



Adviesbureau ir. J.G. Hageman B.V.

abt

NTA Constructieve veiligheid publieke gebouwen

**Bureaustudie 3 - Inventarisatie risicovolle
constructie-onderdelen**

25 maart 2022

***Hageman
dossier 10855
rapport 10855-3-1A***

***ABT
2100740***

ABT
Postbus 82
6800 AB ARNHEM

Adviesbureau Hageman
Postbus 26
2280 AA RIJSWIJK

Opstellers:

Han Krijgsman
Hilbert-Jan Kuijer
Jan Meester
Rudi Roijackers
Simon Wijte

Controle:

Rudi Roijackers
Simon Wijte

INHOUD

1	Inleiding.....	3
2	Gangbare constructies in CC3 gebouwen.....	5
2.1	Inleiding.....	5
2.2	Beoordeling	5
3	Literatuurstudie schademechanismen en kwetsbaarheden van constructie- onderdelen en constructietypologieën	6
3.1	Inleiding.....	6
3.2	Oorzaken van instortingen.....	6
3.2.1	Onderscheid in oorzaken volgens Van Herwijnen	6
3.2.2	Opmerkingen bij het onderscheid van oorzaken	8
3.2.3	Relatie met gebouwen binnen toepassingsgebied NTA	10
3.3	Inventarisatie van kwetsbare constructies en constructie-onderdelen	11
3.4	Verhoogde belasting op de constructie.....	11
3.5	Wijziging van de constructie na de eerste ingebruikname.....	12
4	Beoordeling kans op falen en disproportionele gevolgen	13
4.1	Inleiding.....	13
4.2	Kans op falen	13
4.2.1	Inleiding	13
4.2.2	Het constructief ontwerp	13
4.2.3	Oudere constructies en gebouwen	14
4.2.4	Brand	14
4.3	Kans op disproportionele gevolgen	15
5	Verkenning van aanpak van de risicoanalyse	20
5.1	Inleiding.....	20
5.2	Resulterende kans op falen	21
5.3	Gevolgen van een falen	21
5.4	Risico beoordeling	22

Bijlagen

A	Gebouwentabel
B	Inventarisatie van gangbare constructies voor CC3 gebouwen
C	Inventarisatie van kwetsbare constructies en constructie-onderdelen

1 Inleiding

Nadat op 10 augustus 2019 een deel van het dak van een tribune van het AZ-stadion in Alkmaar is bezweken, is door de Onderzoeksraad voor Veiligheid (OvV) een rapport opgesteld [1] waarin enkele aanbevelingen zijn opgenomen die het doel hebben om de risico's voor de openbare veiligheid in de gebruiksfase van gebouwen te verbeteren. Eén van die aanbevelingen luidt als volgt:

Stel voor publiek toegankelijke gebouwen uit de gevolgklasse 3 wettelijk verplicht dat de eigenaren periodiek onderzoek laten doen naar de constructieve veiligheid van het gebouw en zo nodig maatregelen nemen ter verbetering daarvan.

- *Laat dit periodiek onderzoek uitvoeren door een onafhankelijke, gecertificeerde deskundige.*
- *Zorg ervoor dat de diepgang en frequentie van het onderzoek proportioneel zijn aan de potentiële ernst in termen van gevaar voor mensen.*
- *Geef gemeenten de rol om toe te zien op de invulling van de wettelijke verplichting.*
- *Leg vast dat gebouweigenaren bij elke eigendomsoverdracht het complete bouwdoossier, inclusief rapporten van inspecties, beoordelingen en eventuele herstelmaatregelen, overdragen aan de nieuwe eigenaar.*
- *Benut buitenlandse ervaringen met richtlijnen voor sportaccommodaties (Verenigd Koninkrijk) en met periodieke beoordeling van constructies (Duitsland).*

Naar aanleiding van deze aanbeveling heeft het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelatie NEN verzocht een NTA op te stellen waarin aanwijzingen zijn opgenomen voor het uitvoeren van een dergelijk periodiek onderzoek. Ten behoeve van het opstellen van deze NTA zijn door een combinatie van ABT en Adviesbureau Hageman een aantal bureaustudies uitgevoerd. Als bureaustudie 1 is een inventarisatie van bestaande richtlijnen, protocollen etc. uitgevoerd. Een verslag is beschikbaar als rapport 10855-1. Bij bureaustudie 2 is ingegaan op de vraag welke grote voor het publiek toegankelijke gebouwen binnen de scope van de op te stellen NTA vallen. Deze studie is gerapporteerd in rapport 10855-2.

In het onderhavige rapport is verslag gedaan van bureaustudie 3 die als voorbereiding van het opstellen van deze NTA is uitgevoerd. Dit onderzoek is uitgevoerd door ABT en Adviesbureau Hageman gezamenlijk. In de bureaustudie is een inventarisatie uitgevoerd van risicovolle constructie-onderdelen waaraan bij een volgens de op te stellen NTA aandacht moet worden gegeven.

Conform de opdracht van NEN aan de combinatie dient de bureaustudie:

- a) een overzicht geven van de aannemelijke en bekende risicovolle constructie-onderdelen;
- b) inzicht geven in de risico's voor het gebouw en de personen die daarin aanwezig zijn als een of meerdere risicovolle constructie-onderdelen bezwijken;
- c) inzicht geven op welke wijze de constructie-onderdelen zoals die zijn geïnventariseerd onder a) beoordeeld kunnen worden en daarbij ook situaties te beschouwen waarbij constructie-onderdelen aan het zicht onttrokken zijn;

Ten behoeve van het bereiken van het beoogde doel van de bureaustudie worden in hoofdstuk 0 gangbare constructietypen voor CC3 gebouwen beschreven en wordt beoordeeld of gebruiksfunctie danwel bouwtypologie onderscheidend is voor de diverse constructietypen. In hoofdstuk 0 is op basis van literatuur en ervaringen uit het verleden een overzicht gegeven van oorzaken van bezwijken van constructies en constructie-onderdelen. Bij het beschrijven van deze oorzaken is ook aangegeven hoe ze bij een inspectie, zo mogelijk, herkend kunnen worden. Ook is ingegaan op omstandigheden waarbij dit kan gebeuren en de invloed van wijzigingen in de omstandigheden rondom het gebouw na de ingebruikname. In hoofdstuk 4 is ingegaan op de kans op het bezwijken van een constructie en de kans dat dit leidt tot disproportionele gevolgen. Tot slot is een hoofdstuk 5, als voorbereiding van het opstellen van de NTA een verkenning beschreven van de mogelijke wijze waarop een risicoanalyse kan zijn uitgevoerd. De uitkomst van deze risicoanalyse zal bepalend zijn voor de diepgang van de beoordeling van de constructies van voor publiektoegankelijke CC3 gebouwen.

2 Gangbare constructies in CC3 gebouwen

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zijn de in tabel 1 van rapport 10855-1 Inventarisatie van de scope als voorbeeld genoemde gebouwtypologieën nader beschouwd, zie bijlage A. Door specifieke bouwwerken te benoemen bij de gebouwtypologieën en een aantal van deze gebouwen uit de ontwerppraktijk van ABT nader te analyseren zijn in bijlage B veel voorkomende constructies voor deze bouwwerken beschreven. De gebouwtypologieën zijn in bijlage B gegroepeerd naar gebruiksfuncties die in het Bouwbesluit beschreven zijn.

2.2 Beoordeling

Uit de inventarisatie in bijlage B blijkt dat zowel per gebruiksfunctie, maar ook voor de verschillende gebouwtypologieën diverse soorten draagconstructies zijn toegepast. Geconcludeerd wordt daarom dat zowel de gebruiksfunctie als ook de gebouwtypologie zeer beperkt onderscheidend zijn om op basis daarvan uit te kunnen gaan van het gebruik van een bepaald constructietype. Bij het opstellen van de NTA kun voor het onderscheid tussen mogelijke draagconstructie geen gebruik worden gemaakt van een aanwijzing via gebruiksfunctie dan wel gebouwtypologie.

3 Literatuurstudie schademechanismen en kwetsbaarheden van constructie-onderdelen en constructietypologieën

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zijn de resultaten opgenomen van een literatuurstudie naar schademechanismen en kwetsbaarheden van constructie-onderdelen en constructie-typologieën die nationaal en internationaal bekend zijn. Hierbij is vastgelegd welke bedreigingen in de tijd het gedrag van de constructie kunnen beïnvloeden en op welke signalen men bij een mogelijke inspectie bedacht moet zijn. Dit deel van de bureaustudie is gericht op de kans van falen.

De volgende literatuur is geraadpleegd:

- F. van Herwijnen – Leren van instortingen [2]
- M. Levy en M. Salvadori – Why buildings fall down [3]
- Ministerie van VROM – Risicobepaling lichte platte daken [4]

In paragraaf 3.2 is in algemene zin ingegaan op oorzaken van instortingen. Dit is een samenvatting van hoofdstuk 1 van [2]. Aan het eind van paragraaf 3.2 is aangegeven welke typen oorzaken van belang zijn in het kader van de periodieke beoordeling van grote publieke gebouwen. Vervolgens zijn in paragraaf 3.3 en bijlage C voor diverse constructietypen en constructie-elementen aangegeven welke bedreigingen er zijn en op welke signalen men bij een inspectie bedacht moet zijn. Hierbij is gebruik gemaakt van de kennis die bij Adviesbureau Hageman aanwezig is over schadegevallen die de afgelopen decennia zijn onderzocht. Tenslotte is in paragraaf 3.4 ingegaan op enkele situaties waarbij aanpassingen in de omgeving van een gebouw resulteren in verhoogde belastingen op dat gebouw.

3.2 Oorzaken van instortingen

3.2.1 Onderscheid in oorzaken volgens Van Herwijnen

In [2] is onderscheid gemaakt tussen de volgende vier oorzaken voor bezwijken van bouwwerken:

- Ouderdom;
- Natuurlijke oorzaken;
- Menselijk ingrijpen;
- Constructieve fouten.

Hierbij is voor de vier mogelijke oorzaken de onderstaande toelichting gegeven gebaseerd op [2].

Ouderdom

De duurzaamheid van de meeste bouwmaterialen is eindig. Elk bouw materiaal is onderhevig aan corrosie, dat wil zeggen een ongewenste aantasting uitgaande van het oppervlak. Door deze aantasting verliest het bouw materiaal op den duur zijn samenhang en sterkte en kan de constructie zijn dragende functie niet meer vervullen. Voorbeelden van corrosie zijn het roesten van ijzer of betonstaal.

Constructies van hout kunnen onder bepaalde omstandigheden worden aangetast door organismen. De belangrijkste zijn schimmels of zwammen, sommige insecten (houtworm en huisboktor) en in zeewater ook sommige weekdieren (paalwormen). Chemische en atmosferische invloeden kunnen hout ook aantasten.

Natuurlijke oorzaken

Onder natuurlijke oorzaken vallen in [2] alle invloeden op de constructie waarbij het menselijk handelen in principe geen rol speelt. Hierbij gaat het om aardbevingen, windkracht en brand. Hierbij is in [2] voor beton- staal- en houtconstructies aangegeven hoe de brandweerstand kan worden vergroot.

Menselijk ingrijpen

Ook door menselijk ingrijpen kunnen gebouwen instorten. Dit kan bewust en vreedzaam gebeuren, bijvoorbeeld bij het slopen van gebouwen aan het einde van hun functionele levensduur. Bij een terroristische aanslag is sprake van een niet-vreedzame toepassing (bijvoorbeeld de aanslag in Oklahoma City in 1995). Een inslag met een vliegtuig kan het gevolg zijn van een ongeluk (bijvoorbeeld de botsing van een B-25 bommenwerper met het Empire State building in 1945) of een terroristische aanslag (aanslagen in de Verenigde Staten op 11 september 2001).

Constructieve fouten

Dat in uitzonderlijke gevallen een gebouw instort gedurende zijn technische levensduur wordt in [2] toegewezen aan:

- Slecht constructief ontwerp (ontwerpfouten). Dit zijn bijvoorbeeld rekenfouten in de berekening, verkeerd aangehouden belastingen, gebruik van verkeerde berekeningsmethoden en onjuiste of onbetrouwbare materiaalgegevens;
- Slechte uitvoering (uitvoeringsfouten). Dit betreft afwijkingen van het constructief ontwerp en van de van toepassing zijnde uitvoeringsvoorschriften en -richtlijnen in ongunstige zin;
- Bezijken van de fundering
- Onvoorziene belastingen of zwaardere belastingen dan waarmee is gerekend. Het betreft belastingen die hoger zijn dan waarmee normatief dient te worden ontworpen, veelal van een natuurlijke oorzaak;
- Onverwachte bezwijkmechanismen. Onverwachte bezwijkmechanismen kunnen optreden wanneer nieuwe constructiesystemen worden geïntroduceerd of wanneer een bekend constructieprincipe zonder aanpassing wordt toegepast op een grotere schaal dan voorheen gebruikelijk was. Voorbeelden zijn het uitknikken van kolommen, toen deze na de introductie van gietijzer in de 18^e eeuw, kolommen slanker met gietijzer konden worden uitgevoerd en er knik optrad. Een andere voorbeeld is het dynamisch ongunstige gedrag dat tot het bezijken van de Tacoma Narrows Bridge in 1940 heeft geleid;
- Combinatie van oorzaken. Zelden is er slechts één oorzaak aan te wijzen die ten grondslag ligt aan een instorting. Meestal is sprake van een combinatie van factoren die samen fataal zijn. Dit komt vooral doordat bij het ontwerp van constructies rekening wordt gehouden met een veiligheidsmarge, zodat één oorzaak niet direct fataal hoeft te zijn.

In [2] zijn resultaten opgenomen van onderzoek naar oorzaken van (gedeeltelijke) instortingen. Eén van de bronnen is het TNO-rapport “Registratie van incidenten constructieve

veiligheid” [5], waarin verslag is gedaan van de pilot ABC Meldpunt (2008-2009). Van de tweeëntachtig geregistreerde bouwfouten blijkt 51% tijdens het ontwerp en 37% tijdens de uitvoering te zijn gemaakt. De overige 12% heeft betrekking op verbouw en renovatie.

oorzaak constructief gebrek	soort fout	percentage
onjuiste inschatting werkelijk optredende belastingen en gedrag constructie	O	38%
onjuiste inschatting gedrag verbindingen	O	6%
te groot vertrouwen in nauwkeurigheid uitvoering	O	2%
fouten in documenten	O	6%
onjuiste informatie	O	3%
niet nakomen uitvoeringsinstructies, slecht vakmanschap	U	13%
slechte uitvoeringsprocedures	U	15%
onvoorziene omstandigheden	U	6%
anders	–	11%

figuur 1 Primaire oorzaken van constructieve gebreken bij honderdtwintig schadegevallen uit onderzoek van BRA en CIRIA [2].

Tussen 1978 en 1980 is in het Verenigd Koninkrijk een groot onderzoek uitgevoerd naar de oorzaak van ongeveer honderdtwintig constructieve gebreken. Dit onderzoek is uitgevoerd door de Building Research Establishment (BRE) samen met de Construction Industry Research Information Association (CIRIA). De resultaten zijn samengevat in figuur 1. Het percentage ontwerp-gerelateerde gebreken bedraagt 55% en het percentage uitvoeringsgerelateerde gebreken en overige gebreken bedraagt tezamen 45%. Deze percentages liggen in lijn met die van de pilot ABC Meldpunt. [5]

3.2.2 Opmerkingen bij het onderscheid van oorzaken

Met betrekking tot het voorgaande, een samenvatting van [2], worden hier de volgende opmerkingen gemaakt.

Ouderdom

Materialen kennen een natuurlijke veroudering, waar in het ontwerp ook rekening gehouden is en waar bij de instandhouding rekening mee gehouden dient te worden. Deze natuurlijke veroudering kan echter onbedoeld versterkt worden door foutieve detailleringen. Hierbij wordt het materiaal onbedoeld aan slechtere omstandigheden blootgesteld, dan waar bij het ontwerp rekening gehouden was.

Natuurlijke oorzaken

Een aantal van de in [2] genoemde natuurlijke oorzaken zijn aan verandering onderhevig. Klimaatverandering kan leiden tot (lokaal) meer neerslag, hogere windbelastingen en wellicht ook het vaker voorkomen van fenomenen als windhozen. Aangenomen wordt dat de constructieve eisen voor bestaande constructies, zoals nu beschreven in de NEN 8700 serie, in voldoende mate rekening houden met de effecten van klimaatveranderingen. Dit leidt ertoe dat ook bij bestaande gebouwen rekening gehouden moet zijn met dit soort effecten. Als dit niet is gedaan, is daaruit eventueel voortkomend bezwijken te wijten aan een constructieve fout.

Ad menselijk ingrijpen

Het menselijk ingrijpen kan ook van toepassing zijn als een constructie ná het initiële ontwerp en de bouw éénmaal of meerdere malen verbouwd is. Dit zou kunnen leiden tot een verhoging van de belasting op enkele constructieve elementen of de constructie als geheel. Het verhogen van belasting op een constructie hoeft echter niet altijd het gevolg te zijn van een verbouwing, maar kan bijvoorbeeld het gevolg zijn van verandering van functie van een ruimte of van het aanbrengen van een aanvullende belasting zoals die door zonnepanelen. Bij een verbouwing is niet altijd de volledige kennis van het oorspronkelijke ontwerp aanwezig. Ook is niet bij iedere bouwkundige of constructieve aanpassing een volledige controle van de constructie uitgevoerd. Voorgaande voorbeelden worden beschouwd als een normaal menselijk ingrijpen. De gevolgen van dit handelen kunnen worden gezien als het mogelijk introduceren van constructieve fouten. Mede op basis van het voorgaande wordt hierna onderscheid gemaakt tussen buitengewoon menselijk ingrijpen, zoals in [2] beschreven, en normaal menselijk ingrijpen.

Bij een beoordeling volgens de op te stellen NTA is het noodzakelijk om na te gaan of bij eerdere verbouwingen of andere vormen van normaal menselijk ingrijpen een voldoende constructieve herbeoordeling is uitgevoerd.

Constructieve fouten

Onder ontwerp- of uitvoeringsfouten worden afwijkingen in ontwerp en uitvoering beoordeeld respectievelijk ten opzichte van ontwerpvoorschriften en de leer der mechanica en ten opzichte van het constructief ontwerp, uitvoeringsvoorschriften en vakmanschap. Het gaat daarbij om afwijkingen die tot gevolg hebben, dat de constructie onvoldoende weerstand heeft (minder weerstand heeft dan vereist) of zelfs bezwijkt. Als bijvoorbeeld een constructie bezwijkt tijdens harde wind omdat er een fout is gemaakt in de berekening van de constructie, wordt dit als een ontwerpfout beschouwd. De wind wordt in dat geval beschouwd als de omstandigheid waarbij de schade is opgetreden. Als er geen sprake is van een fout in het ontwerp en de uitvoering, maar de schade is ontstaan bij een windbelasting die significant hoger is geweest dan de windbelasting die volgt uit de toepassing van de voorschriften, dan wordt, in afwijking van het in [2] gestelde, de hoge windbelasting als oorzaak van de schade beschouwd. Indien de constructie is bezweken ten gevolge van een hogere gebruiksbelasting dan waarvoor de constructie bij de gegeven functie bestand zou moeten zijn, dan is de oorzaak gelegen in normaal menselijk ingrijpen dat geleid heeft tot een constructieve fout.

Tot slot

Sommige oorzaken kunnen in meerdere categorieën vallen. Een brand kan bijvoorbeeld een natuurlijke oorsprong hebben, als deze door bliksem is ontstaan, maar kan ook het gevolg zijn van menselijk ingrijpen in het geval van bijvoorbeeld brandstichting.

Op basis van ervaring met vele schadegevallen in de laatste decennia, wordt door Hageman geconcludeerd dat schade vrijwel nooit veroorzaakt wordt door een overschrijding van de belasting die volgens de voorschriften in het specifieke geval beschouwd had moeten zijn.

Het gebruik of de toepassing van materialen van onvoldoende kwaliteit of materialen met gebreken is een uitvoeringsfout die onder constructiefouten wordt beschouwd.

Zoals onder ‘normaal menselijk ingrijpen’ gemeld, kunnen bij verbouwingen constructieve fouten zijn geïntroduceerd. De kans op een constructieve fout is hoger bij een verbouw dan bij een oorspronkelijk ontwerp. Bij het beoordelen van de mogelijkheid van constructieve fouten moet het normale menselijke ingrijpen:

- is het gebruik veranderd;
- zijn de belastingen veranderd en/of
- is er verbouwd

worden beoordeeld.

3.2.3 Relatie met gebouwen binnen toepassingsgebied NTA

Bedreigingen die voortkomen uit de hiervoor genoemde natuurlijke oorzaken en buitengewoon menselijk ingrijpen, zijn tijdens een beoordeling gerelateerd aan het toepassingsgebied van de op te stellen NTA niet te beoordelen en worden zodoende hierna buiten beschouwing gelaten.

Oorzaken die gerelateerd zijn aan de kans op falen van een constructie of een constructie-onderdeel die wel worden beschouwd zijn “ouderdom” en “constructieve fouten”. Bij deze laatste worden ook de gevolgen van normaal menselijk ingrijpen beschouwd. Voor deze oorzaken is in paragraaf 3.3 en bijlage C bij diverse constructietypen aangegeven welke bedreigingen er voor die constructietypen zijn en op welke signalen men bij een inspectie bedacht moet zijn. Ook zijn onder “rekenkundige controle” aanwijzingen gegeven waarop te controleren wanneer de analyse zo diepgaand moet zijn, dat de berekening inhoudelijk beoordeeld moet worden of aanvullende berekeningen worden gemaakt.

Tenslotte wordt opgemerkt dat een gebouw tijdens de levensduur kan worden aangepast. Ook is het mogelijk dat aanpassingen van de omgeving van invloed zijn op het beschouwde gebouw. Hierdoor kan bijvoorbeeld de belasting op een constructie-onderdeel groter worden. In paragraaf 3.4 zijn hiervan voorbeelden opgenomen. Een herbeschouwing van de bestaande constructie in de gewijzigde situatie is in die gevallen noodzakelijk en dient volgens de op dat moment geldende regelgeving te worden uitgevoerd. Ook de aanpassingen dienen volgens de op dat moment geldende voorschriften te worden ontworpen en uitgevoerd. Als dit niet op de juiste wijze wordt gedaan, wordt dit beschouwd als een “constructieve fout”.

3.3 Inventarisatie van kwetsbare constructies en constructie-onderdelen

In hoofdstuk 0 en bijlage B is geïnventariseerd wat gangbare constructies zijn bij verschillende gebruiksfuncties. De conclusie is (zie paragraaf **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**) dat de gebouwtypologie heel beperkt onderscheidend is voor de toegepaste constructie. Hier is daarop nagegaan of het mogelijk is om op basis van ervaringen uit het verleden, per constructietype en/of constructie elementen, kwetsbare onderdelen van deze constructies te benoemen en aan te geven hoe zij bij een inspectie eventueel herkenbaar zijn. Een inventarisatie hiervan is opgenomen in bijlage C, waarin voor diverse constructieve materialen, constructieve toepassingen en funderingen een aantal voorbeelden is gegeven van kwetsbare constructies en constructie-onderdelen.

Deze inventarisatie is samengesteld op basis van bij opstellers van dit rapport bekende constructieve schadegevallen en specifieke oorzaken van constructieve schades.

Geconcludeerd wordt dat kwetsbare constructies en constructie-onderdelen wel goed gecategoriseerd kunnen worden naar constructietypologie en constructiemateriaal. Echter de inventarisatie in bijlage C kan niet worden beschouwd als een checklist die afgelopen moet worden waarna alle risico's in kaart zouden zijn gebracht, maar meer als ondersteuning bij het inventariseren van de mogelijke risico's.

3.4 Verhoogde belasting op de constructie

Er zijn de nodige situaties denkbaar waarbij door wijzigingen van omstandigheden na het in gebruik nemen van het gebouw, de belastingen op de constructie anders zijn dan bij het ontwerp zijn beschouwd. Deze omstandigheden kunnen velerlei zijn:

- het wijzigen van een functie van het gebouw of een ruimte;
- het wijzigen van het gebruik van een constructie
- wijzigingen in de omgeving van het gebouw;
- het eerder niet beschouwen van de betreffende belasting in de norm.

Een voorbeeld van het laatste is beschreven in bijlage C (1-c) waarbij het belastingsgeval regenwater op lichte stalen daken is beschreven. Voor 1990 was deze belasting geen onderwerp in de constructieve normen. Constructies van voor die tijd zijn bij het ontwerp niet voor dit belastingsgeval beschouwd. Mogelijk is hiervoor later een controle en eventuele aanpassing gemaakt.

Wijzigingen in de omgeving van het gebouw leiden mogelijk tot wijziging van de grootte van de belastingen veroorzaakt door weer en klimaat. Ten gevolge van nieuwe, hogere belastingen die direct op een gebouw aansluiten kan er sprake zijn sneeuwophoping bij deze aansluiting. De belastingeffecten hiervan op de constructieve veiligheid van de bestaande constructie moeten zijn beschouwd. Dergelijke effecten zijn ook mogelijk als op vlakke daken PV panelen worden geplaatst. Wijziging van de beschouwde belasting is ook mogelijk als er in de nabijheid van het gebouw hoogbouw wordt geplaatst. Deze hoogbouw kan een significante invloed hebben op de windbelasting die op het te beschouwen gebouw aangrijpt.

Het gebruik van een constructie kan wijzigen bij een gelijkblijvende functie. Voorbeelden hiervan zijn bijvoorbeeld het verschuiven van een archiefruimte in een kantoor of een

tribune die van zit- in staantribune veranderd. In beide gevallen moet de constructie in staat zijn een hogere veranderlijke belasting te weerstaan dan mogelijk in het ontwerp is beschouwd. Maar de functie van de ruimtes en het gebouw is ongewijzigd gebleven.

Tot slot wordt gerefereerd aan de wijziging van de functie van een gebouw of een ruimte door normaal menselijk ingrijpen. Een gebouw dat of een ruimte die oorspronkelijk bedoeld is geweest als kantoor kan dienst gaan doen als publiek gebouw of publieke ruimte.

3.5 Wijziging van de constructie na de eerste ingebruikname

Zoals in 3.2.2 kunnen na de eerste ingebruikname één of meerdere verbouwingen zijn uitgevoerd. Het is mogelijk dat hierbij constructieve aspecten onvoldoende zijn beschouwd en/of dat bijvoorbeeld door de verbouwing de samenhang in de constructie is aangetast. Dit maakt dat tijdens de beoordeling van de mogelijke constructieve gebreken, met name uitgevoerde verbouwingen extra aandacht vereisen. Dit begint met het beoordelen of in het bouwdoossier documenten aanwezig zijn die de verbouwingswerkzaamheden beschrijven.

4 Beoordeling kans op falen en disproportionele gevolgen

4.1 Inleiding

Hierna wordt op een kwalitatieve wijze ingegaan op de kans dat constructie of een constructie-onderdeel bezwijkt en de kans dat dit bezwijken leidt tot grote, zo mogelijk disproportionele gevolgen.

4.2 Kans op falen

4.2.1 Inleiding

In de twee hoofdstukken hiervoor zijn constructietypen beschreven die regelmatig worden toegepast in gebouwen die het onderwerp van de op te stellen NTA zullen zijn. Daarnaast zijn voor een aantal constructietypen, op basis van ervaringen uit het verleden, mechanismen beschreven die tot bezwijken van een constructie of een constructie-onderdeel aanleiding kunnen geven.

Hierna worden verder enkele aanwijzingen gegeven die van belang zijn bij het beoordelen van de kans dat een lokaal bezwijken in een constructie kan optreden.

4.2.2 Het constructief ontwerp

Een uitgangspunt bij het opstellen van de NTA is dat zonder enige aanwijzing voor de noodzaak daarvoor, niet begonnen wordt met een volledige review van het constructief ontwerp van het gebouw. Als startpunt voor het beoordelen van een kans op bezwijken moet, zo mogelijk, eerst kennis worden genomen van de beschikbare ontwerpdocumenten van de constructie. Duidelijk moet worden hoe de constructieve opzet van de constructie is. Hoe worden de verticale krachten naar de fundering afgedragen en op welke wijze is de stabiliteit van de constructie gewaarborgd. De bevindingen hieruit moeten worden geverifieerd middels een observatie van de constructie. Hierbij moet worden nagegaan of er ten opzichte van de beschikbare documenten wijzigingen zijn aangebracht in de functie en/of de constructie. Als dat het geval is, moet worden nagegaan of de constructieve veiligheid hierbij op een juiste wijze is gewaarborgd door aanvullende berekeningen en controle daarvan.

Op basis van inzicht en ervaring kunnen vervolgens constructie-onderdelen worden geïdentificeerd waarbij de kans op bezwijken relatief groter zal zijn dan gebruikelijk. Criteria die hierbij gebruikt kunnen worden zijn bijvoorbeeld:

- de voorbeelden in bijlage C;
- het gebruik van nieuwe, innovatieve materialen, constructies en materialen;
- het ontbreken van ductiliteit in constructieve elementen
- beschikbaarheid van betrouwbare en bekende ontwerp- en rekenregels voor het betreffende onderdeel
- invloed van opgelegde vervormingen op de krachtsverdeling in en weerstand van de constructie.

4.2.3 Oudere constructies en gebouwen

Bij oudere constructies en gebouwen zal het bouwdoossier regelmatig verre van volledig zijn. In beginsel is het ontbreken van een volledig bouwdoossier een factor die het verkrijgen van voldoende inzicht in het gedrag van de constructie bemoeilijkt. Daar staat echter tegenover dat oudere constructies reeds gedurende lange tijd hun constructieve capaciteit tonen. Op basis van ervaringen uit het verleden, kan geconcludeerd worden dat bezwijken ten gevolge van constructieve problemen optreedt binnen een beperkt aantal jaren na het bouwen van de constructie. Gebouwen en constructies waar bezwijken is opgetreden ten gevolge van constructieve problemen veroorzaakt door een onjuist ontwerp en/of uitvoering zijn vaak slechts een beperkt aantal jaren oud of zelfs nog in aanbouw. Denk hierbij aan:

- Balkons van Patio Sevilla in Maastricht (bouw 2002 /schade 2003)
- Toneeltoren Hoorn (in aanbouw 2001)
- Dak Grolsch Veste-stadion te Enschede (in aanbouw 2011)
- Bos en Lommerpleincomplex te Amsterdam (bouw 2002 /schade 2006)
- Parkeergarage Eindhoven Airport (in aanbouw 2017)
- Dak Avast-stadion te Alkmaar (bouw 2005 / schade 2019)
- Parkeergarage Wormerveer (bouw 2010 / schade 2018)

Geheel uit te sluiten is het bezwijken van een oudere constructie echter niet. Een voorbeeld hiervan is het bezwijken van een winkelpand op de Markt in 's-Hertogenbosch in 2016. Dit pand stamde uit de middeleeuwen. Echter gedurende de laatste eeuw zijn verscheidene, ondoordachte aanpassingen aan de constructie uitgevoerd. Ook is het zo dat bij belastingen veroorzaakt door extreem weer, zoals regen en sneeuw, het vanwege de zeldzaamheid van extreem weer het zo kan zijn dat bezwijken pas geruime tijd na de bouw op kan treden,

Uit dit alles kan wel worden geleerd dat met name gedurende de eerste 10 jaar na de bouw en/of een aanpassing gelet moet worden op mogelijke constructieve fouten waarna vervolgens het accent van de observaties en beoordeling moet verschuiven naar effecten van veroudering of van aanpassing van het gebouw of de constructie

Bovenstaande bespiegelingen over oudere constructies en gebouwen zijn zeker ook van toepassing op de (oudere) monumenten die in gebruik zijn als publiek gebouw. Ook hier geldt dat de aandacht met name uit dient te gaan naar aspecten van veroudering of recente aanpassingen. Voor een toetsing conform de NTA hoeven hiermee monumenten geen aparte status te krijgen, al zullen inspecties die bouwkundige onderdelen kunnen beschadigen, bij monumenten nog lastiger zijn uit te voeren. Zeker bij monumenten zou, vanwege de cultuurhistorische waarde, kunnen worden nagegaan of constructieve veiligheid op andere manieren kan worden aangetoond.

In welke mate in de publieke regelgeving waar de toepassing van de NTA voorgeschreven zal worden, voor monumenten een uitzondering zal worden gemaakt, moet door de overheid worden bepaald.

4.2.4 Brand

Brand is een belangrijk aspect bij het borgen van veiligheid in publiek toegankelijke gebouwen. Bij het beschouwen van het risico van brand kan gedacht worden aan:

- de draagkracht van de constructie ten tijde van brand;
- de bouwkundige maatregelen ten aanzien van branddoorslag en brandoverslag;
- regelgeving omtrent brandcompartimentering en vluchtwegen;
- de werking van (brandmeld-)installaties en brandvoorzieningen.

Een deel van bovenstaande aspecten wordt reeds beschouwd bij de inspecties van onder andere de brandweer. Aspecten als de constructieve draagkracht in het geval van brand wordt hier echter niet in meegenomen.

In het kader van de vraagstelling van de OvV ten aanzien van de constructieve veiligheid voor het aanwezige publiek in een CC3 gebouw dient een onderzoek naar de draagkracht in geval van brand in de NTA beschouwd te worden.

We stellen wel voor dat bij de risicobeschouwing van constructieve onderdelen, die later in dit document in hoofdstuk 5 beschouwd wordt, een hoger risico wordt gerekend voor bouwdelen die onderdeel zijn van een vluchtweg.

De overige aspecten zijn eveneens van belang, maar vormen geen onderdeel van de voorgestelde NTA, aangezien deze buiten de vraagstelling vallen en ze deels ook door andere inspectie-regimes beschouwd worden.

4.3 Kans op disproportionele gevolgen

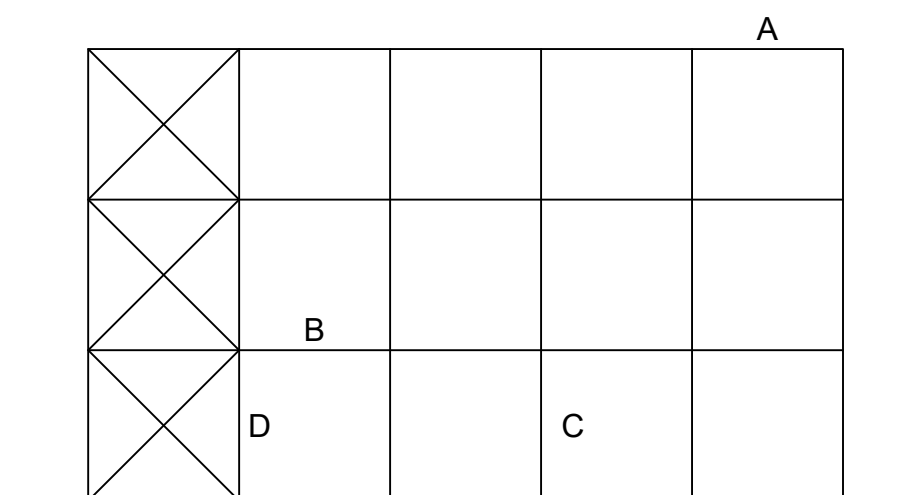
De mate waarin het bezwijken van een constructie-onderdeel leidt tot een meer uitgebreide (voortschrijdende) instorting wordt bepaald door de robuustheid van de constructie waarin het onderdeel zich bevindt. Een constructie is robuustheid als hij in staat is om in het geval van lokaal bezwijken of ten minste een significante reductie van de weerstand van de constructie op een locatie, door een herverdeling van de inwendige krachten, het voortschrijden van het bezwijken kan voorkomen of ten minste sterk beperken. De robuustheid van een constructie is, zoals in rapport 10855-2 reeds beschreven een onderwerp van NEN-EN 1991-1-7 doch heeft op dit moment geen aansturing vanuit het Bouwbesluit. Het is daarom mogelijk dat de constructies van de gebouwen die beoordeeld moeten worden een grote diversiteit van mate van robuustheid zullen vertonen. Bij een minder robuuste constructie is de kans dat het bezwijken van een constructie-onderdeel – een balk, een kolom of bijvoorbeeld een verbinding – leidt tot disproportionele schade groter.

Als bij de beoordeling van de robuustheid van een constructie vastgesteld wordt dat het bezwijken van een specifiek element tot disproportionele schade zal leiden, kan dit element vanuit de benaderingswijze in NEN-EN 1991-1-7 beschouwd worden als een ‘kritisch element’ (Engels: Key element). Als dit in het ontwerp is beschouwd, heeft dit kritische element mogelijk een relatief hogere weerstand gekregen dan strikt nodig. Het is echter niet vanzelfsprekend dat dit ook daadwerkelijk zo is. Als bij een beoordeling in het kader van de op te stellen NTA wordt gevonden dat het bezwijken van een bepaald element leidt tot disproportionele schade en dit dus een kritisch element zou zijn, die juist die elementen bij de beoordeling meer dan gemiddelde aandacht te krijgen.

In de werkgroep Robuustheid van NEN TGB-commissie Basiseisen en Belastingen zijn reeds documenten gewisseld waarin de mate van robuustheid als volgt geclassificeerd wordt:

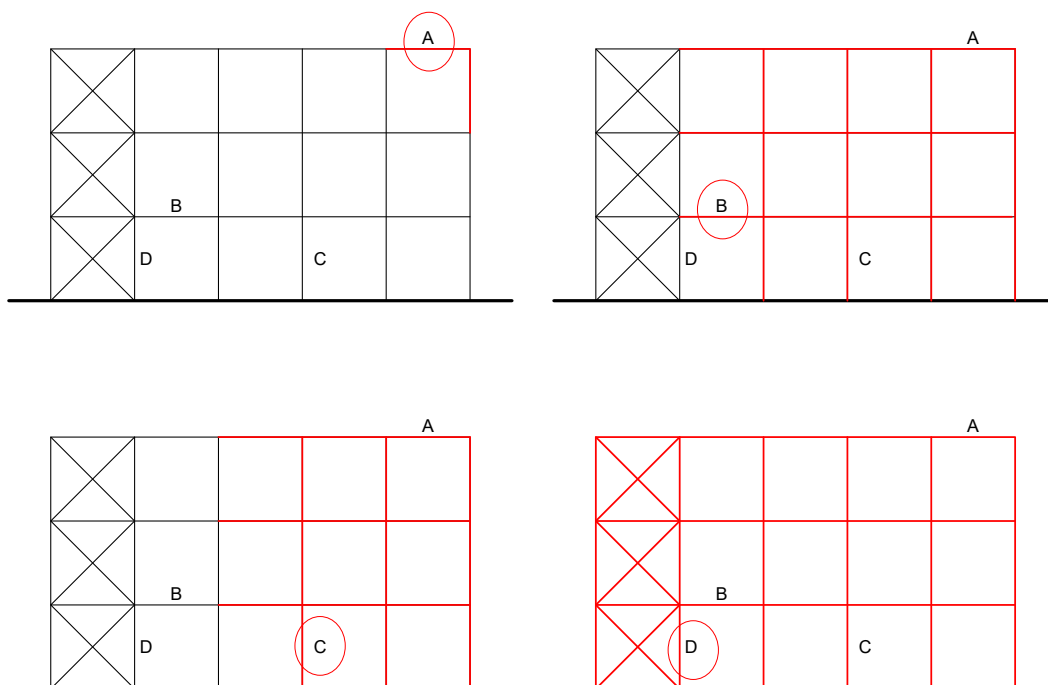
klein	Statisch bepaalde constructies. Dit zijn vaak constructies uitgevoerd met discrete elementen.
gemiddeld	Statisch onbepaalde constructies met beperkte vervormingscapaciteit uitgevoerd met discrete elementen en minder sterke verbindingen. De verbindingen zijn minder sterk dan de aansluitende delen.
groot	Statisch onbepaalde constructies met grote vervormingscapaciteit uitgevoerd met discrete elementen en sterke verbindingen. De verbindingen zijn ten minste zo sterk als de aansluitende delen.
zeer groot	Statisch onbepaalde constructies continu (monoliet) uitgevoerd

De mate waarin lokaal bezwijken tot disproportionele gevolgen zal leiden is echter niet uitsluitend afhankelijk van de robuustheid van de constructie, maar ook van de positie van het beschouwde element in de constructie. Dit wordt geïllustreerd aan de hand van figuur 2.



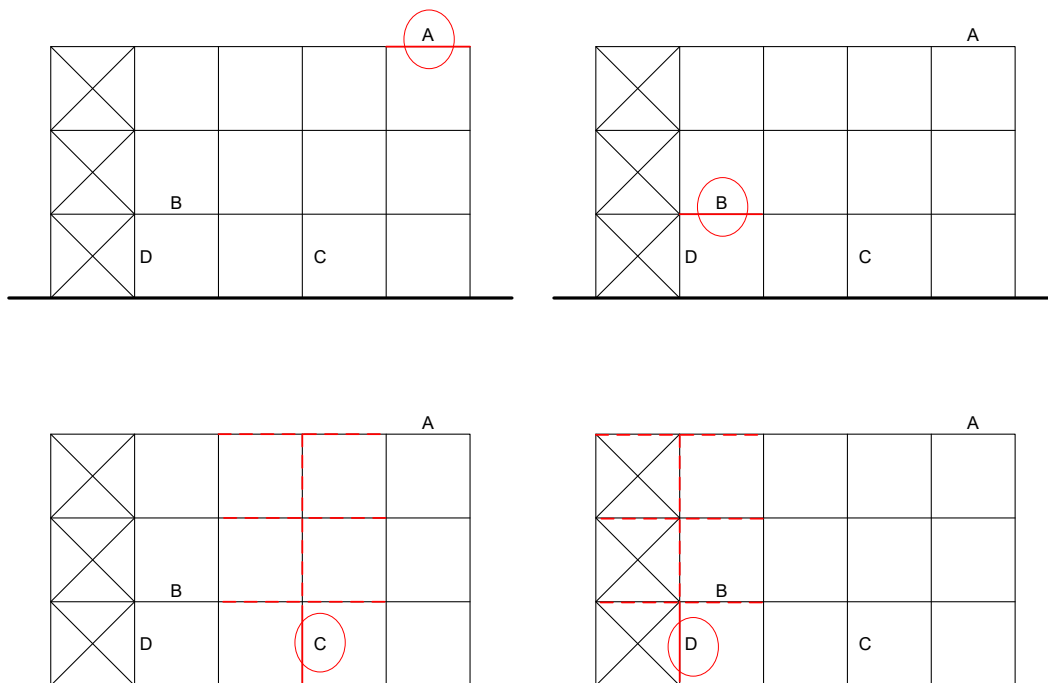
figuur 2 Schematische weergave van een drielaagse constructie die geschoord wordt door de constructie van één stramien

Stel de constructie is gedetailleerd met allemaal scharnierende aansluitingen. De constructie is dan een statisch bepaalde constructie en de robuustheid wordt geclassificeerd als klein. Als echter gekeken wordt naar de gevolgen van het bezwijken van een element kunnen verschillen in beoordeling ontstaan. Als regel A bezwijkt, zal de randkolom op de derde bouwlaag niet meer gesteund zijn en zal die ook bezwijken, zie figuur 3. Een verdere voortgang van het bezwijken is verder niet te verwachten. Indien regel B bezwijkt, treedt er wel een omvangrijk bezwijken op. De kolommen die geen onderdeel uit maken van de schorende constructie worden niet meer gesteund en zullen bezwijken zodat het hele geschoorde deel van de constructie zal bezwijken. Als kolom C op de begane grond bezwijkt, zullen in deze constructie de rechter drie stramienen volledig bezwijken. De linker twee stramienen zullen blijven staan. Tot slot moet worden geconcludeerd dat als element D, een kolom op de onderste bouwlaag in de schorende constructie, dan is de verwachting dat de gehele constructie bezwijkt.



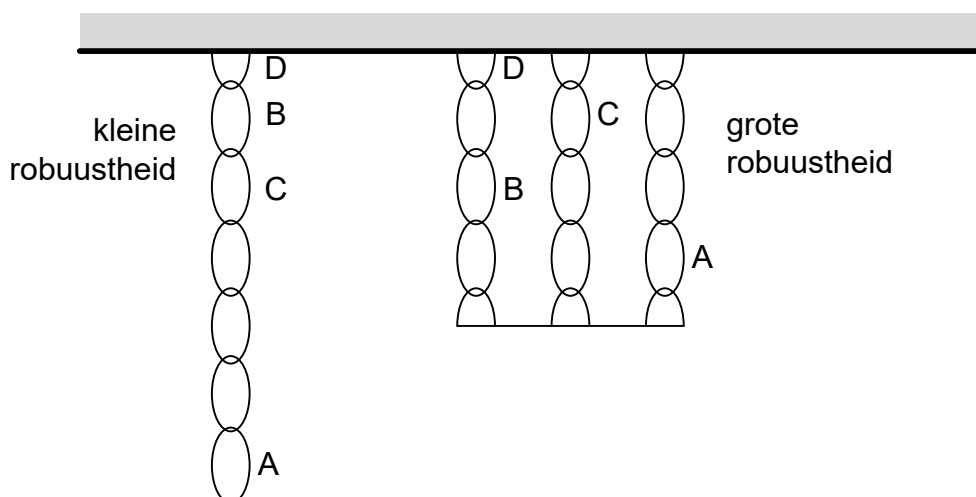
figuur 3 Voortschrijden van het bezwijken bij niet robuuste constructie

Als de constructie een grote of zeer grote robuustheid bezit is de verwachting dat het bezwijken meer beperkt zal zijn. Als regel A bezwijkt zal de randkolom op de derde bouwlaag, vanwege zijn momentvaste verbinding met de lager gelegen regel en de kolom op de tweede bouwlaag, in staat kunnen zijn om te blijven staan, zie figuur 4. Als regel B bezwijkt zal de constructie zeker niet meer voldoen aan de geldende eisen, echter vanwege de doorgaande kolommen is het zeker mogelijk dat het resterende deel van de constructie blijft staan en de omvang van het bezwijken beperkt is. Als kolom C bezwijkt zal afhankelijk van de capaciteit van de regels het bezwijken beperkt kunnen blijven, doch het is ook niet ondenkbaar dat de bovenliggende kolommen en regels zullen bezwijken. Ook bij het bezwijken van kolom B zal de schade groter kunnen zijn, doch deze hoeft niet groter te zijn dan bij het bezwijken van kolom C.



figuur 4 Voortschrijden van het bezwijken bij een zeer robuuste constructie

Op basis van het voorgaande wordt geconcludeerd dat als de robuustheid van een constructie groot is de gevolgen van een lokaal bezwijken beperkt zijn. Als de robuustheid van een constructie klein is dan is de omvang van de gevolgen afhankelijk van de positie en de taak van de constructie in het constructieve systeem. Dit laat zich schematisch weergeven in figuur 5 waarin de constructies wordt weergegeven als kettingen en waarin de diverse elementen als schakel in de ketting een plaats hebben gekregen.



figuur 5 Constructie vertaald naar kettingen

Als schakel A bezwijkt is het gevolg in beide situaties beperkt tot één schakel. Als element B bezwijkt komt in de situatie met kleine robuustheid de gehele ketting naar beneden terwijl in de situatie met grote robuustheid schakel B bezwijkt. Of de daaronder hangende schakels ook bezwijken hang af van de kwaliteit van de constructie die de drie kettingen in de constructie met elkaar verbindt.

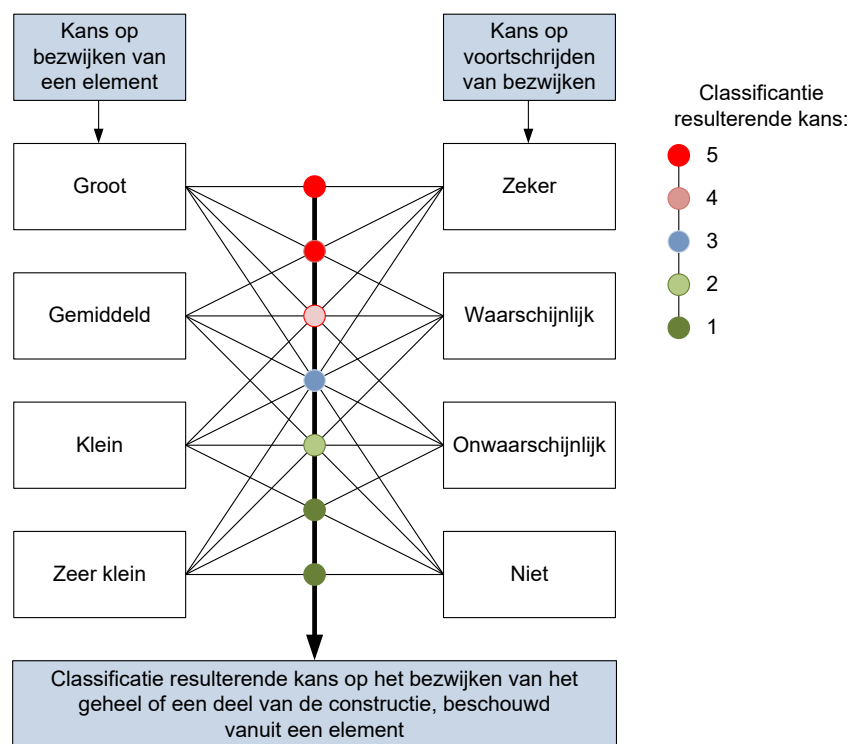
Voor het beoordelen van de kans op voortschrijdend bezwijken is de robuustheid een goed handvat. Bij een goede robuustheid is het minder waarschijnlijk dat het bezwijken van een element zich voortzet naar andere delen van de constructie. Echter bij een kleine robuustheid is er niet per definitie sprake van het voortschrijden van het bezwijken. Dan is een nadere beoordeling nodig van de constructieve taak van het element waarvan het bezwijken wordt beschouwd. Hierbij geldt als vuistregel dat naar mate de afstand tot schorende constructies groter wordt – bij de kettinganalogie naar mate de beschouwde schakel lager hangt – de gevolgen meer beperkt zullen zijn. Voor constructies met een kleine robuustheid is inzicht in de opbouw van de constructie en de gevolgen van eventueel bezwijken van een element nodig om een uitspraak te kunnen doen over de kans op het voortschrijden van het bezwijken.

5 Verkenning van aanpak van de risicoanalyse

5.1 Inleiding

Het risico van een gebeurtenis is het product van de kans op de gebeurtenis en de gevolgen van de gebeurtenis. Op de kans van het bezwijken van een constructie-onderdeel is in hoofdstuk 4 ingegaan. Hier is geconcludeerd dat de kans op bezwijken van een onderdeel kan worden beoordeeld aan de hand van een aantal criteria. Daarbij is ook geconcludeerd dat de kans op bezwijken ten gevolge van een constructiefout kleiner wordt naarmate het gebouw en de constructie langer in gebruik zijn. Daarentegen wordt de kans dat een onderdeel bezwijkt door achteruitgang ten gevolge van veroudering evident groter naarmate de constructie langer in gebruik zal zijn. Echter hierbij moet de constructie wel onderhevig zijn aan invloeden die tot achteruitgang van materiaaleigenschappen leiden. Tot slot is het zo dat de kans op disproportionele gevolgen mede bepalend is voor de kans dat lokaal bezwijken uiteindelijk leidt tot een voortschrijdend en bezwijken en zodoende tot een grotere bedreiging voor de personen die in de constructie aanwezig zijn.

Naast voorgaande constructief inhoudelijke beoordelingen moet ook gekeken worden naar de betrouwbaarheid en mogelijke grondigheid van de ten behoeve van de NTA uit te voeren beoordeling. Dit is afhankelijk van de volledigheid van het bouwdoossier. Bij de beoordeling van de volledigheid van het bouwdoossier moeten de gevolgen van wijzigingen in de constructie en omgeving, verbouwingen en functiewijzigingen niet worden vergeten.



figuur 6 Bepaling resulterende kans uit kans op bezwijken van een element en de kans op voortschrijden van het bezwijken

5.2 Resulterende kans op falen

Op basis van het voorgaande kan een classificatie van de resulterende kans worden bepaald die in eerste instantie afhankelijk is van de kans op bezwijken van een onderdeel gecombineerd met de kans op het voortschrijden van het bezwijken, zie figuur 6. Naarmate de kans op bezwijken en het voortschrijden hiervan toeneemt, neemt de resulterende kans toe. Vervolgens kan op deze resulterende kans nog een correctie worden toegepast op basis van de volledigheid en betrouwbaarheid van het bouwdoossier gerelateerd aan de feitelijke situatie van het gebouw. Bij een volledig bouwdoossier zou de classificatie van de kans een stap verlaagd kunnen worden terwijl bij een zeer onvolledig bouwdoossier de classificatie één of twee stappen verhoogd zou kunnen worden. Eenzelfde soort correctie, maar dan alleen in verlagerende zin, is mogelijk gerelateerd aan de tijdsduur waarin de constructie in zijn functie goed functioneert.

5.3 Gevolgen van een falen

Voor het beoordelen van de gevolgen van het bezwijken van delen van voor publiek toegankelijke CC3 gebouwen ligt het voor de hand om het aantal personen dat direct gevaar loopt te betrekken. Dit is een kleine, maar in dit geval logische nuance ten opzichte van de benadering in NEN-EN 1991-1-7 waar met name naar de omvang van het bezwijken deel van de constructie wordt gekeken. Hierbij wordt gekeken naar het aantal personen dat direct bedreigd wordt door het bezwijken van het element. De mogelijkheid dat vervolgens bij het eventuele voortschrijden van het bezwijken meer personen worden bedreigd, wordt via het beschouwen van de kans op het voortschrijden van het bezwijken reeds beschouwd.

Nu kans en gevolg in kwalitatieve zin besproken zijn kan, gelijk aan de wijze waarop dit bij de werkgroep Robuustheid van NEN TGB-commissie Basiseisen en Belastingen is gedaan, een matrix worden opgezet waarin de diepgang van een observatie van een constructie en constructie-onderdelen in een voor publiek toegankelijke CC3 constructie wordt bepaald door de combinatie van kans en gevolg. Een indicatief voorstel voor een dergelijke tabel is gegeven in figuur 7 waarin onderscheid wordt gemaakt tussen vier niveaus van diepgang van de beoordeling. De kleur geeft de benodigde diepgang van de beoordeling van het betreffende constructie-onderdeel weer. Groen staat voor beperkte diepgang en rood voor een uitgebreide beoordeling.

Direct bedreigde groep personen	Classificatie resulterende kans				
	1	2	3	4	5
Zeer groot (≥ 500 pers)	[L]	[G]	[G]	[H]	[O]
Groot (50-500 pers)	[L]	[L]	[G]	[H]	[H]
Gemiddeld (11-50 pers)	[A]	[L]	[G]	[G]	[H]
Klein (≤ 10 pers)	[A]	[L]	[L]	[G]	[H]

figuur 7 Risicoanalyse tabel waarbij het product van kans en gevolg bepalend is voor de diepgang van de beoordeling van de constructie en constructie-onderdelen van voor publiek toegankelijke CC3-gebouwen

De wijze van beoordelen bij de diverse kleuren moet nader worden beschreven bij het opstellen van de NTA na overleg over het voorgaande in de begeleidende NEN werkgroep. Daarbij kan worden beschouwd wat het effect is van eerder uitgevoerde observaties op het object. Het moge duidelijk zijn dat gedurende de tijd, de aandacht bij de uit te voeren observaties moet verschuiven van constructieve problemen die voortkomen uit fouten in het ontwerp en de uitvoering naar constructieve problemen die ontstaan ten gevolge van veroudering.

Niet alle constructie-onderdelen zijn bij een bestaand gebouw volledig in het zicht. Veel constructies zitten achter een afwerking. In die gevallen is het vaak niet mogelijk om de constructie visueel te inspecteren zonder schade toe te brengen aan de afwerking. De noodzaak tot inspecteren en dus het veroorzaken van schade zal afhangen van de gestelde risico's of te wel de diepgang van de beoordeling zoals hier. Als bij een bestaande constructie weinig ontwerp- of verouderings-risico's worden verondersteld, dan kan inspectie achterwege blijven. Maar als dat niet het geval is, dan kan het lokaal weghalen van afwerking noodzakelijk zijn om het gerechtvaardigd vertrouwen in de constructieve veiligheid te kunnen verkrijgen.

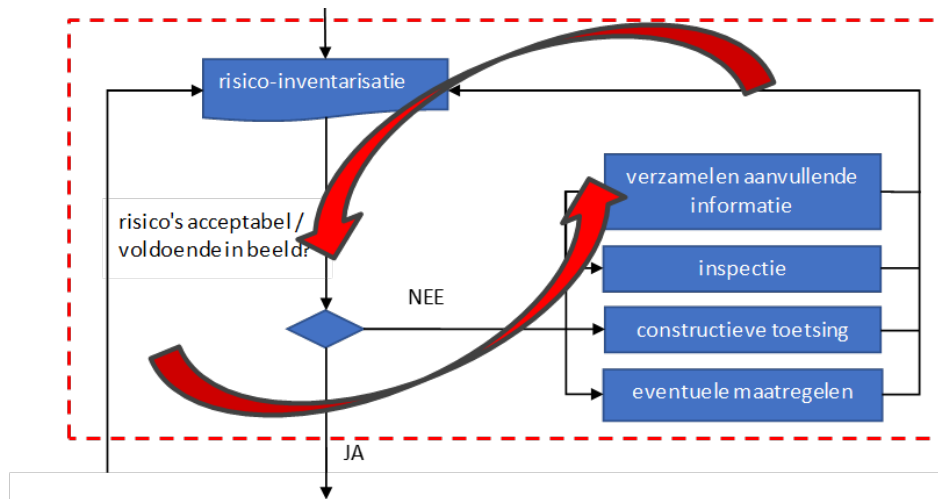
5.4 Risico beoordeling

De eerdere beoordeling van kansen en gevolgen worden samengebracht in een risico matrix. Hier wordt per aspect het resulterende risico in beeld gebracht

In het protocol "Beoordeling constructieve veiligheid Stadions Betaald Voetbal" [6] is een stroomschema opgenomen voor het onderzoeksproces. Onderdeel van dit stroomschema is het fragment van de fase 'risicosturing', zie figuur 8.

De betreffende 'loop' van inventariseren van informatie en het beoordelen van het constructieve risico dient doorlopen te worden totdat geacht wordt dat de risico's voldoende in beeld zijn en er een 'gerechtvaardigd vertrouwen' is in de constructieve veiligheid.

Voor de NTA wordt voorgesteld om de risicobeoordeling te beëindigen als de risico's voldoende in beeld zijn. Mogelijke maatregelen ter mitigatie van een risico vallen buiten de scope van de NTA.



figuur 8 Fase risicosturing uit [6]

Toepassing van de NTA moet leiden tot een gerechtvaardigd vertrouwen dat alle constructieve risico's in het gebouw voldoende in beeld zijn.

Het verkrijgen van een gerechtvaardigd vertrouwen in de constructieve veiligheid is een stap verder, die mogelijk enkel bereikt kan worden na maatregelen ter mitigatie van de risico's. Dit (en mogelijke aanwijzingen binnen welke termijn dit dient te geschieden) valt buiten de scope van de NTA en zal in regelgeving geborgd moeten zijn.

Bibliografie

- [1] Onderzoeksraad voor Veiligheid, „Verborgene gebreken? Lessen uit de instorting van het dak van het AZ-stadion,” Den Haag, 2020.
- [2] F. v. Herwijnen, *Leren van instortingen, Bouwen met Staal*, 2009.
- [3] M. Levy en M. Salvadori, *Why buildings fall down*, Norton & Company Ltd, 2002.
- [4] VROM Inspectie, „Risicobepaling lichte platte daken”.
- [5] TNO, „Registratie van incidenten constructieve veiligheid,” Delft, 2009.
- [6] ABT, „Beoordeling constructieve veiligheid Stadions Betaald Voetbal,” 2020.
- [7] VROM Inspectie, „Instortingen van lichte platte daken - 15056/177”.
- [8] S. Wijte, J. Gijsbers, C. v. d. Veen en C. Kleinman, „Tandoplegging berekend - Berekening volgens NEN 6720 (VBC 1995),” *Cement*, nr. 3, 2010.
- [9] TNO, „Onderzoek naar de technische oorzaak van de gedeeltelijke instorting van de in aanbouw zijnde parkeergarage P1 Eindhoven Airport, 2017 R11127,” Delft, 22-9-2017.
- [10] Adviesbureau Hageman, „Rapport 9663-1-0, Bezwijken parkeergarage Eindhoven Airport, Analyse naar de oorzaak,” Rijswijk, 25-9-2017.
- [11] VROM Inspectie, „Handreiking voor onderzoek naar schade bij betonconstructies met VZA (Voorspanning Zonder Aanhechting) van voor 1985”.
- [12] Onderzoeksraad voor Veiligheid, „Veiligheidsproblemen met gevelbekleding,” 2006.

Bijlage A Gebouwentabel

Tabel A-1 Voorbeelden van publiektoegankelijke CC3 gebouwen waarin zich meer dan 5000 mensen bevinden of waarin zich 500 personen in één ruimte kunnen bevinden.

Functies volgens het Bouwbesluit	Publiektoegankelijke CC3 gebouwen, voorbeelden van toepassing volgens nationale bijlage bij NEN-EN 1990			
	Gebouwyptologie	Voorbeelden	Constructietypologie	Materiaal
Bijeenkomstfuncties	Concertzalen;	Muziekgebouw aan 't IJ, Amsterdam	vakwerkliggers	staal
	Theaters;	Amphion, Doetichem		
		De Nieuwe Kolk, Assen		
		Theater Zuidplein, Rotterdam		
		Elisabethzaal, Antwerpen		
	Stadions;	Cars Jeans stadion, Den Haag	Overkapping met uitkragende stalen vakwerkliggers op een onderbouw in prefab beton	staal en beton
		Overkapping Feyenoord Stadion, Rotterdam	ruimtelijke constructie	staal
		amsterdam Arena, Amsterdam		
	Bioscoop;	Cinemec Leidsche Rijn	verdiepingshoge vakwerken met kanaalplaatvloeren	staal (kelder beton)
		Pathé Amsterdam Zuid-oost		
	Evenementenhallen;	Ahoy evenementenhallen, Rotterdam	Statisch bepaalde lensliggers op doorgande verdiepingshoge vakwerken	staal
	Gebedshuizen;			
	Multifunctionele gebouwen;	Groninger Forum		
	Musea;	EYE filmmuseum		
		Nationaal Militair Museum		
Onderwijsfunctie	Gebouwen van grotere onderwijsinstellingen waarin een grote groep mensen verblijft en/of kan samenkomen.;	Aula TU Eindhoven Aula TU Delft		beton
Gezondheidszorgfunctie	Ziekenhuis met ten minste 4 bouwlagen;			
Sportfunctie	Sporthallen;	Sportcampus Zuiderpark, Den Haag		
	Stadions;	Gelrodome, Arnhem		
Winkelfunctie	Grote winkelcentra;			
Overige gebruiksfunctie voor personenvervoer	Bus- en/of treinstations;	Stationshal Rotterdam		
		Amsterdam Centraal		
	luchthaven terminals .	Terminal West, Schiphol		

Bijlage B Inventarisatie van gangbare constructies voor CC3 gebouwen

Hierna wordt voor diverse gebruiksfuncties, gebouwtypologieën en de daarin vaak toegepaste constructies beschreven.

B.1 Bijeenkomstfuncties

Concerthallen en theaters

Concerthallen en theaters kenmerken zich door grote overspanningen in het dak en ter plaatse van de toneeltoren. De overspanning wordt vaak met hoge stalen vakwerken gerealiseerd. Zowel aan het dak van de toneeltoren als aan het dak van de zaal bevinden zich veel (toneeltechnische) installaties met aanzienlijke gewichten. Deze belastingen variëren in de tijd door verschillende programma's van gebruik.

Ook heeft de dakvloer om akoestische redenen vaak een groot gewicht. Vaak ligt er een vloer op zowel de boven- als de onderregel van de vakwerken. De stalen vakwerken worden ondersteund door betonwanden of staalconstructies met een wandinvulling. Kenmerkend voor concertzalen en theaters is de aanwezigheid van één of meerdere balkons. Deze balkons zijn bijna altijd uitgevoerd als (vakwerk)liggers, uitkragend vanuit de achterwand van de zaal.

Stadions en tribunes¹

De constructie van moderne stadions kenmerkt zich over het algemeen door een betonnen onderbouw en een lichte stalen overkappingsconstructie. De onderbouw wordt veelal uitgevoerd met prefab betonliggers en betonwanden met daarop de prefab betonnen tribune-elementen. De overkapping bestaat in het algemeen uit stalen dakplaten die afdragen op vakwerkliggers. De vakwerkliggers zijn vaak uitkragend vanuit de achterzijde van de tribunes maar ook grote vakwerken als liggers op 2 steunpunten die evenwijdig met de tribune elementen overspannen met een lengte van het veld komen voor.

Bioscopen

Bioscopen kenmerken zich door grote overspanningen in daken. Wanneer bioscoopzalen gestapeld zijn, bevinden deze grote overspanningen zich ook ter plaatse van de vloeren. De vloeren, daken en wanden worden in verband met geluid veelal zwaar uitgevoerd. Vaak worden verdiepingshoge stalen vakwerken in de zaalwanden toegepast. De vloeren en daken bestaan vaak uit prefab betonplaten. In de foyers bij bioscopen met gestapelde zalen komen vaak bijzondere constructies voor als gevolg van het met (vlucht)trappen te overbruggen grote hoogteverschil. Als gevolg van de geluidseisen worden vaak doos-in-doos constructies en dilataties toegepast met een specifieke detailering waarbij de constructiedelen van zalen akoestisch ontkoppeld moeten worden uitgevoerd

Bibliotheken

Bibliotheken zijn over het algemeen betonnen constructies met gemiddelde overspanningen. Vaak zijn de vloeren zwaarder uitgevoerd vanwege de hogere belastingen uit boekenrekken. Oudere bibliotheken in monumentale panden kunnen zijn opgebouwd uit betonnen en houten vloeren met gemetselde wanden. Hier zijn vaak de vloeroverspanningen minder, maar incidenteel zijn er leeszalen met karakteristieke daken met grotere overspanningen.

¹ Een tribune kan vallen onder de categorie “bouwwerk, geen gebouw zijnde”.

Evenementenhallen

Evenementenhallen zijn over het algemeen enkellaagse bouwwerken met daken met zeer grote overspanningen. De dakconstructie bestaat daarom meestal uit (stalen)dakplaten op grote, al dan niet ruimtelijke, vakwerkliggers.

Gebedshuizen

De verschijningsvorm en schaal van gebedshuizen en ook de leeftijd van de gebouwen is zo divers dat hiervan geen gangbare of veel voorkomende constructietypologie te geven is.

Multifunctionele gebouwen

Onder multifunctionele gebouwen kunnen gebouwen worden verstaan waarin diverse functies zijn gehuisvest maar het kan ook betekenen dat het gebouw voor diverse functies geschikt is die echter niet tegelijkertijd plaatsvinden, het laatste geldt bijvoorbeeld voor de voetbalstadions met afsluitbare daken. Zo wordt de parkeergarage bij Eindhoven Airport formeel ook aangeduid als Multi Purpose Building omdat er naast parkeren, ook een busstation en horeca in gevestigd is. Voor multifunctionele gebouwen is het niet mogelijk een bondige beschrijving te geven van veel voorkomende constructietypologieën.

Musea

Musea bevinden zich in zeer diverse panden, van het Rijksmuseum uit 1885 tot het zojuist opgeleverde depotgebouw van Boijmans van Beuningen. Musea waarvoor geldt dat er zich 5000 personen in kunnen bevinden of waarin zich 500 mensen in één ruimte kunnen bevinden zijn beperkt in aantal. Deze musea vertonen in hun constructietypologie overeenkomsten met de benoemde evenementenhallen.

B.2 Gezondheidszorgfunctie

Ziekenhuizen bestaan voor het overgrote deel uit vloeren met beperkte overspanningen daar waar het beddenhuis, operatiekamers, facilitaire en kantoorruimten zich bevinden. Moderne ziekenhuizen hebben daarnaast vaak een groot atrium of centrale hal waarboven zich daken met grotere overspanningen bevinden. Door de wens voor een grote mate van aanpasbaarheid van met name de installaties in ziekenhuizen wordt vaak gekozen voor in het werk gestorte betonvloeren op een monoliete of prefab balken-kolommen structuur, met een stramien van ca. 8-9 meter.

B.3 Onderwijsfunctie

Gebouwen van grote onderwijsinstellingen hebben over het algemeen een deel waarin zich de collegezalen en auditoria bevinden met grote overspanningen en een deel waarin zich kantoren en practica-ruimten bevinden. In dergelijke gebouwen kunnen grote groepen mensen samenkomen. De constructie van de collegezalen en auditoria vertoont grote gelijkenis met concertzalen en theaters, echter dan zonder de daarvoor zo kenmerkende balkons.

B.4 Sportfunctie

Sporthallen

Sporthallen waarvoor geldt dat er zich 5000 personen in kunnen bevinden of waarin zich 500 mensen in één ruimte kunnen bevinden zijn sporthallen met (uitschuif)tribunes voor publiek. De constructie kenmerkt zich door grote overspanningen met raatliggers in staal, vakwerken in staal of hout of gelamineerde houten liggers. De liggers zijn vaak statisch bepaald uitgevoerd en liggen op kolommen of wanden.

Zwembaden

Zwembaden waarvoor geldt dat er zich 5000 personen in kunnen bevinden of waarin zich 500 mensen in één ruimte kunnen bevinden zijn gelijk aan sporthallen met (uitschuif)tribunes voor publiek. De constructie kenmerkt zich door grote overspanningen met raatliggers in staal, vakwerken in staal of hout of gelamineerde houten liggers. De liggers zijn vaak statisch bepaald uitgevoerd en liggen op kolommen of wanden. Door het vochtige milieu in zwembaden en de hoge concentratie van chloor wordt de hoofddraagconstructie van zwembaden relatief vaak in hout uitgevoerd.

Stadions

Zie de beschrijving in paragraaf B.1.

B.5 Winkelfunctie

Grote winkelcentra zijn in de regel horizontaal georiënteerd, omdat hoger gelegen verdiepingen al snel minder intensief bezocht worden. Concentratie van personen vindt plaats in de doorstroomgebieden en verkeersknooppunten bij liften en (rol)trappen. De opbouw is vaak in vleugels opgericht in een kolomstructuur met relatief veel openheid voor flexibiliteit in indeling. De constructie is vaak van (prefab) beton.

B.6 Overige gebruiksfunctie voor personenvervoer

Bus- en/of treinstations

Grote stations zoals Amsterdam, Utrecht, Leiden en Rotterdam kenmerken zich door staalconstructies met grote overspanningen voor het dak. Vloerconstructies zijn beperkter in overspanning. Daarnaast komen er (met name bij perrons) kleinere, vaak stalen overkappingen² voor met beperkte overspanningen.

Luchthaven terminals

De opbouw van terminals is vergelijkbaar met de bus- en/of treinstations. Passagiersstromen vinden plaats op betonvloeren zonder obstakels, omdat het dak een grote vrije overspanning maakt. Onder de betonvloer is in de regel een betonconstructie aanwezig met een stramien van bijv. 9x12,5m, vaak ter plaatse gestort met voorspanning of prefab.

² Een overkapping kan vallen onder de categorie “bouwwerk, geen gebouw zijnde”.

Bijlage C Inventarisatie van kwetsbare constructies en constructie-onderdelen

Hierna wordt voor diverse constructieve materialen, constructieve toepassingen en funderingen een aantal voorbeelden gegeven van kwetsbare constructies en constructie-onderdelen. Deze inventarisatie is samengesteld op basis van bij opstellers van dit rapport bekende constructieve schadegevallen en specifieke oorzaken van constructieve schades.

De volgende voorbeelden van constructiematerialen en typologieën waarbij het bezwijken ervan leidt tot een relatief groot aantal slachtoffers worden in de hiernavolgende paragrafen toegelicht:

1 – Staal

- a. Stalen vakwerken met gelaste of geboute knooppunten
- b. Spanten uitgevoerd met een knik
- c. Platte daken uitgevoerd met stalen liggers
- d. Staalverbindingen in het algemeen
- e. Roestvast stalen constructies in een chloride milieu

2 – Beton

- a. Betonconstructies toegepast in parkeergarages, zwembaden en in de buurt van de zee
- b. Constructies opgelegd op betonnen nokken of tanden
- c. Breedplaatvloeren met een positief moment ter plaatse van de langsnaden
- d. Vloeren uitgevoerd met voorspanning zonder aanhechting (VZA)
- e. Gebouwen uitgevoerd met prefab betonnen elementen
- f. Betonconstructies gevoelig voor temperatuur variaties

3 – Hout

- a. Houten vakwerken met stalen knooppunten
- b. Gelamineerde liggers en spanten
- c. Houten balken belast met trek loodrecht op de vezelrichting

4 – Metselwerk

- a. Dragend metselwerk
- b. Niet-dragend metselwerk

5 – Kunststof en composiet

6 - Funderingen

- a. Funderingen op staal
- b. Funderingen op palen

7 - Bouwkundig

- a. Constructief glas
- b. Gevelelementen

1 - Staal

a. Stalen vakwerken met gelaste of geboute knooppunten

Constructieve fouten

Voorbeelden van constructie fouten zijn:

- Foutieve berekening van knooppunten (incl. bevestiging ter plaatse van oplegging) en verbindingen;
- Het onvoldoende lassen van verbindingen
- Het toepassen van verkeerde boutkwaliteit of het niet borgen van moeren
- Het forceren van een niet passende verbinding
- Foutieve detaillering
- Het niet overeenkomen van de schematisering met de vervaardigde constructie, bijvoorbeeld een als statisch bepaald vakwerk ontworpen spant dat als doorgaand vakwerk over meerdere velden is uitgevoerd.

Ouderdom

In een vochtig milieu kan sprake zijn van corrosie van het stalen vakwerk.

Inspectiesignalen

Visuele controle van de constructie op corrosie en bezwijken van lassen en boutverbindingen. Een beoordeling op bij de knopen de systeemlijnen van de diverse staven in een punt samenkomen. Ook overmatige doorbuiging van het vakwerk kan een signaal voor een constructief probleem zijn. Andere signalen zijn: gapingen in de aansluitingen, missende bouten, scheuren in de lassen, vermoeiingsscheuren in het staal, vocht of condens op de verkeerde plekken, bevriezing van water in ingesloten ruimten.

Rekenkundige controle

Een rekenkundige controle van de knooppunten als de doorsnede van de verbindingsmiddelen of lassen veel kleiner is dan de doorsneden van de aansluitende profielen en als er sprake is van excentrische aansluitingen. Een controle van de schematisering in de oorspronkelijke berekening of het uitvoeren van een herberekening bij vakwerken die in de praktijk doorgaand zijn uitgevoerd.

Voorbeeld

Bezweken ruimtevakwerk Hartford Civic Center Arena, 1978. Onvoldoende zijdelingse steun van gedrukte staven, waardoor deze zijn geknikt. Tijdens de bouw was reeds overmatige doorbuiging waargenomen (significant meer dan theoretisch was bepaald), maar met die informatie is op dat moment niets gedaan.

Instorting toneeltoren Hoorn, 2001 [2]. De hoofdoorzaak is een onvoldoende capaciteit van de bouw- en lasverbindingen in enkele gevelspanten (vakwerken). De gedrukte bovenrand van de gevelspanten was onvoldoende tegen zijdelings uitknikken gesteund.

1 - Staal

b. Spanten uitgevoerd met een knik

Constructieve fouten

Het ongesteund uitvoeren van de binnenhoek van een gebogen of met knik uitgevoerd spant terwijl in de berekening van het spant daar ter plaatse een kipsteun is aangehouden. Ook het verwijderen van trekbanden uit driescharnierspanten komt bij constructies een enkele keer voor.

Ouderdom

In een vochtig milieu kan sprake zijn van corrosie van het stalen spant of een eventuele stalen trekband die de spanbenen met elkaar verbindt. Deze trekbanden kunnen ook onder of in de begane grondvloer aanwezig zijn.

Inspectiesignalen

Visuele controle op aanwezigheid van kipsteunen bij gedrukte zones van het spant en corrosie van de staalconstructie eventueel inclusief stalen trekband. De stalen trekband is soms in een vochtig milieu aanwezig. Ook overmatige doorbuiging en vervormingen uit het vlak van het spant kan een signaal voor een constructief probleem zijn. Hierbij moet worden opgemerkt dat vervormingen uit het vlak, bij het ontbreken van voldoende steun, ook bij zeer beperkte grootte al problematisch kunnen zijn.

Rekenkundige controle

Een controle van de schematisering in de berekening bij een gebogen of een met een knik uitgevoerd spant wordt geadviseerd als een trekband of een kipsteun in de binnenhoek bij een uitgevoerde constructie ontbreekt.

Voorbeeld

Stalen opslaghallen met hellend dak in Enschede en Kerkrade, bezweken bij een belasting door sneeuw.

1 - Staal

c. Lichte platte daken uitgevoerd met stalen liggers

Constructieve fouten

Door een combinatie van stijfheid en afschot van het dak in tezamen met het aantal en de positie van de noodafvoeren voldoet de constructie niet bij het voorgeschreven belastingsgeval regenwater. Dit kan het gevolg zijn van een foutief ontwerp, een onjuiste uitvoering of een combinatie van beide. Bij een hevige regenbui kan dit leiden tot een gedeeltelijke dakinstorting als gevolg van het verzamelen van water op een dakvlak.

Ouderdom

Ouderdom speelt in het geen rol in het kader van achteruitgang. Mogelijk speelt dit wel een rol bij het beschouwen van de effecten van het belastingsgeval. Het beschouwen van het belastingsgeval regenwater was voor 1990 namelijk niet verplicht en daarna, tot circa 2004 minder gebruikelijk.

Inspectiesignalen

Voor de beoordeling van het risico kan gebruik worden gemaakt van [4]. Ook zijn het ontbreken van noodafvoeren, plasvorming op het dak of vervuiling op het dakvlak of van de reguliere en noodafvoeren mogelijke aanwijzingen voor een hoog risico op bezwijken door het verzamelen van water op een dakvlak.

Rekenkundige controle

Een rekenkundige controle van het dak wordt geadviseerd als uit de inspectie blijkt dat het een dakvlak met een hoog risico op bezwijken door het verzamelen van water op het dakvlak betreft. Als later, na het in gebruik nemen van het pand, zonnepanelen op een plat dak worden geplaatst, wordt ook een rekenkundige controle aanbevolen. Dit omdat het gewicht van de panelen de hoogteligging van het dakvlak en zodoende het gedrag bij een berging van water nadelig beïnvloed.

Voorbeeld

Gedeeltelijke dakinstorting IKEA Amsterdam in 2002. Er was sprake van te weinig afschot, onjuist geplaatste en te kleine noodafvoeren en onvoldoende stijfheid van het dak [7]. Aanvullend wordt opgemerkt dat het lokaal bezwijken van lichte platte daken bij een belasting door regenwater jaarlijks nog meerdere keren optreedt. Dit is voornamelijk het geval bij industrie- en logistieke gebouwen.

1 - Staal

d. Staalverbindingen in het algemeen

Constructieve fouten

Door fouten in de berekening kan de sterkte van een verbinding in een staalconstructie te laag zijn. Omdat verbindingen de laatste decennia in het algemeen door een andere partij zijn ontworpen dan de hoofdconstructeur, is er mede door te beperkte controle een grotere kans op een ontwerpfout.

Verbindingen zijn vaak gevoelig voor excentriciteiten. In absolute zin kleine maatafwijkingen in het ontwerp of uitvoering kunnen daardoor grote gevolgen hebben voor de sterkte van een verbinding.

Als de sterkte van de verbinding zodanig klein is, dat vloeï van de aansluitende staven niet kan optreden, heeft de constructie weinig vervormingscapaciteit. Hierdoor neemt het incasseringsvermogen van de constructie af.

Ouderdom

In een vochtig milieu kan sprake zijn van corrosie van een staalverbinding.

Inspectiesignalen

Visuele controle van de constructie op corrosie en op bezwijken van lassen en boutverbindingen. Zie ook hier de eerder in paragraaf 3.3.2 benoemde signalen.

Rekenkundige controle

Een rekenkundige controle van verbindingen uitvoeren als de doorsnede van de verbindingsmiddelen of lassen veel kleiner is dan de doorsneden van de aansluitende profielen en als er sprake is van excentrische aansluitingen (hartlijnen van de aansluitende profielen gaan niet door één punt).

Voorbeeld

Instorting luchtbruggen in Hotel Hyatt Regency, Kansas City 1981 [2] [3]. Als gevolg van een verkeerd ontwerp van een detail kon de constructie slechts 30% van de blijvende en veranderlijke belasting dragen.

Instorting toneeltoren Hoorn, 2001 [2]. De hoofdoorzaak is een onvoldoende capaciteit van de bouw- en lasverbindingen in enkele gevelspanten (vakwerken). De gedrukte bovenrand van de gevelspanten was onvoldoende tegen zijdelings uitknikken gesteund.

1 - Staal

e. Roestvast stalen constructies in een chloride milieu

Constructieve fout

Een verkeerde materiaalkeuze in een agressief milieu.

Ouderdom

Door chloride en andere zuren kunnen in bepaalde soorten roestvast staal spanningscorrosie optreden.

Inspectiesignalen

Uitingen van spanningscorrosie zijn uitsluitend zichtbaar bij een zeer gedetailleerde observatie.

Rekenkundige controle

-

Voorbeeld

Gewezen wordt op de onderzoekplicht in artikel 5.12 van de Regeling Bouwbesluit.

2 - Beton

a. Betonconstructies in een milieu met chloriden

Constructieve fouten

Door onvoldoende dekking als gevolg van de opgave van de constructeur of door een afwijking in de uitvoering, is beton- of voorspanstaal gevoeliger voor corrosie in een vochtig milieu, met name als daarbij sprake is van chloride aantasting, bijvoorbeeld geïnitieerd door (dooi)zouten. Deze gevoeligheid is ook groter als er sprake is van grote scheurwijdten, bijvoorbeeld door het ontwerp niet beschouwen van de effecten van verhinderde opgelegde vervormingen.

Een geringe dekking als gevolg van de opgave van de constructeur is vaak het geval bij betonconstructies die met het voorschrift VB 1974 en de voorschriften ervoor zijn ontworpen. Destijds waren de voorgeschreven dekkingen kleiner dan tegenwoordig.

Ouderdom

Water en chloriden kunnen door scheuren en/of geringe betondekking de wapening eenvoudig bereiken. Door voortdurende vocht- en zoutbelasting neemt de corrosie van het beton- of voorspanstaal in de tijd toe. Hierdoor zal de sterkte van de constructie in de tijd afnemen.

Daarnaast is er een verhoogd risico op lokale corrosie (putcorrosie) van de wapening. Hierbij kan de sterkte en rotatiecapaciteit van een constructie aanmerkelijk beperkt worden, terwijl de voortekenen minder zichtbaar zijn.

Inspectiesignalen

Bij inspecties van betonconstructies is de aard van de scheurvorming in betonconstructies een indicatie van een mogelijk risico zijn. Dit betreft dan vooral scheurvorming op een locatie, in een richting en/of met een scheurwijdte die niet verwacht wordt.

Als er sprake is van een geringe dekking, zal de dekking op het betonstaal vaak over een groot oppervlak worden afgedrukt door het uitzetten van het wapeningsstaal als gevolg van het ontstaan van corrosieproducten. In eerste instantie zal dat leiden tot scheuren en vervolgens tot het loslaten van schollen beton. Door middel van kloppen met een licht hamertje kunnen losliggende schollen beton worden gedetecteerd.

Als er sprake is van putcorrosie als gevolg van chloride indringing bij een scheur, zal dit vaak niet leiden tot het afdrukken van betondekking. In dat geval kunnen bruine vlekken op het betonoppervlak (roestuitbloei) nabij een scheur een aanwijzing voor de corrosie van de wapening zijn.

Indien het betonoppervlak niet bewerkt is met bijvoorbeeld een coating of een gietasfalt laag, kan met potentiaalmetingen worden nagegaan waar in het constructie-onderdeel de grootste corrosie activiteiten plaatsvinden. Door daarna de betondekking te verwijderen, kunnen de meetresultaten als het ware worden geïkt.

Rekenkundige controle

Als daadwerkelijk een afname van de doorsnede van de wapening wordt geconstateerd, is het noodzakelijk de vloer daarmee opnieuw rekenkundig te controleren.

Voorbeeld

Bij het bezwijken van de galerijplaten van de Antillenflat te Leeuwarden heeft aantasting van de wapening door chloriden een rol gespeeld. Ook wordt gewezen op de onderzoekplicht in artikel 5.11 van de Regeling Bouwbesluit.

2 - Beton

b. Constructies opgelegd op betonnen nokken of tanden

Constructieve fouten

Bij nokken en tanden, die vaak gebruikt worden in prefab betonconstructies, is meestal sprake van veel wapening in een kleine ruimte. In de praktijk blijkt regelmatig dat de wapening niet volgens de tekening is aangebracht, omdat de ruimte onvoldoende is of omdat ombuigstralen van de wapening groter is dan in het ontwerp werd bedacht.

Als de hoofdwapening is uitgevoerd met grote diameters, is sprake van een grote delen ongewapend beton op de plaatsen waar de wapening is omgebogen. Als deze delen beton worden belast, treedt afboeren van de dekking op.

Nokken en tanden worden ook vaak toegepast bij dilatatievoegen. Toch wordt dan nog een koppeling (bijvoorbeeld een stek) tussen de nok of tand en de erop aangebrachte balk aangebracht of is de wrijving in het oplegvlak te groot om een verschuiving eenvoudig mogelijk te maken. Hierdoor ontstaan grote verhinderingskrachten in het detail, waardoor de nok of tand en de erop liggende balk gaan scheuren.

Het voorgaande kan ook optreden als in het ontwerp geen rekening is gehouden met de effecten van verhinderende van opgelegde vervorming. In dat geval zal, bij het optreden van een additionele horizontale kracht veroorzaakt door verhinderende van opgelegde vervormingen, relatief grote scheuren in de doorsnede verzwakking bij de nokken en tanden zal ontstaan.

Bij tanden kan sprake zijn van een foutieve detaillering van de ophangwapening. Als ophangwapening wordt toegepast die aan de onderzijde is afgebogen in de richting van de tand af, kan de drukdiagonaal in de tand zich niet goed afzetten tegen de ophangwapening. Dit heeft bij zwaar belaste tanden een negatieve invloed op de capaciteit van de tand. [8]

Ouderdom

Als gevolg van constructieve fouten kunnen wijde scheuren ontstaan. Dit kan een probleem geven met de duurzaamheid van de constructie als deze zich in een vochtig milieu bevindt.

Inspectiesignalen

Bij inspecties van betonconstructies is de aard van de scheurvorming in betonconstructies een indicatie van een mogelijk risico. Dit betreft dan vooral scheurvorming op een locatie, in een richting en/of met een scheurwijdte die niet verwacht wordt.

Overmatige scheurvorming in de nok of tand kan een signaal voor een constructief probleem bij de betreffende nok of tand zijn.

Rekenkundige controle

Voer een rekenkundige controle uit bij de nokken en tanden die gescheurd zijn. Bij tanden dient ook de detaillering van de ophangwapening te worden gecontroleerd.

Voorbeeld

Het bezwijken van nokken bij het project Bos en Lommer Amsterdam (2006). Mede naar aanleiding hiervan zijn diverse artikelen verschenen in het vakblad Cement [8].

2 - Beton

c. Breedplaatvloeren met een positief moment ter plaatse van de langsnaden

Constructieve fout

Onjuiste bepaling van de momentweerstand in een breedplaatvloer met een positief moment ter plaatse van de langsnaden tussen de breedplaten. Het aansluitvlak tussen de in het werk gestorte druklaag en de geprefabriceerde breedplaat is namelijk vaak niet getoetst of is onjuist getoetst. Verbindingswapening tussen de druklaag en de breedplaat langs de rand ontbreekt bij die vloeren vaak in het gebied dicht bij de naad. Omdat hierdoor over een grote zone delaminatie in het aansluitvlak kan optreden is de overlap tussen wapening in de breedplaat en de koppelwapening in de druklaag beperkt, hetgeen nadelig is voor de momentweerstand. De problematiek speelt met name bij puntvormig ondersteunde breedplaatvloeren van na 2000 en van voor 2019. Door de instorting van het Multi Purpose Building (Parkeergarage) bij Eindhoven Airport in 2017 is dit gebrek aan het licht gekomen. [9] [10]

Ouderdom

Bij breedplaatvloeren waarbij de momentweerstand bij een positief moment ter plaatse van een langснаad onvoldoende is, kan herverdeling van momenten optreden. Dit kan zorgen voor scheuren op andere plaatsen in de vloer. Dit kan in een vochtig milieu al dan niet met (dooi)zouten leiden tot aantasting van de wapening. Ook kan bij dynamisch belaste vloeren of bij vloeren die zijn blootgesteld aan temperatuursvariaties de hechtsterkte van het aansluitvlak in de tijd afnemen, met een toename van delaminatie als gevolg.

Inspectiesignalen

Bij inspecties van betonconstructies is de aard van de scheurvorming in betonconstructies een indicatie van een mogelijk risico zijn. Dit betreft dan vooral scheurvorming op een locatie, in een richting en/of met een scheurwijdte die niet verwacht wordt.

Bepalen of sprake is van delaminatie tussen breedplaat en opstort nabij de langsnaden. Dit kan met een lichte bankhamer worden gedetecteerd (een holle klank wijst op delaminatie). Het niet in hetzelfde vlak liggen van de breedplaten aan weerszijden van de naad kan een teken van delaminatie zijn. Ook overmatige doorbuiging of scheurvorming in de vloer kan een signaal voor een constructief probleem bij het betreffende detail zijn. Scheurvorming kan daarbij ook aan de bovenzijde van de vloer op enige afstand, ter plaatse van de negatieve momenten van de betreffende langснаad optreden.

Rekenkundige controle

Voer een rekenkundige controle uit bij alle vloeren van na 2000 waarin het betreffende detail aanwezig is.

Voorbeeld

Instorting Multi Purpose Building Eindhoven Airport in 2017. Zie ook de onderzoeksplicht in artikel 5.13 in de Regeling Bouwbesluit

2 - Beton

d. Vloeren uitgevoerd met VZA

Constructieve fouten

Bij vloeren uitgevoerd met Voorspanning Zonder Aanhechting (VZA) zijn de voorspankabels beschermd door een kunststof mantelbuis gevuld met vet. In de begintijd van dit systeem was de corrosiebescherming niet altijd voldoende. Er was op dat moment nog onvoldoende ervaring met het systeem en het duurde enige tijd voordat de eerste corrosieproblemen aan het licht kwamen. Door aanpassing van het ontwerp en meer aandacht in de uitvoering, is de corrosiebescherming vanaf de beginjaren tachtig in de vorige eeuw sterk verbeterd.

Ouderdom

Er kan sprake zijn van waterindringing in de omhullingsbuizen tijdens de bouw en na de bouw. Hierdoor kan als gevolg van corrosie, kabelbreuk ontstaan. In het eerste geval, zal dit binnen 10 jaar na de bouw optreden. Als de VZA vloer is toegepast in een vochtig milieu, zoals een parkeergarage of een daktuin, kan de kabelbreuk ook in een later stadium ontstaan.

VZA vloeren zijn ook gevoelig voor boorschade. Door het aanboren van een VZA kabel kan deze breken, waardoor voor alle vloervelden waar deze kabel door de vloer loopt, geldt dat de sterkte van de vloer is afgenomen.

Inspectiesignalen

Bij inspecties van betonconstructies is de aard van de scheurvorming in betonconstructies een indicatie van een mogelijk risico zijn. Dit betreft dan vooral scheurvorming op een locatie, in een richting en/of met een scheurwijdte die niet verwacht wordt.

Voor VZA vloeren van voor 1985 wordt in bepaalde gevallen onderzoek naar de staat van de VZA kabels aanbevolen. Welke gevallen dit zijn en wat dit onderzoek inhoudt, is beschreven in [11]. Aanvullend ten opzichte van de Handreiking, wordt aanbevolen bij constructies in een vochtige omgeving (parkeergarages en daktuinen) periodiek de staat van de VZA kabels te laten onderzoeken.

Rekenkundige controle

-

Voorbeeld

-

2 - Beton

e. Betonconstructies gevoelig voor temperatuurvariatiën

Constructieve fouten

Betonconstructies kunnen worden blootgesteld aan temperatuurvariatiën. Een voorbeeld van een constructie die aan extreme temperatuur variaties is blootgesteld, is een dakvloer van een parkeergarage. Een temperatuurvariatie leidt tot een lengteverandering van de constructie. Als deze onbelemmerd kan plaatsvinden, zal dit niet tot spanningen in de constructie leiden. Als er wel sprake is van een belemmering, bijvoorbeeld door stijve kolommen of een statisch onbepaald systeem van stabiliteitswanden, kunnen grote spanningen in de constructie ontstaan. Dit kan bij een betonconstructie leiden tot scheuren of, als de vervormingscapaciteit van een onderdeel gering is, tot bezwijken van het betreffende onderdeel. Voorbeelden zijn het bezwijken van het voegdetail bij breedplaten bij een onjuist ontwerp en uitvoering, zie 2-c, en het afschuiven van een betonkolom die als een deuvel de vervorming van een dakvloer belemmerde.

Ouderdom

Als door verhinderde vervormingen overmatige scheurvorming ontstaat, kan vervolgens corrosie ontstaan als het constructie-onderdeel zich in een vochtig milieu bevindt.

Inspectiesignalen

Bij inspecties van betonconstructies is de aard van de scheurvorming in betonconstructies een indicatie van een mogelijk risico zijn. Dit betreft dan vooral scheurvorming op een locatie, in een richting en/of met een scheurwijdte die niet verwacht wordt.

Overmatige scheurvorming in de constructie kan een signaal voor een constructief probleem bij het betreffende constructie-onderdeel. Ook kan het bezwijken van een constructie-onderdeel leiden tot overmatige doorbuiging.

Rekenkundige controle

Bij het constateren van schade kan nagegaan worden of alle aanwezige belemmeringen in de schematisering van de constructie voldoende zijn beschouwd.

Voorbeeld

Instorting Congreshal Berlijn in 1980 [2]. Door scheuren kon water binnendringen en corrosie van voorspanwapening ontstaan.

Instorting van Terminal 2E van luchthaven Paris Charles de Gaulle in 2004 [2]. Temperatuurbelastingen werden in het ontwerp verwaarloosd. Door (verhinderde) temperatuursvervormingen zijn grote krachten in constructie-onderdelen ontstaan die een grote (buig)stijfheid bezitten.

2 - Beton

f. Gebouwen uitgevoerd met prefab betonnen elementen

Constructieve fout

Gebouwen die zijn uitgevoerd met prefab betonnen elementen zijn vaak niet of slechts beperkt robuust. Bij die gebouwen kan het bezwijken van een enkele verbinding tussen elementen leiden tot een grote schade. Hierop wordt in paragraaf 4.3. nader ingegaan.

Ouderdom

Ouderdom is hierbij niet direct relevant.

Inspectiesignalen

Bij inspecties van betonconstructies is de aard van de scheurvorming in betonconstructies een indicatie van een mogelijk risico zijn. Dit betreft dan vooral scheurvorming op een locatie, in een richting en/of met een scheurwijdte die niet verwacht wordt.

Uitvoeren van een visuele controle van alle verbindingen waarvoor geldt, dat het bezwijken ervan tot grote gevolgen kan leiden. Een signaal voor een constructief probleem zijn scheuren in de constructie.

Rekenkundige controle

Voer een rekenkundige controle uit bij verbindingen die gescheurd zijn.

Voorbeeld

Het bezwijken van de balkons van woongebouw Patio Sevilla in Maastricht, 2003 [2]. Het betreft een woongebouw met prefab betonnen balkons die deels op een vloerrand en deels op een over meerdere verdiepingen doorgaande stalen kolom zijn opgelegd. Nadat de oplegging van de stalen kolom was bezweken, zijn meerdere balkons naar beneden gekomen. Er was geen tweede draagweg aanwezig.

3 - Hout

a. Houten vakwerken met stalen knooppunten

Constructieve fouten

Foutieve berekening van knooppunten en verbindingen (incl. bevestiging ter plaatse van oplegging) of de schematisering komt niet overeen met uitgevoerde constructie bij statisch bepaald vakwerk dat als doorgaand vakwerk over meerdere velden is uitgevoerd.

Ouderdom

In een vochtig milieu kan sprake zijn van houtrot en corrosie van stalen knooppunten of opleggingen.

Inspectiesignalen

Visuele controle van de constructie op houtrot, van knooppunten met betrekking tot corrosie, van scheurvorming in hout ter plaatse van knooppunten. Ook overmatige doorbuiging van het vakwerk kan een signaal voor een constructief probleem zijn.

Rekenkundige controle

Een rekenkundige controle van de knooppunten uitvoeren als er sprake is van excentrische aansluitingen. Een controle van de schematisering in de oorspronkelijke berekening of het uitvoeren van een herberekening bij vakwerken die in de praktijk doorgaand zijn uitgevoerd.

Voorbeeld

-

3 - Hout

b. Gelamineerde liggers en spanten

Constructieve fouten

Het ongesteund zijn van de binnenhoek van een gebogen of met knik uitgevoerd spant terwijl in de berekening daar ter plaatse een kipsteun is aangehouden.

Ouderdom

In een vochtig milieu kan sprake zijn van houtrot en achteruitgang van de lijmsterkte, dan kan leiden tot delaminatie of het bezwijken van een vingerlasverbinding. Ook het overmatig verouderen van lamellen in een gelamineerde houten ligger is mogelijk.

Corrosie van stalen opleggingen van spanten aan de voet als gevolg van een vochtig milieu. Bijvoorbeeld bij een driescharnierenspannt eventueel met stalen trekband.

Inspectiesignalen

Visuele controle op delaminatie en houtrot en op corrosie van stalen opleggingen eventueel inclusief stalen trekband. De stalen trekband is vaak in de grond of soms in een ander vochtig milieu aanwezig. Ook overmatige doorbuiging van de ligger of het spant kan een signaal voor een constructief probleem zijn.

Rekenkundige controle

Een controle van de schematisering in de berekening bij gebogen of met een knik uitgevoerd spant als een kipsteun in de binnenhoek ontbreekt.

Voorbeeld

Het bezwijken van de overdekte kunstijsbaan in Bad Reichenhall, Duitsland in 2006 [o]. Daarbij was onder andere sprake van fouten in de berekening en gebruik van een lijmsort die niet geschikt is voor vochtige condities.

3 - Hout

c.Houten balken belast met trek loodrecht op de vezelrichting

Constructieve fouten

Bij het ontwerpen is het effect van trekspanning in de richting loodrecht op de vezelrichting onvoldoende beschouwd, hetgeen aanleiding geeft tot het optreden van scheuren in de houten balken evenwijdig aan de vezelrichting. Dit is bijvoorbeeld het geval bij opleggingen van houten balken waar het einde van de balk is ingezaagd om deze ter plaatse van de oplegging minder hoog te maken of bij gekromde gelamineerde liggers waar bij de productie restspanningen in het hout ontstaan door de opgelegde vervorming.

Ouderdom

Naast genoemde effecten van houtrot etc. speelt hier het effect van langdurige belasting en een reductie van de sterkte gedurende de tijd ook een beperkte rol.

Inspectiesignalen

Lengte scheuren aan bij inkepingen en sparingen in (gelamineerde) balken of ter plaatse van krommingen in liggers.

Rekenkundige controle

Een controle van de trekspanningen in de richting loodrecht op de vezel.

Voorbeeld

-

4 - Metselwerk

a. Dragend metselwerk

Constructieve fouten

Het niet vol en zat verwerken van de lintvoegen in metselwerk heeft een reducerende invloed op de druksterkte van het metselwerk. De druksterkte van metselwerk wordt in grote mate bepaald door de druksterkte van de stenen, blokken of elementen die zijn gebruikt. Hierbij is echter een mogelijkheid aanwezig dat bijvoorbeeld door verwisseling, de sterkte lager is dan in het ontwerp is aangenomen.

Ouderdom

Bij dragend metselwerk dat in een binnenmilieu is toegepast is veroudering geen feitelijke bedreiging. Bij dragend metselwerk in een buitenmilieu kan achteruitgang optreden ten gevolge van vorst/dooi schade.

Inspectiesignalen

Opgemerkt wordt dat de draagkracht van dragend metselwerk in het algemeen bepaald wordt bij een aanneme dat het metselwerk gescheurd is. De aanwezigheid van scheuren alleen, is daarom geen aanwijzing voor een gebrek aan constructieve veiligheid.

Visuele controle is vooral mogelijk naar scheurvorming in het metselwerk. Het betreft hierbij vooral scheurvorming die op basis van de verwachte krachtsverdeling niet verwacht wordt, zoals scheuren evenwijdig aan de richting van de grootste drukkrachten. Bij oudere constructies waarin bogen zijn toegepast zal het optreden van scheurvorming in combinatie met het ontbreken van horizontale steun een reden zijn voor verder onderzoek.

Rekenkundige controle

Een rekenkundige controle kan met name te worden uitgevoerd in gebieden met hoge drukspanningen en bij constructies met een relatief grote slankheid.

Voorbeeld

Bezwijken van een winkelpand aan de Markt te 's-Hertogenbosch in 2016.

4 - Metselwerk

b. Niet-dragend metselwerk

Constructieve fouten

Bij niet-dragende metselwerk in een buitenmilieu, zoals buitenspouwbladen, kan door een gebrek aan dilatatievoegen en afstemming van de detaillering bij een combinatie met andere materialen zoals beton (tezamen aangeduid als gevelengineering) scheurvorming ontstaan ten gevolge van verhindering van opgelegde vervormingen. In extreme gevallen kunnen hierdoor stenen of delen van buitenbladen volledig loskomen. Ook is het mogelijk dat door corrosie van spouwankers of door het onjuist aanbrengen van spouwankers het buitenblad onvoldoende gesteund wordt.

In een binnenmilieu is het mogelijk dat niet-dragende wanden, die toch enig luchtdrukverschil moeten kunnen weerstaan onvoldoende gesteund worden door aangrenzende constructie elementen ten gevolge van het ontbreken van voldoende ankers.

Ouderdom

Tot zeer recent zijn in het algemeen gebruikt stalen spouwankers gebruikt die onvoldoende bestand zijn tegen het milieu in de spouw en zodoende doorroesten. Gecorrodeerde spouwankers zijn vooral aanwezig in west en zuid georiënteerde gevels. Schade door onvoldoende dilatatievoegen is vaak het gevolg van temperatuursveranderingen en neemt gedurende tijd steeds verder toe.

Inspectiesignalen

Opgemerkt wordt dat de draagkracht van dragend metselwerk in het algemeen bepaald wordt bij een aanname dat het metselwerk gescheurd is. De aanwezigheid van scheuren alleen, is daarom geen aanwijzing voor een gebrek aan constructieve veiligheid.

Wanden en buitenspouwbladen zijn te eenvoudig in de richting loodrecht op hun vlak te verplaatsen.

Rekenkundige controle

Een rekenkundige controle van bijvoorbeeld de weerstand van de spouwankers kan worden uitgevoerd

Voorbeeld

Met enige regelmaat bezwijken buitenspouwbladen bij woongebouwen bij een significante windbelasting.

5 – Kunststof en Composiet

a. algemeen

Constructieve fouten

Op dit moment zijn er bij de schrijvers geen schade gevallen bekend van bouwkundige of constructieve elementen in kunststof of in composiet. Dit omdat toepassing van dit materiaal nog niet erg gangbaar is en er weinig oudere gebouwen zijn waarin dit is toegepast. Het is evenwel zeer goed mogelijk dat het gebruik hiervan toe zal nemen en dat gebruikers van de NTA kunststof of composiet constructies tegen gaan komen. Deze zullen extra aandacht behoeven vanwege het bij uitvoering wellicht innovatieve karakter van de toepassing.

Ouderdom

Kunststof constructies kunnen verouderen, zeker indien ze blootgesteld worden aan verhoogde temperatuur, vocht en/of (UV-) straling. Ten gevolge van deze veroudering wordt het materiaal brosser.

Inspectiesignalen

Beschadigingen van het kunststof, bros worden, verkleuren, scheurtjes in kunststof.

Rekenkundige controle

-

Voorbeeld

-

6 - Funderingen

a. Funderingen op staal

Constructieve fouten

De constructieve problemen met funderingen etaleren zich vooral in de vorm van zettingen en dan vooral ongelijkmatige zettingen. Bezwijken van een constructie is vaak niet direct te herleiden naar ongelijkmatige zettingen maar naar het falen van andere constructie-onderdelen ten gevolge van de door de ongelijkmatig zetting veroorzaakte opgelegde vervormingen die vaak in een eerdere fase storend voor de gebruikers zijn.

Onvoldoende rekenschap gegeven van de lokale grondgesteldheid, onvoldoende draagkrachtige funderingen (te smal of te ondiep), onvoldoende toepassing van zettingsdilataties, niet voorziene ontgravingen of aanvullingen nabij de fundering.

Ouderdom

Zetting van een fundering treedt deels tijdens de bouw op, maar deels ook pas na verloop van tijd. Zeker bij kleiige gronden, waar het gedrag van de grond tijdsafhankelijk is. Tot slot wordt gewezen op het risico dat een (tijdelijke) grondwaterstandsverlaging tot bijkomende zettingen kan leiden.

Inspectiesignalen

Scheurvorming in (gemetselde) wanden, scheefstand, horizontale verplaatsing van funderingen, wijzigingen in grondwaterstand.

Rekenkundige controle

Een rekenkundige controle is vaak lastig en vergt een goed inzicht van de lastafdracht en grondkarakteristieken. Er is een hoge mate van onzekerheid van invoerparameters.

Voorbeeld

Een gekend voorbeeld van een probleem van een fundering op staal is de in [2] genoemde scheve toren van Pisa. Maar ook in Nederland zijn er veel voorbeelden van schadegevallen met funderingen op staal.

6 - Funderingen

b. Funderingen op palen

Constructieve fouten

De constructieve problemen met funderingen etaleren zich vooral in de vorm van zettingen en dan vooral ongelijkmatige zettingen. Bezwijken van een constructie is vaak niet direct te herleiden naar ongelijkmatige zettingen maar naar het falen van andere constructie-onderdelen ten gevolge van de door de ongelijkmatig zetting veroorzaakte opgelegde vervormingen die vaak in een eerdere fase storend voor de gebruikers zijn.

Onvoldoende rekenschap gegeven van de lokale grondgesteldheid, onvoldoende draagkrachtige funderingen, onvoldoende toepassing van zettingsdilataties, niet voorziene ontgravingen of aanvullingen nabij de fundering, het optreden van grondontspanning door nabij aangebrachte in de grondgevormde palen, wijzigingen in het grondwaterpeil, negatieve kleef door zettingen van hoger gelegen grondlagen.

Ouderdom

Funderingen op palen zijn veelal op vastere (zand-)lagen gefundeerd, waardoor het tijdseffect minder speelt. Uitzonderingen hierop zijn palen op kleef, palen belast door negatieve kleef uit de zetting van hoger gelegen grondlagen of paalfunderingen van hoogbouw op hogere zandlagen met daaronder zettingsgevoelige kleilagen. Aantasting van houten palen, mogelijk ten gevolge van een verlaging van de grondwaterstand, kan leiden tot een grote achteruitgang van het draagvermogen van de gehele fundering die zich in eerste instantie laat blijken door het optreden van ongelijkmatige zettingen.

Inspectiesignalen

Scheurvorming in (gemetselde) wanden, scheefstand, rotten van de palen nabij de fundering.

Rekenkundige controle

Enerzijds een goede gewicht- en stabiliteitsberekening, anderzijds een goede berekening van de draagkracht en vervorming van de toegepaste paalfundering. In gevallen waar de (ongelijke) vervorming van de palen kan leiden tot een aangepaste krachtsverdeling dient rekening gehouden te worden met de complexe interactie tussen gebouw en fundering.

Voorbeeld

Er zijn veel voorbeelden bekend van schade bij houten palen, met name door wijzigingen in de grondwaterstand waardoor palen rotten.

7 - Bouwkundig

a. Constructies en constructie-onderdelen van constructief glas

Constructieve fouten

Nikkelsulfide insluitingen in gehard glas (niet inspecteerbaar, risico uitsluitend in eerste decennium), spanningsinleiding in het glas door foutieve detaillering, scheuren in gelamineerd glas, thermische spanningen.

Ouderdom

Vooraf ongehard glas kent subkritische scheurvorming (ook wel spanningscorrosie of statische vermoeiing genoemd). Dat kan de sterkte van ouder glas verlagen maar is niet herkenbaar bij een inspectie.

Inspectiesignalen

Scheurvorming en butsen in het glas, directe aansluiting met harde constructiematerialen, condensvorming, corrosievorming in de steunconstructie.

Rekenkundige controle

-

Voorbeeld

Uitvallen van glazen platen bij luifel van de Koopgoot in Rotterdam

7 - Bouwkundig

b. Gevelelementen

Constructieve fouten

Bezwijken van het materiaal van de elementen, onvoldoende capaciteit van ankers door corrosie of uitbreken, onvoldoende rekening gehouden met lokale drukcoëfficiënten.

Ouderdom

Corrosie van ankers, vorst-dooi-schade

Inspectiesignalen

Beschadiging van elementen, corrosiesporen en beoordeling laterale stijfheid van bevestiging elementen.

Rekenkundige controle

-

Voorbeeld

Achmeatoren in Leeuwarden [12]