitgevoerd, maar ook is een combinatie van deze materialen mogelijk.

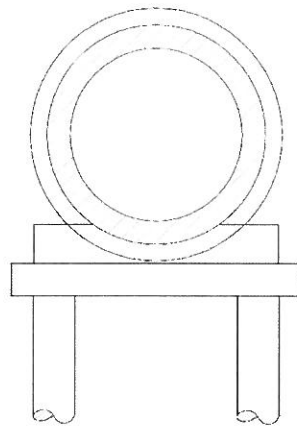


Fig. 34: Duiker van beton met houten palen

Een andere mogelijkheid is het toepassen van hangduikers. Hierbij worden de duikers opgehangen. Aan de bovenzijde van de duiker steken oren aan beide kanten uit, deze hangen op een kesp met daaronder een rij palen.

Bij toepassing van naspanning heeft een duiker geringe flexibiliteit om zich aan te passen aan ongelijke zakkingen van de elementen onderling. De naspanning zorgt ervoor dat de voegen niet ontoelaatbaar wijd gaan openstaan. Onderscheid kan worden gemaakt in lichte en grote naspanning. Bij grote naspanning kunnen grotere momenten worden opgenomen. Dit uit zich in een minder goede ondergrond en een geringe gronddekking.

6.2.5 Metalen duiker

Een metalen duiker kan bestaan uit een damwand, waarover een dak van beton is gestort. Een andere mogelijkheid is het gebruik van geprofileerd plaatstaal. Een duiker van staal heeft meestal verder geen fundering, op een eventuele grondverbetering na.

In het verleden zijn ook gietijzeren buizen toegepast. Hieronder is hiervan een doorsnede weergegeven:

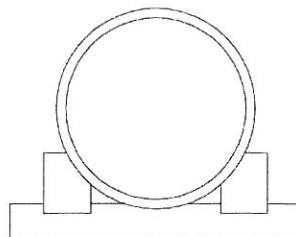


Fig. 35: Duiker van staal

6.3 Decompositie duikers

In dit hoofdstuk zullen alle meest voorkomende onderdelen van een duiker beschreven worden. De decompositie wordt opgebouwd vanaf de bovenzijde tot aan de onderzijde van de fundering.

6.3.1 Inlaatconstructie

De inlaatconstructie bestaat uit een bodembescherming met duikereind. Aan dit duikereind zit meestal een constructie om het water in de duiker te sturen.

De bodembescherming kan bestaan uit de volgende onderdelen:

- Rijshout
- Puinstorting
- Perkoenpalen
- Weefsel
- Beton
- Houten vloer

De overige materialen die toegepast worden bij een duikereind zijn:

- Beton
- Metaal
- Metselwerk

Aan het begin van de duiker is vaak een grondkerend scherm bevestigd, zodat het water niet onder de constructie door kan lopen. Dit grondkerende scherm kan van staal, hout of beton zijn.

6.3.2 Duiker

De duiker zelf kan, zoals hierboven is beschreven, uit verschillende materialen bestaan. De volgende materialen komen voor:

- Hout
- Metselwerk
- Beton
- Metaal

6.3.3 Fundering

De fundering van een duiker kan bestaan uit de gewone ondergrond of palen. In beide gevallen zijn kessen aanwezig onder de duiker, met klossen en eventueel langshout. Indien palen aanwezig zijn, zijn deze verbonden met een kesp, meestal door middel van een zwaluwstaartverbinding.

Inventarisatie materiaalschade

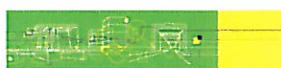
Opdrachtgever Hogeschool Utrecht
Bedrijf Nebest B.V.
Status Concept 1
Uitvoeringsdatum maart 2010
Uitvoering F. Boer

Autorisatie	Naam	Paraaf	Datum
Opstelling	F. Boer		
Begeleiding Nebest B.V.	M.E. Lodema		
	Ing. K. Bosman		
Begeleiding Hogeschool Utrecht	F. van Heerden		
	U. Backhausen		

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	3
2	METSELWERK	4
2.1	Metselsteen	4
2.2	Natuursteen	4
2.3	Mortel	5
2.4	Functies metselwerk	5
2.5	Schades metselwerk	5
2.5.1	Scheurvorming	5
2.5.2	Oppervlakteschade	6
2.5.3	Desintegratie van mortel	6
2.5.4	Vervuiling	6
2.6	Invloedsfactoren	6
2.7	Onderhoud	7
3	HOUT	8
3.1	Functies hout	8
3.2	Duurzaamheid hout	8
3.3	Schades hout	8
3.3.1	Scheurvorming	9
3.3.2	Oppervlakteschade	9
3.3.3	Desintegratie	9
3.3.4	Vervuiling	10
3.4	Invloedsfactoren	10
3.5	Onderhoud	11
4	METAAL	12
4.1	Functie metaal	12
4.2	Schade metaal	12
4.2.1	Corrosie	12
4.2.2	Scheuren & vervormen	13
4.3	Invloedsfactoren	14
4.4	Onderhoud	14
5	KUNSTSTOF	15
6	BETON	16
6.1	Functie beton	16
6.2	Schade beton	16
6.2.1	Scheurvorming	16
6.2.2	Scholvorming	17
6.2.3	Aantasting van het betonoppervlak	17
6.3	Invloedsfactoren	17

Projectnaam : Inventarisatie materiaalschade

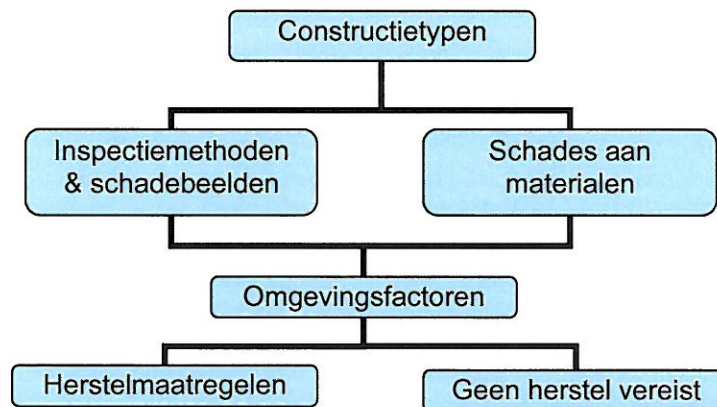


2

6.4	Onderhoud.....	18
7	CONSERVERING	19
7.1	Functie conservering	19
7.2	Schade conservering.....	19
7.3	Invloedsfactoren	19
7.4	Onderhoud.....	20

1 INLEIDING

Om het doel van dit afstudeerproject te realiseren is deze in meerdere fasen onderverdeeld. Hieronder is door middel van een organigram een overzicht weergegeven hoe het onderzoek in stappen is verlopen.



In dit rapport zijn de schades aan materialen opgenomen, die voorkomen in de constructietypen welke in de vorige fase zijn beschreven. Hierbij zijn zowel de eigenschappen van de materialen als de voorkomende schades beschreven. Uiteraard zijn er bijzondere schades, die niet in het overzicht zijn opgenomen. Een beginnend inspecteur/adviseur zou met deze informatie schades aan de constructies moeten herkennen. De materialen die behandeld worden zijn: metselwerk, hout, staal en beton. In moderne objecten wordt tegenwoordig ook kunststof gebruikt, echter valt dit buiten de scope van dit onderzoek. Vanwege de beschermende functie van een aangebrachte conservering is deze ook hierin opgenomen; door onvolledig functioneren van de conservering kunnen schades aan de materialen optreden.

2 METSELWERK

Onder metselwerk wordt verstaan een bepaalde rangschikking van steenachtige materialen, die onderling zijn verbonden door mortel, waarbij het geheel qua vorm en opbouw een bepaald doel bereikt. In de waterbouw wordt vaak natuursteen of gebakken steen toegepast.

2.1 Metselsteen

De gebakken metselsteen kan op afmetingen en herkomst gesorteerd worden. In het verleden zijn de stenen in tabel 2.1 weergegeven welke veelvuldig zijn toegepast. Daarnaast zijn er uiteraard nog veel meer toegepaste stenen.

Type steen	Formaat (l x b x h)	Kleur
Waalsteen	215 x 106 x 53 mm	rood
Utrechtse of Rijn- en Vechtsteen	moppen: 215 x 106 x 45 mm drielingen: 130 x 88 x 43 mm	rood
Groningse steen	240 x 120 x 60 mm	rood
Friese steen	moppen: 215 x 106 x 45 mm drielingen: 180 x 88 x 40 mm	geel
IJsselsteen	160 x 78 x 45 mm	geel

Tabel 2.1: Overzicht veel toegepaste stenen.

De kleurstelling van metselbaksteen in de waterbouw is van oudsher voornamelijk rood of geel.

2.2 Natuursteen

Natuursteen wordt voornamelijk toegepast bij beschermconstructies (dekzerken) en op plaatsen waar de krachten aangrijpen (haalkom). In tabel 2.2 is een overzicht weergegeven van de veelvuldig toegepaste natuurstenen in de waterbouw.

Type natuursteen	Soorten	Kleur	Eigenschappen
Graniet	Beiers	geel tot blauwgrijs	grote drukvastheid en slijtvast
	Labrador	donkergroen en blauwgrijs met parelmoerachtige kristallen	grote drukvastheid en slijtvast
	Noors	rose, rood, zwart	grote drukvastheid en slijtvast
	Zweeds	rose, rood, zwart	grote drukvastheid en slijtvast
Basalt	Basalt	donkergrijs tot blauwzwart	zeer dicht, hard en weervast;
	Basaltlava	grauw tot zwart	hard, stroef, slijt- en weervast
Hardsteen		blauwgrijs, licht tot donker	hard, weervast, goed te bewerken

Tabel 2.2: Overzicht veel toegepaste natuursteen.

Graniet komt vooral in aanmerking voor weinig geprofileerd werk vanwege de moeilijke bewerkbaarheid. Wegens de grote drukvastheid wordt het in die situaties toegepast waar grote belastingen moeten worden opgenomen, bijvoorbeeld de drempels en stijlen van sluizen.

Basalt komt voor in vier-, vijf- en zeshoekige als ook vrij regelmatig gevormde zuilen. De voornaamste toepassing als constructieonderdeel vindt plaats in de vorm van metselsteen (basaltzuil) ten behoeve van het vervaardigen van bijvoorbeeld kademuren. Daarnaast wordt basalt ook heel veel gebruikt voor glooiingen van zetsteen. Basallava wordt voornamelijk gebruikt voor trappen en bordesplaten. Beide materialen zijn moeilijk te bewerken. Hardsteen wordt vooral toegepast als dekzerk.

2.3 Mortel

Mortel is het bindende middel tussen de verschillende stenen. Metselmortel bestaat in hoofdzaak uit cement, kalk en zand. Als speciaal toeslagmateriaal kan tras worden toegevoegd; dit ontstaat door het malen en branden van tufsteen. Tras, gemengd met kalk of cement, versteent onder water.

Mortel kan in diverse samenstellingen worden gebruikt. De volgende mortels kunnen worden onderscheiden:

- Cementmortel - bevat minstens 75% cement
- Kalkmortel - bevat minstens 75% kalk
- Bastaardmortel - combinatie van cement en kalk

Met behulp van een chemische analyse kan de samenstelling van een metselmonster worden bepaald. Bij herstelwerkzaamheden dienen de toe te passen bakstenen en mortel vergelijkbare eigenschappen te hebben als de te handhaven metselwerk.

2.4 Functies metselwerk

Metselwerk kan verschillende functies hebben:

- Dragende/kerende functie; hierbij vervult het metselwerk een constructieve functie.
- Beschermende/geleidende functie; hierbij dient het metselwerk de constructie te beschermen.
- Esthetische functie; hierbij vervult het metselwerk een toonbare functie.

Schades aan metselwerk kunnen uiteenlopend zijn; de ernst van de schades moet bepaald worden aan de hand van de functie van het metselwerk. Zo mag de maximale schade bij een dragende functie geringer zijn dan bij een esthetische functie.

2.5 Schades metselwerk

Metselwerk kent vier hoofdgroepen van faalmechanismen:

- Scheurvorming
- Oppervlakteschade
- Desintegratie van mortel
- Vervuiling

2.5.1 Scheurvorming

Scheurvorming ontstaat door overbelasting van de constructie. Er zijn twee typen scheurvorming:

- Radiaal - Loodrecht op de richting van de middenlijn.
- Axiaal - Evenwijdig aan de middenlijn in de langsrichting.

Radiale scheuren zijn goed zichtbaar in het oppervlak. Axiale scheuren zijn vrijwel onzichtbaar aan het oppervlak; deze zijn alleen te constateren door middel van afkloppen. Een axiale scheur is te herkennen aan een holklinkend geluidseffect dat bij het afkloppen optreedt.

Scheurvorming kan verschillende oorzaken hebben:

- Ongelijke zetting

- Temperatuurveranderingen
- Vochtveranderingen

2.5.2 Oppervlakteschade

De voornaamste oorzaak van oppervlakteschade is het milieu (wind, zon, zure regen, zeewater, vorst). Dit leidt tot meerdere vormen van erosie/veroudering, zoals afschilferen, afpoederen en afbrokkelen van de stenen. Oorzaken van oppervlakteschade zijn:

- Vorst - bevriezing van vocht in de steen waarbij onvoldoende uitzetmogelijkheden zijn (dit vindt vaak plaats na restauratie met verheemde mortel).
- Erosie - door langsstromend water of langs waaiende wind.
- Uitloging - chemische reactie van de steen door zuren.

2.5.3 Desintegratie van mortel

Desintegratie is het uiteenvallen van de mortel. Mortel vormt de lijm tussen de stenen van het metselwerk. Oorzaken van desintegratie zijn:

- Uitloging : chemische reactie van de mortel door zuren, zacht water (oplossing kalk) of micro-organisme
- Ettringietvorming : als gevolg van de reactie van sulfaat.

Uitloging is het transport van bestanddelen (mortel of steen) naar het oppervlak, waar deze worden afgezet. Door deze afzetting verzwakken de mortel en het steen aanzienlijk. Om uitloging te krijgen is stroming van water door het metselwerk heen nodig. Uitspoeling van kalk vindt plaats door het aanwezige koolzuur in regenwater dat reageert met het calciumcarbonaat, wat vervolgens goed oplosbaar is.

Een ander veel voorkomend probleem bij monumenten is zoutkristallisatie. Belangrijke schadelijke zouten zijn sulfaten, chloriden en nitraten. De kristallisatie van zouten kan gebeuren door zoutuitbloei aan het oppervlak, onzichtbare kristallisatie of een reactie met de mortel, waardoor deze gaat zwellen. De eerste vorm van schade is een esthetische schade; hier is geen sprake van materiaalverlies. De zoutuitbloeiingen kunnen ontstaan doordat water langs het oppervlak stroomt. Het onzichtbaar kristalliseren van de zouten gebeurt in het materiaal zelf, waardoor het materiaal los kan raken. Het kristalliseren wordt veroorzaakt doordat de hoeveelheid water die aan het oppervlak verdampt groter is dan de aanvoer. De kristallisatie gebeurt op de grens tussen het droge en het natte deel. De laatste vorm van de zoutschade is een reactie van de zouten met de mortel.

2.5.4 Vervuiling

Vervuiling van het oppervlak is voornamelijk een esthetische schade; de oorzaken kunnen zowel natuurlijk als onnatuurlijk zijn. Oorzaken van vervuiling zijn:

- Plant en mosaangroei: Hierbij ontstaan scheuren of desintegratie door wortelvorming (alleen schade bij houtvormende begroeiing, zoals een beuk).
- Graffiti: ongewenste coating of verflaag
- Kalkuitslag: oplossing van kalk; kan gebruikt zijn als bindmiddel.

2.6 Invloedsfactoren

De levensduur van een gemetselde constructie is afhankelijk van de degradatie. Dit degradatieproces kan in drie vormen plaatsvinden, te weten degradatie als gevolg van stilstand (veroudering), degradatie als gevolg van gebruik (slijtage) of een combinatie van beide. Bij gemetselde constructies bestaat het degradatieproces uit een combinatie van veroudering en slijtage. Het degradatieproces heeft verschillende invloedsfactoren, waaraan gemetselde constructies worden blootgesteld. Dit kunnen factoren van buitenaf zijn, maar bijvoorbeeld ook gebreken in de kwaliteit van de constructies ontstaan in de realisatiefase.

Invloedsfactoren op het degradatieproces kunnen zijn:

- Omgeving
 - Boven/onder water
 - Wind/waterlijn
 - Beschut/onbeschut
 - Locatie
 - Ligging
 - Oriëntatie (noord/oost/zuid/west)
- Kwaliteit steen
 - Mechanische kwaliteit
 - Wateropnemend vermogen
 - Zoutgehalte van de steen
- Kwaliteit mortel
 - Samenstelling bindmiddel metselmortel
 - Cementsamenstelling
 - Verhouding bindmiddel en zand
 - Luchtgehalte
- Constructieve aspecten
 - Ontwerp
 - Uitvoering
 - Dikte
 - Voegtype

De invloedsfactoren kunnen leiden tot het ontstaan van verschillende schadebeelden. Dit gebeurt meestal bij een gebrek in de constructie, dat door middel van invloeden van buitenaf tot schadevorming leidt. Hierbij spelen meestal meerdere processen gelijktijdig af.

2.7 Onderhoud

Goed onderhoud is van groot belang. Te vroeg onderhouden is duur, te laat is meestal gevaarlijk. Het onderhoud kan in twee soorten worden opgedeeld, variabel en vast onderhoud.

Het variabele onderhoud omvat de volgende werkzaamheden:

- Injecteren van scheuren
- Inboeten, uithakken en herstellen van metselwerk
- Herstellen voegwerk
- Reinigen door middel van hoge druk (kan ook slecht voor het object zijn)

Het vaste onderhoud kan meestal beperkt worden tot het schoonspuiten van de constructie, waarna een beoordeling gegeven kan worden over de staat van het onderhoud.

3 HOUT

In de civiele waterbouw wordt hout in diverse kunstwerken toegepast, zoals funderingen van constructies maar ook in de constructie zelf, zoals sluisdeuren en cetera. Daarnaast komt hout voor in beschermingsconstructies en aanvaarconstructies. De houtsoorten zijn in te delen in twee hoofdgroepen: loofhout en naaldhout. Loofhout wordt ook wel hardhout genoemd, echter deze benaming heeft niets met de hardheid van het hout te maken. De hardheid heeft te maken met de houtsoort en het groeiklimaat. Voorbeelden van veelgebruikt loofhout zijn azobé, eiken, basralocus, demerara groenhart en angelim vermelho. Voorbeelden van veelgebruikt naaldhout zijn dennen, grenen en vuren.

3.1 Functies hout

Hout kan verschillende functies hebben:

- Dragende/ kerende functie; hierbij vervult het hout een constructieve functie.
- Beschermende/geleidende functie; hierbij dient het hout een constructie te beschermen.
- Esthetische functie; hierbij vervult het hout een toonbare functie.

Schades aan het hout kunnen uiteenlopend zijn; de ernst van de schades moet bepaald worden aan de hand van de functie van het hout. Zo is de toelaatbare maximale schade bij een dragende functie geringer zijn dan bij een esthetische functie.

3.2 Duurzaamheid hout

Hout is onderverdeeld in verschillende klassen ten opzichte van de duurzaamheid. Afhankelijk van het omgevingsmilieu van het hout, kan de verwachte levensduur bepaald worden.

Levensduur (jaar)		
Klasse duurzaamheid	Vochtige omgeving	Blootgesteld aan weer en wind
I	+25	50
II	15-25	40-50
III	10-15	25-40
IV	5-10	12-25
V	-5	6-12

3.3 Schades hout

Hout kan bezwijken door overbelasting, maar meestal is het degradatieproces maatgevend. De schadebeelden bij hout zijn op te delen in vier hoofdgroepen:

- Scheurvorming
- Oppervlakteschade
- Desintegratie hout
- Vervuiling

De ernst van de schade dient bepaald te worden op basis van de functie van het hout.

Hout is een organisch natuurproduct, hierdoor is het gevoelig voor biologische aantasting. Dit in tegenstelling tot anorganische stoffen als staal en beton.

3.3.1 Scheurvorming

Scheurvorming kan ontstaan ten gevolge van overbelasting of als gevolg van natuurlijke eigenschappen. Er kunnen zowel dwars- als langsscheuren zijn; de verschillende scheuren zijn over het algemeen goed zichtbaar.

Scheurvorming kan de volgende oorzaken hebben:

- Vochtwisselingen waardoor hout gaat werken
- Overbelasting van de constructie

3.3.2 Oppervlakteschade

Afgezien van slijtage zijn schimmels en bacteriën de voornaamste oorzaak van oppervlakteschade. Houtsoorten met een hoog ligninegehalte (houtstof, hoog gehalte bij naaldhout) zijn over het algemeen goed bestand tegen bacteriële aantasting.

Oppervlakteschade kan de volgende oorzaken hebben:

- Mechanische aantasting (slijtage)
- Biologische aantasting door schimmels of bacteriën

3.3.3 Desintegratie

De belangrijkste oorzaken die kunnen leiden tot desintegratie van hout zijn:

- Schimmels
- Bacteriën
- Paalworm
- Gribbel

Schimmels

Schimmels zoals bruinrot, witte rot en zachte rot tasten de celstructuur van het hout aan. Hierdoor verliest het hout het onderling samenhangende verband van de cellen. Bruinrot is te herkennen aan een bruine verkleuring van het aangetaste hout, met krimpscheuren evenwijdig aan en loodrecht op de vezelrichting. Witte rot is zichtbaar in de vorm van een witte verkleuring van het hout. In geval van zachte rot laten de cellen los van de oorsprong; dit valt goed op wanneer bevestigingsmiddelen zijn aangebracht. De aantasting bedraagt maximaal ca. 10 mm per jaar. Aantasting vindt vooral plaats op het grensvlak van lucht en water, schimmels hebben namelijk zuurstof en vocht nodig.

Bacteriën

In zeer natte omstandigheden, waarbij dus geen zuurstof beschikbaar is, kan het hout aangetast worden door bacteriën. Onder water kan deze aantasting ca. 1 mm per jaar bedragen, dit is afhankelijk van een groot aantal factoren, zoals het houtsoort. De schattingen zijn dat het tientallen jaren duurt voordat de draagkracht van de fundering is verdwenen, z'n 70 tot 90 jaar.

Een belangrijke factor in de bacteriële aantasting zijn de grondwaterstromingen, waarbij met name verticale stroming door de palen plaats vindt. Dit wordt veroorzaakt door de aanwezige grondwaterspanningen rond het paalpunt niveau.

Paalworm

De paalworm valt in de groep weekdieren. De paalworm komt voor in zout en brak water. De worm boort lange ronde gangen in het hout, met een gatdiameter tot 10 mm. Wanneer dit geconcentreerd plaatsvindt, verliest het hout ter plaatse zijn sterkte.

Gribbel

De gribbel komt voor aan de kust. Het diertje boort gangen in het hout in de zuurstofrijke zone, de waterlijn. Het schadebeeld van een gribbel lijkt op een zandlopervorm.

3.3.4 Vervuiling

Vervuiling geeft een indicatie van de omstandigheden waaraan het hout wordt blootgesteld; vervuiling is niet direct een schadebeeld. Een voorbeeld hiervan is algengroei; dit geeft aan dat het hout zeer vochtig is en niet op nauwelijks kan drogen. Op termijn kan dit leiden tot werkelijke problemen in de vorm van houtrot of schimmelvorming.

3.4 Invloedsfactoren

Door overbelasting is het mogelijk dat het hout bezwijkt. Meestal is het degradatieproces echter afhankelijk van de levensduur. Het degradatieproces heeft drie oorzaken: stilstand, gebruik en een combinatie van beide.

Degradatie van het hout is afhankelijk van verschillende factoren:

- Omgeving
 - Boven/onder water/waterlijn
 - Zout/zout water
 - Beschut/onbeschut
 - Vervuiling
 - Ligging
 - Oriëntatie (noord/oost/zuid/west)
- Kwaliteit hout
 - Natuurlijke duurzaamheid
 - Natuurlijke eigenschappen
 - Verduurzaming
- Constructieve aspecten
 - Ontwerp
 - Uitvoering
 - Conservering
- Gebruik
- Onderhoud

De invloedsfactoren kunnen leiden tot het ontstaan van verschillende schadebeelden. Dit gebeurt meestal bij een gebrek in de constructie, dat door middel van invloeden van buitenaf tot schadevorming leidt. Hierbij spelen meestal meerdere processen gelijktijdig af.

3.5 Onderhoud

Goed onderhoud is van groot belang. Te vroeg onderhouden is duur, te laat is meestal gevaarlijk. Het onderhoud kan in twee soorten worden opgedeeld, variabel en vast onderhoud.

Het variabele onderhoud omvat het vervangen van versleten of verouderde onderdelen. Het vaste onderhoud kan meestal beperkt worden tot het schoonspuiten van de constructie, waarna een beoordeling gegeven kan worden over de staat van het onderhoud.

Onderhoud aan fundering komt (met uitzondering van funderingsherstel) niet voor.

4 METAAL

Metaal bestaat uit ijzeratomen, die worden verkregen door ijzererts om te smelten dat vervolgens bewerkt kan worden. Onderscheid kan worden gemaakt in ijzer en staal. Ijzer is een zuivere metaal, staal is een legering van staal en koolstof.

In staal zijn altijd verontreinigingen aanwezig, met name koolstof, eventueel speciale legeringelementen die zijn toegevoegd. De legeringelementen worden toegevoegd om de eigenschappen van het staal gunstig te beïnvloeden; dit kan leiden tot bijvoorbeeld roestvast staal. Tegenwoordig bestaan ongeveer 2.500 verschillende staalsoorten.

Indien geen roestvast staal wordt toegepast, is het staal vaak bewerkt met een conservering. Deze conservering beschermt het staal tegen corrosie. Corrosie is een ongewenste chemische of elektrochemische aantasting aan het oppervlak, waarbij ijzeratomen oxideren. Gecorrodeerd staal bladdert van de constructie af; de materiaalafname hangt van het milieu af.

Bij oudere constructies komt veel gietijzer en gietstaal voor, onderscheid wordt gemaakt in concentratie koolstof. Gietstaal heeft een lagere koolstof concentratie dan gietijzer, hierdoor is gietstaal minder bros.

Gietijzer heeft het nadeel dat deze geringe treksterkte kan opnemen en daarnaast erg bros is.

4.1 Functie metaal

Vanwege de goede bewerkbaarheid en de sterkte hebben metaalconstructies slechts een constructieve functie. De constructie moet in staat zijn de optredende belastingen op te nemen of over te dragen.

4.2 Schade metaal

Door overbelasting of slijtage kan metaal bezwijken. Echter, meestal is corrosie de oorzaak van schades.

Bij constructies kunnen de volgende twee schadebeelden worden onderscheiden:

- Corrosie (roestvorming)
- Scheuren & vervormen (overbelasting/ontwerpfouten)

4.2.1 Corrosie

Corrosie is een ongewenste aantasting van het metaal, waarbij de ijzeratomen oxideren. Gecorrodeerd metaal bladdert van de constructie af; dit kan dus geen belasting meer opnemen. In veel gevallen is een overdikte gerealiseerd om de corrosie te compenseren. Hoeveel deze overdikte bedraagt, is meestal niet bekend, dit kan slechts rekenkundig worden vastgesteld. Corrosie kan voorkomen worden door het aanbrengen van een conservering, maar bij slecht onderhoud geeft dit slechts een tijdelijke bescherming. Door het onvolledig functioneren van de conservering kan corrosie optreden. Tegenwoordig kan er ook kathodische bescherming aangebracht worden.

Voor de constructieve veiligheid van een constructie is met name de materiaalafname als gevolg van corrosie van belang. Een ondiepe maar over een grote oppervlakte voorkomende corrosie heeft weinig invloed op de constructieve veiligheid. De corrosiesnelheid/materiaalafname van onbeschermd staal in de atmosfeer ligt tussen de 0,01 en 0,1 mm/jaar; dit is afhankelijk van de omgeving en samenstelling.

Er bestaan twee typen corrosie: chemische corrosie en elektrochemische corrosie.

Chemische corrosie

Chemische corrosie treedt op wanneer metalen worden aangetast door de zuivere inwerking van bepaalde elementen of verbindingen. De meest voorkomende vorm van dit type corrosie is de aantasting door zuurstof bij hoge temperatuur, zonder de medewerking van vocht, een droge corrosie.

Elektrochemische corrosie

Elektrochemische corrosie is de meest voorkomende corrosie, de natte corrosie.

Wanneer twee verschillende metalen met elkaar worden verbonden, kan bij aanwezigheid van een geleider een elektrische stroom gaan lopen. De elektrische stroom wordt gevormd door twee metalen en een geleider (elektrolyt). De minst edele metaal zal gaan corroderen. In geval van oudere constructies komt kathode-anodewerking voor door onreinheden in het materiaal.

Uniforme/lokale corrosie

De vorm van corrosie is onder te verdelen in twee soorten: uniform of lokaal. Uniforme corrosie is verspreid over de oppervlakte; het gehele oppervlak roest. Deze vorm van corrosie is niet zo schadelijk als lokale corrosie. Bij uniforme corrosie is de snelheid van corroderen redelijk bekend en beheersbaar. Lokale corrosie is geconcentreerd op één punt; dit is schadelijker omdat de corrosiesnelheid niet is te voorspellen of te beheersen. Hieronder zijn diverse specifieke corrosiesoorten beschreven, die bij lokale corrosie horen.

Putcorrosie

Putcorrosie is vorm van corrosie waarbij zich putten in het oppervlak vormen. Putcorrosie treedt op bij aanwezigheid van beschermende lagen, waarin scheurtjes of beschadigingen voorkomen. Ook door plaatselijke verzwakkingen kunnen putten ontstaan.

Spleetcorrosie

Dit corrosietype vormt zich net als bij uniformecorrosie, maar heeft een ander uiterlijk. Spleetcorrosie treedt op in spleten, zoals tussen bouten en moeren of tussen flenzen et cetera. Meestal treedt spleetcorrosie op bij concentratieverschillen van zuurstof in een elektrolyt, zoals waterige oplossingen in een spleet. Door het verbruik en een moeilijke aanvoer van zuurstof zal de concentratie in de spleet lager zijn dan buiten de spleet. Als gevolg hiervan begint in het zuurstofarme gedeelte het metaal in oplossing te gaan. De aantasting kan zowel puntvorming als gelijkmatig zijn.

Erosiecorrosie

Erosiecorrosie treedt op bij hoge stroomsnelheden (turbulentie). Slijtage wordt veroorzaakt door hoge stroomsnelheden of cavitatie, waardoor de bescherm laag wordt beschadigd. Het langsstromen zorgt voor een uitschuring; het metaal wordt verwijderd als opgeloste ionen of als corrosieproduct.

Contactcorrosie

Contactcorrosie (galvanische corrosie) treedt op als er elektrisch contact is tussen twee verschillende metalen in hetzelfde milieu. Hierbij tasten de edele metalen de onedele aan, mits een goede geleider aanwezig is.

Spanningscorrosie

Bij aanwezigheid van mechanische spanningen en een elektrolyt kan een vorm van corrosie ontstaan. De spanningen kunnen zowel inwendig als uitwendig zijn, zoals lasspanningen en vervormingsspanningen. Bij overschrijding van de trekspanning kunnen scheurtjes ontstaan.

4.2.2 Scheuren & vervormen

Door overbelasting of door fouten in het ontwerp kan scheurvorming of vervorming plaatsvinden. Vermoeiing is de belangrijkste oorzaak hiervan. Vermoeiing treedt op bij dynamisch belaste constructies. Dit kan zijn door verkeer over een brug, golven tegen een sluisdeur, waardoor spanningswisselingen in het materiaal ontstaan.

4.3 Invloedsfactoren

Het schadeproces heeft een aantal invloedsfactoren:

- **Omgeving**
 - Boven/onder water/waterlijn
 - Zout/zout water
 - Beschut/onbeschut
 - Vervuiling
 - Ligging
 - Oriëntatie (noord/oost/zuid/west)
- **Kwaliteit staal**
 - Legering
- **Constructieve aspecten**
 - Ontwerp
 - Uitvoering
 - Conservering
 - Bescherming (kathodisch)
- **Gebruik**
- **Onderhoud**

4.4 Onderhoud

Goed onderhoud is van groot belang. Te vroeg onderhouden is duur, te laat is risicovol. Het onderhoud kan in twee soorten worden opgedeeld, variabel en vast onderhoud.

Onderhoud kan onderverdeeld worden in variabel en vast onderhoud. Echter voor constructies bestaat hierin geen verschil. Het onderhoud bestaat voornamelijk uit het bijwerken of vernieuwen van de conservering; dit onderwerp zal in een ander hoofdstuk behandeld worden. Het onderhoud aan constructies bestaat uit vervanging/versteviging ter plaatse van scheurvorming. Bij corrosie kan extra bescherming worden aangebracht of het onderdeel worden vervangen.

5 KUNSTSTOF

Kunststoffen zijn materialen die niet direct uit de natuur komen, maar door de mens zijn gemaakt. Kunststoffen zijn chemische verbindingen, die door niet-natuurlijke, scheikundige processen gemaakt worden.

Kunststof is een relatief jong product, dat niet is toegepast in historische kunstwerken. Daar dit project betrekking heeft op historische kunstwerken, zullen kunststoffen niet verder worden uitgewerkt. Deze kunnen echter wel toegepast worden bij het herstellen van enkele schades aan historische kunstwerken.

6 BETON

Beton is een samenstelling van steenachtige materialen, die als bouw materiaal wordt gebruikt. De samenstelling bestaat uit het bindmiddel cement en overige toeslagmaterialen, zoals zand, grind of steenslag. Andere toevoegingen zoals versnellers en vertragers kunnen toegevoegd worden. Goed beton is een oordeelkundig mengsel, waarin de korrelgroottes van de verschillende soorten zand en grind in de juiste hoeveelheden elkaar zodanig aanvullen dat zij verhard tot een steenachtig materiaal. Eenmaal verhard lost het niet meer op in water.

6.1 Functie beton

Door de relatief lage prijs van het materiaal, de eenvoud van gebruik en de vele mogelijkheden is beton een veelgebruikt bouw materiaal.

Beton kan verschillende functies hebben:

- Dragende/kerende functie: het opnemen van statische belastingen.
- Beschermende/geleidende functie: het opnemen van voornamelijk dynamische belastingen.

6.2 Schade beton

De schadebeelden bij beton zijn op te delen in drie hoofdgroepen:

- Scheurvorming
 - Lokale scheurvorming
 - Intensieve scheurvorming
 - Craquelé
- Scholvorming
- Aantasting betonoppervlak
 - Verwering en afschilfering
 - Verkleuring door corrosie van de wapening

6.2.1 Scheurvorming

Naast de toelaatbare scheurvorming kunnen scheuren ontstaan die wijder zijn dan de normen toestaan. Ook kunnen scheuren in beton ontstaan op plaatsen waar deze, gezien de opbouw van de constructie, niet zouden kunnen of mogen optreden.

Scheurvorming kan onderverdeeld worden in drie verschillende soorten scheurvorming. Lokale scheurvorming heeft betrekking op één of enkele scheuren op een geconcentreerde locatie in een constructie. Intensieve scheurvorming houdt in dat verspreid over het constructieonderdeel scheuren worden aangetroffen. Craquelé bestaat uit een scheurpatroon met een netwerk vorm.

Naast het ontstaan van scheurvorming, kunnen in de scheuren ook uitbloedingen ontstaan. Hierbij kan het gaan om uitbloedingen van zouten, corrosieproducten of andere uitbloedingen.

De oorzaak van de scheuren kan zeer divers zijn. Met name bij oudere constructies worden veelal krimp scheuren uit de plastische fase waargenomen, zoals in bijvoorbeeld kolk moten.

Een speciaal geval van schade is een alkali-silica-reactie (ASR). ASR is te herkennen aan de vorming van zeer grote, veel water bevattende kristallen, die een zwelling veroorzaken. Bij ASR reageert het in cementsteen aanwezige sterke alkali met water tot alkalihydroxide, dat reageert tot alkali-silica-gel. De gel kan water opnemen, waardoor het volume van de gel aanzienlijk groter kan worden ten opzichte van het oorspronkelijke toeslagmateriaal. ASR ontstaat dus niet door toevoeging van stoffen van buitenaf, maar door stoffen die in het oorspronkelijke beton zijn toegepast. Als voorwaarde hierbij geldt dat het beton constant vochtig is en de toeslagmaterialen aanwezig moeten zijn.

6.2.2 Scholvorming

Onder scholvorming wordt verstaan afgedrukt, afgesprongen of los beton. Scholvorming geeft een indicatie dat de wapening corrodeert. Bij corrosie treedt volumevergroting van het staal op, waardoor de betondekking afgedrukt kan worden. Na het afdrukken van het beton kan de corrosie op de wapening verder voortzetten. Wapeningscorrosie wordt meestal door carbonatatie en/of chloriden in gang gezet.

Aantasting door carbonatatie

Door het reageren van kooldioxide met calcium neemt de pH-waarde van beton af. De aantasting, koolzuuropname, vindt van buitenaf plaats; hierdoor is een indringingsgrens te bepalen. Als het staal binnen deze van buitenaf gerekende grens ligt, bevindt het zich in "gecarbonateerd beton", waardoor het zal gaan roesten. Indien het ontwerp en de uitvoering zijn verricht aan de hand van de geldende normen, zal geen schade optreden. De uiteindelijke grootte van de carbonatatediepte wordt hoofdzakelijk beïnvloed door de poriënstructuur van de toegepaste cementsteen.

Aantasting door chloriden

Een andere oorzaak voor het optreden van corrosie van staal in betonconstructies is de aanwezigheid van chloriden. Chloriden, ook wel zoutverbindingen, veroorzaken putcorrosie van het staal. Het bijkomende effect is dat chloride ter plaatse van de corrosieput vocht aantrekt en dat chloride zorgt voor de vorming van zoutzuur, waardoor de corrosiesnelheid zal toenemen. Het proces is afhankelijk van de toegankelijkheid van zuurstof voor het staal en vochtigheid van het beton.

Aantasting door sulfaten

Als één verschijnsel met recht "betonrot" zou mogen heten, dan is dat deze aantasting. Door vorming van zeer grote, veel water bevattende kristallen zwelt het beton. De kristallen ontstaan doordat bewust ingebrachte of onbedoeld opgenomen sulfaatverbindingen reageren met het cement tot ettringiet. Ettringiet is een zwellend kristal, dat zeer veel water kan opnemen. Daarnaast kunnen sulfaatverbindingen ook uit de omgeving in het beton indringen. Een goed voorbeeld hiervan is drijfmest, dat zeer sulfaatrijk is.

6.2.3 Aantasting van het betonoppervlak

Over het algemeen kunnen twee soorten aantasting onderscheiden worden:

- Verwerking en afschilfering
- Verkleuring door corrosie van de wapening

Verwerking en afschilfering hebben geen directe invloed op de veiligheid en bruikbaarheid. Bij een te geringe betondekking kan door afschilferen van het beton wel wapeningscorrosie optreden. Verkleuring van het oppervlak kan ontstaan door vervuilende bekisting, roestende binddraadjes, wapeningscorrosie door chloriden.

6.3 Invloedsfactoren

Het schadeproces heeft een aantal invloedsfactoren:

- Omgeving
 - Boven/ onderwater / waterlijn
 - Zout/ zout water
 - Beschut/ onbeschut
 - Vervuiling
 - Ligging
 - Oriëntatie (noord/oost/zuid/west)
- Kwaliteit
 - Staalkwaliteit

- Betonkwaliteit
- Constructieve aspecten
 - Ontwerp
 - Dekking
 - Wapeningshoeveelheid
 - Uitvoering
 - Conservering
- Gebruik
- Onderhoud

6.4 Onderhoud

Mits ontworpen en uitgevoerd volgens de geldende normen, heeft beton in theorie gedurende de levensduur geen onderhoud nodig. Het komt echter veelvuldig voor dat zowel tijdens het ontwerp als tijdens de uitvoering afwijkingen ten opzichte van de normen ontstaan. Als gevolg van deze afwijkingen ontstaat na verloop van tijd een situatie die tot herstelmaatregelen leidt.

Vast onderhoud dat niet direct maar indirect consequenties kan hebben voor beton bestaat uit de volgende onderdelen:

- Reinigen van de hemelwaterafvoeren.
- Beschermen van beton door asfalt tegen vocht en zouten.
- Reinigen en in goede staat houden van voegovergangen.

Variabel onderhoud aan beton dient gepleegd te worden bij constatering van een schade. Het onderhoud bestaat uit de volgende onderhoudsmaatregelen:

- Verwijdering beton ter plaatste van de schadeplek.
- Ontroesten van de wapening.
- Afwerken van betonoppervlak met cementgebonden mortel.

7 CONSERVERING

Een conservering bestaat uit één of meer lagen die op zich of samen de ondergrond, waarop ze zijn aangebracht, beschermen tegen degradatie. Conservering kan onderverdeeld worden in impregneermiddelen en coatings.

7.1 Functie conservering

De primaire functie van een conservering is de ondergrond waarop deze is aangebracht te beschermen tegen aantasting. Het doel hiervan is het waarborgen dat het object waarop de conservering is aangebracht gedurende de beoogde levensduur zijn functie kan blijven vervullen. Overige functies kunnen zijn:

- Reguleren van de vochthuishouding
- Esthetisch

7.2 Schade conservering

Schade aan de conservering kan onderverdeeld worden in natuurlijke en niet-natuurlijke degradatie. Natuurlijke degradatie wordt veroorzaakt door weersomstandigheden (neerslag en wind) en uit zich in de schadebeelden poederen, scheuren, afbladderen, onthechting en de aangroei van algen.

Niet-natuurlijke degradatie wordt veroorzaakt door fouten die tijdens het ontwerp en/of de bouw zijn gemaakt of door mechanische beschadiging. Deze zullen hier verder niet meer behandeld worden.

Natuurlijke degradatie van een conservering verloopt volgens één van de volgende processen:

- Glansafname/poederen/verkleuren
- Elasticiteitsverlies/scheuren
- Scheurvorming/bladderen/onthechten/erosie.

Door deze processen kan de laagdikte verminderen met 0,3 µm tot 5 µm per jaar.

7.3 Invloedsfactoren

Het schadeproces heeft een aantal invloedsfactoren:

- Omgeving
 - Boven/onder water/waterlijn
 - Zout/zout water
 - Beschut/onbeschut
 - Vervuiling
 - Ligging
 - Oriëntatie (noord/oost/zuid/west)
 - Ondergrond
- Kwaliteit
 - Conservering
- Constructieve aspecten
 - Ontwerp
 - Dikte
 - Uitvoering
 - Conservering
- Gebruik
- Onderhoud

7.4 Onderhoud

Het onderhoud kan verdeeld worden in groot en klein onderhoud. Het kleine onderhoud heeft slechts betrekking op een klein gedeelte van het oppervlak, 1 tot 10%. Klein onderhoud wordt plaatselijk toegepast op schadegevoelige plaatsen. Door het regelmatig uitvoeren van klein onderhoud kan het groot onderhoud worden uitgesteld, waardoor kosten beperkt kunnen worden.

Groot onderhoud zijn relatief zware onderhoudsmaatregelen, ca. 10 tot 100% van het oppervlak. Bij groot onderhoud wordt meestal het gehele oppervlak voorzien van een nieuwe conservering.

In het verleden is er veel gebruik gemaakt van koolteer, later teerepoxie, wat tegenwoordig niet meer toegepast wordt. Eventueel herstel van de conservering zal afgestemd moeten worden met de onderliggende lagen. De dikte van de oude lagen is van belang of overlagen mogelijk is. Rijkswaterstaat heeft als eis bij herstel dat de verflaag een minimale dikte van 0,5 mm moet hebben waarbij enkele plekken hersteld worden (dus niet overlagen).

Inspectiemethoden & schadebeelden

Opdrachtgever	Hogeschool Utrecht
Bedrijf	Nebest B.V.
Status	Concept 1
Uitvoeringsdatum	maart 2010
Uitvoering	F. Boer

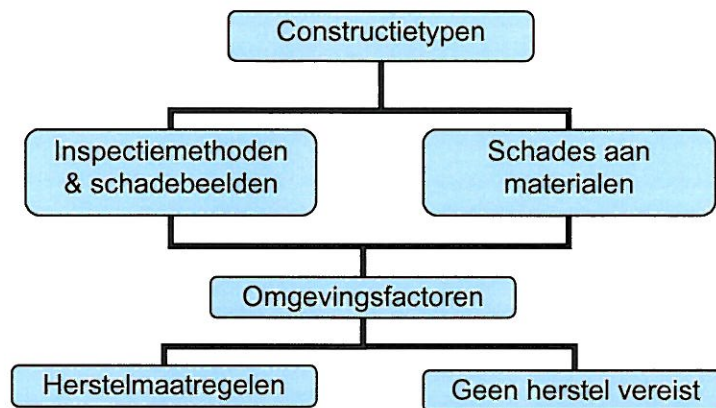
Autorisatie	Naam	Paraaf	Datum
Opstelling	F. Boer		
Begeleiding Nebest B.V.	M.E. Lodema		
	K. Bosman		
Begeleiding Hogeschool Utrecht	F. van Heerden		
	U. Backhausen		

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	2
2	INSPECTIE.....	3
2.1	Functioneringsinspectie.....	3
2.2	Technische inspectie	3
2.2.1	Funderinginspectie	3
2.3	Speciale inspecties.....	5
2.3.1	Nulinspecties	5
2.3.2	Besteksinspectie.....	6
2.3.3	Overdrachtinspectie.....	6
2.3.4	Onderzoeksinspecties	6
3	SCHADEBEELDEN	7
3.1	Oorzaken	7
3.2	Schades.....	7
3.2.1	Constructie / Bouwfouten	7
3.2.2	Uitspoeling / onderspoeling / achterloopsheid	7
3.2.3	Scheuren in de constructie.....	8
3.2.4	Deksloof.....	8
3.2.5	Falende fundering.....	9
3.2.6	Losse stenen	9
3.2.7	Falende verankering.....	10
3.2.8	Corrosie	10

1 INLEIDING

Om het doel van dit afstudeerproject te realiseren is deze in meerdere fasen onderverdeeld. Hieronder is door middel van een organigram in een overzicht weergegeven hoe het onderzoek in stappen is verlopen.



Dit rapport heeft betrekking op de inspectiemethoden en schadebeelden van de constructietypen. Dit is een vervolg op de beschreven constructies met de bijbehorende schades. In dit verslag zijn de schadebeelden van een constructie nader uitgewerkt, tevens is er beschreven hoe de constructie geïnspecteerd dient te worden.

De basis van elke constructie is de fundering, deze kan op staal of op palen gefundeerd zijn. Met name bij de historische kunstwerken is een groot gedeelte op houten palen gefundeerd. In loop der tijd vindt degradatie plaats, de paaldiameters nemen af. Ten gevolge van de afname van de paaldiameters kunnen de palen de horizontale en/of verticale belasting niet meer opnemen.

Een inspecteur zou aan de hand van dit verslag een uitspraak kunnen doen over de toestand van de fundering van een constructie. In het verslag staat nauwkeurig beschreven hoe deze geïnspecteerd dient te worden, volgens de huidige normen.

2 INSPECTIE

Om de status van een kunstwerk te achterhalen is het van belang een inspectie uit te voeren. Tegenwoordig behoort de inspectie voornamelijk bij het onderhoud van een constructie, deze constructies worden periodiek geïnspecteerd (ca. 5 tot 10 jaar), de zogenaamde programmeringsinspecties. Door middel van het monitoren van een constructie wordt inzicht verkregen in de status van de constructie waarbij een advies wordt gegeven over het toekomstige onderhoud.

2.1 Functioneringsinspectie

Bij een functioneringsinspectie wordt het functioneren van het kunstwerk beoordeeld. De inspectie betreft vooral de primaire functies, zoals de veiligheid en de werking van het object. Tijdens deze inspectie worden enkel de zichtbare delen van de constructie geïnspecteerd, ook wel een visuele inspectie genoemd. Ook wordt slechts schade opgenomen die aan de buitenkant zichtbaar is, die inspectie beperkt zicht tot het deel boven de waterlijn. Het hoofddoel van een functioneringsinspectie is het voorkomen van calamiteiten, daarnaast is het vaststellen van onderhoudsbehoefte van belang. Na afloop van deze inspectie is het mogelijk een raming op te stellen van de onderhoudskosten voor de komende jaren. Daarnaast kan er tevens een advies gegeven worden voor nadere inspecties, zoals een technische inspectie. Na uitvoering van de inspectie is het mogelijk de resultaten te verwerken in een beheersysteem. Rijkswaterstaat gebruikt hiervoor het programma DISK (Data Informatie Systeem Kunstwerken), dit is het beheer- en informatiesysteem voor de gegevens van kunstwerken die Rijkswaterstaat beheert.

2.2 Technische inspectie

Een technische inspectie gaat dieper dan een functioneringsinspectie. Behalve het functioneren van het kunstwerk vindt ook een uitgebreid onderzoek plaats van de technische staat ervan. Bij een technische inspectie worden alle schadebeelden ingemeten. Niet alleen de zichtbare gebreken, maar ook de onzichtbare gebreken worden opgespoord. Beginnende roestvorming onder de conservering of beginnende carbonatie van het beton worden in een vroeg stadium ontdekt. Eventueel kunnen boorkernen genomen worden, waarna de kwaliteit van het metselwerk of beton kan worden achterhaald. Aan de hand van de technische inspectie wordt er een nadere uitspraak gedaan over de schadebeelden en de bijbehorende restlevensduur. Afhankelijk hiervan kan het onderhoudsplan bijgesteld of opgesteld worden.

Een onderdeel van een technische inspectie kan een funderingsinspectie zijn, hierbij wordt de fundering, voor zo ver bereikbaar, geïnspecteerd.

2.2.1 Funderingsinspectie

Het doel van een funderingsonderzoek is het in kaart brengen van de funderingsconstructie en bepaling van de mate van mogelijke aantasting. De middelen voor het verrichten van een funderingsonderzoek zijn afhankelijk van het al dan niet boven of onderwater zijnde objecten.

Het TNO heeft in opdracht van het Ministerie van VROM een protocol opgesteld voor het uitvoeren van een funderingsonderzoek: 'Protocol voor het uitvoeren van een inspectie aan houten paalfunderingen (2003). Hierin staat beschreven wat er allemaal met een funderingsonderzoek moet plaats vinden, dit is onder te verdelen op de locatie zelf en in het laboratorium.

Op locatie kunnen de volgende werkzaamheden worden uitgevoerd:

- Bepaling indringdiepte middels een slaghamer.
- Bepaling van de afmetingen.
- Monsternamen van de houten onderdelen.
- Bepaling van de hardheid middels een resistograaf.

In het laboratorium kan aan de hand van een genomen houtmonster het volgende bepaald worden:

- Houtsoort met druk- en treksterkte.
- Onderzoek naar de soort en mate van biologische aantasting.
- Onderzoek naar de soort en mate van schimmel aantasting.

Indringdiepte

In het protocol voor het uitvoeren van een inspectie aan houten paalfunderingen is een naald voorgeschreven welke met een schiethamer (Pilodyn 6J of Specht) in het hout wordt geschoten. De diepte van de indringen geeft een beeld van de aantasting van de buitenste schil van het onderzochte hout. In tabel 1 zijn de indringdieptes verwerkt ten op zichte van de aantasting.

Indringdiepte:	Aantastingsbeeld
0 – 5 mm	Geen aantasting
5 – 10 mm	Lichte aantasting
10 – 20 mm	Matige aantasting
20 – 35 mm	Ernstige aantasting
> 35 mm	Zeer ernstige aantasting

Tabel 1: Indringdiepte

Aan de hand van de indringdiepte kan er een uitspraak gedaan worden over de buitenste schil van het onderzochte hout.

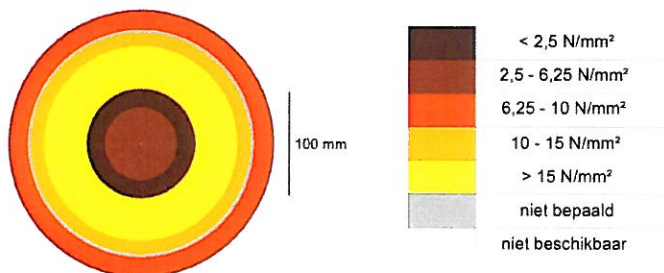
Afmetingen

Volgens het protocol moet de gehele constructie ingemeten worden, zodat de ernst van de schade bepaald kan worden. Vervolgens kan er een rekenkundige controle plaats vinden. Indien er originele tekeningen van de constructie aanwezig zijn, is het van belang deze te controleren, er kunnen immers tijdens de bouw aanpassingen toegepast zijn. Naast het inmeten van de constructie is het van belang een duidelijke tekening op te stellen, waarin tevens is weergegeven welke palen zijn beproefd.

Houtmonster

Door middel van een houtmonsteranalyse wordt informatie verkregen over de aantasting en de reststerkte van de paal. Op een aantal locaties worden houtmonsters $\varnothing$ 10 mm uit de palen genomen, met behulp van een holle boor. Hierbij is van belang dat de monsters meer dan de helft van de diameter zijn van de betreffende paal. Na het nemen van de monsters dienen deze direct ondergedompeld in water worden verpakt en gekoeld te worden. Hierdoor wordt verdere aantasting van het monster voorkomen.

In het laboratorium wordt de soort en mate van aantasting bepaald door het nemen van coupes (dikte 0,025 mm), welke worden beoordeeld onder een microscoop. De druksterkte is bepaald op basis van de gelegde relatie met het nat en droog gewicht van het hout. Een voorbeeld van de bepaalde druksterkte in het laboratorium is in figuur 1 & 2 weergegeven.



Figuur 1: Indicatieve weergave druksterkte.

Figuur 2: Legenda.

Resistograaf

Dit apparaat stelt een inspecteur in staat een uitspraak te doen over de toestand van het hout, tot ca. 30 cm onder het oppervlak. De resistograaf registreert de weerstand van een Ø 1,2 mm boortje, het resultaat van de meting lijkt op een sondeergrafiek. Door de gemeten waarden te vergelijken met basiswaarden van onaangetast hout kan er een uitspraak gedaan worden ter bepaling van de restlevensduur en de constructieve eigenschappen. Dit apparaat is enkel inzetbaar boven water, zoals beschoeiingen, funderingen, sluisdeuren etc.

Dit apparaat is niet voorgeschreven in het protocol van het TNO. Het gebruik van de Resistograaf vindt voornamelijk plaats in de houtbouw, om de hardheid van een boom te controleren. Nebest heeft dit apparaat aangeschaft om een uitspraak te doen over bereikbare houten onderdelen, boven water. In de praktijk heeft dit apparaat zich al bewezen, waar het spinhout hard is (tussen de barst en kernhout) en het kernhout is aangetast door bacteriën en schimmels.

De doorsnede van een boom kan opgedeeld worden in een drietal delen, de barst, spinhout en het kernhout. In afbeelding 3 is dit te zien door het kleur verschil.



Figuur 3: Doorsnede boomstam

Het spinhout is het levendige hout van een boom, hier stromen de sappen door. Het kernhout is de steunfunctie van het hout, hier zijn stoffen opgeslagen welke het kernhout beschermen. Het kernhout is over het algemeen wat donkerder van kleur en zwaarder van gewicht.

2.3 Speciale inspecties

Speciale inspecties zijn inspecties die worden gedaan met een speciaal doel. Ze kunnen worden uitgevoerd ter controle van een daarvoor verrichte actie of juist ter voorbereiding voor een toekomstige handeling.

2.3.1 Nulinspecties

Nulinspecties worden niet alleen verricht na het gereedkomen van nieuwbouw maar ook na het gereedkomen van een ingrijpende renovatie of restauratie. Het doel hiervan is enerzijds het controleren van de werkzaamheden welke conform bestek zijn uitgevoerd. Anderzijds dient de inspectie ook om de op dat moment aanwezige kwaliteit vast te stellen ten behoeve van een onderhoudsplan. Zo kan bijvoorbeeld een meetframe aan een damwand worden opgehangen, waarna deze met regelmaat de dikte van de damwand kan meten. Door middel van een meetframe zal er altijd op dezelfde locatie gemeten worden. Aan de hand van de meetresultaten kan een gerichte uitspraak gedaan worden op de restlevensduur van de constructie, de staaldikte afname is nu immers bekend over een bepaalde periode.

2.3.2 Besteksinspectie

Voordat er tot onderhoud kan worden overgegaan kan er eerst een inspectie worden uitgevoerd om de omvang en aard van het werk te definiëren. De resultaten hiervan worden gebruikt voor het schrijven van een onderhoudsbestek.

2.3.3 Overdrachtinspectie

Overdrachtinspecties worden verricht bij de overdracht van een kunstwerk aan een andere beheerder. Het doel hiervan is om eventueel achterstallig onderhoud in kaart te brengen. De staat van onderhoud bepaalt mede het bedrag dat bij de overdracht wordt meegegeven.

2.3.4 Onderzoeksinspecties

Soms worden één of meerdere aspecten van een kunstwerk geïnspecteerd ten behoeve van kennisvergroting of voor een speciale controle. Een onderzoeksinspectie kan ook worden uitgevoerd als vervolg op een technische inspectie, waarbij niet de gewenste resultaten zijn opgeleverd. Hier kan worden gedacht aan het achterhalen van het materiaalgebruik etc.

3 SCHADEBEELDEN

In dit hoofdstuk zijn de oorzaken van de meest voorkomende schades beschreven. Er zal kort ingegaan worden op eventuele constructie dan wel bouwfouten. Het gaat voornamelijk over aantastingen welke in loop der tijd ontstaan.

3.1 Oorzaken

Allereerst zullen de oorzaken van de meest voorkomende schades beschreven worden.

- Constructie / bouwfouten
- Mechanische schade
- Houtvormende flora
- Overbelasting
- Slijtage
- Aantasting / degradatie
- Toegepaste materialen
- Vorst
- Bodemdiepte
- Temperatuursverschillen
- Vocht / vochtwisselingen

Afhankelijk van de oorzaak treden één of meerdere schadebeelden op. Vaak treedt er ten gevolge van een schade een kettingreactie op. In de praktijk wordt de oorzaak bepaald aan het schadebeeld.

3.2 Schades

3.2.1 Constructie / Bouwfouten

Deze schades zijn ontstaan door een onjuist ontwerp of uitvoering, zoals overbelasting. Vaak komt dit door het gebrek aan kennis. Tegenwoordig vindt er veel meer onderzoek plaats. Ook de ervaring uit het verleden leiden tot andere keuzes van een ontwerp. Een goed voorbeeld hiervan is de dekking van het wapening bij een beton, of het gebruik van zout als verhardingsversneller. Ook zijn de kwaliteiten van de materialen in loop der tijd er op vooruit gegaan, zo zal er tegenwoordig rekening worden gehouden met de milieuklasse, het klimaat waarin de constructie zich bevind.

Door middel van een volledige inspectie kan de constructie in kaart gebracht worden, waarna een constructeur de constructie rekenkundig kan controleren, of deze voldoet aan de huidige normen. De uitkomsten hiervan kunnen leiden tot herstel van de gehele constructie of bepaalde onderdelen.

3.2.2 Uitspoeling / onderspoeling / achterloopsheid

Door het ontbreken dan wel schade aan het grondkerende scherm kan uitspoeling / onderspoeling en achterloopsheid plaats vinden. Schade aan het grondkerend scherm komt voornamelijk voor bij de voegovergang van de planken. Bij een messing en groef verbinding is het hout extra kwetsbaar voor bacteriële aantastingen.

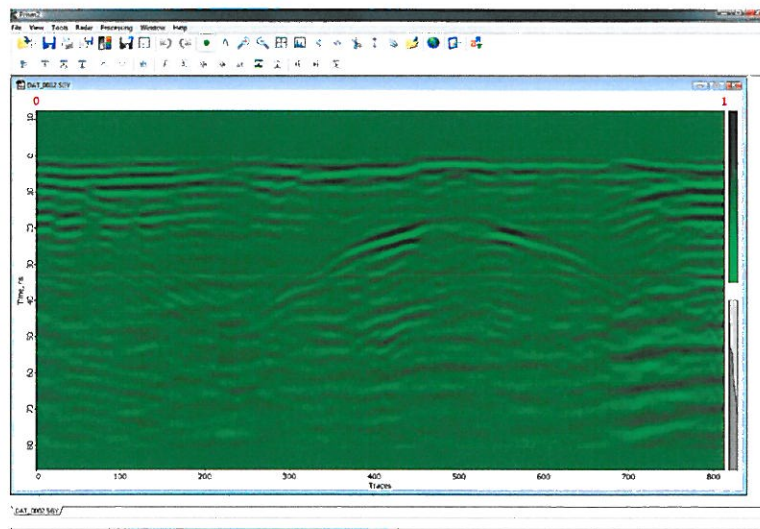
Bij voegen van prefab elementen of een overgang naar de volgende constructie kan tevens grond uitspoelen. Een andere oorzaak voor de uitspoeling kan zijn dat een riolering of duiker lekt.

Door uitspoeling achter ontstaat schade aan de achterzijde van de constructie, zoals het verzakken van het achtergelegen trottoir.

Daarnaast kunnen voegen flink uitspoelen, daar waar deze niet goed meer op elkaar aan sluiten, of waar de voegvulling ontbreekt.

Door een te diep bodemniveau kan het grondkerend scherm bezwijken, of door een te kort scherm.

Het ophogen van het achtergelegen terrein is vaak een tijdelijke oplossing, doordat er ergens een lekkage bevindt, zal het nogmaals uitspoelen. Afhankelijk van de oorzaak van de lekkage dient een hersteladvies gegeven te worden. Uitspoeling valt vaak goed op, echter kan dit ineens zichtbaar worden. Door een toegepaste keperverband van straatstenen blijven de stenen aan elkaar hangen. Bij een hoge belasting zal dit verband bezwijken. Mocht er tijdens een inspectie het beeld ontstaan dat er uitspoeling plaats vindt, kan met behulp van een grondradar de holle ruimtes onder het straatwerk in kaart worden gebracht.



Figuur 4: Uitkomst van een grondradar

3.2.3 Scheuren in de constructie

Scheuren in de constructie kunnen door verschillende oorzaken ontstaan. Grofweg kan worden gesteld dat scheuren in de constructie ontstaan door overbelasting. Andere oorzaken kunnen zijn temperatuursverschillen, houtvormende flora, vocht, corroderende corrosie etc.

Scheuren in de constructie zijn relatief gezien goed zichtbaar. Aan de hand van het scheurpatroon kan een mogelijk oordeel gegeven worden wat de oorzaak hiervan is. Afhankelijk van de oorzaak kan herstel plaats vinden.

Bij en aantreffen van de scheuren dient er gelet te worden op de versheid hiervan. Bij een aangetroffen scheur waar veel vuil in zit, kan gesteld worden dat deze relatief gezien oud is. Verse scheuren zijn nog niet vervuild, deze zijn dan ook pas ontstaan.

De meeste scheuren in metselwerk zijn het gevolg van vochtwisselingen. Door vochtwisselingen zet het materiaal uit, zelfs meer dan in Nederland de temperatuursverschillen kunnen veroorzaken.

3.2.4 Dekslloof

De deksloof kan worden beschadigd door verschillende factoren. Zo kan door het los komen van de ondersabeling de deksloof los komen te zitten. Afgemeerde schepen hebben hun trossen of staalkabels aan de bolders, ook hierdoor kan een deksloof beschadigen. Daarnaast kan door volwassen bomen of houtvormige flora deksloof los dan wel afgedrukt worden, in figuur 5 is dit goed te zien.



Figuur 5: Afgedrukte deksloof.

Een beschadigde deksloof is meestal een esthetische schade, grote constructieve gevolgen heeft deze niet. Bij een loszittende deksloof is er sprake van een onveilige situatie, deze dient daarom snel hersteld te worden.

3.2.5 Falende fundering

Instabiliteit van de constructie is een veel voorkomende schade. Het betreft hier voornamelijk schade aan de fundering. Zo kunnen de funderingspalen en kessen aangetast worden, met name de verbinding tussen deze is hier erg gevoelig voor. Degradering heeft tot gevolg dat de optredende belastingen niet meer goed opgenomen kunnen worden. Tevens kan door overbelasting hetzelfde plaats vinden, de constructie is hier niet op berekend.

Degradering/aantasting van de fundering is een veel voorkomende schade, waardoor de restlevensduur ernstig wordt beïnvloed. Ook de overige houten onderdelen worden aangetast, zoals het grondkerend scherm en een gording.

Indien er schoorpalen in de constructie zijn verwerkt, kunnen deze beschadigd raken door scheepvaart. Met name diepgelegen schepen of pontons, kunnen ervoor zorgen dat de schoorpalen afbreken.

Schade aan de fundering kan worden herkend door verschillende tekens, zoals instabiliteit of verplaatsing van de constructie. Vooraf kan dit meestal lastig herkend worden. Door middel van het nemen van een houtmonster van de funderingspalen kunnen deze onderzocht worden op bacteriële aantasting of eventuele schimmels en de bepaling van de druksterkte. Bij twijfel van de veiligheid van de constructie dient deze rekenkundig gecontroleerd te worden door een constructeur, volgens de huidige normen.

3.2.6 Losse stenen

Bij kalkhoudende metselwerk is het mogelijk dat er kalkuitbloeiingen voorkomen. In eerste instantie is dit een esthetische schade, in later stadium kan dit de constructie ernstig aantasten. Bij historische constructies bestaat het metselwerk voor een groot deel uit kalk. Het kalk is hierin gebruikt als bindmiddel, ten gevolge van hoge luchtvochtigheid treedt het kalk uit zowel de voeg als de steen. Tevens kan het kalk uit de steen treden, het verzanden van de steen, waardoor deze schraal wordt. Ten gevolge van de kalkuitbloeiing komen de stenen los te zitten, wat grote gevolgen kan hebben voor de constructie.

Naast kalkuitbloeiingen zijn er ook andere oorzaken van loszittende stenen, zoals erosie. Ten gevolge van wind, zon en water kunnen de voegen uitslijten.

Loszittende stenen vallen vaak goed op in een constructie, bij herstel dient hier de mortel opnieuw aangebracht te worden. Bij ernstige kalkuitbloeiing is het verstandig de voegen uit te hakken, en hiervoor nieuwe bijpassende mortel aan te brengen.

3.2.7 Falende verankering

De verankering kan falen doordat deze niet is gedimensioneerd op de optredende belastingen. Tevens kan door corrosie/degradatie schade aan de verankering ontstaan, waardoor deze kan falen.

Schade aan de verankering kan meestal enkel herkend worden aan vervormingen van de constructie. Door het falen van de verankering vervormt de constructie. Afhankelijk van de mogelijkheden kan een hersteladvies worden gegeven.

3.2.8 Corrosie

Ten gevolge van corrosie neemt de staaldikte af. Er zijn verschillende soorten corrosie welke andere gevolgen kunnen hebben, deze zijn in het materiaalhoofdstuk opgenomen. In dit hoofdstuk zal corrosie in het algemeen beschouwd worden. Door corrosie neemt de staaldikte af, waardoor de constructie kan bezwijken.

Corrosie op een constructie is goed zichtbaar, door middel van een ultrasone diktemeter kan de resterende dikte opgemeten worden. Aan de hand van de originele dikte kan de afname van het materiaal bepaald worden. Aan de hand hiervan kan een globale uitspraak over de constructie gedaan worden. Bij twijfel over de veiligheid van de constructie dient deze doorgerekend te worden door een constructeur, volgende de huidige normen.

Omgevingsfactoren

Opdrachtgever	Hogeschool Utrecht
Bedrijf	Nebest B.V.
Status	Concept 1
Uitvoeringsdatum	april 2010
Uitvoering	F. Boer

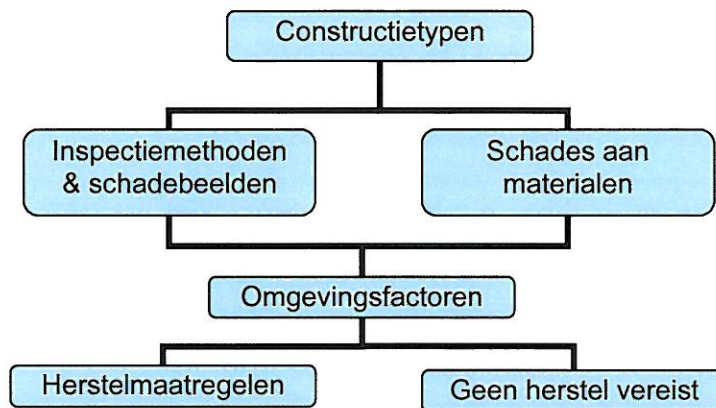
Autorisatie	Naam	Paraaf	Datum
Opstelling	F. Boer		
Begeleiding Nebest B.V.	M.E. Lodema		
	K. Bosman		
Begeleiding Hogeschool Utrecht	F. van Heerden		
	U. Backhausen		

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	2
2	FLORA EN FAUNA.....	3
2.1	Inleiding	3
2.2	Flora	3
2.3	Fauna	4
2.4	Onderzoek	5
2.5	Maatregelen.....	5
3	MONUMENTALE WAARDE	6
3.1	Waarderingscriteria	6
3.1.1	Cultuurhistorische waarde	6
3.1.2	Schoonheid.....	6
3.1.3	Ensemblewaarden	7
3.1.4	Authenticiteit en herkenbaarheid	7
3.1.5	Zeldzaamheid en representativiteit	7
3.2	Waardering	7
4	LOCATIE	8
4.1	Bereikbaarheid	8
4.2	Directe omgeving.....	8
4.3	Ondergrondse infrastructuur	8
4.4	Toekomstplannen	8
4.5	Grondwater	8
4.6	Grondsopbouw	8

1 INLEIDING

Om het doel van dit afstudeerproject te realiseren is deze in meerdere fasen onderverdeeld. Hieronder is door middel van een organigram in een overzicht weergegeven hoe het onderzoek in stappen is verlopen.



Dit rapport heeft betrekking op de omgevingsfactoren van historische kunstwerken. Dit is een vervolg op de schades en ter voorbereiding op de herstelmaatregelen.

Een beginnend inspecteur zou aan de hand van dit verslag een uitspraak kunnen doen over de omgevingsfactoren en welke invloed deze hebben op de constructie.

2 FLORA EN FAUNA

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt er ingegaan over de aanwezige flora en fauna. Allereerst zal er een zogenaamde quick scan van de beschermde natuurwaarden in en rond het plangebied plaats vinden. Een quick scan betreft een beoordeling van de aanwezige natuurwaarden in en rond het plangebied. Bronnenonderzoek, een terreinbezoek en ecologische kennis vormen de basis van de beoordeling. De quick scan is een momentopname en geen standaard veldinventarisatie waarbij meerdere veldrondes in een seizoen worden uitgevoerd. Een quick scan geeft daardoor een beperkter beeld dan een standaard veldinventarisatie.

In Nederland is de wetgeving omtrent de bescherming van natuurwaarden gesplitst in soortbescherming en gebiedsbescherming. De bescherming is geregeld in respectievelijk de Flora- en faunawet en de Natuurbeschermingswet. De doelstelling van de wet is de bescherming en het behoud van de gunstige staat van instandhouding van in het wild levende planten- en diersoorten. Het uitgangspunt is dat activiteiten met een schadelijke effect op beschermde soorten in principe verboden zijn.

De beschermde soorten zijn ondergebracht in drie categorieën die elk een ander beschermingsregime kennen. In categorie 1 zijn de algemene beschermde soorten ondergebracht.

In categorie 2 zijn de minder algemene beschermde soorten ondergebracht. In geval van ruimtelijke ingrepen en bestendig gebruik is ontheffing noodzakelijk, waarbij een lichte toetsing wordt toegepast.

In categorie 3 zijn de strikt beschermde soorten ondergebracht. In geval van ruimtelijke ingrepen is ontheffing genoodzaakt, waarbij een zware toetsing wordt toegepast.

Rode lijsten geven een overzicht van soorten die uit Nederland zijn verdwenen of duidelijk achteruit zijn gegaan. Rode lijsten hebben een signaleringsfunctie en geen juridische status. Plaatsing op de lijst betekend daarom niet automatisch dat de soort beschermd is, hiervoor is opname van de soort onder de Flora- en faunawet nodig.

2.2 Flora

Het ontstaan van een goed ontwikkelde muurvegetaties vergt enkele decennia. In het verleden boden muren volop mogelijkheden voor een wilde plantengroei. In loop der tijd heeft de muurvegetatie in Nederland door sloop en schoonmaak van de oude muren sterk aan oppervlak en kwaliteit moeten inleveren. Ook door het gebruik van eigentijdse bouwmaterialen, die bijna niet verweren, zijn bij restauratiewerkzaamheden veel groeiplaatsen verloren gegaan. Muurplanten behoren hierdoor tot één van de meest bedreigde plantengroepen van Nederland.

Bij historische kunstwerken komt juist deze muurvegetatie terug, bijna een kenmerkende uitstraling. Het spreekt voor zich dat monumentale kunstwerken voor een ander doel dienen dan het huisvesten van een bedreigde plantengroep. Toch kan er een verantwoord muurbeheer goed samengaan met het in stand houden en beschermen van muurvegetaties.

Muurplanten staan als muurvernielers bekend. Toch zijn het eerder sterke temperatuurschommelingen en bijvoorbeeld verkeersdruk die scheuren en verzakkingen veroorzaken. Vrijwel alle echte muurplanten wortelen zeer oppervlakkig en zijn hierdoor betrekkelijk muurvriendelijk. Daar in tegen bomen en struiken, deze kunnen aanzienlijke schade aan de muur veroorzaken.



Figuur 2.2: Beschermde muurvarens

Indien muurvegetatie aanwezig is en uit bouwkundig oogpunt herstel noodzakelijk is dan dient de voorkeur te worden gekozen voor een gefaseerde aanpak waardoor zaden en sporen eventueel (kunnen) worden aangevoerd vanuit nabijgelegen muurbegroeiingen. Door het aanbrengen van muurankers kunnen oude muren met een mooie begroeiing worden verstevigd zonder nadelige gevolgen voor de vegetatie. Kleinschalig herstel waarbij alleen de slechte delen worden hersteld, gevoegd met kalkmortel en deels aangevuld met in de muur behorende stenen verdient de voorkeur. De mogelijkheid tot hervestiging wordt aanzienlijk vergroot door te zorgen voor een terugliggende ruwe voeg. Aanwezige muurplanten kunnen bij voegwerkzaamheden eenvoudig worden gespaard door om de planten heen te voegen. Mocht de muur volledig afgebroken worden en vervolgens opnieuw worden opgebouwd dan kan de muurvegetatie eventueel samen met de specie en stenen waar ze instaat als een pakket worden verwijderd en bij de wederopbouw teruggezet. De planten moeten dan tijdelijk, vochtig en koel worden opgeslagen. Het overplanten kan daarbij het beste worden uitgevoerd buiten het groeiseizoen.

Bij het aantreffen van muurvegetatie is een nader onderzoek genoddaakt, zodat de plantensoorten in beeld komen. Indien deze op de rode lijst voorkomen zullen hiervoor beschermende maatregelen genomen moeten worden.

2.3 Fauna

Alle historische civiele kunstwerken zijn met het water verbonden, hierbij dient rekening worden gehouden met de aanwezige waterfauna. Er zijn een aantal streng beschermde vissoorten die in Nederland vrij algemeen voorkomen, zoals de rivierdonderpad. Doordat deze vrij veel voorkomen hebben deze al snel invloed op de eventuele herstelwerkzaamheden. Naast dat enkele soorten veel voorkomen is er ook al snel sprake van verstoring. Met name de rivierdonder is een soort die dan in beeld komt. Deze soort is gebonden aan een stenig substraat en heeft een klein territorium, enkele m². Bij renovatie aan de kunstwerken onder water wordt deze soort verstoord, waarbij de vaste verblijfplaats (scheuren/holen in het metselwerk) kan worden vernietigd.

Boven water is al snel temaken met vleermuizen, mits er scheuren of holtes aanwezig zijn. Maar ook amfibieën kunnen dit soort plaatsen gebruiken als overwinteringplek. Dit kunnen diverse soorten salamanders en padden zijn. Daarnaast zijn bruggen en sluisen vaak in gebruik door broedvogels als duiven, kauwtjes, uilen en zwaluwen. Met name de oudere kunstwerken bevatten vaak hopen die zeer geschikt zijn voor holenbroeders. Voorheen ging men hier soepel mee om, maar in 2009 sinds de goedkeuring van de gedragscode flora- en faunawet voor de bouw- en ontwikkelingssector is men hier zeer strikt op geworden. Al deze nesten zijn het hele jaar door beschermd.

2.4 Onderzoek

In principe is renovatie even ingrijpend als sloop voor de aanwezige flora of fauna. Allereerst zal er een zogenaamde quick scan plaats vinden. In dit type onderzoek wordt het plangebied beoordeeld op geschiktheid voor beschermde soorten, en wordt via literatuurstudie gekeken welke soorten er in de omgeving van het plangebied voorkomen. Aan de hand van deze scan wordt bepaald of het mogelijk is dat er beschermde soorten gebruik maken van het plangebied, en of het plangebied echt van belang kan zijn voor deze soort. Als bijvoorbeeld de grote bonte specht in de omgeving voorkomt, en in het plangebied een grote dode boom staat, welke gekapt gaat worden, zou dit een voedsel- of broedboom kunnen zijn. Hiervoor is nader onderzoek vereist.

Uit de quick scan blijkt welke soorten nader onderzocht moeten worden. In dit onderzoek wordt gekeken waar de soorten precies zitten, en wat de functie van het plangebied is. Daarnaast wordt gekeken wat de plannen voor effect hebben op deze soorten. Indien verwacht wordt dat de plannen effect hebben, wordt afhankelijk van het beschermingsniveau van de soort, maatregelen voorgeschreven. Deze maatregelen kunnen mitigerend of compenserend zijn, zodat het negatieve effect van de plannen wordt geminimaliseerd.

Voor een gedegen flora- en faunaonderzoek is vaak een heel jaar nodig. Dit is voornamelijk door de verschillende terreingebruik van vleermuizen, het broedseizoen van broedvogels, de bloeimaanden van planten (welke vaak alleen in die periode goed op naam te brengen zijn) etc. Het is dus van belang dat dit onderzoek in zeer vroeg stadium van het planproces wordt begonnen om vertraging te voorkomen.

2.5 Maatregelen

Bij historische kunstwerken gaat het onderzoek meestal richting vleermuizen, de steenmarter, broedvogels, vaatplanten en vissen. Uit de quick scan blijkt welke soorten nader onderzocht moeten worden. In dit onderzoek wordt gekeken waar de soorten precies zitten, de functie van het plangebied en wat het effect is van de plannen. Indien verwacht wordt dat de plannen effect hebben, wordt afhankelijk van het beschermingsniveau van de soort, de maatregelen voorgeschreven. Indien het niet mogelijk is het negatieve effect van de plannen te elimineren zal ontheffing aangevraagd moeten worden.

Enkele voorbeelden van mitigerende maatregelen voor vleermuizen zijn:

- Het werken buiten de kritische periode, tijdens het onderzoek is duidelijk geworden in welke periode de vleermuizen het plangebied gebruiken.
- Vooraf ongeschikt maken van de verblijfplaats, zoals het creëren van tocht in de verblijfplaats waardoor vleermuizen de verblijfplaats verlaten.
- Aanbrengen van uitvliegflappen, waardoor de dieren alleen nog naar buiten kunnen vliegen.

Enkele voorbeelden van compenserende maatregelen:

- Vleermuizen: het aanbrengen van alternatieve verblijfplaatsen in de directe omgeving
- Vogels: het inmetelen / aanbrengen van nestkasten of nestpannen
- Vaatplanten: het gebruik van kalkrijke mortel

3 MONUMENTALE WAARDE

Een monument is een constructie die cultuurtechnisch gezien van belang is en een zekere bescherming heeft. In totaal zijn er een viertal niveaus waarin een monument kan verkeren. De belangrijkste status zijn monumenten welke op de werelderfgoedlijst staan. Het tweede niveau betreft de rijksmonumenten, deze vallen onder de Monumentenwet van 1988. In deze wet worden als rijksmonument beschouwd:

1. alle vóór ten minste vijftig jaar vervaardigde zaken, welk van algemeen belang zijn wegens hun schoonheid, hun betekenis voor de wetenschap of hun cultuurhistorische waarde.
2. terreinen, welke van algemeen belang zijn wegens daar aanwezige zaken als bedoeld in artikel 1.

Een rijksmonument zal dus behalve haar ouderdom ook voldoende schoonheid, wetenschappelijke waarde of culturele waarde moeten bezitten. De hierna volgende selectiecriteria zijn van deze drie criteria afgeleid. Met 'van algemeen belang' wordt bedoeld van nationaal of zelfs internationaal belang.

Niveau drie en vier bevatten respectievelijk de provinciale en gemeentelijke monumenten. Die monumenten zijn van regionaal of plaatselijk belang en daarvoor geldt de Monumentenwet niet.

3.1 Waarderingscriteria

Om het monumentale belang van een constructie te bepalen moet deze gewaardeerd worden. Daarvoor zijn objectieve criteria nodig. Een vijftal criteria zijn opgesteld:

- Cultuurhistorische waarden
- Schoonheid
- Ensemblewaarden
- Authenticiteit en herkenbaarheid
- Zeldzaamheid en representativiteit

3.1.1 Cultuurhistorische waarde

De cultuurhistorische waarde heeft betrekking op de geestelijke en maatschappelijke ontwikkeling en beschaving met hier de uitingen van. Ook de architectuurhistorie en de geschiedenis van de bouwtechniek vallen hieronder. Alle niet direct van het object afleesbare waarden vallen onder dit criterium.

Onderscheid kan worden gemaakt in:

- Uitdrukking van een culturele, sociaal-economische, bestuurlijke, geestelijke en/of andere maatschappelijke ontwikkelingen
- Uitdrukking van een technische, productietechnische, functionele en/of typologische ontwikkeling
- Belang wegens innovatieve waarde of pionierskarakter
- Bijzonder belang voor de geschiedenis van de architectuur en/of bouwtechniek

3.1.2 Schoonheid

Dit criterium heeft betrekking op de esthetische kwaliteiten van het object, deze zijn direct van het object afleesbaar. Behalve architectonische kwaliteiten komen hier ook het constructieve ontwerp, materiaalgebruik en de ornamentiek aan de orde.

Onderscheid kan worden gemaakt in:

- Belang van de hoogwaardige esthetische of architectonische kwaliteiten van het ontwerp
- Belang van het bijzondere materiaalgebruik en/of bijzondere ornamentiek
- Belang van de bijzondere samenhang tussen exterieur en interieur of tussen de onderdelen
- Belang van de hoogwaardige architectonische kwaliteit van de samenstellende onderdelen

3.1.3 Ensemblewaarden

Dit criteria heeft betrekking of het object of onderdelen hiervan gerelateerd is aan de omgeving.

Onderscheid kan gemaakt worden in:

- Onderdeel van een groter geheel dat cultuurhistorisch, architectuurhistorisch, stedenbouwkundig of landschapskundig van belang is.
- De bijzondere betekenis van het object wegens de wijze van verkaveling/inrichting/voorzieningen.

3.1.4 Authenticiteit en herkenbaarheid

Met authenticiteit wordt bedoeld in hoeverre het object of de samenstellende onderdelen nog oorspronkelijk zijn. Ook de mate van herkenbaarheid van een bouwstijl is hier van belang.

3.1.5 Zeldzaamheid en representativiteit

Zeldzaamheid geeft aan hoe vaak een bepaald type object nog voorkomt. Sommige zijn van mening dat er een samenhang dient te zijn tussen zeldzaamheid en representativiteit. Alle objecten waarvan er meerdere zijn geweest, of die ten minste een schakel in een ontwikkeling vormen, zouden hier moeten gewaardeerd. Zeldzaamheid is een begrip dat op de meeste sluizen kan worden toegepast. Serieproductie van sluizen en stuwen komt niet veel voor.

Een object kan representatief zijn voor de periode waarin deze werd gebouwd of voor de regio waarin deze werd gebouwd.

3.2 Waardering

Bij elk criterium dient een waardering te worden gegeven. Deze waardering dient zo objectief mogelijk te zijn. Door middel van een multi criteria analyse en een goede onderbouwing waarna een conclusie volgt of het object wel of niet monumentwaardig is.

4 LOCATIE

De locatie van de constructie is alles bepalend voor de toepassing van eventuele herstelmaatregelen. Daarnaast is het ook van belang te weten welke belastingen er optreden. In de volgende paragrafen zal er kort ingegaan worden op de verschillende invloedsfactoren.

4.1 Bereikbaarheid

Het is vanzelfsprekend dat in een drukke binnenstad weinig groot materieel kan staan, de bereikbaarheid is dus van groot belang. Als alternatief kan er ook vanaf het water gewerkt worden, dit zal per project bekeken moeten worden. Echter zijn de ontwikkelingen tegenwoordig zo dat er veel kleine machines zijn ontwikkeld die dezelfde werkzaamheden kunnen uitvoeren.

4.2 Directe omgeving

Uiteraard zal er tevens rekening gehouden moeten worden met de omwonenden en de overige omgeving. Zo dient er gelet te worden op de aanwezige panden, dat deze niet beschadigen dan wel bezwijken.

4.3 Ondergrondse infrastructuur

In Nederland is er een groot ondergronds infrastructureel netwerk van kabels en leidingen aanwezig waar op gelet moet worden, eventueel dienen deze omgelegd te worden. Voor elke constructie zal er specifiek aandacht geschonken moeten worden om hier zo goed mogelijk rekening mee te houden.

4.4 Toekomstplannen

Afgezien van de huidige situatie is het ook van belang rekening te houden met de toekomstige plannen, zijn er veranderingen in de omgeving van de constructie in het vooruitzicht?

4.5 Grondwater

Voor de rekenkundige controle of eventuele plannen is het van belang dat de grondwaterstand gemeten is. Bij enkele constructies zal het van belang zijn de grondwaterstromingen in kaart te brengen, voor onder andere sluizen. Echter is de grondwaterstroming en het zoutgehalte ook van belang voor de bacteriële aantasting aan de houten palen.

4.6 Grondsopbouw

Voor de rekenkundige controle of eventuele toekomstige plannen is het van belang de grondopbouw te achterhalen.

Herstelmaatregelen

Opdrachtgever Hogeschool Utrecht
Bedrijf Nebest B.V.
Status Concept 1
Uitvoeringsdatum april 2010
Uitvoering F. Boer

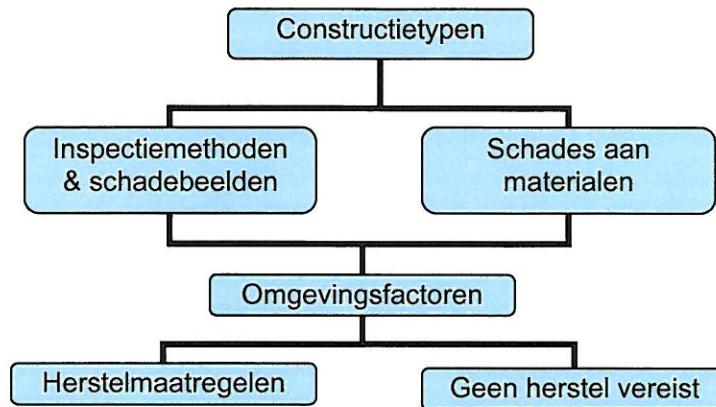
Autorisatie	Naam	Paraaf	Datum
Opstelling	F. Boer		
Begeleiding Nebest B.V.	M.E. Lodema		
	K. Bosman		
Begeleiding Hogeschool Utrecht	F. van Heerden		
	U. Backhausen		

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	2
2	RESTAURATIEOPVATTINGEN	3
2.1	Onzichtbaar restaureren	3
2.2	Opvallend restaureren	3
2.3	Historiserend restaureren	3
2.4	Creatief restaureren	3
2.5	Conserverend restaureren	3
3	HERSTELMAATREGELEN	5
3.1	Funderingsherstel	5
3.1.1	Funderingsverbetering	5
3.1.2	Funderingsvernieuwing	5
3.2	Hout	5
3.3	Metselwerk	6
3.3.1	Inboeten	6
3.3.2	Hervoeegen	6
3.3.3	Vernieuwing	6
3.3.4	Hydrofoberen	6
3.3.5	Natuursteen	6
3.3.6	Dilatatievoeg	6
3.4	Metaal	6
3.4.1	Staal & IJzer	6
3.4.2	Gietijzer	7
3.4.3	Klinken	7
3.5	Beton	7
3.5.1	Reinigen	7

1 INLEIDING

Om het doel van dit afstudeerproject te realiseren is deze in meerdere fasen onderverdeeld. Hieronder is door middel van een organigram in een overzicht weergegeven hoe het onderzoek in stappen is verlopen.



Dit rapport heeft betrekking op de herstelmaatregelen van de historische kunstwerken. Dit is een vervolg op de schades en de omgevingsfactoren van de constructies. In dit verslag zijn de herstelmaatregelen en opvattingen hierover nader uitgewerkt.

Een beginnend inspecteur zou aan de hand van dit verslag een uitspraak kunnen doen over de mogelijkheden tot herstel bij de aangetroffen schades van de constructie. Hierin is nauwkeurig beschreven hoe hier mee omgegaan dient te worden, en wat eventuele gevolgen zijn.

Over het restaureren van historische kunstwerken zijn verschillende opvattingen, afhankelijk hiervan kunnen herstelmaatregelen toegepast worden.

2 RESTAURATIEOPVATTINGEN

Het restaureren kan op verschillende wijzen plaats vinden. Het bouwwerk kan als oorspronkelijk ontwerp terug gehaald worden, of door vervanging van de slechte onderdelen door een andere constructie. De verschillende opvattingen over restaureren vertonen in de tijd een golfbeweging. Deze perioden worden gekenmerkt door een bepaalde opvatting over restaureren, welke op dat moment overheerst. Grofweg kan gesteld worden dat er een vijftal opvattingen zijn over restaureren.

2.1 Onzichtbaar restaureren

Onzichtbaar restaureren is een restauratie waarbij alle gebreken vrijwel onzichtbaar zijn verholpen. De bouwwerken worden zo origineel mogelijk hersteld. Behalve het gebruik van hetzelfde materiaal en dezelfde vorm moet bijvoorbeeld ook de verbindingswijze gelijk zijn aan die van de oorspronkelijke constructie. Men moet niet kunnen zien dat de constructie is gerestaureerd.

Wanneer niet meer precies hetzelfde materiaal te verkrijgen is, zal er gezocht moeten worden naar een vergelijkbaar materiaal, welke het meest erop lijkt. Ook de kleur van het nieuwe deel moet zoveel mogelijk worden aangepast aan het bestaande deel dat kan blijven staan. Een gerestaureerd onderdeel dat duidelijk opvalt, wordt met oplapwerk vergeleken, esthetisch gezien is dat een armmoedig resultaat.

2.2 Opvallend restaureren

Bij opvallend restaureren wordt de nadruk gelegd op het object als historisch kunstwerk. Bij restauratie moet duidelijk worden aangegeven dat iets vervangen of gerepareerd is. Het nieuwe deel wordt in een modernere stijl en materiaaltoepassingen onderscheiden van de rest. In de meeste gevallen zal door kleine details zichtbaar zijn welke delen zijn vernieuwd. Pas bij iets nauwkeuriger waarneming ziet men dat er iets met de constructie is gebeurd.

2.3 Historiserend restaureren

Historiserend restaureren is nauw verbonden met onzichtbaar restaureren, maar gaat nog een stapje verder. Bij deze methode van restaureren wil men de oorspronkelijke staat van het object weergeven. Het object moet er in exact dezelfde vorm uitzien als deze in het verleden is gebouwd. Deze methode van restaureren wordt gezien als het herleven van de gehele vroegere toestand. Hier worden daarom ook de latere aangebrachte veranderingen verwijderd, zelfs als deze toevoegingen uit een later historisch tijd komen. Het gerestaureerde deel hoort een nabootsing van het origineel te zijn. Eventueel wordt het object verbeterd met historische aanvullingen. Iets wat nooit is geweest wordt op een dusdanige wijze uitgevoerd dat men het idee krijgt dat dit oorspronkelijk is.

2.4 Creatief restaureren

Creatief restaureren is het tegenovergestelde van historiserend restaureren. Dit is een extreme vorm van opvallend restaureren. Voorstanders hiervan zijn van mening dat restaureren geen nabootsing hoort te zijn van het oorspronkelijke werk. Bovendien speelt bij oude objecten niet alleen het ontwerp een rol, maar ook de wijze van uitvoering. Dit laatste kan nooit worden gekopieerd, zodat zelfs een nauwkeurige kopie toch een ander bouwwerk oplevert. Bij creatief restaureren wordt de restauratiearchitect als kunstenaar beschouwd, waarbij iets nieuws wordt geschept. Bij ingrijpende restauraties kan het oude geheel worden vervangen door iets nieuws. Toevoegingen in oorspronkelijke stijl zijn volgens deze opvatting uiteraard helemaal verwerpelijk. Bij nabootsingen worden de beschouwers in de waan gebracht dat de toevoegingen ook oorspronkelijk zijn.

2.5 Conserverend restaureren

Conserverend restaureren is een restauratiewijze waarbij behoud voor vernieuwing gaat. Het doel van de restauratie moet niet zijn de volledige herbouw van een vroegere toestand, maar het behoud van

wat daarvan in bestaande toestand is overgebleven. Latere wijzigingen en toevoegingen hebben eveneens een historische waarde. Restaureren dient daarom ook zo veel als mogelijk is, beperkt te blijven tot eenvoudige herstelwerkzaamheden. Slechts waar de schade het voortbestaan van de constructie bedreigt of op andere wijze gevaarlijk kan zijn, dient herstel plaats te vinden.

3 HERSTELMAATREGELLEN

Afhankelijk van de aangetroffen schades en de eventuele rekenkundige controle kan bepaald worden welke herstelmaatregelen plaats zullen vinden. De herstelmaatregelen zijn onderverdeeld per materiaalsoort of voorkomend probleem, waarbij de fundering een grote rol speelt. Herstel is afhankelijk van de toekomstige functie en de opvatting over het restaureren. Er kunnen verschillende herstelmaatregelen toegepast worden, welke van veel factoren afhankelijk zijn.

3.1 Funderingsherstel

Afhankelijk van de oorzaak van de eventuele schade kan funderingsherstel in een tweetal typen, onderscheid kan gemaakt worden in:

- Funderingsverbetering
- Funderingsvernieuwing

3.1.1 Funderingsverbetering

Het verbeteren van de fundering houdt in dat de huidige fundering wordt behouden waarbij deze hersteld wordt. Afhankelijk van de oorzaak kunnen verschillende werkzaamheden uitgevoerd worden

De volgende werkzaamheden kunnen plaats vinden:

- Vervangen van de paalkoppen, hierbij worden de paalkoppen vervangen door een nieuw stuk, gedacht kan worden aan stalen opzetstukken.
- Afdichting van de houtstructuur door middel van een chemische injectie, zoals het gebruik van epoxy, welke over de gehele paalkop kan worden aangebracht. Door het afdichten van de paalkop vindt er geen grondwaterstroming meer in de paal plaats, waardoor de bacteriële aantasting geremd wordt.
- Verhogen van het grondwater, waardoor aantasting door schimmels wordt bevroren. Zodra het grondwaterniveau weer dusdanig laag is, waarbij het hout weer droog staat, wordt deze binnen drie maanden verder aangetast door de aanwezige schimmels.
- Inbrengen van een bacteriofaag, hierdoor worden de bacteriële activiteiten geremd. Uit onderzoek zal moeten blijken hoe dit proces precies plaats kan vinden.
- Grondverbetering, waarbij er een overgangperiode plaats vindt van de op palen gefundeerde constructie naar een op staal gefundeerde constructie.
- Verdichting en/of verstevigen van de grond, door middel van een chemische injectie.
- Injecteren van bacteriën ten behoeve van grondverbetering, een biogrout. Uit onderzoek zal moeten blijken in hoeverre deze belastingen kunnen opnemen.
- Tempex, waardoor de optredende belastingen op de constructie worden ontnomen.
- Het gebruik van ankers (klapankers, ankerscherm, groutanker, etc) waardoor de horizontale belastingen opgenomen kunnen worden.

3.1.2 Funderingsvernieuwing

Afhankelijk van de gradatie van de fundering kan er gekozen worden een gehele nieuwe fundering te maken, hierbij komt de oude fundering geheel te vervallen. Mogelijkheden hierin zijn van het boren van buispalen tot het heien van nieuwe palen. Echter is dit een ingrijpend proces, er zal daarom zoveel mogelijk worden getracht de huidige fundering te verbeteren.

3.2 Hout

Herstel van houten onderdelen kan niet toegepast worden bij funderingen. Deze paragraaf heeft betrekking op al het overige hout wat in een constructie verwerkt kan zijn, met uitzondering van het funderingshout.

Herstel van houten onderdelen bestaat enkel uit het vervangen van ernstig aangetast materiaal, hout is immers een vergankelijk materiaal. Vervuiling van het oppervlak kan door middel van schoonmaken

hersteld worden. Bij geconserveerd hout kan er eventueel met een stopmiddel of met plamuur de gaatjes en scheurtjes worden weggewerkt, waarna een verflaag aangebracht kan worden. Uiteraard dienen eerst de slechte oude verfplekken te zijn verwijderd.

Onderhoud aan de fundering komt niet voor, met uitzondering van funderingsherstel.

3.3 Metselwerk

3.3.1 Inboeten

Inboeten is het vervangen van loszittende, gebroken of afschilferde stenen, zonder de overige stenen te beschadigen.

3.3.2 Hervoegen

Hervoegen kan plaats vinden nadat de slechte voegen zijn verwijderd. Dit moet zeer voorzichtig gebeuren zodat de stenen niet worden beschadigd. De diepte van het te verwijderen materiaal moet ruim gelijk zijn aan de voegbreedte. Uiteraard zal er goed onderzocht moeten worden wat de karakterisering is van de toegepaste mortel, zodat deze hierop wordt afgestemd.

3.3.3 Vernieuwing

Soms is de constructie, of onderdelen hiervan, dusdanig aangetast dat handhaving van de bestaande materialen niet meer mogelijk is. Er zal dan een nieuwe constructie, of onderdelen hiervan, gemaakt moeten worden. Bij vernieuwing kan er een combinatie gemaakt worden van moderne materialen met historische materialen. Zo kan een sluiskolk in gewapend beton uitgevoerd worden, met een bekleding van metselwerk van baksteen, zo wordt toch het historische uiterlijk behouden.

3.3.4 Hydrofoberen

Naast het repareren van het metselwerk is hiermee vaak de oorzaak nog niet weggenomen, waardoor het een tijdelijke oplossing is. De grootste oorzaak van schade aan het metselwerk is door vocht. De uitzetting van metselwerk door vocht is vaak groter dan door de temperatuurwisselingen in Nederland.

3.3.5 Natuursteen

Natuurstenen dekzerken en randen kunnen worden gerepareerd met een geschikte reparatiemortel. Reparatiemortel op epoxybasis, dat rond 1990 nog veel werd toegepast, is slechter dan verwacht. Door de afwijkende vochtthuishouding ontstaan spanningen tussen de mortel en het natuursteen. Als alternatief is er inmiddels een nieuwe, speciaal voor natuursteen ontwikkelde reparatiemortel. Hiermee kunnen scheuren en beschadigingen zorgvuldig worden gedicht. Bij grote schade kunnen eventueel nieuwe natuursteen worden toegepast.

3.3.6 Dilatatievoeg

Scheuren in het metselwerk zijn vaak het gevolg van vochtwisselingen. Hierdoor treden de spanningen zo hoog op dat het metselwerk scheurt. Om dit op te lossen moeten er dilatatievoegen aangebracht worden, zo kan de constructie rustig z'n gang gaan.

3.4 Metaal

3.4.1 Staal & IJzer

Herstel of bescherming van staal en ijzer kan plaats vinden door middel van het aanbrengen van verschillende soorten deklagen of door kathodische bescherming. Voor het aanbrengen van deze

deklagen is het wel van belang het staal goed te reinigen (ontroesten), bijvoorbeeld door middel van stralen.

Reparatie door lassen kan vaak vrijwel onzichtbaar plaatsvinden. Weggecorrodeerde delen kunnen worden vervangen door de aangetaste eruit te snijden en nieuwe onderdelen in te lassen. Bij oude constructies moet vooraf in een laboratorium onderzocht worden of het ouder ijzer of staal lasbaar is.

Naast het dichtlassen van scheuren kunnen delen ook verstevigd worden door het aanbrengen van extra metaal.

3.4.2 Gietijzer

Gietijzeren onderdelen welke zijn gescheurd of gebroken vergt speciale aandacht. Vanwege de hoge koolstof gehalte van het gietijzer is deze moeilijk te lassen, wat echter niet onmogelijk is. Een andere methode is het aanbrengen van metalocks loodrecht op de scheur, waardoor de losse delen weer met elkaar verbonden worden.

Wanneer reparatie om technische of economische redenen niet mogelijk is, kunnen gebroken elementen opnieuw gegoten worden. Hierbij kan het oude element als model dienen.

3.4.3 Klinken

Verreweg de meeste constructies van smeedijzer en staal van voor 1940 zijn geklonken. Na 1945 kwam het lassen steeds meer voor en werd het klinken geheel verdrongen. Klinken is in vergelijking met lassen een dure verbindingstechniek. Bij het klinken worden twee constructiedelen met behulp van schets- of knoopplaten onderling met klinknagels verbonden. Hiervoor wordt een gat geboord of geponst waarbij een hete klinknagel wordt geplaatst.

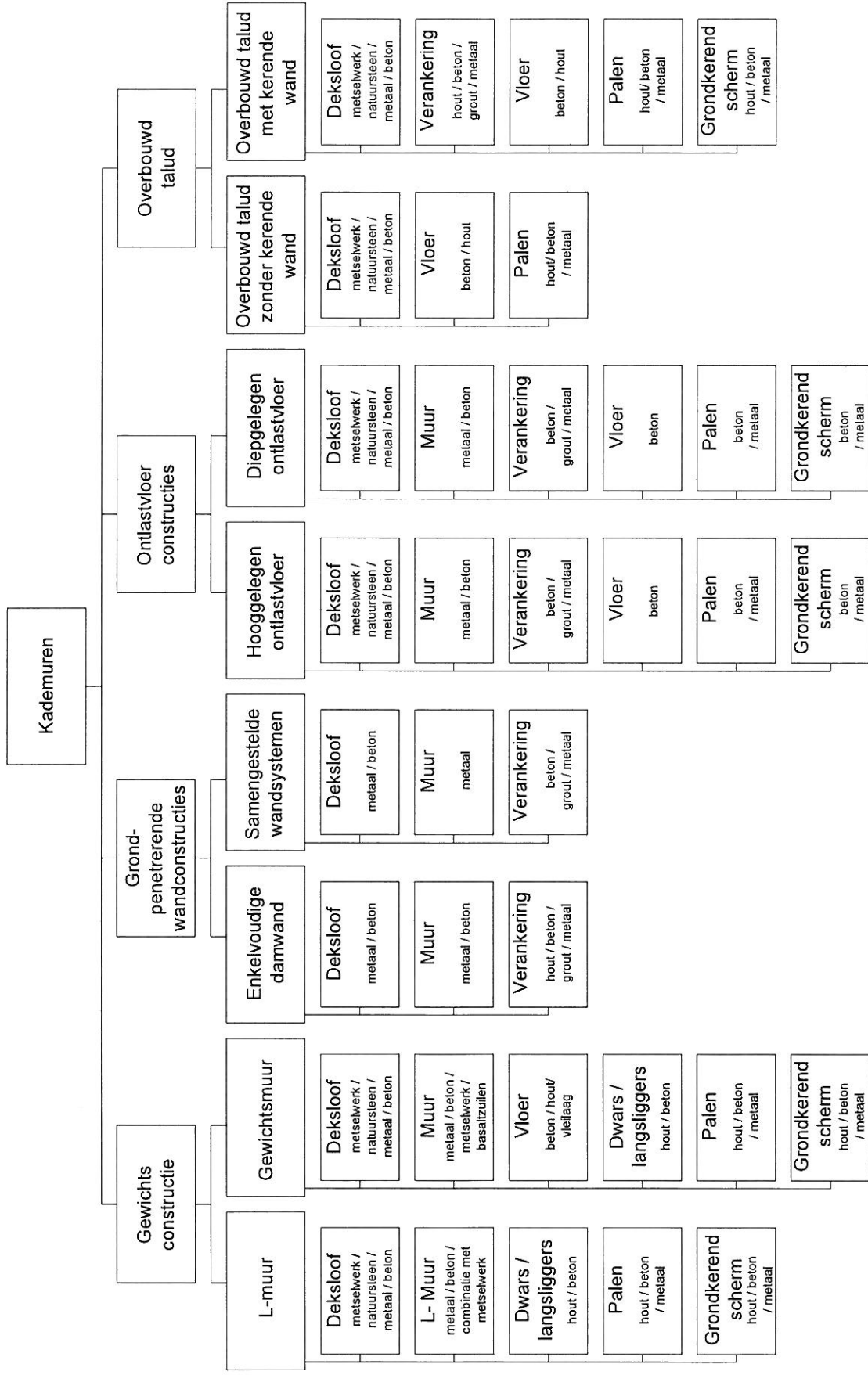
Er zijn nog enkele bedrijven welke deze constructies kunnen restaureren, of door een geklonken replica kunnen worden vervangen.

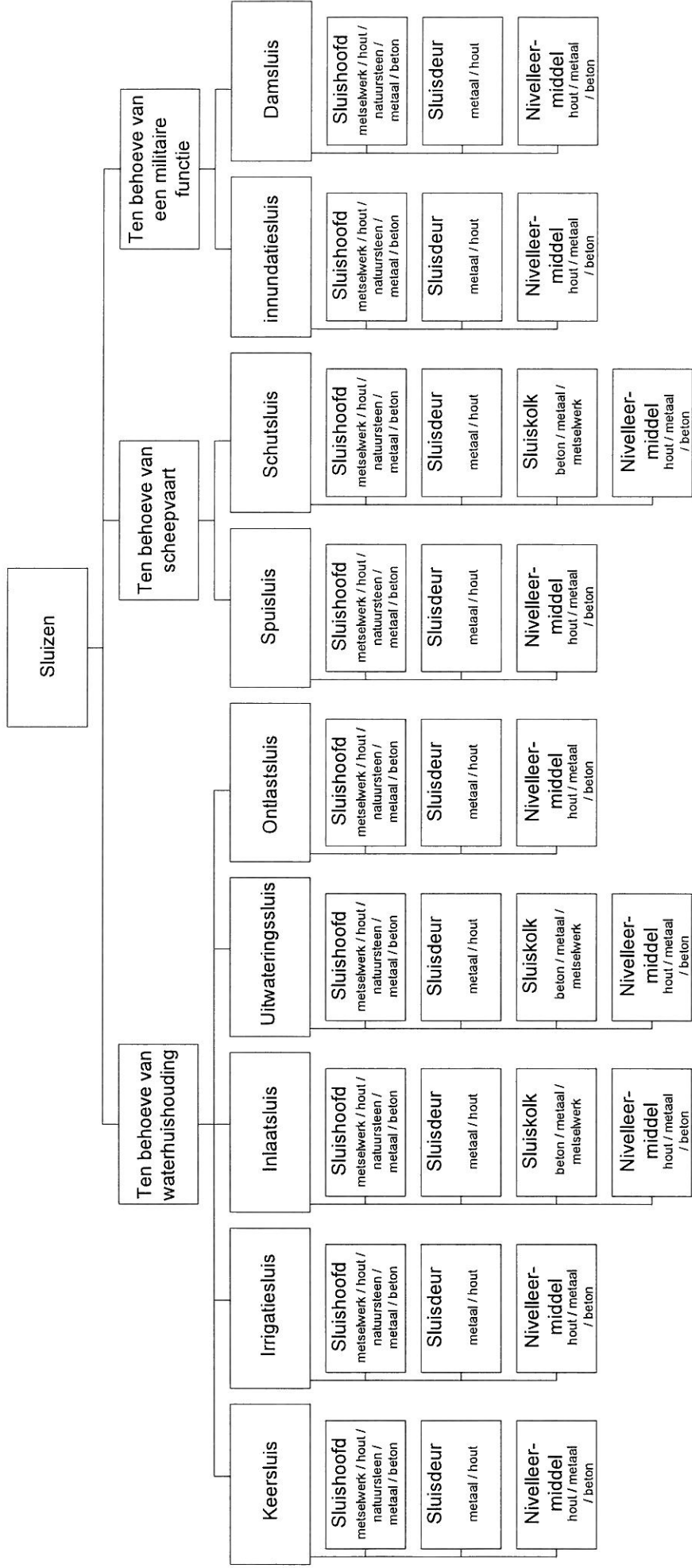
3.5 Beton

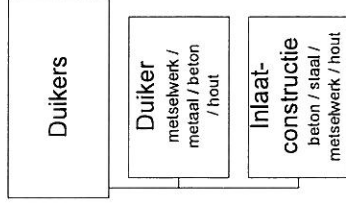
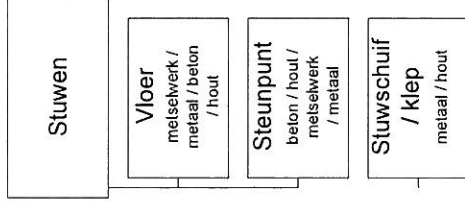
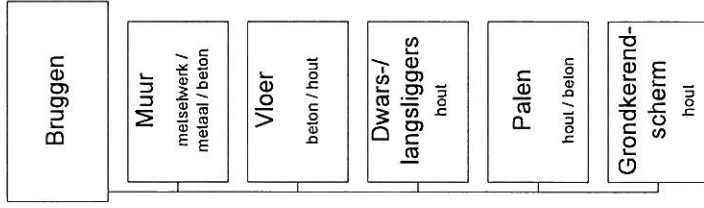
3.5.1 Reinigen

De lichtste vorm van herstel van een betonconstructie is het reinigen van het oppervlak. Het reinigen gebeurt met een hogedrukreiniger, van 100 tot 400 bar. Al het vuil en algen worden hierdoor verwijderd. Loszittende delen worden hierdoor eveneens verwijderd, waarbij verborgen schades zichtbaar worden

Scheuren in beton hebben verschillende oorzaken en zijn daarom vaak niet eenvoudig te verklaren.







Schades

Oorzaken

Herstel

Scheurvorming
(radiaal / axiaal)Ongelijke
zetting

Oorzaak wegnemen (fundering)

Scheur herstellen

Temperatuur

Delatatievoeg inbrengen

Scheur herstellen

Vocht

Oorzaak wegnemen (impregneren/hydrofoberen/voeg aanbrengen)

Scheur herstellen

Overbelasting

Oorzaak wegnemen

Scheur herstellen

Vorst

Vernieuwing

Inboeten

Hervoeegen

Oorzaak wegnemen (impregneren/hydrofoberen)

Oppervlakte
schadeErosie /
verwering

Vernieuwing

Inboeten

Hervoeegen

Uitloging

Vernieuwing

Inboeten

Hervoeegen

Oorzaak wegnemen (beperking vochttransport)

Ettringietvorming

Vernieuwing

Oorzaak wegnemen (beperking vochttransport)

Desintegratie
mortel

Uitloging

Vernieuwing

Inboeten

Hervoeegen

Oorzaak wegnemen (beperking vochttransport)

Zoutkristallisatie

Vernieuwing

Oorzaak wegnemen (beperking vochttransport)

Flora

Flora verwijderen

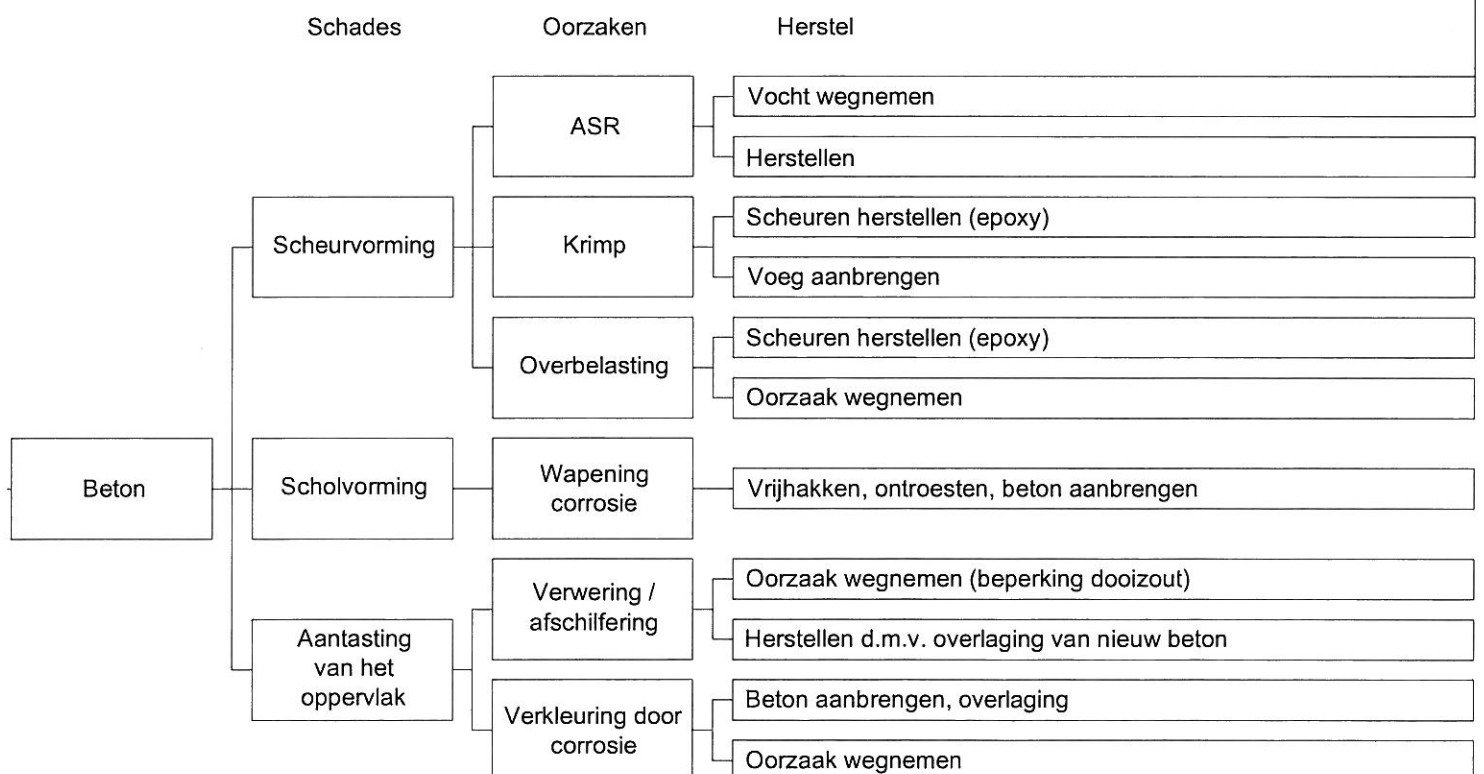
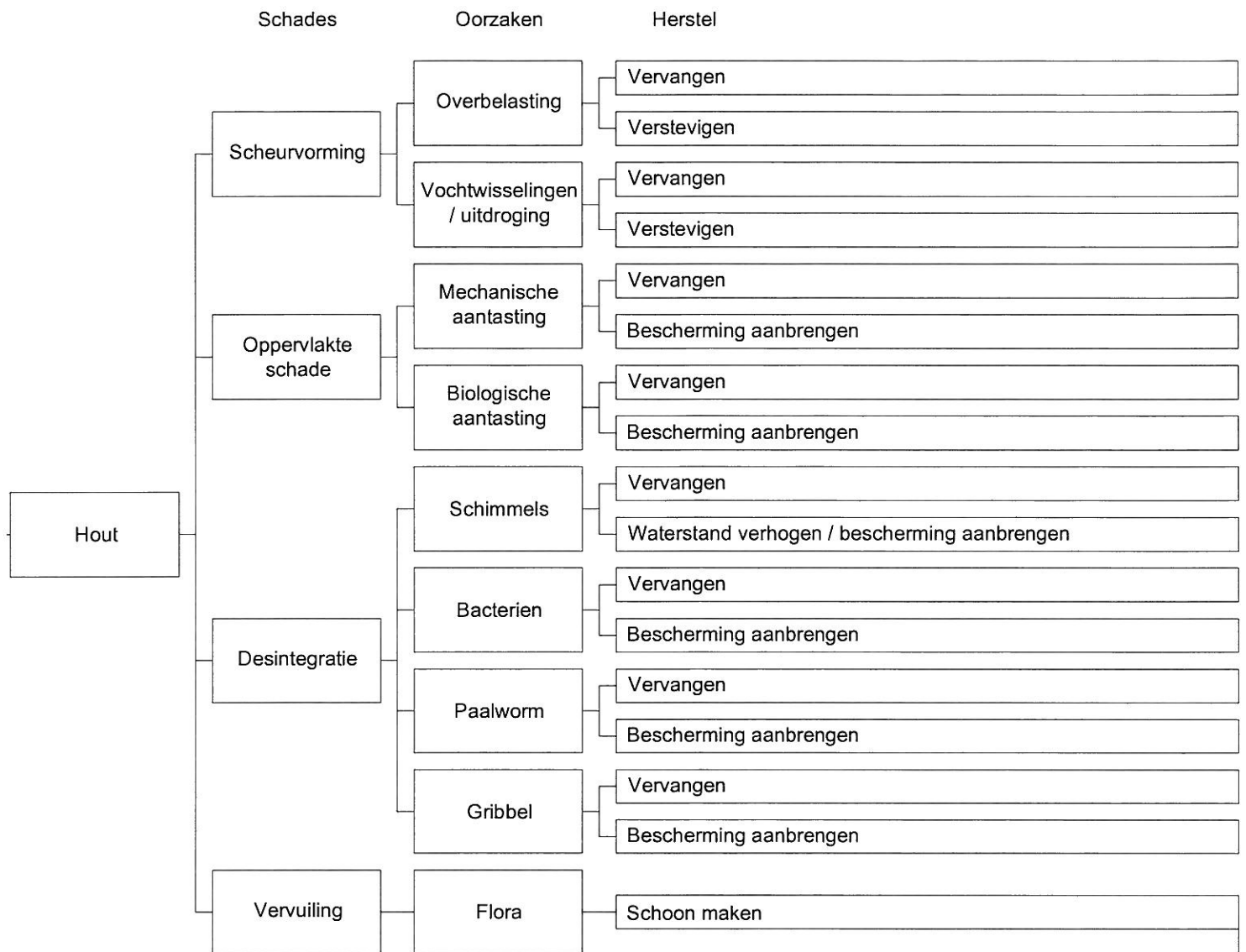
Oorzaak wegnemen (anti alglaag aanbrengen)

Kalkuitslag

Oorzaak wegnemen (beperking vochttransport)

Schoon maken

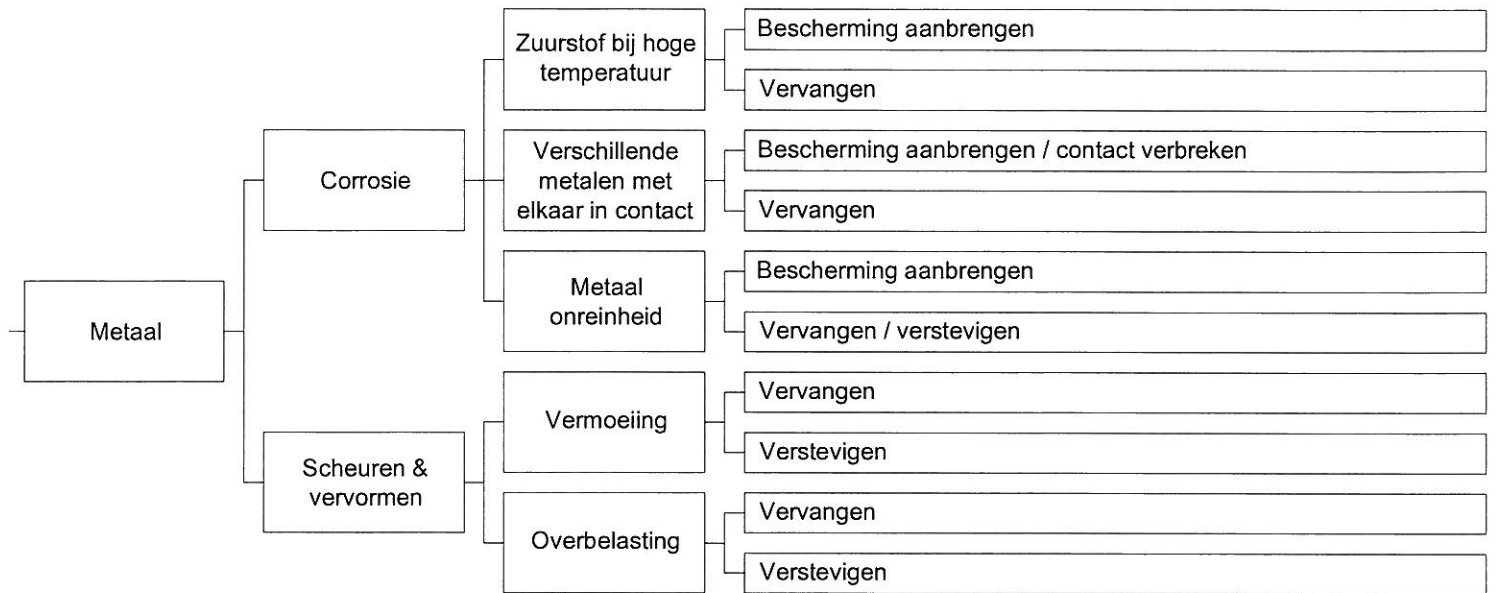
Metselwerk



Schades

Oorzaken

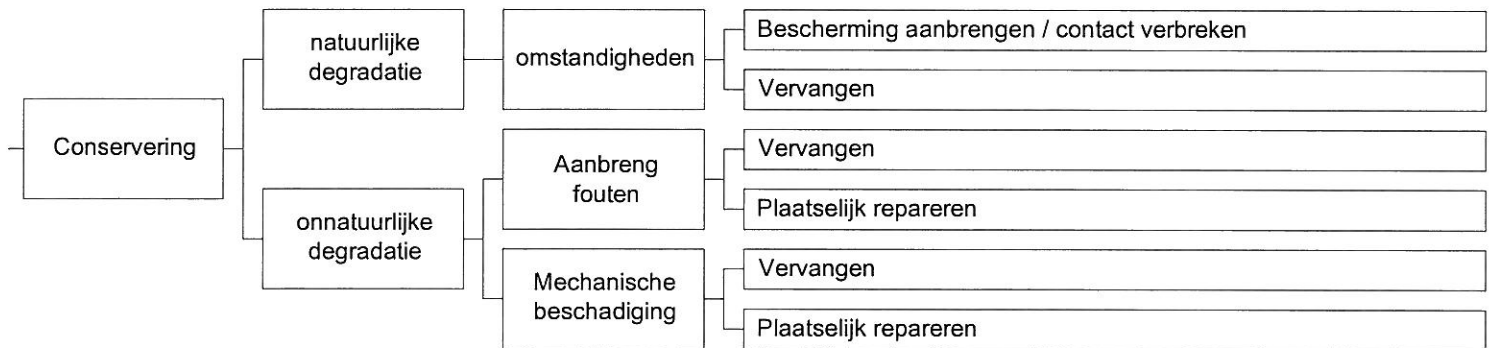
Herstel

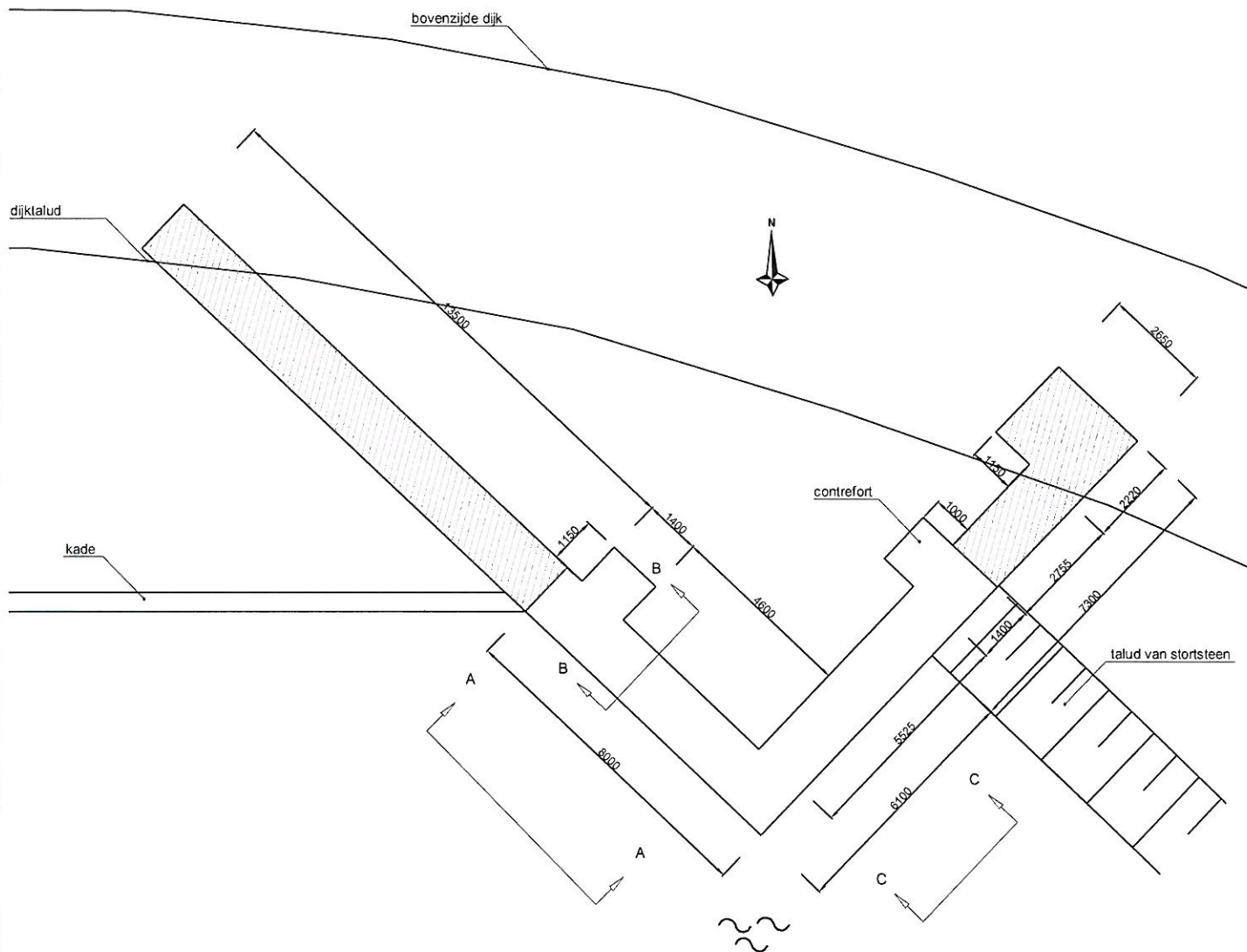


Schades

Oorzaken

Herstel



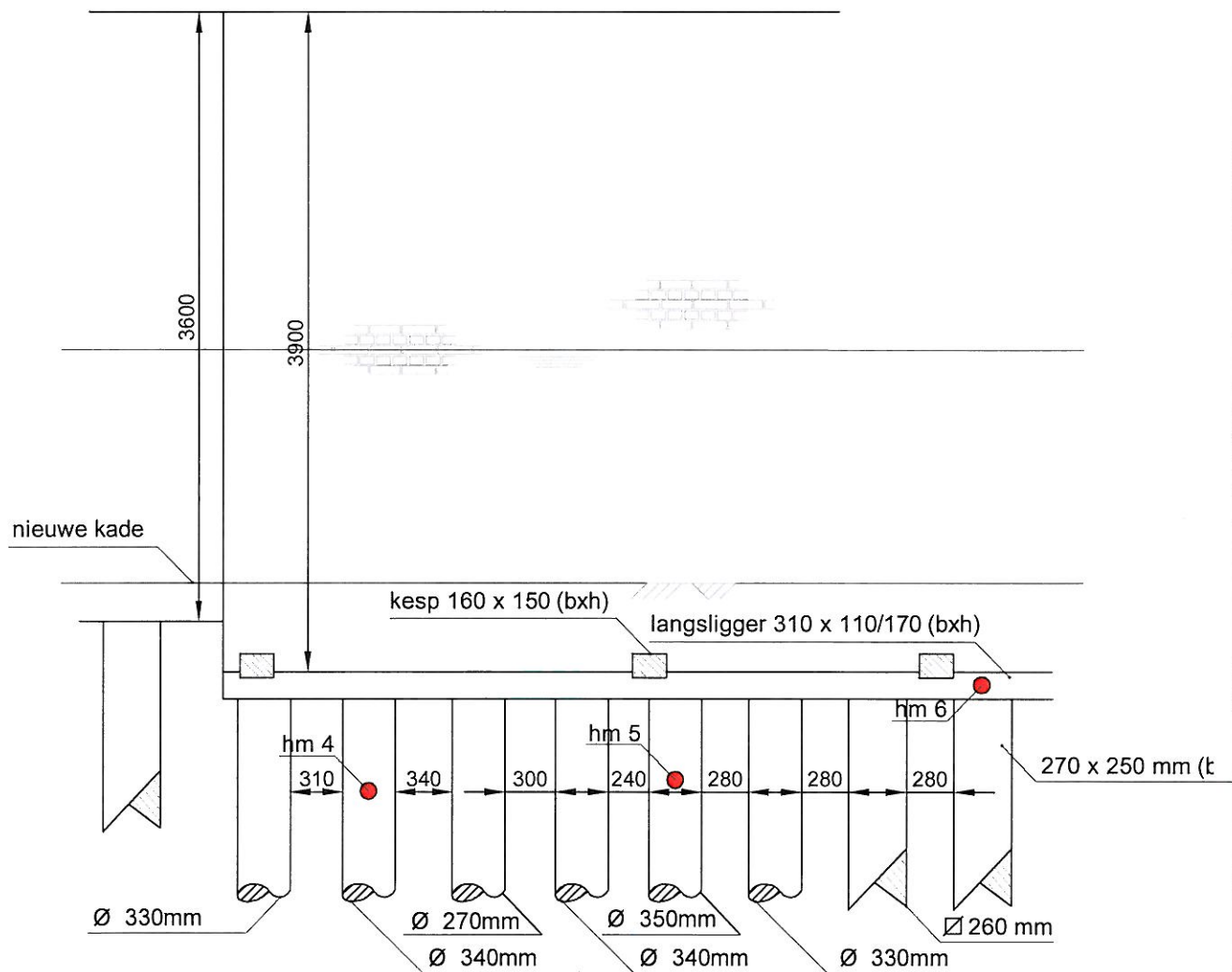


 op staal gefundeerd

Maten in mm

 N. KRAAIJEVELD CONSTRUCTIE WATERBUW		Project			
		Bastionmuur Pothoofdkade			
		Onderdeel			
		Inspectietekening			
Schaal	Projectnummer	Status	Concept	Get. FB	Prf
Diven	D-15012	Bladnr	1	Gec. M.	Prf
Formaat	Tekeningnummer	Datum	07-04-2010	Gez. HA	Prf
A4	01				
					

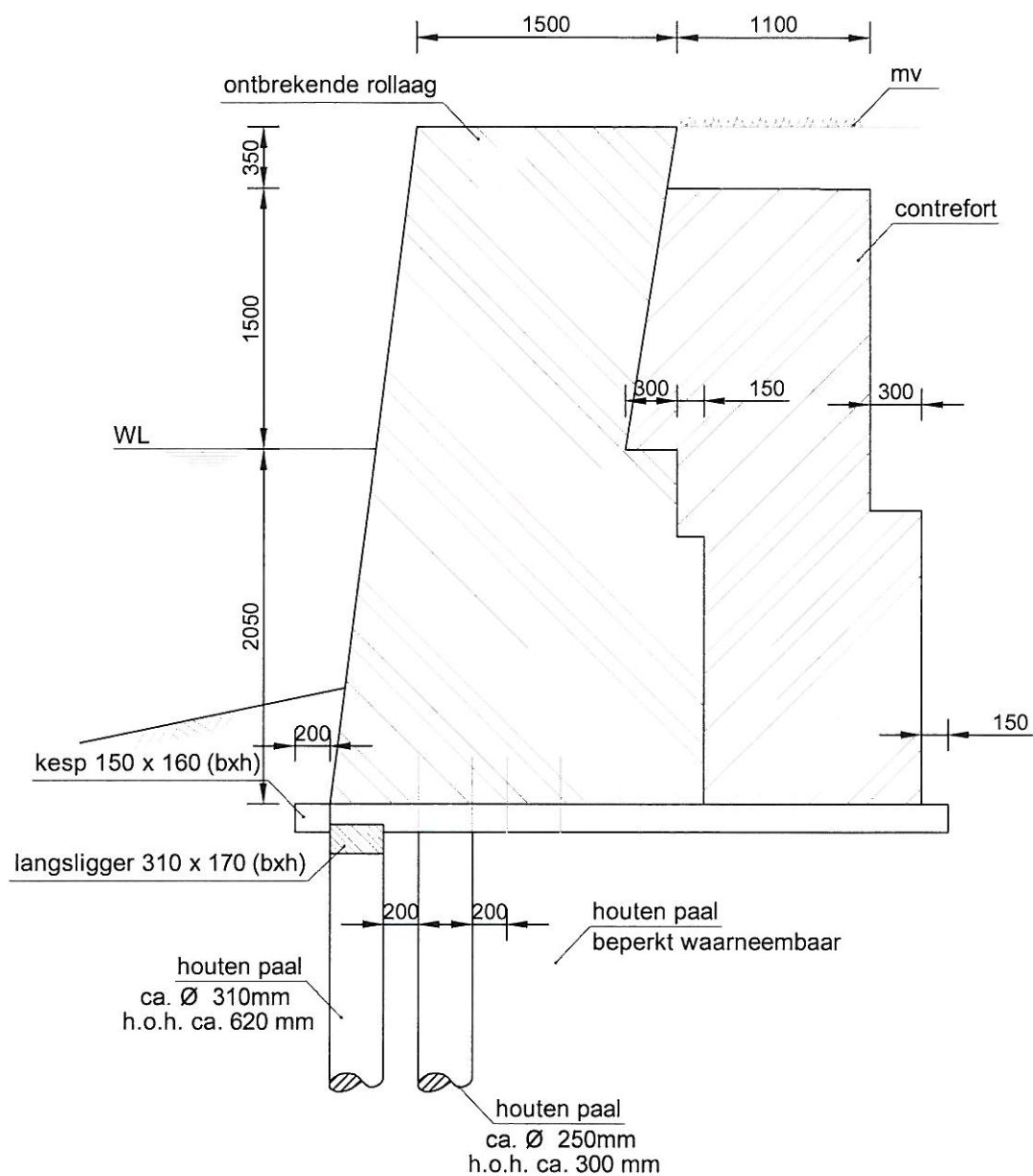
Aanzicht A-A



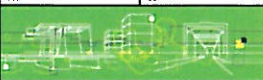
Maten in mm

		Project			
		Bastionmuur Pothoofdkade			
		Onderdeel			
		Aanzicht A-A			
Schaal	Projectnummer	Status	Concept	Get. FB	Prf
Dives	D-15012	Bladnr	1	Gez. M.	Prf
Formaat	Tekeningnummer	Datum	07-04-2010	Gez. HA	Prf
A4	02				
					

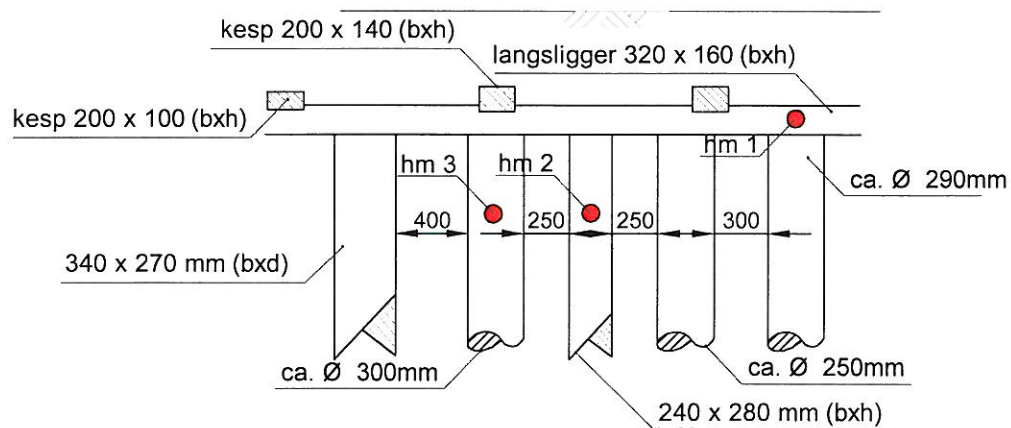
Doorsnede B-B



Maten in mm

		Project			
		Bastionmuur Pothoofdkade			
		Onderdeel			
		Doorsnede B-B			
Schaal	Projectnummer	Status	Concept	Get. FB	Prf.
Divies	D-15012	Bladnr.	1	Gec. ML	Prf.
Formaat	Tekeningnummer	Datum	07-04-2010	Gez. HA	Prf.
A4	60				
					

Aanzicht C-C



Maten in mm

		Project			
		Bastionmuur Pothoofdkade			
		Onderdeel			
		Aanzicht C-C			
Schaal	Projectnummer	Status	Concept	Get.	FB
Dives	0-16012				Prf
Formaat	Tekeningnummer	Bladnr.	1	Ges.	M.
A4	04	Datum	07-04-2010	Gez.	HA
					