



Project	Afstuderen
Onderwerp	Beoordelen van de constructieve veiligheid van bestaande constructies om hergebruik mogelijk te maken
Projectnummer	AFO 001
Documentnaam	Hoofdverslag
Documentnummer	AA-R00.01.01
Status	Definitief

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	1
1 Voorwoord	3
2 Betrokkene personen	4
3 Symbolen	5
4 Samenvatting	6
5 Summary	7
6 Inleiding	8
7 Probleemstelling	11
7.1 Inleiding	11
7.2 Hoofddoelstelling	11
7.3 Deelddoelstelling	11
7.4 Reeds verricht onderzoek	13
8 Protocol: Beoordelen constructieve veiligheid van bestaande constructies	14
8.1 Algemeen	14
8.2 Archiefstudie en geometrie	15
8.3 Visuele inspectie	15
8.4 Verkennende berekening	16
8.5 Niet-destructief onderzoek	17
8.6 Destructief onderzoek	17
8.7 Proefbelasten	18
8.8 Data analyse	19
8.9 Toetsing a.d.h.v. NEN8700 en Eurocodes	20
8.10 Specifieke aandachtspunten	21
9 Referentieproject Rijkswaterstaat toren (Minor)	22
9.1 Inleiding	22
9.2 Bevindingen	22
9.3 Resultaten	24
10 Referentieproject Natlab Philips	27
10.1 Inleiding	27
10.2 Uitgangspunten	28
10.3 Niet-destructief onderzoek	29
10.4 Destructief onderzoek	30
10.5 Data analyse	31
10.6 Toetsing a.d.h.v. de NEN 8700	32
10.7 Specifieke aandachtspunten	33
11 Referentieproject Merwedestraat Arnhem	34

11.1	Inleiding	34
11.2	Visuele inspectie en materiaalkundig onderzoek	34
11.3	Hiaten in het onderzoek	36
11.4	Proefbelasten ligger A en B	37
11.5	Proefbelasting funderingspaal C	39
11.6	Meetresultaten	39
11.7	Conclusie	41
11.8	Artikel Cement	41
12	Specifieke aandachtspunten	42
12.1	Vrij uitkragende balkons en galerijen	42
12.2	Gevelmetselwerk	42
12.3	Vervolgonderzoek	43
13	Conclusies	44
14	Vervolgonderzoek	46
15	Literatuurlijst	47
16	Bijlage	49

1 Voorwoord

Voor u ligt het eindrapport waarin onderzoek is gedaan naar herbestemmen van bestaande constructies. Dit onderzoek is uitgevoerd in samenwerking met ingenieursbureau Bartels B.V. te Apeldoorn. In dit rapport vindt u de eindconclusies en het protocol voor het herbestemmen van bestaande constructies waarmee wij onze opleiding bouwkunde met de specialisatie constructie aan de Hogeschool van Arnhem en Nijmegen afronden.

Nadat wij als drie deeltijdstudenten op het punt kwamen dat wij konden gaan afstuderen zijn wij bij elkaar gaan zitten om te bekijken wat ons een interessant onderwerp leek. Een van de studenten welke werkzaam is bij Bartels B.V. stelde voor om gezamenlijk een opdracht bij Bartels B.V. uit te voeren. Naar aanleiding hiervan zijn wij met Bartels B.V. in gesprek gegaan over een mogelijk afstudeeropdracht. Al snel werd duidelijk dat Bartels B.V. graag een protocol wil ontwikkelen dat gebruikt kan worden bij het beoordelen van bestaande constructies. Dit leek ons een uitdagende opdracht welke ook erg goed aansluiting bij de huidige problematiek in de bouwbranche.

Samen met docent Kees van der Zijden (HAN) hebben we de opdracht zodanig samengesteld dat deze voldoende aansluit bij de gevraagde competenties. De uiteindelijke opdracht bestond uit een zeer uitgebreide studie. Om het werk goed te spreiden hebben we ervoor gekozen de eerste stappen van het protocol al toe te passen tijdens het project voor de minor. Hiervoor is herbestemming van de kantoortoren van Rijkswaterstaat in Arnhem onderzocht. De conclusies hiervan zijn uiteindelijk het startpunt geweest voor dit eindrapport.

Graag willen wij een aantal personen bedanken. Allereerst willen we dhr. K. van der Zijden en T. Beuker bedanken welke ons namens de HAN hebben begeleid tijdens de minor en het afstuderen. Daarnaast willen we ook de overige docenten van de HAN bedanken welke ons tijdens onze studie hebben begeleid, ondersteund en gedoceerd.

Tijdens de minor en het afstudeerproject heeft Bartels B.V. zijn faciliteiten en expertise aan ons beschikbaar gesteld. Wij willen Bartels B.V. hiervoor bedanken. In het bijzonder willen wij ir. G.H.P. Hol, ir. S. Mulders en ing. J. Willems bedanken voor het begeleiden tijdens de minor en het afstuderen.

Christiaan van Dijk, Wesley Elschot en Jeroen Prinsen

Apeldoorn, februari 2014

2 Betrokkene personen

Auteurs:

Naam : Jeroen (A.G.P.) Prinsen
Adres : Dorpsstraat 21C, 5446 AM Wanroij
E-mail : jeroen454@hotmail.com / agp.prinsen@student.han.nl
Opleiding : Bouwkunde, Constructie
Studentnr. : 469282

Naam : Wesley Elschot
Adres : Vlijmensedijk 20, 5251 EM Vlijmen
E-mail : wesley_elschot@hotmail.com
Opleiding : Bouwkunde, Constructie
Studentnr. : 471939

Naam : Christiaan van Dijk
Adres : Aristotelesstraat 919
E-mail : christiaanencecilia@gmail.com
Opleiding : Bouwkunde, Constructie
Studentnr. : 449633

Betrokken organisaties:

Onderwijsinstelling:

Hogeschool van Arnhem en Nijmegen
Faculteit Built Environment
Ruitenberglaan 26
6826 CC Arnhem

Afstudeerbedrijf:

Bartels Ingenieursbureau
Linie 524
7325 DZ Apeldoorn

Betrokken personen:

Docenten HAN:

Naam : Kees van der Zijden
Functie : Docent constructie
E-mail : k.vdzijden@han.nl

Naam : Thomas Beuker
Functie : Docent constructie
E-mail : Thomas.Beuker@han.nl

Begeleiders Bartels:

Naam : Dhr. ir. G.H.P. (Gerard) Hol
Functie : raadgevend ingenieur & specialist materialen
E-mail : ghol@bartels.nl

Naam : Mevr. ir. S.G.C. (Sigrid) Mulders
Functie : adviseur materiaalkunde
E-mail : smulders@bartels.nl

Naam : Dhr. ing. J.H. (Jan) Willems
Functie : adviseur materiaalkunde
E-mail : jwillems@bartels.nl

Symbolen

-Latijnse hoofdletters

A	oppervlak doorsnede
Ci	constante
E	elasticiteitsmodulus
F	geconcentreerde last
I	axiaal kwadratisch oppervlaktemoment
I _p	polair kwadratisch oppervlaktemoment
I _w	wringend kwadratisch oppervlaktemoment
M	buigend moment
N	normaalkracht
Q	resulterende belasting
R	resulterende kracht
S	lineair oppervlaktemoment
V	dwarskracht; volume
W	weerstandsmoment

- Latijnse kleine letters

a	afstand
b	breedte
h	hoogte
l	lengte
q	gelijkmatig verdeelde belasting per lengte
w	afstand; verplaatsing
x	afstand; asrichting
y	afstand; asrichting
z	afstand; asrichting; afstand tot de zwaartelijn

- Griekse letters

α	hoek
γ	hoek ten gevolge van afschuiving
Δ	verschil; toename of afname
ε	rek
ζ	asrichting
η	asrichting
κ	kromming
ν	poissoncoëfficiënt
ρ	kromtestraal
σ	normaalspanning; buigspanning
Σ	somteken
τ	schuifspanning
ϕ	hoek

• Overige tekens en symbolen

$\int$	integraal
--------	-----------

• Afkortingen

UGT	uiterste grenstoestand
BGT	bruikbaarheids grenstoestand
EC	eurocode

3 Samenvatting

In dit rapport is onderzoek gedaan naar het beoordelen van constructieve veiligheid van bestaande constructies om hergebruik mogelijk te maken. Daarbij is tevens aandacht besteed aan de problematiek rondom vrij uitkragende balkons/galerijen en gevelmetselwerk. Er zijn diverse “losse” normen beschikbaar voor dit onderwerp. Hierbij hebben wij als uitgangspunt de in 2012 verschenen NEN 8700 genomen.

In principe dienen bestaande bouwwerken te voldoen aan de eisen gesteld in EC 2012. Wanneer blijkt dat een bouwwerk hier niet aan voldoet of dat de kosten om aan dit prestatieniveau te voldoen onevenredig hoog zijn, mag de constructie worden getoetst op basis van NEN 8700.

Om een rekenkundige toets aan de hand van NEN 8700 uit te voeren zijn constructieve gegevens benodigd. Hiervoor dient onderzoek naar de constructie uitgevoerd te worden. Om dit onderzoek uit te voeren is het goed een plan van aanpak te hebben. Door een protocol te schrijven bestaande uit 8 stappen wordt de grote lijn van dit onderzoek uitgezet. Door dit protocol wordt het mogelijk om veel doelmatiger en met een grotere nauwkeurigheid informatie over een bouwwerk te verzamelen. Uiteindelijk wordt met de informatie uit het onderzoek en NEN 8700 geconcludeerd of een constructie geschikt is voor herbestemming.

In dit protocol is aandacht besteed aan het verzamelen van archiefgegevens, verkennende berekeningen op basis de EC2012, (niet-)destructief onderzoek, proefbelastingen, data-analyse en toetsing op basis van NEN 8700. Hieruit is gebleken dat het van belang is te weten welk onderzoek zinvol is om in te zetten. Zo kan bijvoorbeeld heel veel tijd verloren gaan met het onderzoek naar de betonkwaliteit van een ligger, terwijl dit maar marginaal bijdraagt aan de draagkracht van de ligger (als dwarskracht geen probleem is). Door op een slimme manier verschillend destructief en niet-destructief onderzoek met elkaar te combineren kan een grotere mate van zekerheid over de onderzoeksresultaten verkregen worden.

Een specifiek onderdeel dat in het rapport wordt behandeld is het uitvoeren van een proefbelasting, iets wat in Nederland (nog) niet zoveel wordt uitgevoerd. Toch kan dit een aanvulling zijn op het verrichte onderzoek, mocht er nog onzekerheid over de capaciteit van de constructie bestaan.

Als laatste is aandacht besteed aan de problematiek op het gebied van balkons/galerijen en gevelmetselwerk. Aan de hand van CUR aanbeveling 248:2012 is onderzoek naar putcorrosie en het beoordelen van de constructieve veiligheid van galerijen uitgewerkt.

Vroeger zijn veelvuldig verzinkte spouwankers toegepast voor de verankering van gevelmetselwerk. Deze kunnen echter in veel gevallen hun referentieperiode van 50 jaar op spouwankers niet doorstaan. Er is onderzoek gedaan naar verschillende metselwerkgevels. Tevens is een rekensheet ontwikkeld waarmee 6 verschillende bezwijkmechanisme getoetst kunnen worden.

Het eindresultaat is een volledig protocol dat als handvest gebruikt kan worden bij toekomstige herbestemmingprojecten. Op basis van het onderzoek zijn een aantal (nieuwe) onderzoeksvragen opgesteld. Zo dient er nader onderzoek te worden gedaan naar fundaties en vervorming van constructies in de BGT van bestaande bouw. Ook is er nog aanvullend onderzoek benodigd naar het bezwijkgedrag van spouwankers. Dit onderzoek wordt momenteel uitgevoerd aan de TU Eindhoven.

4 Summary

Research is done to the structural safety for existing structures, with the purpose to determine if existing structures can be used for repurposing projects. There is also attention paid to the problems with cantilevered balconies/galleries and masonry facades. There are several "Loose" standards available for this topic. For the research carried out in this report we have taken the in 2012 published NEN8700 as starting point.

When structures are repurposed they initially have to meet the standards given by the EC 2012. When structures cannot stand up to this standards or when cost are disproportionately high to reach this performance level, the structure may be assessed based on the NEN 8700.

To perform an arithmetical check based on the NEN 8700 some structural data is required. To collect this data, research to the structure is needed. For collecting this data it is recommended to have a plan of attack. The baseline of the research will be set in a protocol consisting of 8 steps. This protocol makes it possible to work efficiently and collect structural data with a large accuracy. Finally based on the information of the research and the NEN 8700 can be concluded if the structure is suitable for its new function.

Attention has been paid in the protocol to the following steps: achieve data, exploratory calculations based on EC 2012, (non)-destructive research, test load on structure, data analysis and a structural check based on NEN8700. This has shown that it is important to know which type of research has to be carried out. For example you can lose a lot of time researching the quality of the concrete of a floor, when this actually has little to no effect on the capacity of the floor. By using a smart way of combining different ways of destructive and non-destructive research, a large accuracy on the results can be achieved.

Specific attention is paid to the process of applying a test load on the structure. This type of structural testing is not (yet) often performed in the Netherlands. However, this can be an addition to the research in case there are uncertainties of the capacity of the structure.

At last attention is paid to problems with cantilevered balconies/galleries and masonry facades. The method of determine pitting corrosion is explained by using an example. Galvanized wall ties are used for the anchoring of masonry facades. In most cases they cannot endure their reference period of 50 years. Research is done to different kinds of masonry facades. Also a spreadsheet is developed to test the 6 different failure mechanism.

The end result is a fully protocol that can be used in future repurposing projects. Based on the research there are a number of new research questions formulated. Further research is needed to the foundation and deformation behaviour in SLS for existing constructions. Also there is additional research required to the failure mechanism of wall ties. This research is currently being conducted at the TU Eindhoven.

5 Inleiding

Nieuwe tijden vragen om een nieuwe aanpak. Waar vroeger oude gebouwen al snel gesloopt werden om plaats te maken voor nieuwbouw wordt nu vaak gekozen voor hergebruik en herbestemming. Hierbij blijft het grootste gedeelte van het bestaande casco intact. Naast kostenbesparend kan dit de bouwtijd ook versnellen en milieubesparend zijn.

Doordat door hergebruik van het bestaande casco geen nieuwe, veelal schaarse, grondstoffen gebruikt hoeven te worden wordt het milieu minder belast. De Belangenvereniging Recycling Bouw- en Sloopafval (BRBS) schat de hoeveelheid bouw- en sloopafval op 14 miljoen ton. Het vervaardigen van een kuub beton kost als vuistregel 250kg CO₂ volgens het Cement en Betoncentrum (Kohne, 2010). Wereldwijd is de productie van cement verantwoordelijk voor meer dan 5% van de CO₂-uitstoot. Het construeren van compleet nieuwe draagconstructies is dan ook zeer belastend voor het milieu. Milieubelasting door transport van de materialen, het vervaardigen van wapeningsstaal en het vervaardigen van het gebouw zelf nog buiten beschouwing gelaten.

Naast een milieubesparing kan hergebruik de opdrachtgever ook een forse kostenbesparing opleveren. De afvalstroom zal aanzienlijk minder zijn, wat op zichzelf al een vermindering van de kosten zal betekenen. Een ander groot voordeel is dat het grootste deel van het casco van het gebouw al staat. Hierin hoeft slechts minimaal geïnvesteerd te worden. In Nederland staan tegenwoordig veel leegstaande gebouwen zoals kantoorpanden en fabrieken die zich prima lenen om deze manier herbestemd te worden.

Een voorbeeld van herbestemming is het voormalig belastingkantoor te Wageningen (figuur 1). In 2010 is dit kantoorgebouw gestript tot aan het casco waarna het is verbouwd tot woongebouw met commerciële ruimten. Dit voorbeeld laat zien dat hergebruik van het casco zeker de moeite waard is. Door het grote draagvermogen van het casco was het mogelijk vrij indeelbare ruimtes te creëren (Starink, 2012)



Figuur 1: Voormalig belastingkantoor te Wageningen. Foto's: Rob Hoekstra en Mies architectuur (Starink, 2012)



Figuur 2: Woongebouw met commerciële ruimten. Foto: Rob Hoekstra en Mies architectuur (Starink, 2012)

Een andere reden om te herbestemmen kan zijn dat een gebouw de status van cultureel erfgoed heeft. Grote fabrieken, kantoorpanden of kerken die karakteristiek zijn voor de omgevingen en waarvan men van mening is dat deze behouden dienen te worden voor de toekomst komen hiervoor in aanmerking.

Enkele andere voorbeelden van “cultureel” herbestemming zijn:

- RDM Campus Rotterdam: Voormalige werf van RDEM is getransformeerd tot RDM campus. De oude fabriekshallen functioneren nu als les- en bedrijfsruimten (Kennis- en Projectbank). Onderwijsfunctie.



Figuur 3: Voormalige werf RDEM. René Hoeflaak

- Lichttoren Eindhoven: Voormalig gloeilampenfabriek is herbestemd in combinatie met nieuwbouw tot een gebouw waarin kan worden gewoond en worden gewerkt (Kennis- en Projectbank).



Figuur 4: Lichttoren Eindhoven Foto: www.dearchitect.nl

- Van Nellefabriek te Rotterdam:
voormalige tabaks-, koffie- en
theefabriek welke is herbestemd naar
een gebouw voor bedrijven op het
gebied van design en communicatie
(Kennis- en Projectbank).



Figuur 5: Van Nellefabriek Foto: wikimedia.org

Het op een inventieve manier hergebruiken van bestaande gebouwen levert dus een aanzienlijke kostenbesparing en is veel minder belastend voor het milieu. Alles wijst erop dat herbestemming van bestaande gebouwen in de toekomst een steeds grotere rol zal gaan krijgen.

In 2011 is een nieuwe norm voor het beoordelen van de constructieve veiligheid van bestaande bouw uitgebracht, NEN 8700 (NEN 8700, 2011). Deze norm dient toegepast te worden in samenhang met de normenreeks NEN-EN 1990 t/m. NEN-EN1999. Het bouwbesluit 2012 wijst NEN 8700 aan als primaire norm voor het beoordelen van bestaande constructies en voor verbouw. Het verschijnen van NEN 8700 is de aanleiding geweest voor dit project. NEN 8700 geeft heel globaal aan hoe onderzoek uitgevoerd kan worden naar de constructieve veiligheid van bestaande bouw. De vraag van Bartels ingenieursbureau B.V. is om aan de hand van NEN 8700 een zo compleet mogelijk protocol op te stellen voor het uitvoeren van zo'n onderzoek.

Vooraf bij het beoordelen van grote projecten is het van belang om doelmatig en systematisch een constructie te beoordelen omdat de kosten van een dergelijk project anders behoorlijk op kunnen lopen. Bovendien zal een slecht uitgevoerd onderzoek tot te gunstige of te ongunstige conclusies leiden. De ervaring leert dat vaak zonder een duidelijke plan van aanpak of visie een onderzoek wordt uitgevoerd. Het protocol dient hierin als handreiking aan de constructeur om zijn onderzoek richting te kunnen geven.

6 Probleemstelling

6.1 Inleiding

Het beoordelen van constructieve veiligheid/capaciteit van bestaande bouw is niet eenvoudig en kan op verschillende problemen stuiten. Om te toetsen of het bouwwerk aan de gestelde eisen voldoet dienen constructieve berekeningen te worden gemaakt. Een van de voornaamste problemen bij het constructief toetsen van bestaande gebouwen is dat cruciale informatie vaak niet meer beschikbaar is. Enkele voorbeelden van benodigde informatie kunnen zijn:

- wat zijn de afmetingen van de onderdelen van de constructie?
- welke belasting is permanent aanwezig?
- wat is de aanwezige staalkwaliteit?
- wat is de aanwezige betonkwaliteit?
- wat is de aanwezige buigwapening (mm^2)?
- wat is de aanwezige betondekking?
- wat is de aanwezige dwarskrachtwapening?
- wat is de aanwezige ponswapening?

Vooraf bij oudere gebouwen is deze informatie vaak niet of onvoldoende voorhanden. Bovendien kunnen er door de jaren heen aanpassingen aan het gebouw zijn verricht. Om toch aan de benodigde informatie te komen zal onderzoek aan de constructie verricht moeten worden.

Bij betonconstructies is het probleem dat veel van de benodigde informatie niet met het blote zichtbaar is. Het verkrijgen van de benodigde informatie over de draagconstructie zal dan op destructieve en niet-destructieve wijze verkregen moeten worden. Hiervoor zijn veel uiteenlopende onderzoeken mogelijk. De moeilijkheid hierbij is echter waar je precies welk onderzoek uitvoert. Het is qua tijd en qua budget vaak niet mogelijk om ieder facet van een draagconstructie te onderzoeken. Om zo snel mogelijk de gewenste informatie te verkrijgen dient men doelmatig en systematisch te werk te gaan.

6.2 Hoofddoelstelling

De hoofddoelstelling is om een zo compleet mogelijk protocol op te stellen voor het constructief beoordelen van bestaande hoofdconstructies in beton. Het protocol dient zo opgesteld te zijn dat op een systematische wijze de benodigde constructieve gegevens achterhaald kunnen worden. Vooral bij grote projecten is het gevaar dat men zich verliest in details of onnodig veel uren spendeert om gegevens te achterhalen die later niet zo relevant blijken te zijn.

Aan de hand van drie referentieprojecten zal het protocol geschreven en getoetst worden:

- de kantoortoren van Rijkswaterstaat te Arnhem (onderdeel van de minor);
- het Philips Natlab te Eindhoven;
- een textielfabriek aan de Merwedestraat te Arnhem.

6.3 Deelstelling

Onderzoek aan een draagconstructie kan erg tijdrovend zijn en dient daarom doelgericht te gebeuren. Om op een systematische wijze een constructie te beoordelen dienen de kritische elementen uit een draagconstructie gefilterd te worden. Een ketting is immers maar zo sterk als zijn zwakste schakel.

Bij de constructieve beoordeling van bestaande bouw is dit niet anders. Het protocol kan gezien worden als een set zeven waarbij de mazen steeds kleiner worden. Bij iedere zeef worden de elementen van een bouwwerk waarover voldoende zekerheid is weggefilterd. Door dit proces van eliminatie wordt steeds meer ingezoomd op de onderdelen van een draagconstructie waar onzekerheid over bestaat. Iedere stap in het protocol leidt ertoe de onzekerheid die er over de constructie is te verkleinen. Toch is het vaak niet mogelijk om alle onzekerheid weg te nemen. De hoofdgedachte achter het protocol is daarom: meten is geen weten, maar het verkleinen van je onzekerheid.

De hoofddoelstelling kan verder onderverdeeld worden in de volgende acht deeldoelstellingen. De eerste zes deeldoelstellingen kunnen gezien worden als de constructieve 'zeven' waarmee het onderzoek wordt toegespitst op de meest kritische elementen in een constructie. Vervolgens dient de constructie getoetst te worden om de constructieve capaciteit van het gebouw te bepalen. Dit zal gedaan worden aan de hand van NEN 8700:2011.

Deeldoelstellingen:

- 1) het verrichten van een archiefstudie naar en het bepalen van de geometrie van een draagconstructie;
- 2) het maken van verkennende berekening;
- 3) het verrichten van niet-destructief onderzoek (NDO);
- 4) het verrichten van destructief onderzoek (DO);
- 5) het uitvoeren van een proefbelasting;
- 6) het verrichten van een data-analyse;
- 7) toetsing a.d.h.v. NEN 8700:2011;
- 8) specifieke aandachtspunten (uitkragende balkons & galerijen en gevelmetselwerk).

Tot slot zal aandacht besteed worden aan zaken die op dit moment actueel zijn bij het beoordelen van constructieve veiligheid van bestaande bouw. Het gaat hier om de constructieve veiligheid van vrij uitkragende balkons/galerijen en van gevelmetselwerk.

Vrij uitkragende balkons en galerijen kunnen aangetast zijn door putcorrosie waardoor een onveilige situatie kan ontstaan. Dit gebeurde in 2011 bij een galerijplaat van de Antillenflat in Leeuwarden. Naar aanleiding van dit voorval is een uitvoerig onderzoek gestart waaruit bleek dat het niet om een incident ging. Hierop volgend is in 2012 CUR aanbeveling 248 "Onderzoek naar en beoordeling van de constructieve veiligheid van uitkragende betonnen vloeren van galerijflats" verschenen (CUR aanbeveling 248, 2012). Omdat het om hier om herbeoordelen van de constructieve veiligheid van uitkragende vloeren gaat kwam vanuit Bartels de vraag dit mee te nemen in het onderzoek.

In het verleden zijn veelvuldig verzinkte spouwankers toegepast om het buitenspouwblad aan de hoofdconstructie te verankeren. Recentelijk is gebleken dat niet gegarandeerd kan worden dat verzinkte spouwankers de referentieperiode van 50 jaar kunnen doorstaan. Dit betekent dat er in Nederland verschillende metselwerk buitenspouwbladen niet langer verankerd zijn. Wederom gaat het om een structureel probleem. Op basis hiervan is door SBR een protocol voor het inspecteren, beoordelen en herstellen van de constructieve veiligheid van bestaande metselwerk buitenspouwbladen opgesteld. Bartels Ingenieursbureau heeft deelgenomen aan het tot stand komen van BRL 2109 Nationale Beoordelingsrichtlijn voor het KOMO[®] PROCESCERTIFICAAT voor het inspecteren van spouwmuren van gebouwen (nog te verschijnen). Hoewel metselwerk buitenspouwbladen geen onderdeel zijn van de hoofdconstructie vormt het wel een probleem

voor de veiligheid van mens en dier. Bij het beoordelen van bestaande bouw is dit dan ook een aandachtspunt en daarom kwam vanuit Bartels de vraag gevelmetselwerk mee te nemen in het onderzoek.

6.4 Reeds verricht onderzoek

Tijdens de minor 'creatief construeren' van de Hogeschool van Nijmegen en Arnhem (HAN), is reeds onderzoek gedaan naar de constructieve capaciteit van het Rijkswaterstaatkantoor te Arnhem. Het betreft een verzwaarde afstudeeropdracht waarbij de opdracht van de minor al benut is voor dit afstudeerproject (totale verdeling ca. $12+30 = 42$ ECTS i.p.v. de standaard 30 ECTS).

Van dit bouwwerk waren vooraf slechts de geometrische afmetingen van de constructie bekend. Met behulp van aannamen voor toegepaste materiaalkwaliteiten is het gebouw verschillende keren doorgerekend. Dit onderzoek is de basis geweest voor de eerste stappen van het protocol namelijk;

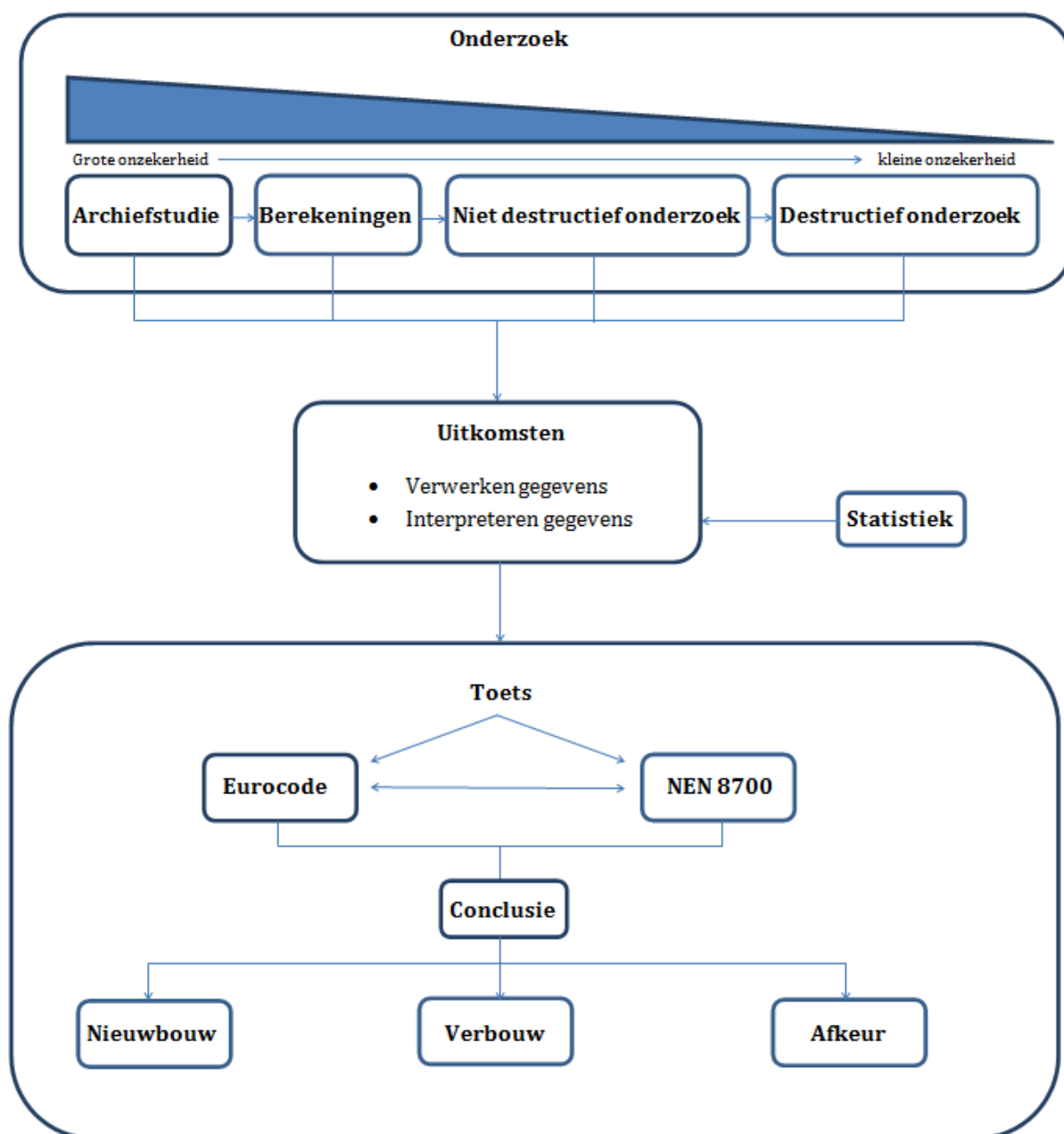
- I. de archiefstudie/geometrie van het gebouw
- II. het maken van verkennende berekeningen.

In hoofdstuk 9 worden de bevinding van dit vooronderzoek nogmaals kort besproken.

7 Protocol: Beoordelen constructieve veiligheid van bestaande constructies

7.1 Algemeen

Aan de hand van literatuuronderzoek in combinatie met NEN 8700 is allereerst een plan van aanpak opgesteld voor het onderzoek aan bestaande constructies. Het onderzoek moet erop gericht zijn om de onzekerheid over de constructieve eigenschappen van een bouwwerk zo klein mogelijk te maken. Hiervoor is de volgende flowchart opgesteld.



In paragraaf 8.2 t/m 8.10 wordt per stap uitgelegd waarom voor deze aanpak gekozen is.

7.2 Archiefstudie en geometrie

Een bij een archiefstudie is het zaak zoveel mogelijk constructieve gegevens van het oorspronkelijke ontwerp te achterhalen. Enkele locaties waar gegevens beschikbaar kunnen zijn: eigenaar van het gebouw/bouwwerk, gemeentearchief, bibliotheken of de Rijksgebouwendienst.

Benodigde gegevens zijn:

- bouwjaar of bouwperiode;
- de geometrische gegevens van de hoofddraagconstructie;
- ontwerpberekeningen, detailberekeningen, constructietekeningen, wapeningsconfiguratie, bestek;
- destijds toegepaste materiaalkwaliteiten voor beton en staal;
- dekkingen;
- veranderde belastingen zoals aangebrachte dekvloeren.

Let op, de NEN 8700 stelt: 'Documentatie als bestek en bouwtekeningen moeten wegens vele mogelijke afwijkingen in de praktijk met enige voorzichtigheid worden beschouwd. Gebruik daarvan zonder enige verdere verificatie is dan ook alleen toegelaten voor niet-kritische grootheden waarop verder geen verdenking van mogelijke substantiële afwijking rust.' (Hoofdstuk 4 NEN 8700:2011). Geadviseerd wordt om altijd controles in het werk uit te voeren op het verkregen archiefmateriaal.

Het kan zijn dat er geen archiefmateriaal voorhanden is. Of dat de stukken van slechte kwaliteit of slechts gedeeltelijk aanwezig zijn of dat bouwwerk door aanpassingen over de jaren niet meer overeenkomen met de praktijk. In dit geval dient allereerst de geometrie van de constructie ingemeten te worden. Bovendien is het van belang zover mogelijk te bepalen wat de toegepaste materialen zijn.

7.3 Visuele inspectie

De bestaande constructie dient visueel geïnspecteerd te worden. Voor het uitvoeren van een visuele inspectie zijn de volgende attributen benodigd:

- fotocamera;
- meetlint, distometer en/of Total Station;
- scheurwijdtekaartje;
- aantekeningen materiaal;
- tekeningen (indien beschikbaar);
- schuifmaat.

Aandachtspunten bij een visuele inspectie zijn:

- veranderingen die in de loop van de tijd aan het gebouw zijn aangebracht;
- visuele tekenen van constructief verval;

Tekenen van constructief verval dienen altijd verklaard te worden. Het slechts registreren van constructieve gebreken is onvoldoende. Tekenen van constructief verval kunnen zijn; grote vervormingen, veel / grote scheuren, verkleuringen die duiden op putcorrosie, wapeningscorrosie, afboeren van beton, zettingen ed. Deze tekenen van constructief verval dienen gezien te worden als waarschuwingssignalen die een gebouw geeft dat lokaal een constructieve grens overschreden wordt.

7.4 Verkennende berekening

Op basis van gegevens verkregen uit de archiefstudie en visuele inspectie is het mogelijk om verkennende berekeningen op te stellen. Doel van deze berekeningen is een beeld te krijgen waar kritische elementen zich in de hoofddraagconstructie bevinden. Het betreft hier slechts een verkennende berekening en géén definitieve toets. De berekeningen kunnen dus uitgevoerd worden op basis van nieuwbouw (EC, BB2012).

Voor het maken van verkennende berekeningen maken we onderscheid tussen twee varianten;

- I. verkennende berekeningen op basis van gegevens verkregen uit de archiefstudie;
- II. wanneer geen of te weinig gegevens uit de archiefstudie beschikbaar zijn wordt een berekening uitgevoerd op basis van de geometrische gegevens en diverse aannamen.

In de eerste variant, op basis van gegevens verkregen uit de archiefstudie, worden alle voor de berekening benodigde gegevens als bekend verondersteld. Beschikt men over toenmalige toegepaste beton- en staalkwaliteiten mogen rekenwaarde aangehouden worden zoals voorgeschreven in de conversietabellen, bijlage 3 (tabel 3.1 en 3.2) van de CUR aanbeveling 248.

In de tweede variant, wanneer geen of te weinig gegevens uit de archiefstudie beschikbaar zijn, worden verkennende berekeningen gemaakt op basis van aannamen voor wapeningspercentages, dekkingen en materiaalkwaliteiten. Benadrukt wordt dat het hier *niet* gaat om een constructieve toetsing, maar om helder te krijgen waar de kritieke elementen zich in de hoofddraagconstructie bevinden.

Uitgangspunten benodigd bij de verkennende berekeningen:

- geometrie van de hoofddraagconstructie is bekend;
- er wordt gerekend met aannamen voor wapeningspercentages voor vloeren, balken, kolommen en wanden volgens tabel 1.
- betonkwaliteit: C20/25;
- staalkwaliteit: FeB220;
- de betondekking wordt gekozen aan de hand van milieuklassen volgens NEN-EN 206-1 en de daarbij behorende eisen volgens NEN 8005 en NEN 1992-1-1, Ontwerpen en berekenen van betonconstructies Deel 1-1 gecombineerd.

Geadviseerd wordt om voor de verschillende elementen een wapeningspercentage te kiezen volgens uit tabel 1:

	benodigde hoeveelheid staal (kg/m ³)	wapeningspercentage (%) <i>betrokken op het gewicht</i>	wapeningspercentage (%) <i>betrokken op de nuttige hoogte</i>
vloeren	80-100	3-4%	0,9-1,2%
balken	120-150	5-6%	1,5-1,8%
kolommen	100-120	4-5%	1,2-1,5%
wanden	100-120	4-5%	1,2-1,5%
funderingsbalken	60-80	2-3%	0,6-0,9%

Tabel 1: Aan te houden wapeningspercentages per element

7.5 Niet-destructief onderzoek

7.5.1 Inleiding

Op basis van de resultaten uit de verkennende berekeningen wordt bepaald welke gebouwelementen onderzocht dienen te worden. Dit onderzoek kan op niet-destructieve of op destructieve wijze uitgevoerd worden. Als uitgangspunt wordt gekozen een zo optimaal mogelijke combinatie te vinden tussen deze twee categorieën van onderzoek. Juist door te zoeken naar een optimaal gebruik van beide onderzoeksmethoden kan de onzekerheid over de constructie zo klein mogelijk gemaakt worden zonder grote delen van de constructie te beschadigen.

7.5.2 Niet-destructief onderzoek

Niet-destructief onderzoek is onderzoek waarbij de constructie intact blijft. Voordeel van dit onderzoek is dat het relatief snel uitgevoerd kan worden en dat de constructie niet wordt beschadigd. Hierdoor kan in een korte tijd erg veel data verzameld worden. Nadeel is dat vaak niet geverifieerd kan worden of de gevonden meetresultaten ook overeenkomen met de werkelijkheid. Ook het interpreteren van de meetgegevens kan soms lastig zijn. Zo kunnen bijvoorbeeld wapeningstaven die dicht bij elkaar liggen zorgen voor interferentie bij een radarmeting waardoor onderliggende staven gemaskeerd worden. Om te controleren of de meetresultaten reëel zijn zal de constructie plaatselijk opengehakt moeten worden.

Methoden en apparatuur voor niet-destructief onderzoek aan beton.

betondruksterkte	wapeningsconfiguratie	wapeningscorrosie
terugslaghamer	dekkingsmeter	potentiaalmeter (semi-destructief)
ultrasoon	radar	weerstandsmeter
	röntgen	

Een moeilijkheid is het exact bepalen van de wapeningsdiameter op niet-destructieve wijze. Zowel met een dekkingsmeter als met radar kan de wapeningsdiameter slechts indicatief bepaald worden. Wel kan met deze meetinstrumenten niet-destructief gecontroleerd worden of de wapeningsdiameters overeenkomen met de informatie uit het archiefmateriaal. Om exact de wapeningsdiameter te bepalen zal ten minste één staaf aangeboord moeten worden.

Zie bijlage IV voor meer informatie over niet-destructief onderzoek.

7.6 Destructief onderzoek

7.6.1 Inleiding

Zoals in paragraaf 8.5 vermeld is, wordt aanbevolen om alvorens destructief onderzoek uit te voeren eerst niet-destructief onderzoek uit te voeren. Op deze wijze kan heel snel een (indicatief) beeld verkregen worden van de wapeningsconfiguratie en de betonkwaliteit. Deze meetresultaten zullen op een aantal locaties gecontroleerd moeten te worden. Dit kan door middel van destructief onderzoek. Het grote voordeel is dat veel nauwkeuriger gemeten kan worden en dat het dus veel meer zekerheid geeft. Het nadeel is vaak de zeer beperkte steekproefgrootten die mogelijk zijn. Destructief onderzoek wordt door opdrachtgevers vaak niet gewenst of het kan nadelig zijn voor de constructieve capaciteit van de constructie, omdat het veel schade kan aanrichten. Bovendien is destructief onderzoek vaak tijdrovend en arbeidsintensief wat ervoor zorgt dat deze onderzoeken vaak ook erg kostbaar zijn.

7.6.2 Destructief onderzoek

Welke onderdelen en op welk locatie van de constructie destructief getoetst dienen te worden bepaald men aan de hand van de meetresultaten uit het niet-destructief onderzoek en aan de hand van de verkennende berekeningen. Getoetst wordt of wat niet-destructief gemeten is overeenkomt met de werkelijkheid. Ook het vaststellen van de materiaaleigenschappen dient destructief onderzoek te worden uitgevoerd. Er zullen betonkernen geboord moeten worden om de betondruksterkte te kunnen bepalen. Dit resultaten van de drukproeven kunnen weer vergeleken worden met het niet-destructieve onderzoek met de terugslaghamer. Om de staalkwaliteit te bepalen zal wapeningsstaal verzameld moeten worden voor het uitvoeren van trekproeven.

wapeningsconfiguratie	wapeningcorrosie	staalkwaliteit	betonkwaliteit
vrijhakken	vrijhakken	trekproeven	betonkernen
	potentiaalmeter	Brinell hardheidsmeter	

Hart-op-hart afstanden en wapeningsdiameters kan men controleren door de dekking op de wapening in een strook van een nader te bepalen lengte te verwijderen. Vervolgens dient het aantal gevonden wapeningsstaven gedeeld te worden door de lengte van de strook. Wapeningsdiameters kunnen met een schuifmaat bepaald worden.

Het onderzoek naar de corrosie van de wapening is semi-destructief, omdat contact met de wapening moet worden gemaakt en de coating ter plekke van de metingen vaak moet worden verwijderd. Daarnaast dienen, om te bepalen of de wapeningsconfiguratie daadwerkelijk corrodeert, op ten minste twee locaties referentieboringen plaats te vinden. In de Nederlandse normen is niets vastgesteld m.b.t. potentiaalmetingen, waardoor teruggevallen wordt op RILEM TC 154-EMC of ASTM C876-09. Met een potentiaalmeting kan doorgaans goed bepaald worden of (put)corrosie aannemelijk is. Ook kan het verschil tussen chloride geïnitieerde corrosie en carbonatatie geïnitieerde corrosie gemeten worden. Deze kernen van de referentieboringen dienen bij voorkeur geboord te worden bij hoge potentialen (> 350 mV) of bij onzekere meetresultaten.

De Brinell-hardheid is een maat voor de hardheid van staal. Hiermee kan de toegepaste staalkwaliteit benaderd worden. De staalkwaliteit dient bij voorkeur bepaald te worden door een aantal trekproeven uit te voeren waarbij ook de rekgrens wordt bepaald.

De betondruksterkte wordt bepaald door kernen uit het beton te boren en deze te beproeven in een drukbank. De h/d verhouding dient hierbij bepaald te worden volgens CUR aanbeveling 74. Het bezwijkpatroon wordt beoordeeld conform NEN-EN 12390-3:2009/C1:2011.

Zie bijlage V voor meer informatie over destructief onderzoek.

Let op: Het verwijderen van dekking is niet zonder risico.

7.7 Proefbelasten

Mocht het om wat voor reden dan ook onmogelijk zijn om achter de benodigde informatie te komen om de constructie te toetsen of mochten er om wat voor reden dan ook twijfels blijven bestaan over de capaciteit van de constructie dan kan gekozen worden de constructie van een proefbelasting te voorzien. Een voorbeeld hiervan zou een bestaande paalfundering kunnen zijn. Waar bevindt zich het paalpuntniveau, hoe is de grondsamenstelling, is er een verzwaarde voet toegepast?

Alvorens een proefbelasting aan te brengen dient er een capaciteitsberekening te worden gemaakt op basis van aannamen. Hierbij dient verdisconteerd te worden dat de proefbelasting slechts voor een korte duur op de constructie wordt aangebracht. Bovendien moet vooraf een inschatting gemaakt worden over de te verwachten vervorming. Mocht de uiteindelijk te verwachten vervorming bereikt worden voordat de maximale belasting is aangebracht, dan dient de proefbelasting gestaakt te worden. De capaciteit van de constructie is dan lager dan vooraf ingeschat.

De belasting dient bij voorkeur stapsgewijs aangebracht te worden. Eerst wordt bijvoorbeeld 25% van de belasting aangebracht en de vervorming gemeten. Vervolgens wordt de belasting verwijderd en gemeten of de constructie terugkeert naar zijn oorspronkelijke situatie. Dit wordt drie keer herhaald en vervolgens wordt de belasting verhoogd naar bijvoorbeeld 50% en zo verder tot de maximale belasting is aangebracht. Er kan ook voor gekozen worden de maximale proefbelasting gedurende een langere perioden (dagen tot weken) te laten staan en te monitoren of de vervorming over deze periode toeneemt. Aan de Merwedestraat in Arnhem is een proefbelasting uitgevoerd (zie hoofdstuk 11 en bijlage VII).

7.8 Data analyse

Tijdens alle onderzoeken welke worden uitgevoerd wordt heel veel data verzameld. Het is belangrijk zorgvuldig met deze data om te gaan, zodanig dat deze op de correctie wijze vergeleken kunnen worden met andere beschikbare informatie, waardoor de gegevens op de juiste wijze geïnterpreteerd kunnen worden. Daarnaast is het noodzakelijk bekend te zijn met de nauwkeurigheid en de beperkingen van de meetinstrumenten en de resultaten.

NEN 1990:2002 annex D reikt een methode aan waarop met een beperkt aantal steekproeven een schatting van de karakteristieke waarden kan worden verkregen (alleen voor de schatting van de ondergrenswaarde, niet voor de schatting van het karakteristieke gemiddelde).

Voor het bepalen van de karakteristieke waarde van de betondruksterkte kan ook de NEN-EN 13791: 2007 toegepast worden. De karakteristieke waarden liggen gemiddeld 15% hoger dan de karakteristieke waarden verkregen met NEN 1990:2002 annex D (Vervuurt & Steenberg, 2011). Het is daarom veiliger om uit te gaan van NEN1990:2002 annex D bij het (her)beoordelen van bestaande constructies.

Door het C.E.B. (Comité Européen du Béton) is de karakteristieke waarde van beton de grenswaarde waarbij slecht 5% van alle theoretisch te verkrijgen druksterktes deze waarde onderschrijft (Betonvereniging, 1966). Met behulp van Students t-test kan deze ondergrens bepaald worden. Omdat men bij het onderzoek aan bestaande constructies vaak te maken heeft met zeer kleine steekproefgrootten kan men erg 'gestraft' worden door een sterk afwijkende meetwaarde, omdat de standaarddeviatie hierdoor onevenredig toeneemt. Het kan hier gaan om een zogenaamd outlier. Dit dient met een statistische toets voor het verwerpen van outliers bepaald te worden. Men mag niet zonder meer een meetwaarde verwerpen.

In bijlage X is een statistische toets op meetwaarden verricht om de hechtsterkte van een betonoppervlak van een parkeerdek te bepalen.

7.9 Toetsing a.d.h.v. NEN8700 en Eurocodes

Aan de hand van NEN 8700:2011 is het mogelijk de restcapaciteit van bestaande constructie te beoordelen. Op basis van de berekeningen is de constructie in te delen in drie categorieën: Nieuwbouw, Verbouw, Prestatieniveau (enkel privaat) en Afkeurniveau.

Bouwen		Bestaand bouwwerk	
Toetsen ontwerp		Toetsen bestaande situatie	
Nieuwbouw	Verbouw	Prestatieniveau	Afkeurniveau
Eurocodes	NEN 8700	NEN 8700	NEN 8700
Bouwbesluit 2012	Bouwbesluit 2012	Enkel privaat	Bouwbesluit 2012

Bron: www.nen.nl

Nieuwbouw: Eurocodes (Bouwbesluit 2012)

De constructie dient in zijn geheel te voldoen aan de nieuwbouweisen. Dit is altijd het uitgangspunt.

Verbouw: NEN 8700 (Bouwbesluit 2012)

Indien de kosten onevenredig hoog zullen worden om de constructie zodanig aan te passen om aan de eisen voor nieuw te kunnen voldoen kan worden volstaan met toetsing op basis van verbouwniveau.

Prestatieniveau: NEN 8700 (Enkel privaat)

Indien u wilt controleren of het bouwwerk voldoet aan een gekozen prestatieniveau geeft NEN 8700 hiervoor aanwijzingen.

Afkeurniveau: NEN 8700 (Bouwbesluit 2012)

In NEN 8700 is een specifiek prestatieniveau vastgesteld wat de absolute ondergrens van de eisen zijn. NEN8700 bevat voorschriften om te beoordelen of bestaande constructie moeten worden afgekeurd.

Voor elk van deze toetsingsniveaus worden in NEN 8700 partiële factoren gegeven (NEN 8700:2011 annex A). In figuur 6 wordt voor een referentieperiode van 15 en 50 jaar weergegeven wat de verschillende designwaarden zijn.

vergelijking designwaardes van belasting voor nieuwbouw / verbouw / afkeur							
ref.periode	15	psi;T	0.92				
belastingcomb 6.10.b	CC2						
		pb		vb	psi;T	Totaal	perc
		kN/m2		kN/m2			
		6		4			
nieuwbouw	1.35	8.1	1.5	6	1.00	14.10	100%
verbouw	1.3	7.8	1.3	5.2	0.92	12.58	89%
afkeur	1.2	7.2	1.15	4.6	0.92	11.43	81%

vergelijking designwaardes van belasting voor nieuwbouw / verbouw / afkeur							
ref.periode	50	psi;T	1				
belastingcomb 6.10.b	CC2						
		pb		vb	psi;T	Totaal	perc
		kN/m2		kN/m2			
		6		4			
nieuwbouw	1.35	8.1	1.5	6	1.00	14.10	100%
verbouw	1.3	7.8	1.3	5.2	1.00	13.00	92%
afkeur	1.2	7.2	1.15	4.6	1.00	11.80	84%

Tabel 2: vergelijking designwaardes van belasting voor nieuwbouw/verbouw/afkeur

7.10 Specifieke aandachtspunten

In Nederland spelen op dit moment twee maatschappelijke constructieve problemen bij bestaande bouw. Eén van de problemen is bros bezwijken van vrij uitkragende balkons & galerijen door putcorrosie. Het tweede probleem is de beperkte duurzaamheid van verzinkte spouwankers in gevelmetselwerk. Bartels Ingenieursbureau B.V. doet veel onderzoek aan (kop)gevelmetselwerk en vrij uitkragende balkons en heeft gevraagd dit mee te nemen in het protocol. In hoofdstuk 12 en 13 wordt nader op deze problematiek ingegaan.

8 Referentieproject Rijkswaterstaat toren (Minor)

8.1 Inleiding

Tijdens de minor 'Creatief Construeren' is een start gemaakt met het onderzoek naar de eerste stappen uit het protocol; *Archief & geometrie* en *Verkennde berekening*. Dit is gedaan aan de hand van de kantoorstoren van Rijkswaterstaat in Arnhem. In dit hoofdstuk vindt u een samenvatting van de resultaten en de hierbij getrokken conclusies. Het gehele onderzoek kunt u terugvinden in bijlage II: referentieproject Rijkswaterstaattoren (minor).

8.2 Bevindingen

8.2.1 Algemeen

De Rijkswaterstaat toren is een oude kantoorstoren die zich bevindt in de wijk Presikhaaf te Arnhem (figuur 6). Het bestaat uit 20 verdiepingen en heeft een gezamenlijke oppervlakte van ca. 14000 m². De 65 meter hoge toren vormt een markant punt binnen deze wijk. Het is in 1968 opgeleverd en is ontworpen door architect: Zanstra, GmeligMeyling, De ClerqZubli (Skyscrapercity.com, 2005).



Figuur 6: Rijkskantoor Presikhaaf Arnhem (Bron: Bing Maps).

Met zijn 46 jaar begint dit gebouw aan het eind van zijn referentieperiode te komen. Bovendien ziet het er gedateerd uit en voldoet het niet meer aan de huidige bouwkundige en bouwfysische eisen. In het rapport uit de minor is onderzocht wat de mogelijkheden zijn om dit kantoorgebouw te herbestemmen tot een hotel/restaurant. De bovenste drie verdiepingen zullen getransformeerd worden tot restaurant en horeca de overige verdiepingen tot hotel. Dit heeft gevolgen voor de variabele belasting op de bovenste drie verdiepingen, die hoger zal worden dan de originele kantoorfunctie. Aan de hand van de beschikbare informatie uit de archieven is een eerste rekenkundige toetsing uitgevoerd. Het doel was om constructief kritische onderdelen van het gebouw in kaart te brengen en om het nog te verrichten veldonderzoek richting te geven.

8.2.2 Uitgangspunten

Als uitgangspunt voor de berekening is uitgegaan van een horecafunctie voor de bovenste drie bouwlagen en een hotel/logiesfunctie voor de overige bouwlagen (NEN 1990:2002 art. B3.1) De berekeningen zijn uitgevoerd volgens nieuwbouwniveau NEN 8700: 2011. Zie voor verdere uitgangspunten bijlage III paragraaf (3.2.4).

8.2.3 Archiefstudie en geometrie

Voor het uitvoeren van deze opdracht waren geen constructieberekeningen en constructietekeningen beschikbaar. Er is geprobeerd deze gegevens te achterhalen, maar dat is niet gelukt. Wel waren bouwkundige tekeningen beschikbaar waaruit de oorspronkelijke geometrie en toegepaste materialen konden worden achterhaald. Aan de hand van deze gegevens zijn vervolgens verkennende berekeningen uitgevoerd met als doel om de kritieke punten in het gebouw te bepalen.

8.2.4 Verkennende berekening

De vloerberekeningen zijn uitgevoerd op basis van Eurocode 2012 met uitgangspunten gebaseerd op materiaalsterkten uit de GBV 1962 alsmede het feit dat de hydratatie van beton niet eindigt bij 28 dagen.

Het volgende is bekend van de staal- en betonkwaliteit uit de tijd van GBV 1962 (tabel 3 & 4);

Norm	Staalsterkteklasse	Vloei-/0,2%- rekgrens (N/mm ²)	Toelaatbare trekspanning (N/mm ²)	
			Balken	Platen
GBV 1962	QR 22	220	130	140
	QR 24	240	140	150
	QR 32 en QRn 32	320	180	190
	QR 40 en QRn 40	400	220	230
	QR 48 en QRn 48	480	260	270

Tabel 3: Staalkwaliteiten GBV 1962

Norm	Betonsterkteklasse	Gemiddelde kubussterkte (N/mm ²)	Toelaatbare drukspanning (N/mm ²)
GBV 1962	K160	16,8	4
	K225	23,6	5,5
	K300	31,5	7,5

Tabel 4: Betonkwaliteiten GBV 1962

Vier berekeningen zijn uitgevoerd op basis van de volgende aannamen, gebaseerd op materiaalkwaliteiten uit de periode van de GBV 1962 (tabel 5):

	Betonkwaliteit	Staalkwaliteit
Berekening 1	C16/20 N/mm ² (K225)	220 N/mm ² (QR22)
Berekening 2	C 20/25 N/mm ² (K300)	220 N/mm ² (QR22)
Berekening 3	C 20/25 N/mm ² (K300)	320 N/mm ² (QR32)
Berekening 4	C 20/25 N/mm ² (K300)	480 N/mm ² (QR48)

Tabel 5: Berekening o.b.v. materiaalkwaliteiten GBV1962

De aangehouden betonkwaliteit is gebaseerd op de betondruksterkte na 28 dagen. Hierna stopt het hydratatieproces van beton echter niet. De betondruksterkte kan door de tijd met 10 tot 30% toenemen (Braam & Lagendijk, 2011). Uitgaande van een toenmalige betonkwaliteit van C20/25 en 30% sterktoename wordt uitgegaan van C25/30. Met deze aanname en staalkwaliteiten uit GBV 1962 zijn 3 extra berekeningen gemaakt (tabel 6).

	Betonkwaliteit	Staalkwaliteit
Berekening 5	C 25/30 N/mm ²	220 N/mm ² (QR22)
Berekening 6	C 25/30 N/mm ²	320 N/mm ² (QR22)
Berekening 7	C 25/30 N/mm ²	480 N/mm ² (QR22)

Tabel 6: Berekeningen o.b.v. voortgang hydratatie beton in de tijd met 30% sterkte toename

Op basis van de gevormde uitgangspunten is voor iedere materiaalcombinatie de benodigde wapening A_s bepaald voor de vloeren, versterkte stroken, liggers en kolommen van de Rijkswaterstaattoren (zie bijlage III). Hierin zijn de gemaakte berekeningen terug te vinden.

8.3 Resultaten

8.3.1 Vloeren

De vloervelden zijn met behulp van GTB tabellen 2010 berekend. Hiervoor is de verdiepingsvloer van het maatgevende vloerveld aangenomen. Opvallend is dat voor de capaciteit van de vloervelden, berekend in UGT, nagenoeg geen winst te behalen valt qua toename in betonkwaliteit. Een toename van een C16/20 naar een C25/30 levert nagenoeg geen vermindering van het benodigde staal op.

Wanneer gerekend wordt met een hogere betonkwaliteit door voortschrijdende hydratatie van het beton blijkt dat de benodigde minimale wapening wel omhoog gaat. Deze minimale wapening wordt aangehouden zodat de constructie niet bros bezwijkt. Dit zou een probleem kunnen zijn voor het al dan niet voldoen van de vloer wanneer de betondruksterkte in de loop van jaren sterk is toegenomen. Daardoor zou de vloer, wanneer deze destijds van minimale wapening is voorzien, niet meer voldoen aan de huidige eisen.

Geconcludeerd wordt dat voor vloervelden de betondruksterkte in UGT niet van doorslaggevend belang is voor de capaciteit van de vloer. Staalkwaliteit is daarentegen wel van groot belang. Zeker omdat uit de normgeschiedenis geconcludeerd kan worden dat er grote spreiding in de materiaalkwaliteit aanwezig zou kunnen zijn. De vloei-/0,2% rekgrens kon in die tijd variëren van 220 tot 480 N/mm². Het nauwkeurig bepalen van de staalkwaliteit kan een grote capaciteitsverhoging tot gevolg hebben. Men zou zich op grond van de resultaten af kunnen vragen in hoeverre het boren van kernen uit vloeren van belang is voor een capaciteitsberekening in de UGT.

8.3.2 *Balken*

Voor het berekenen van de balken is uitgegaan van de maatgevende balk. De balk met de grootste belastingen bevindt zich in de verdiepingsvloer met de bestemming horeca. Deze balk is net zoals de vloeren en kolommen berekend op basis van de zeven varianten op de twee uitgangspunten (betonkwaliteit en staalkwaliteit), genoemd in paragraaf 9.2.4.

Bij de balken kan net als bij de vloervelden geconcludeerd worden dat in de UGT de betonkwaliteit nauwelijks bijdraagt aan de capaciteit van de balken. De vraag is dan ook in hoeverre het van belang is heel nauwkeurig de betonkwaliteit van balken te bepalen. Het kan echter wel van belang zijn indien getwijfeld wordt aan de dwarskrachtcapaciteit van de balken.

Het nauwkeurig bepalen van staalkwaliteiten heeft wel een aanzienlijke invloed op de capaciteit. Om te bepalen of de balken voldoen zal nader onderzoek ter plaatse gedaan moeten worden naar de wapeningsconfiguratie en destructief onderzoek naar met name de staalkwaliteit en toegepaste diameters.

8.3.3 *Kolommen*

Om de kolommen te toetsen is een uitgebreide Excel sheet opgesteld (zie bijlage III: referentieproject Rijkswaterstaattoren Minor). Op basis van de verschillende combinaties van materiaalfactoren zijn de kolommen doorgerekend. Het maximaal optredende moment is aangehouden bij alle kolommen. Wanneer uitgegaan wordt van het standaard uitgangspunt C20/25 en FeB 220 dan blijken 88 kolommen niet te voldoen.

Om te zien wat de invloed van de materiaalkwaliteit is op de capaciteit is deze stapsgewijs verhoogd. Als de staalkwaliteit nu wordt verhoogd naar FeB 320 met een C20/25 (beton) dan blijken nog maar 40 kolommen niet te voldoen. Dit levert een capaciteitswinst op van 45%. Verhogen we alleen de betonkwaliteit naar C25/30 met een staalkwaliteit van FeB220 dan voldoen 56 van de kolommen niet. Dit levert een capaciteitswinst op van 36%. Bij C25/30 en FeB 320 blijken nog maar 16 kolommen niet te voldoen. Alle kolommen voldoen bij C25/30 en FeB420.

Het blijkt uit de berekeningen dat de betonkwaliteit van kolommen wel een grote rol speelt voor het bepalen van de uiteindelijke constructieve capaciteit van een kolom.

8.3.4 *Stabiliteit*

Alvorens de stabiliteit van het Rijkswaterstaatgebouw gecontroleerd is, is een Excel sheet ontwikkeld om de extreme stuwdruk te berekenen. Door het toepassen van de nieuwe Eurocode is één en ander in het berekenen van de extreme stuwdruk op gebouwen veranderd. Bekend is dat de windbelasting bij hoge gebouw op basis van de Eurocode is toegenomen ten opzichte van de NEN 6702. Dit kan belangrijke consequenties hebben voor de toetsing/herbestemming van bestaande bouw. Een verschil is er met name voor gebouwen direct aan de kust. De terreinruwheid en een hogere windbelasting kunnen leiden tot een hogere windbelasting. Verder houdt de Eurocode rekening met mogelijke effecten die in de voorgaande normen niet waren opgenomen, zoals de invloed van naastgelegen gebouwen.

Uit de berekeningen blijkt dat de toren stabiel is. Maar ook uit de praktijk bleek dat de Rijkswaterstaattoren al tientallen jaren zonder problemen stabiel is gebleven. Gedurende zijn levenscyclus is het gebouw op allerlei manieren belast door wind. Het zou vreemd zijn dat op basis van de nieuwe Eurocode de toren ineens niet meer zou voldoen. Toch zal bij een functieverandering de stabiliteit van gebouwen altijd gecontroleerd moeten worden. Door veranderingen aan het gebouw

zelf of in de omgeving van het gebouw kan de (wind)belasting op het gebouw veranderen of de stabiliteit van het gebouw afnemen.

8.3.5 *Samenvattend*

Het blijkt dat door nauwkeurig onderzoek te doen naar toegepaste materiaalkwaliteiten veel capaciteitswinst te behalen valt, of toch in ieder geval veel onzekerheid weggenomen kan worden. Voor de beoordeling van balken en vloeren is het zeer nauwkeurig bepalen van de betondruksterkte niet erg belangrijk (tenzij vermoed wordt dat de dwarskrachtcapaciteit van een balk achterhaald maatgevend is). Dit zou indicatief gedaan kunnen worden met een terugslaghamer en een beperkt aantal boorkeren. In tegenstellingen tot balken en vloeren kan geconcludeerd worden dat bij berekeningen in de UGT de betondruksterkte van kolommen wel een belangrijke rol speelt. Bepalen van de betondruksterkte voor kolommen en wanden is voor de capaciteitsberekening wel belangrijk.

Het doel van dit onderzoek was om aan te tonen waar zich de kritieke constructie-elementen zich in een bouwwerk bevinden. Op basis hiervan is het nu mogelijk om gericht onderzoek te doen. Door op een slimme manier niet-destructief en destructief onderzoek met elkaar te combineren kan zo de onzekerheid over een constructie beperkt worden en de werkelijke capaciteit zo dicht mogelijk benaderd worden.

9 Referentieproject Natlab Philips

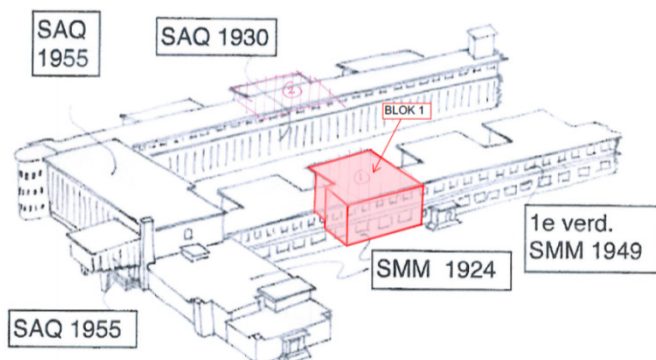
9.1 Inleiding

Ter onderbouwing van het protocol: *Beoordelen constructieve veiligheid van bestaande constructies* zijn er een aantal referentieprojecten beschouwd. Tijdens de Minor Creatief Construeren is er gekeken naar de eerste twee stappen van het protocol: *Archief & geometrie* en *Verkennde berekening*. Voor de beschouwing van het referentieproject Natlab Philips was het door een gestelde deadline niet mogelijk een verkennende berekeningen uit te voeren, er is ervoor gekozen om deze stap over te slaan. Stap één (het archief & geometrie) is voor dit onderzoek uitgevoerd tijdens de haalbaarheidsstudie. Deze gegevens zijn de basis geweest van het onderzoek. Zodoende zijn stap één en twee buiten beschouwing gelaten en is er direct gestart met stap drie van het protocol.



Figuur 7: Foto www.eindhoven-in-beeld.nl

Het voormalig Natlab Philips is in 1914 opgericht waarna het complex in fases is gebouwd. Dit onderzoek spitst zich toe op het gedeelte dat in figuur 8 is aangeduid als blok 1. Dit blok is onderdeel van de gehele vleugel die is gebouwd in 1924, in de jaren daarna hebben nog verschillende verbouwingen plaatsgevonden., zo is de eerste verdieping in 1949 toegevoegd. Sinds 2001 staat het inmiddels voormalig NatLab gebouw leeg. In 2013 is de eerste stap gezet richting hergebruik van het gebouw. Gebouwdeel SAQ 1955 is veranderd naar een multifunctioneel gebouw met hierin een café-restaurant, expositiezalen en theaterzaal. Nu zijn de overige gebouwdelen aan de beurt. Een VMBO-MBO school gaat het voormalig NatLab herontwikkelen naar een complex dat plaats biedt voor creatieve opleidingen. In dit kader rest de vraag of de restcapaciteit van de bestaande constructie voldoende is voor herbestemming naar deze nieuwe functie.



Figuur 8: Overzicht Natlab met verschillende bouwperiodes en onderzochte beuken

9.2 Uitgangspunten

Met betrekking tot de belastingen geldt dat naast vermelde belastingen, gesteld in NEN-EN 1990 (Eurocode 0 met Nationale Bijlage) en NEN-EN 1991 (Eurocode 1 met Nationale bijlage) als minimumeis onverkort van kracht blijft. Omdat dit project de renovatie van een bestaand bouwwerk betreft worden de veiligheidsniveaus van bestaande onderdelen bepaald aan de hand van NEN 8700.

De gebouwcategorieën worden conform tabel A1.1 uit NEN 8700 als volgt bepaald:

- Categorie C: Bijeenkomstruimten met tafels (schoolgebouwen)
- Categorie C2: Bijeenkomstruimten met vaste zitplaatsen (schoolgebouwen)

9.2.1 Belastingcombinaties nieuwbouw

De constructie van het gebouw moet worden berekend volgens de NEN-EN 1990 + NB (2011) - Grondslagen van het constructief ontwerp. Uit deze norm volgen de volgende gegevens:

Gevolgklasse	CC2			
Betrouwbaarheidsklasse	RC2	→	$K_{ff} = 1,0$	
Ontwerplevensduur	50 jaar (klasse 4)	→	$\beta = 3,1$	
uiterste grenstoestand	Blijvende belasting	γ_G (ongunstig)	1,2	1,35*
	Blijvende belasting	γ_G (gunstig)	0,9	
	Opgelegde belasting	γ_Q	1,5	
bruikbaarheidsgrenstoestand	Blijvende belasting	γ_G	1,0	
	Opgelegde belasting	γ_Q	1,0	
* afhankelijk van de beschouwde combinatie				

Tabel 7: Partiële factoren voor nieuwbouw

9.2.2 Belastingcombinaties verbouwing bestaand

Voor de belastingen op de nieuwe constructieonderdelen van de verbouwing van het bestaande gebouw wordt gerekend met de minimumeisen aan de belastingen uit de NEN-EN 1991.

Voor de belastingcombinaties geldt dat NEN 8700 (Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk bij verbouw en afkeuren) aangehouden mag worden. Dit betekent dat voor de bestaande constructieonderdelen de volgende partiële belastingfactoren worden aangehouden:

Vgl. 6.10a: $\gamma_G = 1,20$ en $\gamma_Q = 1,30$

Vgl. 6.10b: $\gamma_G = 1,15$ en $\gamma_Q = 1,30$

9.3 Niet-destructief onderzoek

Zoals omschreven in paragraaf 10.1 worden de eerste twee stappen van het protocol niet behandeld bij dit referentieproject. Bij dit referentieproject is er begonnen met het uitvoeren van het (niet-) destructief onderzoek.

Het doel van het niet-destructief onderzoek bij het Natlab was om zo snel mogelijk alle informatie over de vloerconstructie te verkrijgen, zonder de constructie te beschadigen.

Aan de hand van de gemaakte tekeningen is er bepaald op welke locaties in het gebouw er gemeten dient te worden. Op figuur 8 is te zien dat het Natlab uit meerdere blokken bestaat die in eerste instantie op elkaar lijken. Na onderzoek bleek ook dat deze ruimtes identiek waren en dus niet genoodzaakt waren om alle ruimtes apart te gaan meten. Er is één referentieblok aangehouden waarna de gevonden gegevens voor alle overige identieke blokken als uitgangspunt zijn gesteld.

Nadat het niet-destructief onderzoek was afgerond zijn alle gemeten gegevens vertaald naar een bouwkundige tekening. Hieruit bleek dat het onderzoek wat is gedaan niet afdoende was. Zo zijn er locaties waar niet exact kon worden bepaald wat de aanwezige wapeningconfiguratie is. Er waren verschillende problemen:

- Het niet op niet-destructieve wijze kunnen vaststellen van de exacte diameter van het toegepaste staal. Er kan een handelsmaat verschil zitten tussen de gemeten en de toegepaste staaldiameter. Daarom was niet in alle gevallen mogelijk om met 100% zekerheid te zeggen of de wapeningsdiameter 8mm of 10mm was.
- De hart op hart afstanden van het staal verschilden op deze locaties. Dit is onwaarschijnlijk en hiervoor dient nader onderzoek te worden uitgevoerd.
- Er zijn ook verschillen in de dekking op de wapening gemeten. Hierdoor was het niet duidelijk hoe betrouwbaar deze gegevens zijn

Door deze onzekerheden zijn er een aantal locaties bepaald waar er destructief onderzoek uitgevoerd moet worden. Dit onderzoek moet ervoor zorgen dat er met een grotere zekerheid kan worden gesteld wat de wapeningconfiguratie is en wat de toegepaste dekkingen zijn.

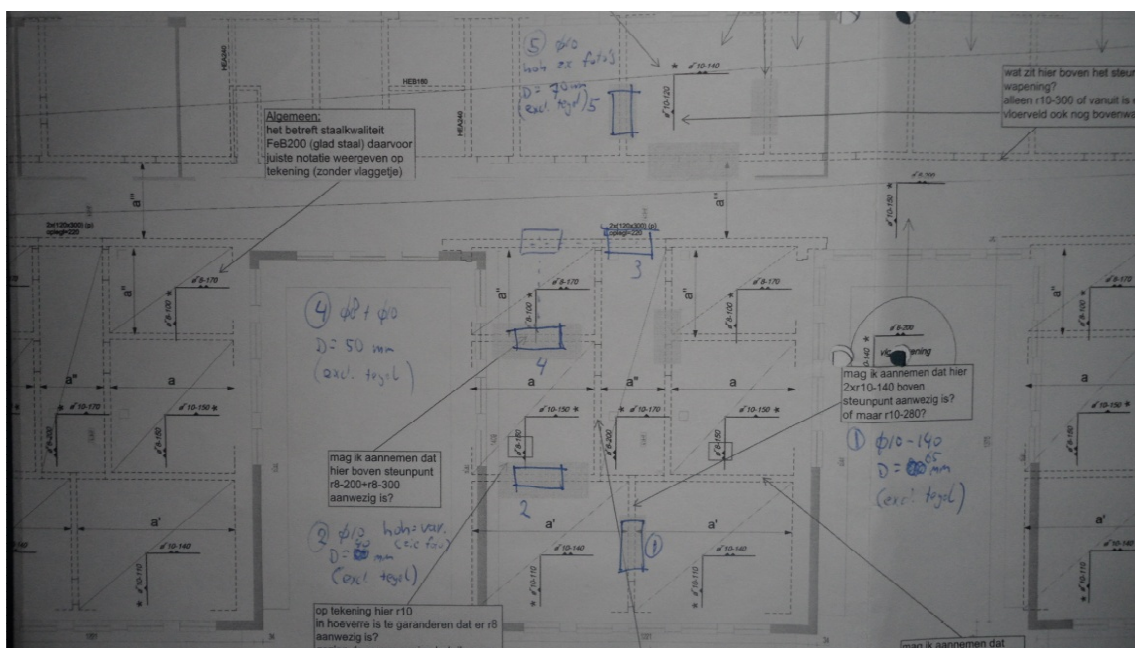
In bijlage IV; het niet-destructief onderzoek zijn alle foto's en resultaten te vinden van dit onderzoek.

9.4 Destructief onderzoek

Nadat er niet-destructief onderzoek is uitgevoerd is duidelijk geworden welke constructieonderdelen onvoldoende nauwkeurig konden worden bepaald. Op de locaties zijn onzekerheden zoals die in paragraaf 10.3 zijn omschreven

Het doel van het uitvoeren van het destructief onderzoek is het verkleinen van de onnauwkeurigheden.

Op een bouwkundige tekening zijn alle meetresultaten van het niet-destructief onderzoek weergegeven. Hierop zijn verschillende locaties bepaald waar onzekerheden bestaan over de constructie die leiden tot lage of zelfs onmogelijke maximale belastingen. Op de volgende afbeelding is te zien waar destructief vervolgonderzoek uitgevoerd diende te worden.



Figuur 9: plattegrond Blok 1

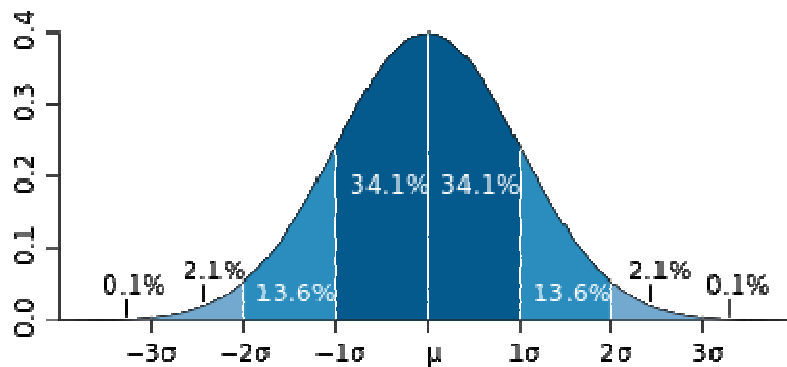
Bij het destructief onderzoek is er op iedere locatie een sleuf van 1m lang en 0,2 meter breed uitgehakt totdat de wapening zichtbaar werd. Vervolgens werden de diameters, h.o.h. afstanden en dekking van de wapening bepaald. Dit werd allemaal met foto's vastgelegd. In bijlage V zijn alle resultaten hiervan terug te vinden.

Nadat het onderzoek was uitgevoerd waren alle benodigde meetresultaten van de locaties beschikbaar. Er kan geconcludeerd worden dat de waarden, die eerder gemeten waren bij het niet-destructief onderzoek, de werkelijkheid heel redelijk benaderden. Zo bleek namelijk dat de dekking inderdaad wisselend was per locatie en ook dat er verschillen zaten in de werkelijke diameters van de wapening. Toch bleek het destructief onderzoek zeer belangrijk voor bepalen van de capaciteit van de vloeren, aangezien zowel de diameter van de wapening en de dekking beide een grote invloed hebben.

9.5 Data analyse

Data analyse dient plaats te vinden door middel van statistiek (kansrekening). Een probleem hierbij is dat steekproeven op bestaande constructies vaak erg klein zijn. Met name data uit destructief onderzoek is vaak zeer beperkt. Er kan echter snel veel data verkregen worden uit niet-destructief onderzoek. Door op verantwoorde wijze destructief en niet-destructief onderzoek te combineren kan de onzekerheid over een constructieve parameter aanzienlijk verkleind worden.

Verreweg de meest gebruikte kansverdeling in de statistiek is de normale verdeling of gaussverdeling. Deze gaat ervan uit dat wanneer men maar genoeg meet aan een parameter de meetresultaten zich uiteindelijk zullen vormen tot een soort klokstructuur (figuur 10). Hierin zijn de verwachtingswaarde μ die de gemiddelde waarde aangeeft en de waarde σ die de standaardafwijking weergeeft van belang. Gebruikelijk is om bij sterkte-eigenschappen een 5%-onderscheidingskans uit te rekenen, waarbij de karakteristieke waarde die waarde is, waarbij verwacht wordt dat in slechts 95% van de gevallen de sterkte gelijk of hoger is dan deze waarde.



Figuur 10: Relatie tussen standaardafwijking en kans in een normale verdeling (Bron: wikipedia.org)

Wanneer men erg veel data in het veld verzameld heeft kan het maken van een histogram in Excel het inzicht over hoe de data verdeeld is aanzienlijk vergroten. Geadviseerd wordt dan ook om zo'n frequentie tabel te maken.

Wanneer men te maken heeft met een kleine steekproefgrootte (<30 metingen) kan gebruik gemaakt worden van de Students t-test. Naar gelang de steekproefgrootte kan met behulp van de verdeling of een tabel en aan de hand van de gevraagde onder- of overschrijdingskans (bijvoorbeeld 95%) een kritieke waarde t bepaald worden. Hiermee kan de berekend worden wat de karakteristieke waarde is die slechts in 5% van de gevallen onderschreden wordt.

Een standaardafwijking kan ook inzicht geven in hoe groot de spreiding van de meetwaarden is. Hoe kleiner de standaardafwijking hoe dichter de karakteristieke waarde bij de gemiddeld gemeten waarde ligt.

Soms kan een meetwaarde zo sterk afwijkend zijn dat men zich af kan vragen of de meting wel bij de populatie hoort. Men moet dan statistisch uitsluiten dat de gemeten waarde onderdeel is van de populatie, dus een zgn. 'outlier' is. Het is goed om hierbij te realiseren dat met statistiek nooit iets bewezen wordt, maar dat iets uitgesloten wordt. Men kan dus niet d.m.v. statistiek bewijzen dat waarde x onderdeel is van een populatie, maar men kan wel uitsluiten dat waarde x onderdeel is van een populatie.

Geadviseerd wordt om altijd de volgende statistische waarden te vermelden bij een onderzoek;

- gemiddelde waarde ;
- mediaan (middelste waarde);

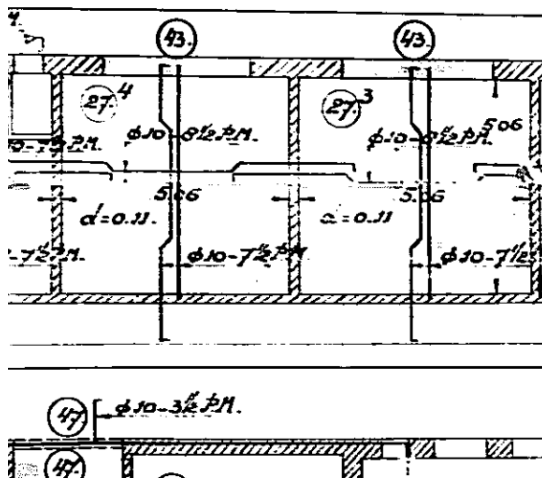
- de standaardafwijking;
- de minimaal gemeten waarde;
- de maximaal gemeten waarde;
- het bereik (verschil tussen minimale en maximale waarde)

Bij het Philips Natlab was het slechts nodig om statistiek te bedrijven op de meetresultaten van de betondruksterkte en de staalkwaliteit. In Bijlage X is een onderzoek naar de hechtsterkte van een betonoppervlak bijgevoegd die veel meer aansluit bij dit hoofdstuk. Hier wordt onder meer door middel van histogrammen, Students t-test en een Q-test voor het bepalen van outliers, statistisch aangetoond dat de hechtsterkte van de ondergrond van het onderzochte parkeerdek met een zekerheid van 90% groter is dan $1,5 \text{ N/mm}^2$.

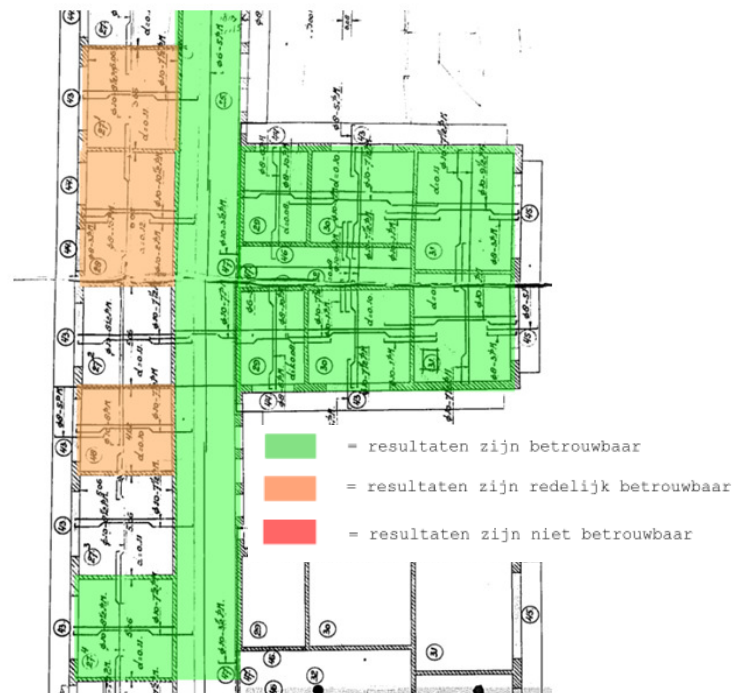
9.6 Toetsing a.d.h.v. de NEN 8700

Op basis van de aanwezige tekeningen, niet-destructief onderzoek en destructief onderzoek is de draagkracht van de vloervelden van de begane grond en eerste verdieping bepaald. De dakvloer is buitenbeschouwing gelaten want dit viel buiten de opdracht die aan Bartels was verstrekt.

Allereerst is er een vergelijking gemaakt tussen de wapening welke op originele wapeningstekeningen staat (zie figuur 17) en de gevonden wapening welke is gevonden op basis van niet-destructief of destructief onderzoek. De uitkomsten van deze vergelijking worden ingedeeld in 3 categorieën: niet-betrouwbaar, redelijk betrouwbaar, betrouwbaar. Als de berekeningen zijn gemaakt op basis van alleen originele tekeningen worden de resultaten als niet-betrouwbaar aangemerkt (komt in dit project niet voor). Als de berekeningen zijn gemaakt op basis van tekeningen en niet-destructief onderzoek dan worden de resultaten als redelijk betrouwbaar aangemerkt. Zijn bij de berekeningen ook de gegevens van destructief onderzoek aanwezig (de nauwkeurigheid wordt steeds groter) dan worden de resultaten als betrouwbaar aangewezen (zie figuur 18).



Figuur 11: wapeningtekening vloerveld 27.4



Figuur 12: nauwkeurigheid berekeningen

De vloeren zijn relatief dun. Dit betekent dat de dekking van grote invloed is op de draagkracht van de vloeren. Een hoge dekking betekent een kleine hefboomarm, wat weer een lager toelaatbaar moment betekent. Voor de vloervelden waarbij uit het verrichte (destructief) onderzoek geen dekkingen zijn te bepalen is een dekking van (conservatieve) 30 mm aannemen. Hierdoor bezitten sommige vloeren een relatief lage draagkracht. Om inzicht te verschaffen in draagkracht bij een normaal vereiste dekking van vloeren in een binnenmilieu (=15mm) is ook deze variant berekend. Er wordt nu uitgegaan van de conservatieve aanname, omdat bij deze vloeren in ieder geval voor de bovenwapening deze hoge dekking aanwezig is. Indien in een later stadium alsnog aangetoond kan worden dat de dekking 15 mm bedraagt, dan zijn de resultaten hiervoor reeds beschikbaar. In figuur 13 vindt u een overzicht van de resultaten.

1e Verdiepingsvloer SMM_1924		overspanning Lx	bestaande wapeingstekeningen	
			met herverdeling	
			dekking 30 mm	dekking 15 mm
vloerveld	25	3,0		2,5
	27.1	5,2	2,3	3,4
	27.4	5,2	0,9	1,8
	28	5,2	1,6	2,3
	29	3,4	2,7	4,3
	30	4,8	2,5	3,6
	31	5,2	1,8	2,7
vloerveld	48	4,4	2,6	3,8

Figuur 13: Overzicht resultaten 1e verdiepingsvloer

De uitgewerkte berekeningen van de vloeren kunt u vinden in bijlage IV: 'Berekening draagkracht vloerconstructie blok 1'.

9.7 Specifieke aandachtspunten

Tijdens het uitvoeren van zowel het niet-destructief als het destructief onderzoek zijn er een aantal zaken welke extra aandacht behoeven.

1. Bij het maken van betonconstructie worden tegenwoordig vooraf gefabriceerde staalbouwnetten toegepast welke zeer maatvast zijn. Vroeger werden deze netten in het werk gemaakt. Dit zorgt voor een grotere variatie in betondekking en h.o.h. afstanden. Daarnaast kunnen er ook verschillen ontstaan in de toegepaste diameter wapening.
Bij het interpreteren van meetgegevens dient hiermee rekening te worden gehouden. Het kan namelijk voorkomen dat bij in het werk gevlochten wapening de configuratie in grote mate afwijkt. Aanbevolen wordt het aantal metingen bij in het werk gemaakte wapening te verhogen.
2. Het is moeilijk om door middel van niet-destructief onderzoek wapeningsdiameters te bepalen. H.o.h. afstanden zijn middels een radar te bepalen. Echter, het is erg lastig om hier ook diameters uit te herleiden. Met een combinatie van radar en dekkingsmetingen zijn de diameters wel te benaderen. Voor het exact bepalen is het nodig om destructief onderzoek uit te voeren.
3. Het bepalen van steunpuntwapening in balken onder vloeren is erg moeilijk. Door de positie van de wapening in de balk en de overlaging in de vorm van de vloer is het zeer moeilijk deze te detecteren. Daarnaast geeft de vloerwapening en de wapening in de balk verstoringen in de meetgegevens. Voor het exact bepalen is het nodig om destructief onderzoek uit te voeren.
4. Het kan voorkomen dat steunpuntwapening bestaat uit opgebogen wapeningstaven.

10 Referentieproject Merwedestraat Arnhem

10.1 Inleiding

Bartels Ingenieursbureau B.V. afdeling materiaalkunde werd benaderd om de capaciteit van een fundering van een oude textiel fabriek uit 1937 in Arnhem te bepalen. De fabriek was recentelijk afgebrand en de verzekering keerde slechts de opbouw uit, omdat de fundering zagezegd nog intact was. Oorspronkelijk is het gebouw op palen gefundeerd met de begane grondvloer op zand gestort. In de tweede wereldoorlog is de constructie onderkelderd om champignons te kunnen kweken. De gedachte is om op de bestaande fundering een stalen hal met een lichte industriële functie te realiseren. (Van Dijk & Weernink, 2013/5)

10.2 Visuele inspectie en materiaalkundig onderzoek

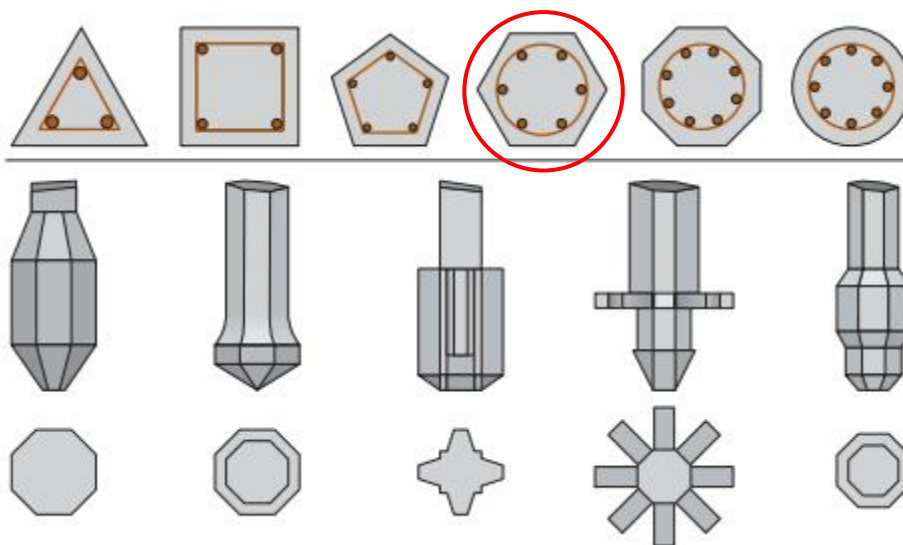
Allereerst is de bestaande fundering visueel geïnspecteerd. Vervolgens is er materiaalkundig onderzoek verricht. De constructie is opgebouwd uit heipalen, liggers met daarop een begane grondvloer. De capaciteit van de begane grondvloer valt buiten dit onderzoek. De aandacht gaat alleen uit naar de capaciteit van de heipalen en de liggers. De capaciteit van de huidige vloer wordt buiten beschouwing gelaten. Deze zal later van een druklaag worden voorzien.

10.2.1 Heipalen

De kolommen zijn zeskantig met vlakken van 200 mm breed. Dit type heipaal is in de periode tussen 1895 en 1955 in Nederland toegepast (figuur 14 & 15). Zeer waarschijnlijk is er een verzwaarde voet toegepast maar dit is niet met zekerheid vast te stellen. Het is ook onmogelijk vast te stellen waar het paalpuntniveau zich bevindt.



Figuur 14: Zeskantige kolom



Figuur 15: Paaldoorsnede en paalvoetvormen toegepast tussen 1895 en 1955 (H.W., 2002)

De laagst gemeten betonsterkteklasse is C28/35, indicatief gemeten met een terugslaghamer. De dekking op de wapening was minimaal 28 mm gemeten met een dekkingsmeter. De mediaan voor de wapeningsdiameter is 24 gemeten over drie kolommen.

10.2.2 Liggers

De betonliggers zijn in het werk gestort. Er zijn drie typen liggers, afmetingen (b x h); 300x400, 300x600 en 300x800 (figuur 16-18). Bij een aantal liggers is de dekking op de wapening erg laag of in het geheel niet aanwezig (figuur 19).



Figuur 16: Balk 300 x 400



Figuur 17: Balk 800 x 300



Figuur 18: Balk 600 x 300



Figuur 19: Beugel zichtbaar

Met de terugslaghamer wordt op de balken een minimale betonsterkte C28/35 gemeten. De dekking van op de hoofdwapening is gemiddeld 10 mm.

Met de dekkingsmeter worden niet-destructief metingen gedaan naar de veldwapeningsdiameter van de liggers. Ook worden er plaatselijk wapening vrijgehakt om visueel te inspecteren en op te meten. Dit levert het volgende resultaat op;

	diameter hoofdwapening (NDO)	diameterhoofdwapening (DO)
300*400	17,5 mm	18 mm
300*600	22,9 mm	22 mm
300*800	21,5 mm	22 mm

Veldwapening kon slechts bepaald worden op één locatie doordat deze aan de bovenzijde bloot lag op een locatie waar vroeger een kolom had gestaan. Er werden 3 staven rond 20 mm gemeten.

10.3 Hiaten in het onderzoek

Hoewel er uit het materiaalkundig onderzoek veel informatie naar voren komt is dit toch te weinig voor het berekenen van de draagcapaciteit van de bestaande constructie. Ten eerste is het niet te achterhalen wat de kwaliteit van de toegepaste heipalen is. Er is namelijk niets bekend over de capaciteit van de heipalen zelf. Bovendien is niet bekend waar het paalpuntniveau van de heipalen zich bevindt. Dit zou bij benadering gemeten kunnen worden met een magnetometerconus. Dit is een sondering waarbij met behulp van het opwekken van een magnetisch veld bepaald kan worden waar ongeveer het paalpuntniveau zich bevindt met een nauwkeurigheid van ca. 1 meter in beide richtingen. Dit houdt in dat het paalpuntniveau zich ergens in een gebied van 2 meter kan bevinden wat nog steeds erg onnauwkeurig is. Verder was het gebruikelijk om een verzwaarde paalvoet toe te passen die nogal verschillend van vorm kon zijn (zie figuur 15).

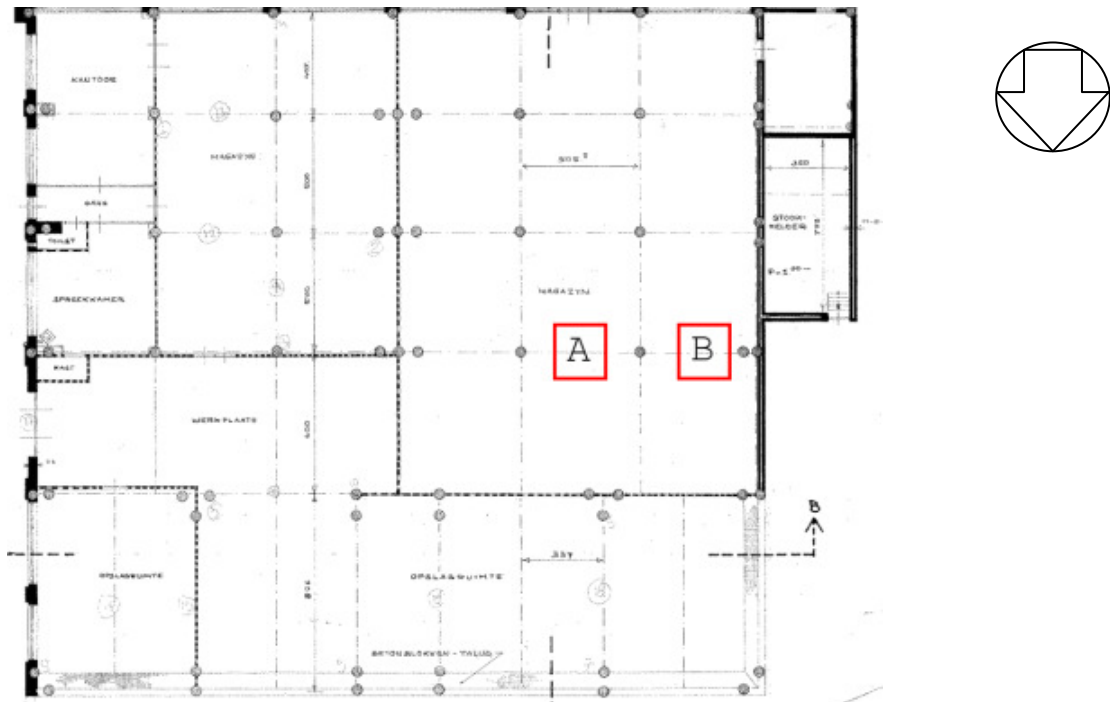
Ten tweede is het probleem met de liggers dat slechts op één locatie goed te achterhalen was wat de steunpuntwapening is. Het achterhalen van steunpuntwapening is veelal een moeilijkheid. Voor dit onderzoek was er slechts de beschikking over een dekkingsmeter. Er kon niet achterhaald worden of de wapening ter plaatse van de steunpunten was opgebogen.

Om toch te achterhalen wat de capaciteit van de draagconstructie is wordt besloten de constructie van een proefbelasting te voorzien.

10.4 Proefbelasten ligger A en B

10.4.1 Locatie proefbelasting

Er zijn twee liggers van een proefbelasting voorzien. Hiervoor is berekend wat de extreme belasting op de liggers zal worden in de nieuwe situatie. Vervolgens is op basis van de beschikbare gegevens uit het materiaalkundig onderzoek berekend hoe eenzelfde moment en dwarskracht op de liggers aangebracht kan worden door het stapelen van stelconplaten van 16 x 200 x 200 cm á 1520 kg. In figuur 20 wordt een en ander weergegeven. De locaties van proefbelasting zijn niet op schaal getekend.



Figuur 20: Locatie proefbelasting ligger

Allereerst zijn de liggers belast worden tot afkeurniveau. Hiervoor was een stapel A en B van 5 stelconplaten hoog benodigd. Voor de elasticiteitsmodulus van het beton is 8300 N/mm^2 aangehouden. Berekend is dat de lange termijn vervorming ongeveer 10 mm bedraagt. De orde grootte van de korte termijn vervorming zou ca. 50% hiervan zijn, zijnde 5 mm. Voor de beproeving is de waarde van 5 mm als grenswaarde aangehouden, waarboven de beproeving gestopt had moeten worden.

10.4.2 Belasting tot afkeurniveau

Voor afkeurniveau schrijft de NEN 8700 (december 2011) in bijlage A1 belastingfactoren voor. Met deze belastingfactoren is een nieuwe berekening gemaakt (Bijlage VII sub bijlage 2A).

Er is berekend dat om een vergelijkbaar moment en dwarskracht op de ligger te krijgen er twee stapels stelconplaten benodigd zijn (Bijlage VII sub bijlage 2B). Stapel A en B zijn beide 5 stelconplaten hoog. Er zijn stelconplaten van 16 x 200 x 200 cm á 1520 kg gebruikt. Deze platen zijn in het hart van de ligger gepositioneerd.

Tabel ter vergelijking daadwerkelijke belasting bij afkeurniveau en proefbelasting.

	Afkeurniveau	Proefbelasting 1 ^e stap
Mmax (kNm)	83	80*
Fmax (kN)	165	147*
Vervorming (mm)	-9,2	-10,1
Hoofdwapening Ab (mm ²)	708	677*

* Waarden bij proefbelasten zijn iets kleiner dan bij afkeurniveau. Bij de volgende stap worden deze m.u.v. de dwarskracht wel overschreden.

10.4.3 Belasting tot verbouwniveau

Vervolgens is proefbelast tot verbouwniveau. Er is berekend dat om een vergelijkbaar moment en dwarskracht op de ligger te krijgen er twee stapels stelconplaten benodigd zijn van 6 stelconplaten hoog (Bijlage VII subbijlage 3B). De lange termijn vervorming zou nu 12 mm bedragen. Voor de beproeving is de waarde van 6 mm als grenswaarde aangehouden, waarboven de beproeving gestopt had moeten worden.

Tabel ter vergelijking daadwerkelijke belasting bij verbouwniveau en proefbelasting.

	Verbouwniveau	Proefbelasting 2 ^e stap
Mmax (kNm)	87	91
Fmax (kN)	172	166*
Vervorming (mm)	-9,6	-11,6
Hoofdwapening Ab (mm ²)	744	784

* Waarden dwarskracht iets kleiner bij proefbelasting dan bij verbouwniveau.

10.4.4 Monitoren

Het monitoren van de proefbelasting is gedaan met een Total Station. Voor aanvang van de proefbelasting zijn meetstickers (figuur 21) aangebracht op ligger A en B en op kolommen aan weerszijde van de liggers. Dit is de nulmeting. Na iedere stelconplaat zijn alle meetsticker opnieuw ingemeten. Op deze wijze kon de doorbuiging van de kelderconstructie vastgelegd worden. De doorbuiging van de liggers mocht niet groter zijn dan de berekende verplaatsing. Van de drie naastgelegen kolommen is tevens de zetting gemeten.



Figuur 21: Meetsticker

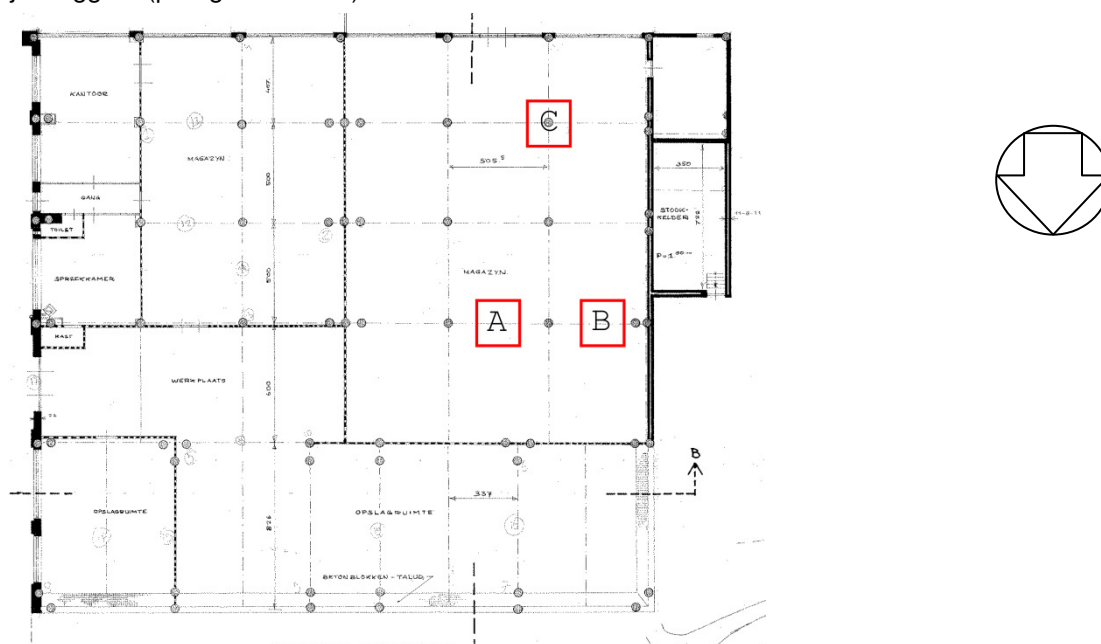
De proefbelasting heeft gedurende drie dagen op de constructie gestaan. Het monitoren van de constructie zal volgens onderstaande tabel plaatsvinden.

	NEN8700	Belasting	Belastingduur	Monitoring	actie
Stap 1	Afkeurniveau	5 stelconplaten	1 uur	$f < 5$ mm	Proef beëindigen indien $f > 5$ mm
Stap 2	Verbouwniveau	6 stelconplaten	1 dag	$f < 6$ mm	Proef beëindigen indien $f > 6$ mm, overleg met adviseur
			2 ^e dag	$f < 6$ mm	Idem. Meten zetting van de palen
			3 ^e dag	$f < 6$ mm	Idem. Meten zetting van de palen

Op het eind van de proefbelasting zijn alle stelconplaten verwijderd. De onbelaste liggers zijn nogmaals ingemeten en de uitkomsten zijn vergeleken met de nulmeting om te constateren of er blijvende vervorming heeft plaatsgevonden.

10.5 Proefbelasting funderingspaal C

Funderingspaal C is voorzien van de extreme belasting met de uiteindelijke opbouw en functie (figuur 22). Hierbij is de zetting van de paal gemeten. Het monitoren heeft op gelijke wijze plaatsgevonden als bij de liggers (paragraaf 11.4.4).



Locatie proefbelasting kolom locatie C

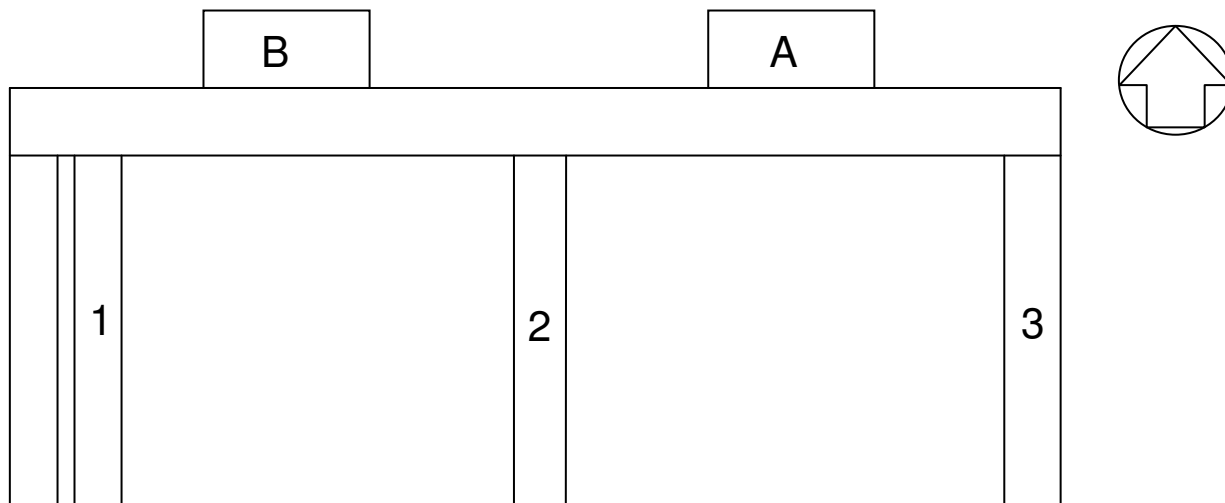
Om bij de bouwkundige indeling grotere overspanningen te kunnen realiseren is gerekend met een dakvlak van 10 x 5 meter op kolom C. Berekend is dat funderingspaal C voorzien diende te worden van 18 stelconplaten. Uitgangspunt was dat de funderingsbalk niet blijvend mocht zetten.

10.6 Meetresultaten

De liggers zijn eerst ingemeten en toen volledig belast. De vervormingen en zettingen zijn gemeten na 24 uur, 48 uur en 72 uur. Nadat de belasting van de liggers is verwijderd zijn de liggers en funderingspalen nogmaals ingemeten.

10.6.1 Liggers A en B

De vervormingen van twee liggers (belast door A en B) en de zetting van drie funderingspalen (1 t/m 3) zijn gemeten met een Total Station.



Gemonitorde liggers en funderingspalen

De gemeten zettingen/vervormingen zijn de volgende:

	24 uur	48 uur	72 uur	onbelast
Ligger A	-2 mm	-2 mm	-2 mm	0 mm
Ligger B	-2 mm	-2 mm	-2 mm	-1 mm*
Funderingspaal 1	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
Funderingspaal 2	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
Funderingspaal 3	0 mm	-1 mm*	0 mm	0 mm

(*) De gemeten vervormingen/zettingen vallen binnen de foutmarges van de meting.

10.6.2 Funderingspaal C

Funderingspaal C wordt belast tot 326 kN (eigengewicht bestaande constructie plus 18 stelconplaten).

De volgende zettingen zijn gemeten:

	24 uur	48 uur	72 uur	onbelast
Funderingspaal C	-2 mm	-2 mm	-2 mm	0 mm

In figuur 24 en 25 worden twee foto's van de proefbelasting weergegeven.



Figuur 24: Aanbrengen proefbelasting



Figuur 25: Uiteindelijke proefbelasting

10.7 Conclusie

10.7.1 Ligger A en B

Ligger A en B zijn gedurende een periode van 3 dagen tot verbouwniveau (NEN 8700) belast.

- Ligger A vervormde onder deze belasting 2 mm. Dit is minder dan de vooraf berekende vervorming van 6 mm. Na drie dagen is de volledige belasting verwijderd en is de vervorming opnieuw bepaald. De gemeten vervorming bedroeg 0 mm. Er heeft dus geen blijvende vervorming plaatsgevonden.
- Ligger B vervormde onder deze belasting 2 mm. Dit is minder dan de vooraf berekende vervorming van 6 mm. Na drie dagen is de volledige belasting verwijderd en is de vervorming opnieuw bepaald. De gemeten vervorming bedroeg -1 mm. Dit valt binnen de foutmarge van de meting. Er heeft dus geen blijvende vervorming plaatsgevonden.

Na aanleiding van deze resultaten kan geconcludeerd worden dat de funderingsbalken een variabele vloerbelasting van 4 kN/m^2 kunnen dragen als ook een gewapende druklaag van 100 mm en een lichte bovenbouw tot $0,7 \text{ kN/m}^2$.

10.7.2 Funderingspaal C

Funderingspaal C is gedurende een periode van 3 dagen tot verbouwniveau (NEN 8700) belast. De funderingspaal zette onder deze belasting 2 mm. De zetting nam niet toe gedurende de drie dagen dat de funderingspaal werd proefbelast. Geconcludeerd kan worden dat de funderingspaal de belasting van een volledig vloerveld voorzien van 100 mm gewapende druklaag, een variabele belasting van 4 kN/m^2 en een stalen dakconstructie van $5 \times 10 \text{ m}$ kan dragen. De totale proefbelasting op de funderingspaal was 326 kN.

De funderingspaal bleek niet blijvend gezet te zijn. De gemeten zetting is slechts de elastische verkorting van de funderingspaal zelf geweest.

10.8 Artikel Cement

In het vakblad Cement hebben wij een artikel geschreven over de proefbelasting van de fundering van de oude textielfabriek. Dit artikel is geplaatst op donderdag 29 augustus 2013 (Van Dijk & Weernink, 2013/5).



Figuur 26: Artikel Cement

11 Specifieke aandachtspunten

11.1 Vrij uitkragende balkons en galerijen

11.1.1 Algemeen

In Nederland is een probleem aanwezig met putcorrosie in vrij uitkragende balkons en galerijen. Mede omdat het een maatschappelijke probleem betreft wordt het noodzakelijk geacht dit op te nemen in het protocol. Het gaat hier immers om het beoordelen van constructieve veiligheid van bestaande bouw.

11.1.2 Putcorrosie

Putcorrosie is een vorm van corrosie welke zeer gevaarlijk kan zijn. Dit komt doordat deze vorm van corrosie niet goed zichtbaar is. Putcorrosie ontstaat door een aantasting van de oxidelaag door chloriden (zout). Al bij zeer geringe afname van de wapeningsdiameter is het mogelijk dat een vrij uitkragende galerij of balkon zonder te waarschuwen kan bezwijken.

Op basis van deze problematiek is de CUR 248 opgesteld. Hierin zijn toetsingscriteria opgenomen waarmee een galerij of balkon beoordeeld dient te worden. Voor Bartels Ingenieursbureau B.V. is een rekensheet ontwikkeld om deze controleberekening uit te voeren conform CUR aanbeveling 248 in combinatie met NEN 8700:2011 (zie bijlage VIII uitkragende galerij volgens CUR aanbeveling 248).

11.2 Gevelmetselwerk

11.2.1 Inleiding

Vroeger werd voor de verankering van gevelmetselwerk aan het binnenspouwblad veelvuldig gebruik gemaakt van verzinkte spouwankers. Nu blijkt dat deze spouwankers niet geschikt zijn een referentieperiode van 50 jaar te doorstaan. Dit betekent dat er in Nederland diverse kopgevels staan die bij een stevige storm zouden kunnen bezwijken. Bartels Ingenieursbureau B.V. vraagt een rekensheet te ontwikkelen voor het onderzoek aan bestaand gevelmetselwerk.

11.2.2 Probleem met verzinkte spouwankers

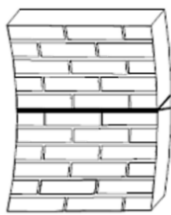
Uit onderzoek blijkt dat de meeste spouwankers, ondanks dat deze thermisch zijn verzinkt, niet hun referentieperiode van 50 jaar kunnen doorstaan. Het is technisch gezien onmogelijk om een voldoende dikke zinklaag op de spouwankers aan te brengen. Geconcludeerd moet dus ook worden dat de hier toegepaste verzinkte spouwankers geen levensduur van 50 jaar hebben (KNB Kennisnetwerk Baksteenmetselwerk, 2011).

11.2.3 Hiaat in regelgeving

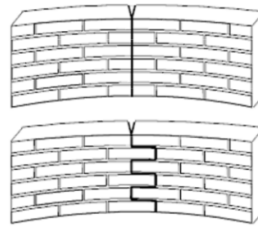
Er bestaan volgens de huidige geen richtlijnen rekenregels om te kunnen toetsen of buitenspouwbladen nog voldoende aan het binnenblad verankerd zijn. Wel wordt het probleem van de constructieve veiligheid van gevelmetselwerk onderkend. In december 2012 heeft het SBR een protocol ontwikkeld voor het inspecteren, beoordelen en herstellen van gevelmetselwerk genaamd 'constructieve veiligheid bestaande metselwerkbuitenspouwbladen' (SBR; 2011). Hierin wordt omschreven hoe het gevelmetselwerk geïnspecteerd moet worden, maar hoe de uiteindelijke beoordeling moet plaatsvinden is slechts zeer summier beschreven. Men stelt slechts dat het spouwanker rekenkundig moet worden getoetst op vloeien bij trek en knikken bij druk. Er worden geen duidelijke eisen gesteld aan de conditie van de verankering van het spouwanker in het binnen- en buitenblad. Ook wordt de conditie van het metselwerk buitenspouwblad zelf niet meegenomen in de rekenkundige beoordeling. Bovendien wordt niet rekenkundig getoetst wat voor consequentie de onderlinge tussenafstand van de spouwankers heeft voor de constructieve veiligheid van het metselwerk.

Om dit probleem aan te pakken is een Excel sheet ontwikkeld waarin de spouwankers op zes verschillende bezwijkmechanisme worden getoetst, zie bijlage IX:

- bezwijken van het spouwanker op druk
- bezwijken van het spouwanker op trek
- het uitbreken van het spouwanker uit het binnenspouwblad
- het uitbreken van het spouwanker uit het buitenspouwblad
- het bezwijken van het buitenspouwblad met een bezwijkvlak evenwijdig aan de lintvoegen (figuur 27)
- het bezwijken van het buitenspouwblad met een bezwijkvlak loodrecht op de lintvoegen (figuur 28)



Figuur 27: Bezvijken metselwerk evenwijdig aan de lintvoeg
(NEN 1996-1-1:2012 paragraaf 3.6.3)



Figuur 28: bezvijken loodrecht op de lintvoegen
(NEN 1996-1-1:2012 paragraaf 3.6.3)

11.3 Vervolgonderzoek

Op basis van deze rekensheet en aannamen die in deze rekensheet zijn gedaan wordt op dit moment door een afstudeerder van de TU Eindhoven onderzoek verricht naar het uitbreken van spouwankers uit metselwerk. Beproefd wordt of de door de groep gedane aannamen voor het uitbreken van het spouwanker uit het buitenspouwblad de werkelijkheid benaderen.

12 Conclusies

Gedurende het afstuderen is veel onderzoek gedaan om te bepalen hoe de constructieve capaciteit van bestaande bouw het best beoordeeld kan worden. De eerste conclusie die hierbij getrokken moet worden is dat men altijd een goed plan van aanpak moet formuleren. Men kan zich makkelijk verliezen in details waardoor snel het overzicht verloren raakt. Aan de hand van dit protocol, wat de grote lijn van het onderzoek weergeeft, dient een plan van aanpak opgesteld te worden.

Uit de rekenkundige benadering, aan de hand van verschillende aannamen voor beton- en staalkwaliteit, bleek dat de betonkwaliteit een veel kleinere rol speelt dan de staalkwaliteit (UGT). Uitgezonderd natuurlijk situaties waarin dwarskrachtcapaciteit van liggers en druksterkte van kolommen een grote rol speelt. Men zou er daarom voor kunnen kiezen de betonkwaliteit slechts indicatief te bepalen (terugslaghamer) bij deze constructie-elementen. Het bepalen van de staalkwaliteit kan over het algemeen de meeste capaciteitswinst opleveren.

Uit het niet-destructief onderzoek wordt geconcludeerd dat het bepalen van wapeningsdiameters op niet-destructieve wijze slechts indicatief kan gebeuren. Er kan altijd een handelsmaat verschil in zitten. Door heel veel data te verzamelen zal de werkelijke diameter het best benaderd kunnen worden, maar voor echte zekerheid wordt geadviseerd ten minste één staafdiameter visueel te bepalen. Verder wordt geconcludeerd dat het erg moeilijk is om op niet-destructieve wijze steunpuntswapening in balken onder vloer te bepalen. Wellicht kan met een 3D radarbeeld deze wapening beter in beeld worden gebracht, maar hiervoor is nader onderzoek nodig.

Mocht om wat voor reden twijfel blijven bestaan over de constructieve capaciteit van een constructie, dan is een proefbelasting zeker een mogelijkheid. In Nederland wordt dit nog maar zelden uitgevoerd, maar in het buitenland is dit een veel breder geaccepteerde methode. Van tevoren moet hierbij zo nauwkeurig mogelijk de te verwachten vervorming berekend worden zodat de proefbelasting vroegtijdig gestaakt kan worden indien de vervorming groter is dan gedacht.

Vrij uitkragende vloeren, zoals balkons en galerijen, kunnen constructief onveilig zijn door de inwerking van chloriden ter plaatse van de hoofdwapening. Hierdoor kan staal zeer lokaal gaan corroderen waardoor de wapeningsdiameter ernstig afneemt. Hierdoor kan een galerij- of balkonplaat plotseling zonder vooraf te waarschuwen bezwijken. Omdat het voor kan komen dat er helemaal geen visuele tekenen van putcorrosie aanwezig zijn wordt aanbevolen om per bouwwerk steekproefsgewijs vrij uitkragende vloeren te (her)beoordelen.

Metselwerkgevels werden vroeger vaak verankerd met verzinkte spouwankers die een levensduur hebben kleiner dan 50 jaar. Dit betekent dat er in Nederland steeds meer metselwerkgevels zijn die niet langer voldoende verankerd zijn. Hiernaar dient onderzoek te worden verricht. Voor het verrichten van dit onderzoek is een SBR protocol verschenen. Geconcludeerd wordt echter dat de richtlijnen die worden gegeven voor het constructief toetsen van de metselwerk gevel zich uitsluitend richten op het spouwanker zelf. Er worden geen richtlijnen gegeven voor de kwaliteit van het metselwerk buitenspouwblad zelf, de verankering van het spouwanker in het binnenblad of de verankering van het spouwanker in het buitenblad. De tijdens het afstuderen ontwikkelde Excel sheet alsmede de ontwikkelde onderzoeksmethoden toetsen het gevelmetselwerk op deze punten wel. Getoetst wordt nu aan de TU Eindhoven of de uitgangspunten van deze berekeningen juist zijn.

Het protocol zoals het initieel was opgezet is in grote lijnen hetzelfde gebleven. Wel werd duidelijk dat tussen de opeenvolgende stappen beslismomenten ingebouwd zouden moeten worden. Is het zinvol om verder te gaan met het onderzoek of is het raadzaam om te stoppen? Het heeft namelijk geen zin om onderzoek te doen naar een constructie waarvan men op voorhand al weet dat deze nooit de gewenste constructieve capaciteit zal halen.

13 Vervolgonderzoek

Aan de hand van dit onderzoek zijn nieuwe vragen ontstaan die nuttig zijn om in te toekomst onderzocht te worden. In dit hoofdstuk worden deze vragen toegelicht.

Het is op dit moment niet mogelijk om op niet-destructieve wijze, met zekerheid, de diameter van een wapeningsstaaf te bepalen. Er zou vervolgonderzoek uitgevoerd kunnen worden hoe dit door bijvoorbeeld het slim toepassen of combineren van verschillende meetinstrumenten wel gedaan zou kunnen worden.

Het is erg moeilijk om de steunpuntswapening van balken onder vloeren te bepalen. Er zou vervolgonderzoek gedaan kunnen worden naar een methode om dit wel te kunnen doen.

Het beoordelen van gevelmetselwerk richt zich vooralsnog uitsluitend op het beoordelen van de capaciteit van het spouwanker. Op het moment wordt aan de TU in Eindhoven onderzoek gedaan naar het bezwijkgedrag van een spouwankerverankering in het buitenspouwblad en in het binnenspouwblad. Er wordt ook onderzoek verricht naar het uitbreken van renovatieankers die middels een plug in het binnenspouwblad verankerd zijn. Bovendien wordt onderzocht wat de invloed is van een golfstructuur of haakje aan het spouwanker daar waar de spouwanker verankerd is in de metselmortel.

Het onderzoek heeft zich met name gericht op onderzoek aan bestaande gebouwen. Kunstwerken zijn hierbij niet meegenomen. Er zou vervolgonderzoek gedaan kunnen worden ten behoeve van een protocol voor het beoordelen van bestaande kunstwerken.

Tijdens dit onderzoek is het beoordelen van de funderingsconstructie buiten beschouwing gelaten. Er zou vervolgonderzoek kunnen plaatsvinden naar het beoordelen van de constructieve capaciteit van bestaande funderingsconstructies.

Dit onderzoek heeft zich met name gericht op het beoordelen van constructies in de UGT. Er zou vervolgonderzoek plaats kunnen vinden naar het vervormingsgedrag van bestaande constructies bij veranderende belastingen (BGT).

14 Literatuurlijst

- [1] Betonvereniging. (1966). *Practische Richtlijnen C.E.B*
- [2] Braam, C., & Lagendijk, P. (2011). *Constructieer Gewapend Beton (CB2)*. In C. Braam, & P. Lagendijk. Boxtel: Aeneas, uitgeverij van vakinformatie.
- [3] CUR aanbeveling 248. (2012). *CUR 248 Onderzoek naar en beoordeling van de constructieve veiligheid van uitkragende betonnen vloeren van galerijflats*. Gouda: CUR Bouw & Infra.
- [4] H.W., B. (2002). Prefab beton. In B. H.W., *Hanboek Prefab Beton* (p. 17). Woerden: BFBN Bouwen in Prefab Beton.
- [5] Kennis- en Projectbank. (sd). *Lichttoren Eindhoven*. Opgeroepen op maart 1, 2014, van Kennis- en Projectbank Herbestemming: <http://www.kennisbankherbestemming.nu/projecten/lichttoren-eindhoven>
- [6] Kennis- en Projectbank. (sd). *RDM-campus, Rotterdam*. Opgeroepen op maart 1, 2014, van Kennis- en Projectbank, Herbestemming: <http://www.kennisbankherbestemming.nu/projecten/rdm-campus-rotterdam>
- [7] Kennis- en Projectbank. (sd). *Van Nellefabriek*. Opgeroepen op maart 1, 2014, van Kennis- en Projectbank Herbestemming: <http://www.kennisbankherbestemming.nu/projecten/van-nellefabriek>
- [8] KNB Kennisnetwerk Baksteenmetselwerk. (2011, juli 1). *2e bijeenkomst metalen in de gevel*. Opgeroepen op september 14, 2013, van knb-keramiek: http://www.knb-keramiek.nl/media/37440/2e_bijeenkomst_metalen_in_de_gevel.pdf
- [9] Kohne, H. (2010). Cement, beton en CO₂. *Groen beton voor ontwerpers* (pp. 1-28). 's-Hertogenbosch: Cement&BetonCentrum.
- [10] NEN 8700. (2011, december 1). *Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk bij verbouw en afkeuren - Grondslagen*. NEN Nederlands Normalisatie Instituut.
- [11] NEN. (2013, januari 15). *Beoordelen van bestaande bouwconstructies: NEN 8700*. Opgeroepen op december 15, 2013, van NEN: <http://www.nen.nl/NEN-Shop/Vakgebieden/Bouw/Eurocodes/Beoordelen-van-bestaande-bouwconstructies-NEN-8700.htm>
- [12] Skyscrapercity.com. (2005, juni). *Rijkskantoor Presikhaaf, Arnhem*. Opgeroepen op oktober 3, 2013, van Skyscrapercity: <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=796134>
- [13] Starink, P. (2012, april 12). *Luxe appartementen in belastingkantoor*. Opgeroepen op oktober 25, 2013, van Bouwwereld.nl: <http://bouwwereld.nl/project/luxe-appartementen-in-belastingkantoor/>

-
- [14] Van Dijk, C., & Weernink, J. (2013/5). Proefbelasting textielfabriek. *Cement* , 1-4.
Vervuurt, A., & Steenbergen, R. (2011). NEN 13791 ter discussie. *Cement* , 1-6.
 - [15] NPR 9096-1-1 (2012). Steenconstructies - Eenvoudige ontwerpregels, gebaseerd op NEN-EN 1996-1-1+C1
 - [16] NEN-EN 1991-1-4 (2005). Belastingen op constructies - Deel 1-4: Algemene belastingen – Windbelasting.
 - [17] SBR (2011). Constructieve veiligheid bestaande metselwerkbuitenspouwbladen, Dekkerssnoeck, Zwijndrecht (B)
 - [18] NEN-EN 1052-5 (2005). Beproevingmethoden voor metselwerk - Deel 5: Bepaling van de hechtsterkte met de hefboomproef
 - [19] RILEM TC 154-EMC (2003). 'Half-cell potential measurements - Potential mapping on reinforced concrete structures', *Materials and Structures*.
 - [20] ASTM C876-09 (2009) Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete Author: ASTM
 - [20] NEN1996-1-1 (2012). Eurocode 6 - Ontwerp en berekening van constructies van metsel werk. Deel 1-1: Algemene regels voor constructies van gewapend en ongewapend metselwerk.

15 Bijlage

Bijlage I:	Plan van Aanpak
Bijlage II:	Protocol
Bijlage III:	Referentieproject Rijkswaterstaattoren (Minor)
Bijlage IV:	Referentieproject NatLab Philips: Niet-destructief
Bijlage V:	Referentieproject NatLab Philips: Destructief
Bijlage VI:	Referentieproject NatLab Philips: Draagkracht vloerconstructie
Bijlage VII:	Referentieproject Merwedestraat Arnhem
Bijlage VIII:	Uitkragende galerij volgens CUR aanbeveling 248
Bijlage IX:	Beoordelen gevelmetselwerk
Bijlage X:	Statistische analyse meetresultaten
Bijlage XI:	Urenverantwoording