

Constructieve veiligheid van uitkragende galerijplaten

Tweede, herziene uitgave van
CUR-publicatie 248

Aansprakelijkheid

SBRCURnet en degenen die aan dit product hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het samenstellen van deze publicatie. Toch kan niet worden uitgesloten dat de inhoud onjuistheden bevat. De gebruiker van dit product aanvaardt daarvoor het risico. SBRCURnet sluit, mede ten behoeve van de auteurs, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van informatie uit dit product.

© SBRCURnet

Alle rechten voorbehouden. Niets van deze uitgave mag worden veeleenvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, getransformeerd tot software of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opname of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voorzover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16b Auteurswet 1912 in verbinding met het Besluit van 23 augustus 1985, Stb. 471 en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Reprorecht (Postbus 882, 1180 AW Amstelveen). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) dient u zich te richten tot: SBRCURnet, Postbus 1819, 3000 BV Rotterdam.

No part of this book may be reproduced in any form by print, photoprint, microfilm, stored in a database or retrieval system, or any other means without written permission from the SBRCURnet.

Colofon

SBRCURnet-projectmanager

Fred Jonker

Rapporteurs

M. de Jonker

D.G. Mans

S.N.M. Wijte

Vormgeving

Kasja de Jong, SBRCURnet

Dit is een uitgave van SBRCURnet en het Platform Constructieve Veiligheid

Rotterdam, oktober 2014

Artikelnummer: 673.14

Constructieve veiligheid van uitkragende galerijplaten

Tweede, herziene uitgave
van CUR-publicatie 248

SBRCURnet, Rotterdam 2014

Voorwoord

In mei 2011 is één uitkragende galerijplaat van de in 1965 gebouwde Antillenflat te Leeuwarden bezweken en zijn vervolgens enkele platen naar beneden gevallen. Putcorrosie van wapeningstaven, te lage ligging van de wapeningstaven en een hogere permanente belasting op de galerijplaat hebben na 46 jaar geleid tot het bezwijken. Onderzoek bij een aantal soortgelijke flatgebouwen heeft uitgewezen dat genoemde oorzaken ook elders aanwezig kunnen zijn. Deze vaststelling is de aanleiding geweest voor het opstellen van een protocol met achtergrondinformatie, uitgegeven als CUR-publicatie 248-2012: *Onderzoek naar en beoordeling van de constructieve veiligheid van uitkragende betonnen vloeren van galerijflats*.

Het opstellen van de publicatie van 2012 is begeleid door een commissie bestaande uit de volgende personen:

- H.N.G. Adema, Nebest
- W.C.G. Ankersmit, VBWT
- M. Balk, Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties
- D.C.W. Bezemer, Gemeente Rotterdam, COBc
- H. Doornbos, IVBN
- H. van Egmond, Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties
- J. Galjaard, ABT, VNconstructeurs
- M. Georgius, Aedes, Vereniging van woningcorporaties
- J. Gulikers, Rijkswaterstaat Dienst Infrastructuur
- M. de Jonker, SGS INTRON
- S. Lijzenga, Elkien
- D.G. Mans, Platform Constructieve Veiligheid, Meged Engineering&Consultancy
- W.G. Meilink, EconStruct
- J.P.G. Mijnsbergen, Platform Constructieve Veiligheid, CUR Bouw&Infra
- K. Oomen, VvE Belang
- R. Smeding, WoonFriesland
- K. Spoelstra Gemeente Leeuwarden
- H.P.J. Vereijken, Platform Constructieve Veiligheid, CUR Bouw&Infra
- S.N.M. Wijte, Adviesbureau ir. J.G. Hageman

Voorwoord bij de tweede, herziene uitgave

Aangezien CUR Publicatie 248-2012 gebaseerd was op onderzoeksresultaten van een relatief beperkt aantal gebouwen en de “state of the art” op dat moment weergaf, was het wenselijk deze publicatie na een periode van gebruik kritisch te beoordelen. Begin 2014 zijn de praktijkervaringen van een aantal constructie- en onderzoeksbureaus geïnventariseerd. Dit heeft geleid tot een herziene uitgave van het protocol. In de herziene uitgave wordt nadrukkelijker onderscheid gemaakt tussen uitkragende vloeren aan de galerijen en balkonzijde, zijn nuanceringen aangebracht in het onderzoek naar chloridgehalten (die een minder omvangrijk destructief onderzoek mogelijk maken) en zijn de mogelijke maatregelen naar aanleiding van een onderzoek en beoordeling benoemd. Verder zijn verduidelijkingen en verbeteringen aangebracht en zijn de belangrijkste resultaten van de, in de evaluatie betrokken, onderzoeken en beoordelingen opgenomen.

Praktijkervaringen die zijn benut bij het opstellen van de herziene uitgave van 2014 zijn ingebracht door (in alfabetisch volgorde) Bartels, Econstruct, Hageman, IOB, JVZ, Nebest en SGS Intron.

De herziene publicatie van 2014 is, evenals de uitgave van 2012, opgesteld door de heren M. de Jonker, D.G. Mans en S.N.M. Wijte.

Rotterdam, oktober 2014

Inhoud

Samenvatting 7

Summary 9

1 Inleiding 11

1.1 Aanleiding 11

1.2 Vloertype 11

**2 Beoordeling constructieve veiligheid
bestaande constructies** 13

2.1 Wet- en regelgeving 13

2.2 Risico's uitkragende vloeren 13

2.3 Onderzoek naar de genoemde risico's en de
constructieve veiligheid 14

2.4 Onderzoek bij uitkragende balkonvloeren 15

2.5 Beperken van destructief onderzoek
naar corrosie 15

2.6 Keuzes bij risicogestuurd onderzoek 17

2.7 Communicatie bewoners 17

3 Stappenplan van het onderzoek 19

3.1 Overzicht van de vijf stappen 19

3.2 Stap 1: Verkennend onderzoek vloer-
constructie en belastingen 21

3.3 Stap 2: Onderzoek naar de wapening 21

3.4 Stap 3: Constructieve beoordeling 22

3.5 Stap 4: Destructief onderzoek voor informatie
over (put)corrosie en betonkwaliteit 243.6 Stap 5: Aanvullende constructieve
beoordeling 27

**4 Maatregelen naar aanleiding van onder-
zoeken en toetsen** 29

4.1 Algemeen 29

4.2 Maatregelen 29

4.3 Communicatie bevoegd gezag 30

4.4 Veiligheid in de tijd en restlevensduur 30

Bijlage 1 Bevindingen bij uitgevoerde
onderzoeken 31

Bijlage 2 Vloeilijntheorie 35

Bijlage 3 Conversietabellen 37

Bijlage 4 Algemene informatie meetmethoden 39

Bijlage 5 Overzicht vermelde normen 42

Samenvatting

Deze publicatie omvat een herzien protocol voor het uitvoeren van onderzoek naar en beoordeling van de constructieve veiligheid van uitkragende gewapende betonvloeren van galerijflats. Het betreft hier specifiek de galerij- en balkonvloeren, die monoliet zijn verbonden aan achterliggende betonnen verdiepingsvloeren en/of gevelbalken.

Aanleiding voor het opstellen van een eerste uitgave in 2012 was het bezwijken van een galerijconstructie van de Antillenflat te Leeuwarden in mei 2011, het onderzoek naar de oorzaken hiervan en de resultaten van onderzoeken naar de constructieve veiligheid van galerijen en balkons van 11 andere flatgebouwen in Leeuwarden.

Op basis van ervaringen met het protocol bij onderzoek en beoordeling van ca. 150 woongebouwen en commentaren van gebruikers, zijn in deze herziene uitgave verduidelijkingen, wijzigingen en aanvullingen verwerkt.

Er zijn drie specifieke technische aspecten vastgesteld, die de constructieve veiligheid van uitkragende gewapende betonvloeren van galerijflats, die met name zijn gebouwd in de periode 1950 – 1970, bedreigen:

1. een lagere hoogtepositie van de bovenwaping in de vloeren dan waarvan bij het ontwerp is uitgegaan;
2. een hogere permanente belasting op de vloerplaten dan volgens het ontwerp;
3. het ontstaan van scheuren in de kritische doorsnede van de vloeren, waardoor chloriden (dooizouten) relatief eenvoudig kunnen indringen, met putcorrosie van de wapening als gevolg.

Genoemde aspecten moeten in samenhang worden beschouwd. Het eerste en tweede aspect kunnen bij constructies, waarvan berekeningen en/of tekeningen beschikbaar zijn, meestal met niet-destructieve methoden betrouwbaar worden onderzocht. Als tekeningen en berekeningen ontbreken, is beperkt destructief onderzoek nodig. Het derde genoemde aspect kan worden verkend door een beoordeling van de buigtrekspanningen en de daaruit af te leiden kans op scheuren. Een verdere beoordeling van dit aspect vereist destructieve onderzoeksmethoden, zoals het beoordelen van boorkernen, het meten van chloridengehalten en/of het uitvoeren van potentiaalmetingen.

Na een inleiding volgen in hoofdstuk 2 de achtergronden waarop het protocol is gebaseerd. Het protocol voor het uitvoeren van onderzoek is in hoofdstuk 3 stapsgewijs beschreven. Het doorlopen van het

protocol leidt uiteindelijk tot een conclusie: de constructieve veiligheid van de onderzochte en beoordeelde vloeren voldoet wel of niet aan de publiekrechtelijke eisen voor bestaande bouw. Deze eisen zijn vastgelegd in het Bouwbesluit en de aangewezen normen. Desgewenst kan op verzoek van de eigenaar bij het toetsen van de veiligheid een hoger niveau worden aangehouden. In hoofdstuk 4 zijn maatregelen beschreven welke, naar aanleiding van de resultaten van onderzoek en toetsen, kunnen worden genomen.

De bijlagen omvatten bevindingen bij eerdere onderzoeken naar de constructieve veiligheid van uitkragende betonvloeren, ervaringen met het protocol van 2012, informatie over de toepassing van de vloeilijtheorie, conversietabellen van betonkwaliteiten en betonstaalsoorten en een overzicht van meetmethoden.

Summary

This publication includes a revised protocol for assessment of the structural safety of cantilevered reinforced concrete floors of apartment buildings; it mainly concerns balconies monolithically connected to the concrete floors and / or facade beams of the apartment building.

The reason for developing a first edition in 2012 was the collapse of a balcony of the Antillenflat in Leeuwarden in May 2011, the results of the investigation into the causes of this collapse and the results of investigations into the structural safety of balconies of 11 other apartment buildings in Leeuwarden.

Based on experiences with the protocol during the assessment of 150 apartment buildings and the comments from users, clarifications, amendments and additions have been incorporated in this revised edition.

There are three specific technical aspects that threaten the structural safety of the cantilevered reinforced concrete floors of this type of apartment buildings (mainly built in the period 1950 – 1970):

1. a lower position of the upper reinforcement in the floors than assumed in the design;
2. a higher permanent load on the floors than according to the design;
3. cracks in the critical cross-section of the floors in which chlorides (de-icing salts) can easily penetrate, with pitting corrosion of the reinforcement as a result.

All these aspects should be considered in connection. The first and second aspect can be investigated with non-destructive methods if calculations and / or drawings are available. If drawings and calculations are missing, limited destructive investigations are necessary. The third aspect can be explored by assessing the probability of cracks; therefore the expected bending tension stresses can be calculated and compared with the expected bending tension strength. A further assessment of the third aspect requires destructive testing methods, such as taking out concrete cores, the measurement of chloride levels and / or potential measurements.

After an introduction in Chapter 1, the backgrounds on which the protocol is based are given in Chapter 2. The protocol for the assessment, including a step by step method to evaluate the three technical aspects that threaten the structural safety, is given in Chapter 3. Following this step by step method the assessment leads to a conclusion: the structural safety of the cantilevered reinforced concrete floors meets, or does not meet, the requirements for existing buildings as given in the Dutch building codes. On request of the owner of the building, a higher level of the requirements may be used. Chapter 4 describes the measures that can be taken as follow up of the assessment.

The appendices include findings from previous studies on the structural safety of cantilevered concrete floors, experiences with the publication of the protocol in 2012, information about the application of yield line theory, conversion tables of concrete and reinforcement steel strengths and an overview of investigation methods.

1.1 Aanleiding

In mei 2011 is één van de galerijplaten van de 5e woonlaag (9e verdieping) van de Antillenflat (bouwjaar 1965) te Leeuwarden bezweken, waardoor ook enkele platen van lager gelegen verdiepingen naar beneden zijn gevallen. Naar aanleiding van dit ongeval zijn 11 vergelijkbare flatgebouwen met uitkragende gewapende betonnen vloeren in Leeuwarden beoordeeld. Hierbij is vastgesteld dat enkele gebouwen niet voldoen aan de publiekrechtelijke eisen die in het Bouwbesluit zijn omschreven voor de constructieve veiligheid van bestaande bouw.

Een van de oorzaken hiervan is een te lage positie (ligging) van de bovenwapening in de uitkragende plaat. Dit probleem van constructieve aard is reeds beschreven in het in 1983 gepubliceerde SBR-rapport B 15-2 “Schadegevallen bij uitkragende balkons en galerijvloeren”. Dit rapport beschrijft gebouwen met galerij- en/of betonvloeren, waarbij sprake is van constructief onveilige situaties. Dat ondanks een vastgestelde veiligheid $<1,0$, de vloerplaten nog niet zijn bezweken, is volgens de betreffende onderzoekers te danken aan de buigtreksterkte van het beton. Voor een duurzaam functioneren van deze constructies kan (en mag) echter niet op een buigtreksterkte van beton worden gerekend, zodat voor soortgelijke situaties is gesteld dat corrigerende maatregelen noodzakelijk zijn.

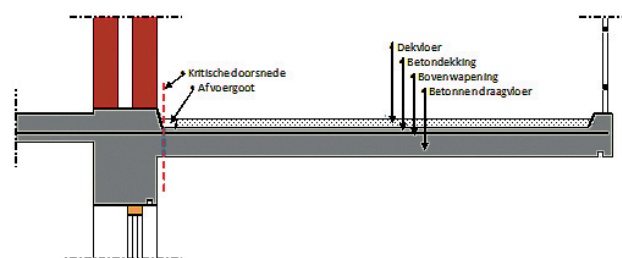
Een te lage positie van de bovenwapening is in juni 1988 ook de oorzaak geweest, dat een galerijplaat in Wormerveer van de 1e verdieping naar beneden is gekomen. Naar aanleiding van deze schade heeft IBBC-TNO destijds in 9 flatgebouwen in Wormerveer onderzoek verricht. Voor deze flatgebouwen werd een constructief onveilige situatie vastgesteld, als gevolg van “een verkeerde ligging van de wapening en het roesten van de wapening in een scheur direct naast en evenwijdig aan de gevel”.

Met het toenemen van de ouderdom van soortgelijke flatgebouwen, die met name zijn gebouwd in de periode 1950-1970, neemt de kans op bezwijken toe. Mede om deze reden is in het voorliggende protocol het op uniforme wijze onderzoeken en beoordelen van de constructieve veiligheid van uitkragende betonnen vloeren bij galerijflats beschreven.

1.2 Vloertype

De uitkragende gewapende betonnen vloeren zijn monoliet verbonden aan de achterliggende betonnen gevelbalk en/of verdiepingsvloeren van de flatwoningen. De uitkragende vloeren zijn veelal haaks op de lengterichting van de vloeren op regelmatige afstanden gedilateerd. De vloeren moeten, elk afzonderlijk, de (permanente en veranderlijke) belastingen overbrengen op de achterliggende gevelbalk en/of verdiepingsvloer.

De hoofdwapening van dit vloertype, toegepast in de richting haaks op het gevelvlak, is in principe gepositioneerd aan de bovenzijde van de uitkragende vloerplaten. Een schematisch voorbeeld van uitkragende vloeren is in figuur 1-1 weergegeven.



Figuur 1-1 Schematische weergave van uitkragende betonnen vloeren.

Beoordeling constructieve veiligheid bestaande constructies

2.1 Wet- en regelgeving

De publiekrechtelijke aanleiding voor het beoordelen van de constructieve veiligheid van (onderdelen van) bestaande bouwwerken kan divers zijn: een verbouwing, veranderend gebruik, reparatie en/of twijfel aan de actuele constructieve veiligheid. Daarnaast kan door de eigenaar, beheerder of andere betrokkene, vanuit privaatrechtelijke overwegingen, een beoordeling worden gevraagd in verband met een (financiële) waardering, een gewenste onderhoudsprognose of een risico-inventarisatie van het onroerend goed.

De wijze van bepalen van de constructieve veiligheid voor nieuwbouw wordt geregeld in normen, in het bijzonder NEN-EN 1990 e.v. (Eurocodes).

Voor het beoordelen van de constructieve veiligheid van bestaande constructies is een Nederlandse normenserie (NEN 8700 e.v.) beschikbaar, die deels nog in ontwikkeling is. Op dit moment (juli 2014) zijn NEN 8700 en NEN 8701 reeds beschikbaar. Deze normen geven de voor de Nederlandse bouw noodzakelijke aanvullingen op de Eurocodes, voor het toetsen van bestaande constructies. Via de Woningwet, het daaraan gekoppelde Bouwbesluit en Regelingen worden delen van deze normen aangewezen; deze vormen daarmee een onderdeel van de wettelijke bouwregelgeving.

Aan de hand van NEN 8700 kan de constructieve veiligheid van uitkragende vloeren worden getoetst aan het zogeheten afkeurniveau. Dit is de publiekrechtelijke minimum eis aan de constructieve veiligheid van bestaande bouwconstructies, die uitgaat van een verwachte restlevensduur van 1 jaar. Wordt niet voldaan aan deze eis voor de uiterste grenstoestand met betrekking tot bezwijken, dan moeten zo spoedig mogelijk geëigende maatregelen worden genomen.

Wanneer door de eigenaar hogere (privaatrechtelijke) eisen worden gesteld kunnen, naast de uiterste grenstoestand met betrekking tot bezwijken, ook de resterende levensduur en de vervormingen worden getoetst. De hierbij te hanteren beoogde restlevensduur is als private eis vrij te kiezen. Hierbij kunnen de vloeren bijvoorbeeld worden getoetst aan het in NEN 8700 vermelde “verbouwniveau”. Hierdoor wordt inzicht verkregen in de risico’s op een termijn langer dan 1 jaar. Ook voor het toetsen aan dit hogere (privaatrechtelijke) prestatieniveau is het protocol te gebruiken. NEN 8701 verwijst voor de aan te houden belastingen naar NEN-EN 1991-1-1. In overeenstemming met deze

norm moeten de volgende opgelegde belastingen worden aangehouden:

- Algemeen: een gelijkmatig verdeelde belasting van $2,0 \text{ kN/m}^2$ voor galerijen/ontsluitingswegen en $2,5 \text{ kN/m}^2$ voor balkons;
- Voor plaatselijke toetsingen, bij zowel galerijen als balkons:
 - een puntlast van $3,0 \text{ kN}$ (op $0,5 \times 0,5 \text{ m}^2$), of
 - een lijnlast van $5,0 \text{ kN/m}$, met een lengte van 1 meter, binnen een afstand van 0,1 meter van de vrije rand.

2.2 Risico’s uitkragende vloeren

Uit de uitgevoerde onderzoeken blijkt, dat er drie specifieke technische aspecten zijn die de constructieve veiligheid bedreigen:

- een lagere hoogtepositie van de bovenwapening in de vloeren, dan waarvan bij het ontwerp is uitgegaan, waardoor er sprake is van een kleinere hefboomsarm;
- een hogere belasting op de vloerplaten, dan waarvan bij het ontwerp is uitgegaan;
- het ontstaan van scheuren in de kritische doorsnede van de vloeren, waardoor chloriden (dooizouten) relatief eenvoudig kunnen indringen, met putcorrosie op de wapening als gevolg.

Genoemde aspecten moeten in samenhang worden beschouwd. Het eerste en tweede aspect kunnen bij constructies, waarvan berekeningen en/of tekeningen bekend zijn, meestal met niet-destructieve methoden betrouwbaar worden onderzocht. Als tekeningen en berekeningen ontbreken, is echter veelal destructief onderzoek nodig om een goede inschatting van de kans op een constructief onveilige situatie te kunnen maken. Het derde genoemde aspect kan verkend worden door een beoordeling van de buigtrekspanningen en de daaruit af te leiden kans op scheuren. Een verdere beoordeling van dit aspect vereist destructieve onderzoeksmethoden, zoals het beoordelen van boorkernen, het meten van chloridengehalten en/of het uitvoeren van potentiaalmetingen.

Een afname van het draagvermogen door een lagere ligging van de wapening en een hogere belasting spreken als risico’s voor zich. Een kleinere hefboomsarm leidt tot een lagere momentcapaciteit. Hogere belastingen resulteren in grotere optredende momenten. Een constructie die uitsluitend bezwijkt door een te lage ligging van de wapening en/of hogere

belastingen zal vooraf mogelijk kunnen waarschuwen, door een grotere doorbuiging en/ of door aftekening van scheuren. Wanneer grote doorbuigingen en scheuren worden aangetroffen, is dit op zich aanleiding om de oorzaak nader te onderzoeken.

Door aanwezigheid van scheuren is de kans op door chloriden geïnitieerde putcorrosie van het wapeningsstaal groot. Putcorrosie leidt tot het zeer lokaal afnemen van de diameter/doorsnede van de wapeningsstaven. Omdat bij deze vorm van corrosie weinig volumineuze roestproducten vrij komen, wordt (zeker bij kleinere staafdiameters), onvoldoende expansieve kracht opgebouwd om het omringende beton kapot te drukken en daarmee tijdig een waarschuwing af te geven dat het staal corrodeert. Door het lokaal afnemen van de diameter van de staaldoorsnede neemt niet alleen het draagvermogen af, maar ontstaat ook een ongunstiger bezwijkgedrag. Een wapeningsstaaf, waarbij door putcorrosie het staaloppervlak lokaal is gereduceerd, is al vanaf circa 5% vermindering van het oppervlak in de staaldoorsnede (bepalend is de verhouding tussen de treksterkte en vloeigrens / 0,2% rekgrens) niet meer in staat om voor het bezwijken enige vervorming van betekenis te ondergaan (verminderde ductiliteit). Als meerdere staven in een op buiging belaste doorsnede lokaal door putcorrosie zijn aangetast, zal de vloerplaat als geheel, voorafgaand aan het bezwijken, geen plastische vervorming meer vertonen.

Onderzoek naar de oorzaak van een afname van de staaldoorsnede als gevolg van corrosie door carbonatie van de betondekking is in dit protocol niet uitgewerkt. De kans op deze vorm van corrosie is met name aanwezig aan de onderzijde van de vloerplaten (geringe dekking, beschut gelegen). Deze corrosievorm tekent zich (in tegenstelling tot de door chloriden geïnitieerde putcorrosie) veelal af door het afdrukken van de betondekking. Wanneer deze vorm van aantasting wordt waargenomen, zal de oorzaak verder moeten worden onderzocht, om een duurzaam hersteladvies te kunnen opstellen.

2.3 Onderzoek naar de genoemde risico's en de constructieve veiligheid

Bij het beoordelen van bestaande vloeren in het flatgebouw moet voor het bepalen van de constructieve veiligheid worden uitgegaan van de feitelijk aanwezige kenmerken van de uitkragende betonnen vloeren, zoals de afmetingen, hoogteligging van de wapening, kwaliteit van het wapeningsstaal/beton en eventuele aanwezigheid van corrosie van het betonstaal. Daardoor worden, bij het beoordelen van de constructieve veiligheid van de uitkragende betonnen vloeren, de mogelijke onvolkomenheden in het ontwerp, afwijkingen tijdens de uitvoering en het eventuele onderhoud dat in de loop der jaren is uitgevoerd, betrokken. Oorspronkelijke ontwerpdocumenten kunnen, indien aanwezig, aanvullend worden gebruikt als informatiebron.

Met niet-destructieve methoden kunnen de wapeningsconfiguratie (aantal en ligging van de staven in het horizontale en verticale vlak), de afmetingen en de permanente belasting van de betonnen draagvloer en niet constructieve elementen (zoals afwerklagen) worden bepaald. De diameter van het betonstaal kan op niet-destructieve wijze slechts indicatief worden vastgesteld. De vloeigrens van het betonstaal, de kans op putcorrosie en de aanwezigheid van putcorrosie kunnen alleen op destructieve wijze worden gemeten. In bijlage 4 is een overzicht gegeven van enkele meet- en onderzoeksmethoden, die daartoe kunnen worden ingezet. Opgemerkt wordt dat de betonsterkteklasse bij op buiging belaste doorsneden, met een beperkte hoeveelheid wapening, slechts een kleine invloed heeft op het rekenkundige draagvermogen. Om deze reden is de kwaliteit van het beton van de uitkragende vloeren doorgaans van ondergeschikt belang voor het beoordelen van de constructieve veiligheid. Alleen wanneer de constructie net niet voldoet, kan het zinvol zijn de druksterkte van het beton te bepalen om na te gaan of met de aanwezige sterkte aan de eisen wordt voldaan.

Met de resultaten van het uitgevoerde onderzoek wordt de constructie, zonodig in meerdere stappen, rekenkundig getoetst aan de minimum eisen voor bestaande bouw, het afkeurniveau (referentieperiode 1 jaar), dan wel aan een met de eigenaar overeengekomen hoger niveau. Hierbij moet ervan worden uitgegaan dat iedere vloerplaat (tussen dilatatievoegen) van de uitkragende vloeren werkt als een individuele plaat. Wanneer deze platen onderling niet zijn gekoppeld, mag geen

rekening worden gehouden met herverdeling, een spreiding van de punt- of lijnlasten over meerdere, naast elkaar gelegen, platen. Elke vloerplaat afzonderlijk dient daarom aan de gestelde eisen te voldoen. Uit berekeningen van enkele in de praktijk veelvuldig voorkomende situaties met behulp van de vloeilijntheorie, blijkt overigens dat de lijnlast of puntlast niet maatgevend hoeft te zijn. Een voorbeeld van een berekening met behulp van de vloeilijntheorie is opgenomen in bijlage 2.

Op basis van het resultaat van deze, stap voor stap uitgevoerde, rekenkundige toetsen wordt één van de volgende conclusies getrokken:

- De vloeren voldoen aan de eisen voor de bestaande bouw en kunnen veilig worden gebruikt. Verder onderzoek kan, vanuit publiekrechtelijk oogpunt, achterwege blijven.
- Met een constructieve beoordeling, waarbij is gerekend met een aangenomen gereduceerde wapeningsdoorsnede (zie par. 2.5), wordt niet voldaan aan het afkeurniveau. Nader onderzoek moet worden verricht om meer informatie te verkrijgen over de constructie, voor een meer gedetailleerde beoordeling van de constructieve veiligheid.
- De vloeren voldoen, al dan niet lokaal, niet aan de eisen voor bestaande bouw, zodat op korte termijn maatregelen moeten worden genomen, zie hoofdstuk 4.

Wanneer de constructie maar net aan de eisen voldoet, is het aan te raden om aanvullend onderzoek te verrichten om inzicht te krijgen in de constructieve veiligheid gedurende de beoogde restlevensduur van het flatgebouw. Op basis van de hierbij verkregen inzichten kunnen toekomstige onderhoudswerkzaamheden worden gepland.

Wanneer een vloerplaat niet (meer) voldoet aan het afkeurniveau, betekent dit niet dat de constructie direct zal bezwijken. Het kan zijn dat de betonbuigtreksterkte zorgt voor draagvermogen (zie par. 1.1). Ook in het geval van corrosie van het wapeningsstaal, kan het nog lang duren voordat de constructie feitelijk bezwijkt. Hierbij spelen onder andere de in de berekeningen gehanteerde belasting- en materiaalfactoren en eventuele “verborgen draagwegen” een rol. Dit laat echter onverlet dat de constructie in beide gevallen op korte termijn moet worden versterkt.

2.4 Onderzoek bij uitkragende balkonvloeren

De kans op putcorrosie door (van buitenaf) ingedrongen chloriden is voor balkons doorgaans kleiner dan voor galerijvloeren. Op balkons worden dooizouten niet of slechts zeer incidenteel gebruikt. Daarom wordt de kans op putcorrosie bij balkonvloeren in het algemeen verwaarloosbaar klein geacht. Een uitzondering hierop zijn flatgebouwen direct aan de kustlijn. Hiervan is bekend dat chloriden in de zilte lucht met alle in de gevel gesitueerde bouwdelen in contact komen en capillair in onafgewerkt beton worden opgenomen. In deze situatie wordt aanbevolen om ook bij balkonvloeren de kans op putcorrosie van de wapening te beschouwen.

Andere redenen om balkonvloeren volgens dit protocol uitgebreid te beoordelen kunnen zijn:

- afwijkende (en met name grotere) afmetingen van de balkonvloeren, in vergelijking met de galerijvloeren van het betreffende flatgebouw;
- vaststelling dat de galerijvloeren in het flatgebouw niet aan de eisen voor bestaande bouw voldoen.

Vanwege de kleinere kans op putcorrosie, hoeft voor balkonvloeren slechts een deel van de onderzoeksfasen van het protocol te worden doorlopen.

2.5 Beperken van destructief onderzoek naar corrosie

Aanwezigheid van een buigscheur en van buitenaf ingedrongen chloriden resulteert in een grote kans op putcorrosie van de wapening. Om de aanwezigheid van putcorrosie van de wapening vast te stellen zijn de volgende meet- en onderzoeksmethoden beschikbaar (zie ook bijlage 4):

- boren van betonkernen om constructieve scheuren op de overgang van de uitkragende vloer naar de achterliggende betonconstructie te ontdekken;
- boren van betonkernen om het chloridenprofiel en chloridgehalte ter plaatse van de wapening vast te stellen;
- potentiaalmetingen in combinatie met lokaal vrijhakken van de wapening om corrosieactiviteit en de mate van corrosie te onderzoeken.

Bij deze methoden is in meer of mindere mate sprake van destructief onderzoek. Op basis van de huidige ervaringen wordt het verantwoord geacht om in de volgende gevallen af te zien van de genoemde destructieve meet- en onderzoeksmethoden:

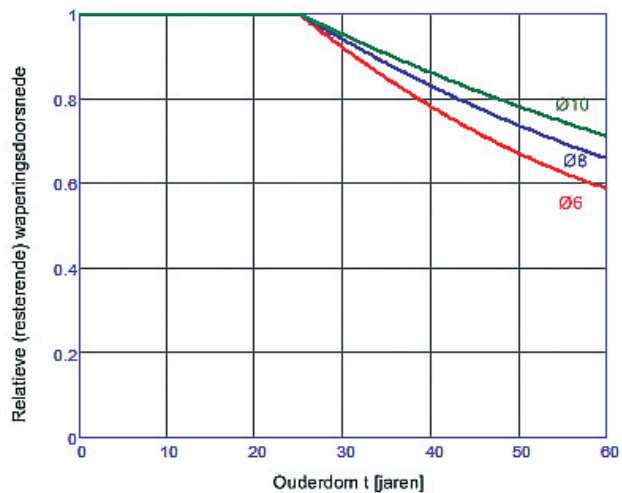
1. Betonvloeren met een relatief grote reserve in het bezwijkdraagvermogen.
Motivatie: de invloed van enige corrosie op de constructieve veiligheid bij vloeren met een overmaat aan wapening is minder groot dan bij vloeren zonder overmaat aan wapening.
2. Relatief jonge betonvloeren.
Motivatie: de ouderdom van een constructie is een belangrijke variabele bij de kans op en/of de omvang van het feitelijk optreden van corrosie.
3. Balkonvloeren.
Motivatie: het gebruik van doozout ter bestrijding van gladheid ligt niet voor de hand en daarmee is de kans op putcorrosie gering. Wanneer bij onderzoek aan de galerijvloeren scheuren en/of verhoogde concentraties chloriden zijn aangetroffen, wordt echter aangeraden de balkons ook te onderzoeken.

Voor de onder 1 en 2 genoemde gevallen is een rekenkundige benadering opgesteld om te beoordelen of kan worden afgezien van destructief onderzoek naar de kans op en/of de feitelijke aanwezigheid van corrosie. De constructie wordt hierbij berekend met een gereduceerde wapeningsdoorsnede, waarbij de reductie afhankelijk is gesteld van de ouderdom van de betonconstructie en de diameter van de wapening, zie figuur 2-1.

De grafiek in figuur 2-1 is afgeleid van de volgende arbitraire aannamen:

- Start van de corrosie na 25 jaar;
- Corrosiesnelheid van 0,05 mm per jaar, gelijkmatig rondom de staaf (afname diameter 0,1 mm per jaar);
- 50 % van de staven in de maatgevende doorsneden is aangetast door corrosie.

Benadrukt wordt dat deze reductie van de relatieve (resterende) wapeningsdoorsnede niet is gebaseerd op een wetenschappelijk onderbouwde beschrijving van het corrosieproces. Met name door chloriden geïnitieerde wapeningscorrosie kan een grillige en onvoorspelbare voortschrijding hebben. Maar met deze benadering wordt beoogd de inzet van destructieve meet- en onderzoeksmethoden te beperken tot oudere uitkragende betonconstructies waar, door een geringe of afwezige reserve in het draagvermogen, de gevolgen van enige corrosie groot zijn.



Figuur 2-1 Vermindering van de relatieve wapeningsdoorsnede.

Opmerkingen:

1. Nadat de constructie is berekend met de volgens figuur 2-1 gereduceerde wapening leidt toetsing van het draagvermogen tot een van de volgende twee conclusies:
 - Met de aangenomen reductie van wapeningsdoorsneden is onvoldoende draagvermogen volgens NEN 8700 aanwezig. Omdat dit betekent dat bij corrosie het risico van onvoldoende draagvermogen reëel wordt geacht, is nader onderzoek naar de kans op corrosie en, zo nodig, de mate waarin corrosie is opgetreden, op korte termijn noodzakelijk.
 - Met de aangenomen reductie van de wapeningsdoorsneden voldoet het draagvermogen volgens NEN 8700. Omdat het risico van onvoldoende draagvermogen op korte termijn dan voldoende klein wordt geacht, kan nader onderzoek naar de kans op en/of optredende corrosie worden uitgesteld.
2. Uit uitgevoerde onderzoeken blijkt dat een berekening met gereduceerde wapening maar in een zeer beperkt aantal gevallen leidt tot goedkeuring. Meestal wijkt de hoogteligging van de wapening reeds zodanig af van de beoogde positie, dat alsnog destructieve meet- en onderzoeksmethoden moeten worden ingezet om de kans op en/of mate van corrosie vast te stellen.
3. De uitkragende betonnen vloeren zijn veelal ontworpen volgens de GBV 1962. Indien het draagvermogen van een galerijvloer volgens de GBV 1962 voldoet en de vloer bovendien overeenkomstig het ontwerp is uitgevoerd, dan blijkt de constructie, met de hierboven afgeleide, gereduceerde wapeningsdoorsneden, meestal ook te voldoen

aan het afkeurniveau volgens NEN 8700. Dat komt onder andere door het wijzigen van de veiligheidscoëfficiënt van 1,8 uit de GBV 1962, naar de per saldo lagere combinatie van belasting- en materiaal-factoren volgens de Eurocodes en NEN 8700.

2.6 Keuzes bij risicogestuurd onderzoek

Uitgangspunt bij onderzoek volgens dit protocol is dat niet meer onderzoek wordt verricht dan noodzakelijk, om te kunnen beoordelen of de constructieve veiligheid van de uitkragende vloeren van een gebouw voldoet aan het gewenste niveau. Publiekrechtelijk is dit voor bestaande bouw het afkeurniveau conform NEN 8700. Op basis van dit uitgangspunt wordt stapsgewijs vastgesteld welke onderzoeksmethoden moeten worden ingezet, aan de hand van:

- de gegevens van de vloeren, die al bekend zijn;
- de risico's die worden onderkend;
- de informatie die over de beoordelingsaspecten beschikbaar is.

Voor elke onderzoeksmethode moet het aantal te onderzoeken vloerplaten worden vastgesteld, dat nodig is voor het doen van betrouwbare uitspraken over de constructieve veiligheid van het gehele flatgebouw. Een vloerplaat wordt daarbij gedefinieerd als het vloerdeel tussen twee dilataties of, als dit kleiner is, het vloerdeel behorende bij 1 woning.

In hoofdstuk 3 is per onderzoeksstap een richtlijn gegeven voor het aantal te onderzoeken uitkragende vloerplaten. Met name voor destructieve onderzoeksmethoden wordt gestreefd naar een minimum aantal te onderzoeken platen.

Een statistische benadering leidt, uitgaande van een willekeurige populatie, tot grote aantallen te onderzoeken platen en daarmee tot hoge kosten, een groot tijdsbeslag en overlast. In de praktijk is de populatie meestal niet willekeurig: indien een ontwerpfout is gemaakt, zal dit veelal voor alle platen gelden. Een onzorgvuldige uitvoering zal ook vaak terug zijn te vinden bij meerdere platen. Het aantal en de keuze van de locaties van de te onderzoeken platen moet daarom per flatgebouw worden bepaald aan de hand van de informatie die al beschikbaar is, de onderkende risico's en de variaties in te onderscheiden vloerplaten in het flatgebouw. De belangrijkste variabelen, die hierbij een rol spelen, worden hieronder toegelicht.

- Het aantal verdiepingen. Hoe meer verdiepingen, hoe groter de kans dat de uitvoeringswijze in de bouwfase variaties vertoont. Om deze reden wordt aanbevolen ten minste aan de bovenste en de onderste verdieping onderzoek te verrichten. Bij meer dan vier verdiepingen kunnen één of meer tussenverdiepingen bij het onderzoek worden betrokken.
- Variaties in type platen op een verdieping. Naast verschillen in lengte van de platen kan ook de locatie (naast het trappenhuis, in het midden van de uitkragende vloer of nabij de aansluiting op het noodtrappenhuis) een variatie in de uitvoeringswijze (hoeveelheid wapening) tot gevolg hebben gehad.
- Situering van de vloeren: het ontbreken van een dakplaat boven de hoogste vloer kan bijvoorbeeld tot gevolg hebben dat daar meer dooizouten worden gestrooid.

Daarnaast kunnen bijzonderheden, die tijdens het beoordelen van de vloeren worden waargenomen, aanleiding zijn om de omvang van het onderzoek uit te breiden. Hierbij moet worden gedacht aan:

- Verschillen in de detaillering / uitvoeringswijze.
- Meer dan normale doorbuiging van de platen.
- Plaatsen waar corrosieproducten uittreden of lekkages zich aftekenen.
- Aanwezigheid van scheuren in de kritische doorsnede van de vloeren.
- Eerder uitgevoerde herstelwerkzaamheden aan de vloeren.

2.7 Communicatie bewoners

Het uitvoeren van een onderzoek naar de constructieve veiligheid blijft voor bewoners veelal niet onopgemerkt. Bovendien kan een onderzoek naar de constructieve veiligheid bij bewoners een gevoel van onveiligheid oproepen. Het voorkomen van onnodige onrust onder de bewoners tijdens een onderzoeksperiode vraagt aandacht. Het is daarom raadzaam om open, transparant en zorgvuldig te communiceren met de bewoners van de flatgebouwen en eventuele andere betrokkenen. Eventueel kan een communicatiespecialist worden ingezet voor de informatieverstrekking aan de bewoners en/of het beantwoorden van eventuele vragen van de media.

Aanbevolen wordt:

- bij iedere stap in het onderzoek de bewoners te informeren over het waarom van het onderzoek,

wat er precies gaat gebeuren en wat de verwachte overlast is;

- de bewoners te informeren over de onderzoeksresultaten, zodra die bekend zijn:
 - wanneer de betonnen vloeren veilig zijn kan dit bijvoorbeeld per brief;
 - als het uitvoeren van maatregelen binnen een korte termijn nodig is, heeft veelal het organiseren van bewonersbijeenkomsten de voorkeur.

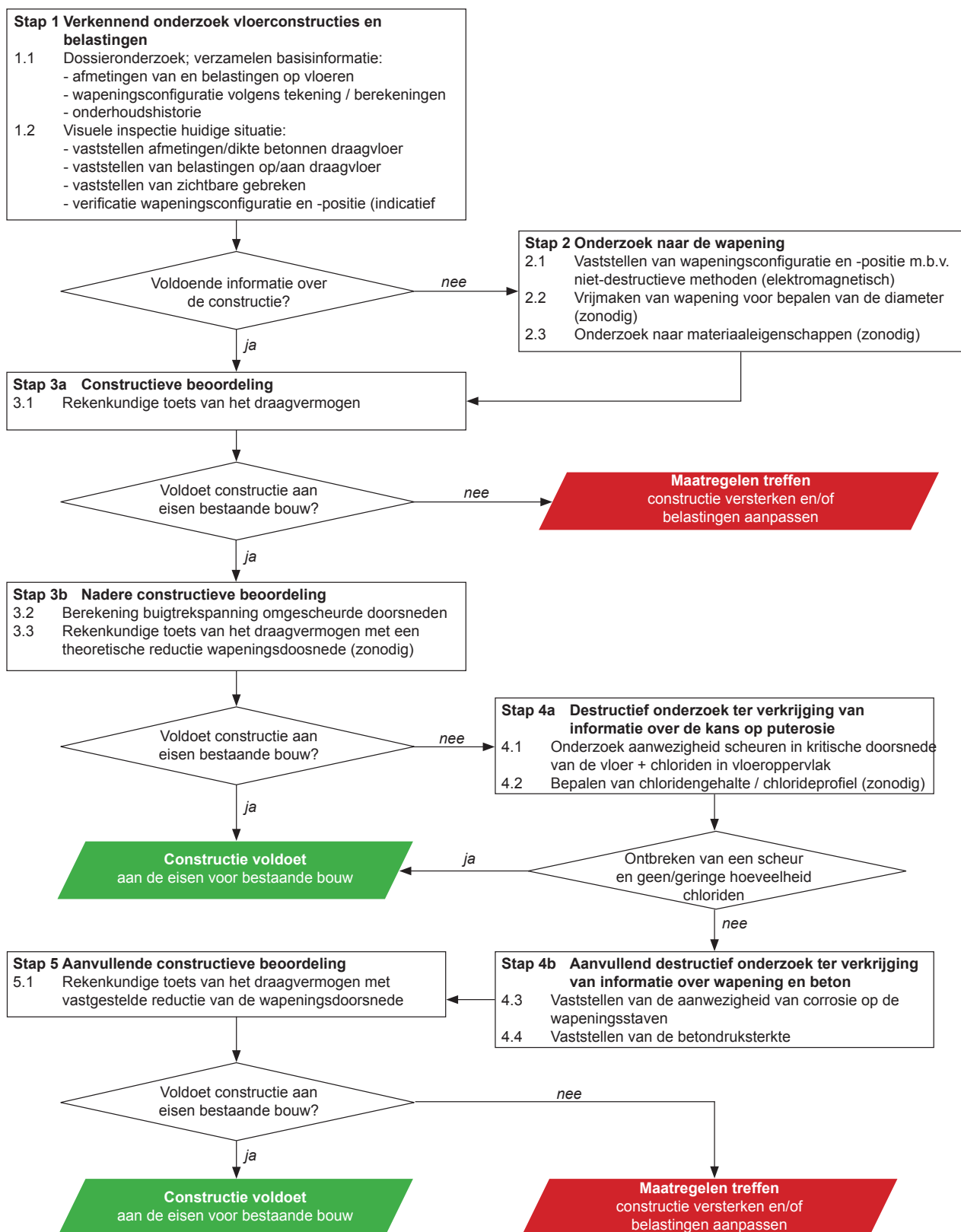
3.1 Overzicht van de vijf stappen

Het protocol voor het onderzoek is vastgelegd in een stappenplan met maximaal vijf hoofdstappen en enkele substappen. Dit stappenplan is weergegeven in het navolgende stroomschema. Geadviseerd wordt de stappen per flatgebouw te doorlopen. Wanneer meerdere flatgebouwen in één bouwstroom en door dezelfde aannemer zijn gebouwd, kan een andere onderzoeksaanpak worden overwogen. Ook kunnen specifieke omstandigheden of de hoeveelheid beschikbare gegevens van het flatgebouw een afwijkende of aangepaste aanpak noodzakelijk maken.

De omvang van de diverse onderzoeksstappen is onderstaand als richtlijn aangegeven (voor de definitie van een uitkragende vloerplaat: zie par. 2.6):

Stap 1	100% van de vloerplaten in de galerijvloeren van het flatgebouw.
Stap 2.1	10% van de vloerplaten, met een minimum van 3 vloerplaten.
Stap 2.2	Minimaal 3 staven.
Stap 2.3	Wanneer dossierinformatie over het toegepaste wapeningsstaal beschikbaar is, ten minste één trekproef per staafdiameter en per flatgebouw. Wanneer deze dossierinformatie ontbreekt, ten minste drie trekproeven aan staven afkomstig van verschillende verdiepingen.
Stap 3.1 en 3.2	Ten minste berekening van de ongunstigste combinatie van aangetroffen wapeningsconfiguratie, belastingen en materiaaleigenschappen.
Stap 3.3	Berekening uitvoeren om vast te stellen of destructief onderzoek kan worden voorkomen.
Stap 4.1	Onderzoek aan betonkernen bij 10% van de vloerplaten in de galerijvloeren. Eén kern per vloerplaat, met een minimum van 3; bij de helft van de kernen wordt het chloriden gehalte aan de bovenzijde van de vloerplaat bepaald.
Stap 4.2	Onderzoek naar het chloridgehalte bij de wapening, aan betonkernen uit 10% van de vloerplaten in galerijvloeren. Eén kern per vloerplaat, met een minimum van 3.
Stap 4.3	Onderzoek bij 5% van de vloerplaten in galerijvloeren, met een minimum van 3 vloerplaten. Het aantal ter referentie bloot te hakken staven op de meest verdachte locaties bedraagt minimaal 2.

Voor eventueel onderzoek aan balkonplaten zijn in principe alleen de stappen 1 tot en met 3.1 relevant. In verband met de bereikbaarheid/toegankelijkheid van de balkonvloeren kan worden overwogen om in eerste instantie te volstaan met de balkonvloeren die vanaf het maaiveld bereikbaar zijn. Wanneer hiermee geen eenduidig beeld van de constructieve veiligheid wordt verkregen, wordt aanbevolen om vervolgens door de bewoners de visueel zichtbare betonschades te laten inventariseren, waarna een gericht onderzoek bij 10% van de balkonvloeren met schades wordt uitgevoerd.



Figuur 3-1 Stroomschema stappenplan van het onderzoek.

Onderstaand zijn de onderscheiden stappen nader omschreven, worden mogelijke uitkomsten besproken en wordt waar nodig een toelichting en/of een motivatie gegeven.

3.2 Stap 1: Verkennend onderzoek vloerconstructie en belastingen

Stap 1.1 Dossieronderzoek:

verzamelen van informatie over het ontwerp en de bouw van de vloeren, alsmede de onderhoudshistorie gedurende de gebruiksperiode. Hierbij moet met name aandacht worden gegeven aan:

- de afmetingen ($l \times b \times d$) van en de belastingen op de vloeren;
- de wapeningsconfiguratie, staafdiameters en positie, zoals aangegeven op de tekeningen / in de berekeningen en de materiaaleigenschappen (kwaliteit) van het betonstaal;
- de in het verleden uitgevoerde onderhouds- en renovatiewerkzaamheden.

Stap 1.2 Visuele inspectie van de vloeren (inclusief afwerking):

- vaststellen/verifiëren van de aanwezige afmetingen en dikte van de betonvloeren;
- bepalen van de belastingen door aangebrachte afwerkingen en/of bouwdeelen op/aan de constructie;
- vaststellen van zichtbare gebreken zoals uitzonderlijke vervorming, aanwezigheid van scheuren, corrosiesporen, lekkages en de wijze van vochtafvoer langs de kim (goot).
- verificatie (indicatief) van de wapeningsconfiguratie (onderlinge afstand staven) en de positie/hoogteligging (ofwel de daarmee samenhangende inwendige hefboomsarm) met een wapeningsdetector.

Het stappenplan start met een verkennend onderzoek naar de vloerconstructie en belastingen en kan worden uitgevoerd door een deskundig constructie- of onderzoeksbureau, bij voorkeur in samenwerking met een technisch beheerder. Hierbij wordt een dossieronderzoek uitgevoerd. Indien constructietekeningen, bij voorkeur in combinatie met oorspronkelijke berekeningen, beschikbaar zijn, dan kan aansluitend met niet-destructieve methoden worden geverifieerd of het toegepaste aantal staven, de staafafstanden en de positie van de wapening overeenkomen met de ontwerptekeningen.

Als de indicatieve bepaling van de wapeningsconfiguratie overeenkomt met de ontwerptekeningen, dan

mag worden aangenomen dat ook de staalkwaliteit conform tekening is toegepast. De kans op afwijkende staafdiameter(s) of afwijkende staalkwaliteit wordt in dat geval voldoende klein geacht. Gebaseerd op de informatie afkomstig van de ontwerptekeningen/-berekeningen en de waarnemingen, wordt vervolgens een verkennende constructieve toets (stap 3.1) van het draagvermogen uitgevoerd. Voor de hoogteligging van de wapening mag hierbij geen hogere waarde worden aangenomen dan de kleinste per vloerplaat vastgestelde gemiddelde waarde.

Wanneer het dossieronderzoek geen of onvoldoende betrouwbare resultaten heeft opgeleverd, of de resultaten van het dossieronderzoek en de visuele inspectie niet met elkaar overeenkomen, moet voor de constructieve toets eerst onderzoek naar de wapening worden uitgevoerd (stap 2).

3.3 Stap 2: Onderzoek naar de wapening

Stap 2.1 Vaststellen / verifiëren van het aantal wapeningsstaven, de onderlinge afstand, de diameter en de hoogteligging van de wapeningsstaven met behulp van niet-destructieve methoden (elektromagnetisch, radar, zie bijlage 4).

Stap 2.2 Bij onzekerheid over de diameter van de staven moet een staaf worden aangeboord of lokaal worden vrijgemaakt om de diameter te verifiëren.

Stap 2.3 Bij onzekerheid over de eigenschappen van het wapeningsstaal moeten trekproeven worden uitgevoerd op een uit te nemen deel van een staaf of van meerdere staven. Relevante materiaaleigenschappen zijn de 0,2% rekgrens, de treksterkte en de rek bij maximale belasting.

Bij onvoldoende informatie over de aanwezige wapening is nader onderzoek noodzakelijk. Als eerste stap vinden meer geavanceerde niet-destructieve metingen plaats naar de toegepaste wapeningsconfiguratie. Ook kunnen door het vrijmaken van de wapening de staafdiameters worden geverifieerd. Bij onvoldoende informatie over de materiaaleigenschappen van het toegepaste wapeningsstaal, moet het onderzoek worden uitgebreid met trekproeven op wapeningsstaven (destructief onderzoek), die uit de constructie worden genomen. Vanzelfsprekend moeten passende maatregelen worden genomen om deze onderzoeken veilig te kunnen uitvoeren.

Met trekproeven worden de eigenschappen van het wapeningsstaal vastgesteld. Per type/diameter wapeningsstaaf moeten een of meerdere trekproeven worden uitgevoerd:

- Indien de staalkwaliteit van de wapening op beschikbare tekeningen is aangegeven moet minimaal aan één stuk wapeningsstaal, met een lengte ≥ 200 mm uit de vloerplaat, in een trekbank de treksterkte en de vloeigrens worden bepaald. Vastgesteld wordt of de aanwezige staalkwaliteit overeenkomt met de op de tekeningen gespecificeerde staalsoort. Hierbij dient bedacht te worden dat de gemeten gemiddelde vloeigrens van wapeningsstaal circa 10% hoger is dan de in de berekeningen te hanteren karakteristieke ondergrens.
- Indien geen nadere gegevens van de toegepaste staalkwaliteit beschikbaar zijn, of wanneer het noodzakelijk is om betrouwbaar de treksterkte, de vloeigrens en de vervorming bij maximale kracht vast te stellen, moeten ten minste drie stukken wapeningsstaal met een lengte ≥ 300 mm uit de vloerplaten worden genomen.

De te beproeven staafmonsters moeten bij voorkeur op een minder kritische plek (dus niet nabij de kritische doorsnede ter plaatse van de gevellijn), uit de vloerplaat worden genomen. De monsters wapeningsstaal dienen te worden beproefd conform NEN-EN-ISO 15630-1. Het bepalen van de karakteristieke ondergrens van de vloeigrens kan met behulp van de methode beschreven in bijlage D van NEN-EN 1990.

Toelichting stap 2.3:

Het uiterlijk van betonstaal (glad / geribd) kan een indicatie zijn voor de kwaliteit. Gladstaal kan echter een hogere vloeigrens bezitten dan de indertijd gebruikelijk voorkomende rekenwaarden van 220 N/mm^2 (QR22), respectievelijk 240 N/mm^2 (QR24). Ook geprefabriceerde wapeningsnetten worden vaak gekenmerkt door een hogere vloeigrens.

Met de resultaten van deze onderzoeken kan de constructieve toets van het draagvermogen worden uitgevoerd (stap 3).



Figuur 3-2 Radarmeting aan onderzijde galerijvloer.



Figuur 3-3 Verificatie wapening vanaf bovenzijde galerijvloer.

3.4 Stap 3: Constructieve beoordeling

Stap 3.1 Eerste verkennende rekenkundige toets van het draagvermogen, op basis van de bij stap 1 en zonodig stap 2 aangetroffen wapeningsconfiguratie en materiaaleigenschappen van het betonstaal.

Stap 3.2 Berekening van de maximale buigtrekspanning in de kritische, ongescheurde betondoorsneden onder invloed van de karakteristieke belastingcombinatie.

Stap 3.3 Rekenkundige toetsing van het draagvermogen, waarbij een arbitrair vastgestelde reductie van de wapeningsdoorsnede in verband met mogelijke (put) corrosie wordt ingevoerd.

Bij de eerste rekenkundige toets (stap 3.1) worden de resultaten van het dossieronderzoek (stap 1) en het eventuele onderzoek naar de wapening (stap 2) als uit-

gangspunten gehanteerd. De resultaten van onderzoek naar de in het werk aanwezige situatie vervangen hierbij eventuele bevindingen tijdens het dossieronderzoek. De resultaten van onderzoek in het werk mogen maximaal per vloerplaat worden gemiddeld.

Bij het uitvoeren van de rekenkundige toets moeten alle voorgeschreven opgelegde belastingen worden beschouwd. Bij het beoordelen van het effect van de lijn- en puntlast kan enige spreiding in rekening zijn gebracht. De mate van spreiding kan zijn bepaald door het toepassen van de vloeilijntheorie. In bijlage 2 van deze publicatie zijn daarvoor verdere aanwijzingen opgenomen.

Als uit de eerste rekenkundige toets (stap 3.1) blijkt, dat de vloeren niet voldoen aan de eisen bestaande bouw, zoals in NEN 8700 als afkeurniveau is beschreven, moeten op zeer korte termijn maatregelen worden genomen (zie hoofdstuk 4 voor in aanmerking komende maatregelen). Verder onderzoek kan mogelijk nog wel bijdragen aan de keuze van de te nemen maatregelen om de constructieve veiligheid te corrigeren.

Toelichting 1 stap 3.1

Voor conversie van de eigenschappen van de betons-terkteklassen en betonstaalsoorten, zoals deze bij het ontwerp zijn gebruikt, naar de eigenschappen volgens NEN-EN 1992-1-1 (Eurocode 2) zijn in bijlage 3 conversietabellen aan dit protocol toegevoegd.

Indien de eerste rekenkundige toets uitwijst dat de balkonplaten voldoen aan de eisen bestaande bouw:

- worden, in geval van galerijvloeren, vervolgens de buigtrekspanningen in de ongescheurde doorsneden bepaald (stap 3.2), om de kans op de aanwezigheid van scheuren in de vloerplaten te schatten;
- kan, bij beoordeling van balkonvloeren, het onderzoek worden afgesloten met de conclusie dat de constructieve veiligheid voldoet aan de eisen voor bestaande bouw.

Toelichting 2 stap 3.1

Omdat er doorgaans op balkons niet met dooizouten gestrooid wordt en zodoende de kans op chloridenbelasting significant lager is dan bij galerijen, is voor balkons verondersteld dat de kans op door chloriden geïnitieerde corrosie zodanig klein is dat hiermee bij de beoordeling van de constructieve veiligheid geen

rekening hoeft te worden gehouden. De beoordeling van balkons bestaat daardoor uitsluitend uit de toets van het draagvermogen volgens stap 3.1.

De grootste kans op het optreden van putcorrosie is aanwezig bij een combinatie van scheuren in de kritische zone van de vloerplaat en het van buitenaf indringing van chloriden via deze scheur. Putcorrosie impliceert een constructief onveilige situatie. Een gerichte visuele inspectie geeft doorgaans geen informatie over de aanwezigheid van scheuren en/of putcorrosie. Ook zijn er geen niet-destructieve onderzoeksmethoden beschikbaar, die hier voldoende informatie over geven. Alleen met destructief onderzoek kan hierover relevante informatie worden verzameld.

Om te voorkomen dat onnodig veel destructief onderzoek wordt ingezet, is in dit protocol gekozen voor een rekenkundige benadering van de kans op het ontstaan van scheuren in het beton (stap 3.2) en het bepalen van de invloed van enige corrosie op het draagvermogen (stap 3.3). Als de resultaten van berekeningen aangeven, dat de kans op scheuren in de kritische zone zeer klein is, is ook de kans op putcorrosie dus klein en mag worden afgezien van destructief onderzoek. Wanneer deze kans op scheuren niet zeer klein is, maar de invloed van enige corrosie op het draagvermogen (een arbitrair vastgestelde reductie van de wapeningsdoorsnede) relatief gering is, kan op dat moment worden afgezien van destructief onderzoek. Op termijn moet dan wel destructief onderzoek naar de staat van de wapening worden verricht. Dat kan bijvoorbeeld gelijktijdig met een gepland regulier onderhoud worden uitgevoerd.

In stap 3.2 wordt de kans op het ontstaan van scheuren in de vloerplaten beoordeeld. Er zijn geen buigscheuren te verwachten, als de buigtrekspanningen bij de karakteristieke belastingscombinaties kleiner zijn dan de hierna gedefinieerde buigtreksterkte. Voor het bepalen van de buigtreksterkte moet zijn uitgegaan van de sterkteklasse zoals vermeld in de ontwerpdocumenten. Als de sterkteklasse onbekend is, mag niet van een hogere betonsterkteklasse dan C16/20 worden uitgegaan.

In verband met o.a. spanningen, die worden veroorzaakt door verandering van opgelegde vervormingen ten gevolge van krimp- en temperatuurinvloeden, wordt de gedefinieerde buigtreksterkte gelijk gesteld aan 0,8 maal de karakteristieke ondergrens van de buigtreksterkte ($f_{ctk,0,05}$) volgens NEN-EN 1992-1-1, met een maximum van 1,6 N/mm².

Indien de maximale buigtrekspanningen onder invloed van de karakteristieke belastingcombinatie kleiner of gelijk zijn aan deze grenswaarde van de buigtreksterkte, wordt de kans op scheuren en de daarmee gepaard gaande kans op chloriden geïnitieerde putcorrosie gering geacht. Daarmee wordt geconcludeerd dat de constructie voldoet aan de eisen bestaande bouw en dat de kans op onvoldoende draagvermogen door corrosie van wapening bij een scheur in het beton voldoende klein wordt geacht.

Als de optredende buigtrekspanning onder invloed van de karakteristieke belastingcombinatie groter is dan de grenswaarde van de buigtreksterkte, dan is de kans op scheuren en indringing van chloriden reëel. Als volgende stap moet dan de invloed van enige putcorrosie op het draagvermogen rekenkundig worden onderzocht (stap 3.3). Hierbij wordt getoetst of bij een arbitrair vastgestelde (theoretische) gereduceerde wapeningsdoorsnede het draagvermogen van de vloerplaten ook voldoet aan de eisen voor bestaande bouw. De in rekening te brengen reductie van de wapening is gemotiveerd in paragraaf 2.4.

Indien de rekenkundige toets van het draagvermogen van de vloerplaten met de (theoretisch) gereduceerde wapeningsdoorsneden voldoet aan de eisen voor bestaande bouw, is de conclusie dat op dit moment wordt voldaan aan de publiekrechtelijke eis. De kans dat putcorrosie de wapeningsstaven al zover heeft aangetast dat het draagvermogen van een plaat, lokaal of over de gehele lengte, niet meer voldoet aan het afkeurniveau wordt dan namelijk, op basis van huidige kennis en ervaring, zeer klein geacht.

Toelichting stap 3.3

Een volledige zekerheid over het al dan niet optreden van putcorrosie wordt met het onderzoek in stappen 1 tot en met 3 niet verkregen. Bovendien wordt opgemerkt dat voor constructies, die bij de toets volgens stap 3.3 maar niet voldoen aan het afkeurniveau, de invloed van corrosie op de constructieve veiligheid groot is. Elke verdere doorsnedevermindering van de wapening zal immers leiden tot een lager draagvermogen, waardoor na enige tijd de constructie niet meer zal voldoen aan het afkeurniveau. Publiekrechtelijk wordt voor toetsen van bestaande bouw gekeken naar de staat van de constructie op het betreffende moment. Privaatrechtelijk is het aan te bevelen om niet alleen het afkeurniveau op het betreffende moment te toetsen, maar ook de constructieve

veiligheid gedurende de beoogde restlevensduur te beoordelen. Dit kan een reden zijn om binnen een bepaalde termijn toch nader destructief onderzoek te verrichten naar de omvang van eventueel aanwezige putcorrosie.

Wanneer bij deze rekenkundige toets niet kan worden geconcludeerd dat de constructie voldoet aan de eisen voor bestaande bouw, moet op korte termijn nader destructief onderzoek naar de kans op putcorrosie (stap 4) worden uitgevoerd.

3.5 Stap 4: Destructief onderzoek voor informatie over (put) corrosie en betonkwaliteit

Stap 4.1 Om vast te stellen of de vloeren ter plaatse van en evenwijdig aan de inklemming van de uitkragende vloerplaten zijn gescheurd, worden in de kritische doorsnede (tussen de wapeningsstaven door) kernen uit de betonnen vloer geboord. De kernen worden beoordeeld op aanwezigheid van scheuren en/of chloriden aan de bovenzijde van de vloerplaat.

Stap 4.2 Bij aanwezigheid van scheuren en/of chloriden (stap 4.1), moet het chloridgehalte op de diepte van de wapeningsstaven ter plaatse van de inklemming van de uitkragende vloerplaten worden bepaald, aan de hand van de bij stap 4.1 geboorde kernen.

Stap 4.3 Na het vaststellen van een hoog chloridgehalte wordt, door middel van potentiaalmetingen een plaats met een relatief grote kans op corrosieactiviteit van het wapeningsstaal nader beoordeeld. Op deze plaats wordt de wapening vrijgehakt en wordt door visuele inspectie gecontroleerd of corrosie is opgetreden en zo ja, in welke mate.

Indien het draagvermogen met een (theoretische) gereduceerde wapeningsdoorsnede niet voldoet aan de eisen aan bestaande bouw, dan is destructief onderzoek noodzakelijk om de grootte van de kans op corrosie te kunnen bepalen. Hierbij moet worden vastgesteld of er een buigscheur in de kim (kritische zone) van de vloerplaat is ontstaan en/of chloriden in het beton zijn ingedrongen en/of het wapeningsstaal hebben bereikt.

Als ter plaatse van (en evenwijdig aan) de kim, aan de bovenzijde van de uitkragende vloerplaat, een scheur aanwezig is, kunnen chloriden (afkomstig van bijvoor-

beeld dooizouten) relatief eenvoudig, snel en mogelijk over een grotere lengte van de kritische doorsnede van de vloerplaat de hoofdwapeningsstaven bereiken. Wanneer scheuren en chloriden reeds lange tijd aanwezig zijn, is de kans groot dat inmiddels meerdere staven zijn aangetast door chloriden geïnitieerde corrosie.

Scheuren in de kritische doorsnede zijn visueel veelal niet of ten minste moeilijk waarneembaar. Deze scheuren worden namelijk vaak door een dekvloer en/of een (naderhand aangebrachte) vloercoating aan het zicht onttrokken. Om deze reden is destructief onderzoek (stap 4.1) noodzakelijk. Uit de kritische doorsnede worden betonkernen geboord, waarna:

- deze boorkernen worden beoordeeld op aanwezigheid van buigtrekscheuren;
- bij enkele van deze kernen het chloridengehalte in de bovenzijde van de betonnen vloerplaat wordt bepaald.

Indien bij stap 4.1:

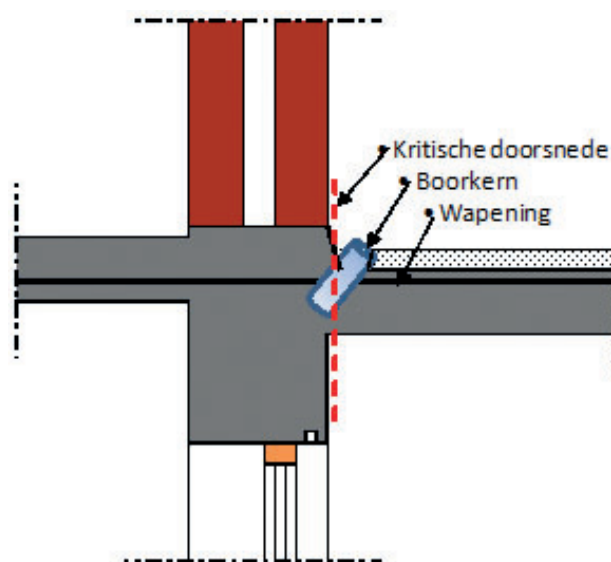
- er geen buigtrekscheuren worden aangetroffen en
- het chloridengehalte (m/m) in de bovenzijde van de vloerplaat kleiner is dan 0,4% van het cementgewicht, dan wordt de kans op putcorrosie in de wapening ter plaatse van de kritische doorsnede voldoende klein geacht en mag worden aangenomen dat putcorrosie het draagvermogen niet heeft aangetast. In deze situatie is geen nader onderzoek nodig en wordt geconcludeerd dat de vloeren voldoen aan de eisen voor de bestaande bouw.

Toelichting stap 4

Over het algemeen geldt dat, bij een percentage chloriden in ongescheurd beton nabij de wapeningsstaven groter dan 1% ten opzichte van de cementmassa, de kans op putcorrosie aanzienlijk is. Bij waarden onder de 0,4% is de kans klein. Bij aanwezigheid van scheuren kunnen chloriden direct in contact komen met wapeningsstaal en plaatselijke corrosie tot gevolg hebben. In combinatie met een te lage positie van het wapeningsstaal heeft putcorrosie in de hoofdwapening nagenoeg altijd een constructief onveilige situatie tot gevolg.

Voor het onderzoek naar buigtrekscheuren en het aanwezige chloridengehalte worden kernen (diameter maximaal 50 mm) uit het beton geboord, onder een hoek met het vloeroppervlak. De kernen worden (tussen de wapeningsstaven door) door de kritische doorsnede (overgang van de achterliggende betonnen

gevelbalk / verdiepingsvloer naar de uitkragende vloer – “kim”) en tot voorbij de wapeningsstaven geboord. Voor onderzoek naar het chloridengehalte wordt monstermateriaal verzameld, door uit de kern een schijf (hoogte 10 mm) te zagen ter hoogte van de te onderzoeken diepte. Na slijpen of verbrijzelen tot de fijnheid van boorstof, wordt van deze stofmonsters in overeenstemming met NEN-EN 14629:2007 (Determination of chloride content in hardened concrete) de massapercentages chloriden en cement in de betonmassa geanalyseerd. Met deze meetresultaten wordt vervolgens per monster het chloridengehalte (m/m) berekend ten opzichte van de hoeveelheid cement in het beton.



Figuur 3-4 Bijschrift ?????????

Toelichting stap 4.1

Wanneer het aantal geboorde kernen oneven is, moet het aantal (de helft) kernen voor onderzoek naar het chloridengehalte aan de bovenzijde van de vloerplaat naar boven worden afgerond. Voor het berekenen van het chloridengehalte ten opzichte van het cementgewicht, mag het chloridengehalte, bepaald op het monstergewicht, met een factor 8 worden vermenigvuldigd.

Indien een buigtrekscheur ter plaatse van en evenwijdig aan de inklemming van de uitkragende platen wordt vastgesteld, of wanneer het chloridengehalte aan de bovenzijde van de vloerplaat groter is dan 0,4%, is nader onderzoek naar de kans op corrosie noodzakelijk (stap 4.2). Hierbij wordt aan alle bij fase 4.1 geboorde kernen het chloridengehalte in de scheur of, indien het beton niet gescheurd is, ter hoogte van de hoofdwapening bepaald.

Toelichting stap 4.2

Voor het berekenen van het chloridgehalte ten opzichte van het cementgehalte, moet het cementgehalte in de betonnen kernen worden bepaald. Het is toegestaan het cementgehalte te bepalen aan de hand van zogeheten mengmonsters van gelijke typen galerijplaten.

Een vergelijking van de chloridgehalten aan de bovenzijde van de vloerplaat en ter hoogte van de wapening kan antwoord geven op de vraag of de aanwezige chloriden in het beton van buitenaf zijn ingedrongen, dan wel zijn ingemengd. De hoeveelheid chloriden geeft informatie over de kans op corrosie (nu en op termijn).

Wanneer bij stap 4.2 wordt vastgesteld dat op de diepte van de wapening en/of in een scheur het chloridgehalte groter is dan 0,4%, is verder destructief onderzoek naar de aan- of afwezigheid en de mate van corrosie noodzakelijk (stap 4.3).

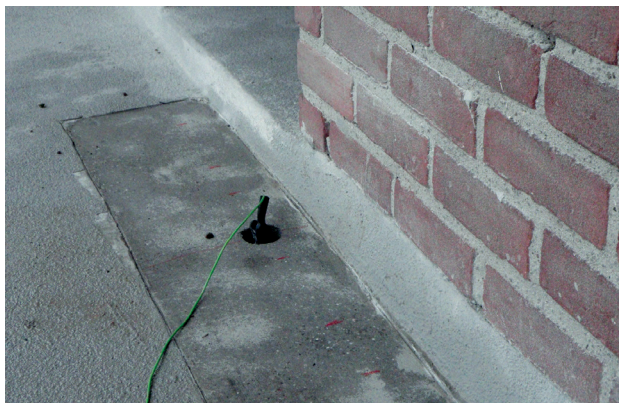
Bij stap 4.3 wordt aan de hand van potentiaalmetingen vastgesteld, op welke locatie langs de kim/gevel over de gehele lengte van een vloerplaat de grootste corrosieactiviteit plaatsvindt. Voor een betrouwbare meting moeten, ter plaatse van de uit te voeren metingen, eventuele afwerklagen worden verwijderd, moet het beton worden bevochtigd en moet zeker zijn gesteld dat de wapeningsstaven in het meetveld elektrisch continu met elkaar zijn verbonden. Op de door potentiaalmetingen bepaalde locatie met de grootste kans op corrosieactiviteit moet de hoofdwapening worden vrijgemaakt. Dit kan bijvoorbeeld door ter plaatse over de wapeningsstaaf een kernboring uit te voeren. De feitelijke omvang van de opgetreden corrosie moet worden vastgesteld en er wordt een schatting gemaakt van de door corrosie gereduceerde staaldoorsnede van de overige staven.

Toelichting stap 4.3

Wanneer de wapeningsstaven in het meetveld niet elektrisch continu met elkaar zijn verbonden, levert de potentiaalmeting geen bruikbaar resultaat op. Ook worden de metingen beïnvloed door aanwezigheid van scheuren en/of verschillen in vochtgehalte en chloridenconcentraties in het meetveld. Wanneer de potentiaalmetingen een goed beeld geven van de mate van corrosieactiviteit, kunnen op basis van deze meetgegevens conclusies over de constructieve veiligheid in de (nabije) toekomst worden getrokken.



Figuur 3-5 Destructief onderzoek corrosie wapeningsstaal.



Figuur 3-6 Potentiaalmeting om corrosieplaats te detecteren.

Wanneer de constructieve veiligheid volgens de berekeningen net wel of net niet voldoet, kunnen meer gedetailleerde berekeningen worden uitgevoerd. Hierbij kan ook een hogere betondruksterkte een beperkte aanvullende bijdrage leveren. Alleen wanneer de constructie net niet voldoet, kan het functioneel zijn om in stap 4.4. de druksterkte van het beton te bepalen als input voor de constructieve berekeningen. Op basis van de verkregen gegevens moet een eindoordeel over de kans op een constructief onveilige situatie worden gegeven, waarbij het draagvermogen wordt getoetst aan de eisen bestaande bouw (stap 5).

3.6 Stap 5: Aanvullende constructieve beoordeling

Stap 5.1 Indien corrosie is opgetreden wordt het draagvermogen getoetst, uitgaande van de bij het nader onderzoek vastgestelde, gereduceerde wapeningsdoorsneden.

Als de berekening van het draagvermogen met de in het werk vastgestelde reductie van de wapeningsdoorsneden voldoet aan de eisen bestaande bouw, zijn op korte termijn geen maatregelen nodig. De vloeren kunnen vooralsnog veilig worden gebruikt.

Wel moet ervan worden uitgegaan dat het corrosieproces door de aanwezigheid van chloriden op enig moment zal beginnen, of, indien al gestart, door zal gaan. Op termijn zullen dan maatregelen wel noodzakelijk worden. Gewezen wordt op de kans op plotseling bezwijken van betonconstructies, waarin de wapening door putcorrosie lokaal is aangetast. Door deze lokale aantasting wordt de rek bij breuk van de wapening fors verminderd, waardoor ook de vervormingscapaciteit van de betonconstructie teniet wordt gedaan.

Wanneer uit de berekening blijkt dat de vloeren niet voldoen aan de eisen bestaande bouw volgens NEN 8700, moeten op zeer korte termijn maatregelen worden genomen (zie hoofdstuk 4).

Maatregelen naar aanleiding van onderzoeken en toetsen

4

4.1 Algemeen

Wanneer is vastgesteld dat één of meerdere vloerplaten niet voldoen aan het afkeurniveau volgens NEN 8700, dan moeten op korte termijn maatregelen worden genomen. Het flatgebouw voldoet immers niet meer aan de wettelijke bouwregelgeving.

De volgende technische aspecten spelen een rol bij de keuze van te nemen maatregelen en de termijn waarbinnen die moeten worden genomen:

- het aantal vloeren of vloerplaten van de steekproef, waar het vereiste prestatieniveau niet wordt gehaald;
- de oorzaak of oorzaken van het niet halen van het vereiste prestatieniveau (verhouding tussen de capaciteit en het effect van de gelijkmatig verdeelde belasting, een te lage ligging van de wapening, aanwezigheid wapeningscorrosie, et cetera);
- het te verwachten bezwijkgedrag (bros breukgedrag zonder waarschuwing of plastisch breukgedrag, waarbij een constructie alvorens te bezwijken waarschuwt door scheuren en/of zichtbare doorbuiging).

De te nemen maatregelen zijn theoretisch beschouwd alleen nodig voor de platen die niet voldoen aan het afkeurniveau. Anderzijds impliceert onderzoek aan de hand van een steekproef dat niet onderzochte platen een ongunstiger prestatieniveau kunnen bezitten dan de onderzochte platen.

Met name wanneer geen corrosie is waargenomen, kan door niet-destructief onderzoek vrij eenvoudig het prestatieniveau van de niet onderzochte vloerplaten worden onderzocht. Om na te gaan of de omvang van de te nemen maatregelen kan worden beperkt tot een deel van de vloerplaten, is het daarom veelal zinvol om de omvang van het onderzoek uit te breiden, bijvoorbeeld door stap 2.1 op te schalen van 10% naar 100% van de galerijvloeren.

Is er wel corrosie aangetroffen, dan kan alleen nader destructief onderzoek een antwoord geven op de vraag of de te nemen maatregelen kunnen worden beperkt tot een deel van de platen. Gezien de hiervoor noodzakelijke inspanningen, is het uitvoeren van corrigerende maatregelen aan alle vloerplaten veelal een economisch gunstiger aanpak. Zeker wanneer hierbij wordt betrokken dat het reëel is aan te nemen dat de omvang van de corrosie, zonder het nemen van maatregelen, in de tijd toeneemt.

4.2 Maatregelen

De maatregelen kunnen bestaan uit:

- constructieve maatregelen;
- lastbeperkingen;
- buiten gebruik stellen.

In aanmerking komende constructieve maatregelen zijn onder meer:

- het aanbrengen van een andere/extra draagweg, bijvoorbeeld door het aanbrengen van in te lijmen wapening of het plaatsen van kolommen;
- het aanbrengen van dwarskrachtkoppelingen ter plaatse van de dilataties (alleen effectief indien de lijn- of puntlast maatgevend is);
- het verlagen van de belastingen op de vloerplaten, bijvoorbeeld door het verwijderen van afwerkklagen en/of gemetselde borstweringen.

Voor de korte termijn kunnen stempels worden geplaatst. Het verdient aanbeveling om de stempels te ontwerpen als steunpunt van een aan de andere zijde ingeklemde ligger (vloerplaat). De capaciteit van de inklemming kan hierbij worden gebaseerd op de reële waarde van de momentcapaciteit. Indien de constructieve maatregelen bedoeld zijn voor de langere termijn, dan moet worden aangetoond dat de constructieve veiligheid met deze maatregelen ten minste voldoet aan het verbouwniveau volgens NEN 8700.

Wanneer de vloerplaten aantoonbaar voldoen aan het afkeurniveau voor bestaande bouw, maar wel corrosie van het wapeningsstaal is vastgesteld, kan het aanbrengen van een kathodisch beschermingsysteem bijdragen aan het zekerstellen van de constructieve veiligheid, ook op termijn.

Lastbeperkingen kunnen een effectieve maatregel zijn voor de korte termijn en zullen uit praktische overweging per verdieping of voor het gehele flatgebouw worden genomen. Het doorvoeren en handhaven ervan is echter niet eenvoudig. Gaat het alleen om de voorgeschreven lijnlast en puntlast, dan kan worden gedacht aan meldingsplicht en instructie bij onderhoud en bij verhuizingen, in beide gevallen gevolgd door voldoende toezicht hierop. Als ook de gelijkmatig verdeelde belasting moet worden beperkt, zijn uitgebreide voorlichting en instructie aan de bewoners noodzakelijk. Voor min of meer openbare galerijvloeren moeten daarbij ook waarschuwingen in de vorm van bordjes met vermelding van een maximaal toelaatbare belasting per galerijvloer in kg en/of een maximale

vloerbelasting in kg/m² duidelijk zichtbaar worden aangebracht. Bij het nemen van lastbeperkende maatregelen zal per geval moeten worden bekeken gedurende welke periode een onderschreden afkeurniveau acceptabel is. Daarbij zullen ook andere, niet technische omstandigheden een rol spelen.

4.3 Communicatie bevoegd gezag

De eigenaar van het gebouw is te allen tijde verantwoordelijk voor de constructieve veiligheid en het voldoen van het gebouw aan het Bouwbesluit. Wanneer wordt vastgesteld dat een flatgebouw niet aan de eisen voor bestaande bouw voldoet, dient de eigenaar van het gebouw de formele communicatie met het bevoegd gezag te voeren. Het is mogelijk dat de eigenaar deze taak delegeert aan zijn adviseur.

4.4 Veiligheid in de tijd en restlevensduur

Een onderzoek en beoordeling volgens dit protocol geeft de actuele stand van zaken weer. Er wordt getoetst of, op het moment van beoordelen, wordt voldaan aan de eisen voor bestaande bouw (afkeurniveau volgens NEN 8700). Wanneer aan deze (minimum) eisen wordt voldaan hoeven er geen maatregelen te worden getroffen.

Wanneer tijdens het onderzoek geen corrosie van het wapeningsstaal is aangetroffen, zijn er geen bijzonderheden vastgesteld die van invloed zijn op de restlevensduur van de vloerplaten in het flatgebouw. Het periodiek herhalen van het onderzoek is daarom niet noodzakelijk.

Indien tijdens het onderzoek corrosie van het wapeningsstaal is vastgesteld en/of wanneer waarnemingen zijn gedaan, waardoor op termijn corrosie moet worden verwacht (bijvoorbeeld een verhoogd gehalte chloriden in het beton), is dit direct van invloed op de constructieve veiligheid in de toekomstige tijd en daarmee op de restlevensduur. Om deze reden moet de eigenaar van het flatgebouw, vanuit zijn zorgplicht, periodiek de veiligheid van de uitkragende vloeren opnieuw (laten) beoordelen.

De periode waarna een nieuwe beoordeling moet plaatsvinden, is mede afhankelijk van de resultaten van

de eerder uitgevoerde beoordeling. Als de onderzoeksresultaten uitwijzen dat maar net wordt voldaan aan de eisen voor het afkeurniveau, zal dit eerder noodzakelijk zijn dan in een situatie waarbij ruimschoots aan de (publiekrechtelijke) eisen voor bestaande bouw wordt voldaan.

Wanneer bij de beoordeling het afkeurniveau als toetsingscriterium is gehanteerd (voldoende veilig voor 1 jaar), moet formeel beschouwd maximaal binnen 1 jaar de constructie opnieuw worden beoordeeld. Afhankelijk van de resultaten van het reeds uitgevoerde onderzoek kan deze beoordeling zich richten op de voortgang van het corrosieproces en/of kunnen andere vloerplaten worden onderzocht. Wanneer de constructieve veiligheid is getoetst aan het zogeheten verbouwniveau volgens NEN 8700 kan een langere periode tot de volgende beoordeling worden vastgesteld. De constructeur en materiaalkundige zullen zich moeten uitspreken over een te verwachten levensduur en bijbehorende inspectie.

Bijlage 1 Bevindingen bij uitgevoerde onderzoeken

Antillenflat

In mei 2011 is één galerijplaat van de 5e woonlaag (9e verdieping) van de Antillenflat (bouwjaar 1965) te Leeuwarden bezweken en naar beneden gevallen. Door de val van deze galerijplaat zijn ook de galerijplaten van de eronder gelegen galerijvloeren op de 4e tot en met de 1e woonlaag bezweken.

Bij een eerste onderzoek naar de oorzaak van het bezwijken is vastgesteld dat de wapeningsdoorsnede ter plaatse van de aansluiting van galerijplaat op de achterliggende betonconstructie door corrosie geminimaliseerd was. Nader onderzoek gaf aan dat de galerijplaat op de volgende onderdelen afweek van de oorspronkelijke constructietekeningen en de bijbehorende berekeningen:

- de galerijplaat was 130 mm dik, in plaats van 120 mm (hogere permanente belasting);
- de aanwezige dekvloer (in een dikte tot 30 mm) was niet voorzien in de berekeningen;
- de positie van de wapening was, uit het oogpunt van sterkte van de vloeren, beduidend ongunstiger dan op de tekeningen aangegeven (gemiddeld 87 mm in plaats van 97 mm boven de onderkant).

De betonkwaliteit en sterkte van de wapening bleken in overeenstemming met de verwachtingen volgend uit de berekeningen en tekeningen. Uit controleberekeningen bleek dat het draagvermogen van de constructie door de afwijkingen van het ontwerp weliswaar lager was dan beoogd, maar dat dit gegeven alleen niet zou hebben geleid tot afkeuren.

Nader onderzoek leverde verder het volgende op:

- De aansluiting van enkele galerijplaten op de achterliggende betonnen gevelbalk / verdiepingsvloer vertoonde buigscheuren. Deze buigscheuren zijn vermoedelijk al tijdens de bouw ontstaan, maar waren door de afwerkvloer aan het oog onttrokken en hadden alleen door gericht destructief onderzoek kunnen worden ontdekt.
- In de scheuren zijn concentraties chloriden aanwezig, die zeer lokaal (ter plaatse van de scheur) op de relatief dunne wapeningsstaven (Ø 6 mm) hebben geleid tot een significante vermindering van de doorsnede van een groot aantal staven als gevolg van corrosie. Deze chloriden zijn vermoedelijk al tientallen jaren geleden via deze buigscheuren van buitenaf naar binnen gedrongen en zijn naar alle waarschijnlijkheid afkomstig van het gebruik van (dooi)zouten, ter bestrijding van gladheid. Omdat de corrosieproducten zich aan de buitenzijde van de betonnen galerijvloer niet aftekenden, kon

het optreden van corrosie in de periode vóór het bezwijken van de galerijplaat (praktisch gezien) niet worden waargenomen.

Vastgesteld is dat de galerijplaat zonder voorafgaande waarschuwing (zichtbare doorbuiging, scheuren en/of roestsporen) is bezweken. Op basis van de onderzoeksresultaten is dit bezwijken als volgt verklaard:

- Water met daarin opgeloste chloriden, aanwezig door het gebruik van dooizouten voor gladheidbestrijding, is in de buigscheuren gedrongen en heeft reeds vele jaren geleden de wapeningsstaven bereikt. Door deze chloriden zijn de wapeningsstaven, juist op de plaats waar de wapeningsstaven maximaal worden belast, gaan corroderen (putcorrosie).
- Door deze chloride geïnitieerde wapeningscorrosie is de doorsnede van de wapeningsstaven in de loop der jaren verder afgenomen. Op het moment van bezwijken waren de resterende doorsneden van alle staven van de galerijplaat zeer gering.
- In vergelijking met de ontwerpberekeningen was er sprake van grotere belastingen (grotere vloerdikte en een extra afwerkvloer) en een lagere ligging van het wapeningsstaal. Na een gebruikperiode van 46 jaar was het draagvermogen van de vloerplaat, door corrosie van het wapeningsstaal, zodanig afgenomen dat de galerijplaat plotseling bezweek.

De volledige onderzoeksrapporten met betrekking tot de schade bij de Antillenflat zijn te vinden op de site van EconStruct: <http://www.econstruct.nl/Antillenflat/Antillenflat.htm>

Elf andere flatgebouwen

Na het bekend worden van de resultaten van het onderzoek aan de Antillenflat, hebben twee woningcorporaties, WoonFriesland en Elkie, in nauw overleg met de gemeente Leeuwarden, aan een onderzoeksteam opdracht verstrekt 11 vergelijkbare flatgebouwen in deze gemeente te onderzoeken en te beoordelen. Deze flatgebouwen zijn gebouwd in de periode 1950-1965 en waren in 2012 dus 47 tot 62 jaar oud.

Het onderzoek heeft zich geconcentreerd op de eventuele aanwezigheid van een scheur ter plaatse van de aansluiting van de galerijplaten met de achterliggende betonnen gevelbalk / verdiepingsvloer, de aanwezigheid van chloriden in het beton, het eventueel corroderen van de wapening in de kritische doorsnede (gevelvlak), de hoogteligging van de wapening en de aanwezige permanente belasting.

Ook bij deze 11 flatgebouwen zijn afwijkingen van het ontwerp geconstateerd. Deze afwijkingen hebben elk, in meer of mindere mate, een ongunstige invloed op het constructieve draagvermogen van de beschouwde vloerplaten. Bij alle onderzochte balkon- en galerijplaten ligt de wapening lager in de doorsnede dan zou mogen worden verwacht. Mede door de relatief dunne plaatdikten (ca. 90 – 130 mm), resulteert een lagere ligging van de wapening in een significant lager draagvermogen. Ook lag bij alle onderzochte platen de afvoergoot nabij de kritische doorsnede (gevelvlak), wat een geconcentreerde water- en chloridenbelasting in de eventuele scheuren tot gevolg heeft.

Bij 3 flatgebouwen is geconcludeerd dat het draagvermogen van de galerijvloeren, met de aanwezige betonddoorsnede, wapening en hoogteligging hiervan, niet voldoet aan de eisen volgens de wettelijke bouwregelgeving voor bestaande bouw (het zogeheten afkeurniveau).

Bij 3 andere flatgebouwen was het berekende draagvermogen voldoende, maar is in de galerijplaten aantasting van de wapening in de vorm van putcorrosie aangetroffen. In deze platen hebben (van buitenaf ingedrongen) chloriden de corrosie geïnitieerd. Op basis van een geschatte afname van de wapeningsdoorsnede door corrosie, in combinatie met de (te) lage ligging van de wapening en de aanwezige belastingen, is vervolgens geconcludeerd dat ook het draagvermogen van deze 3 flatgebouwen niet voldoet aan de eisen volgens de wettelijke bouwregelgeving voor bestaande bouw. Waarom bij de uitkragende vloeren van deze 3 flatgebouwen corrosie van de wapening is opgetreden is niet met zekerheid vastgesteld. Buigscheuren bij de aansluiting van de onderzochte galerijplaten op de achterliggende gevelbalk zijn niet aangetroffen. Wel doet een grondige reparatie van de galerijen tijdens de gebruikperiode vermoeden dat er een verband is met eerder geconstateerde, maar niet nader gedocumenteerde, problemen. De betondekking aan de bovenzijde van de galerijvloeren is bij de circa 20 jaar geleden uitgevoerde reparatie tot op de wapening verwijderd, waarna een nieuwe cementgebonden afwerklaag en een coating zijn aangebracht. Mogelijk dat reeds voor het uitvoeren van dit herstel al chloriden waren ingedrongen en dat de toegepaste herstmethode niet afdoende is geweest om (verdergaande) corrosie te voorkomen.

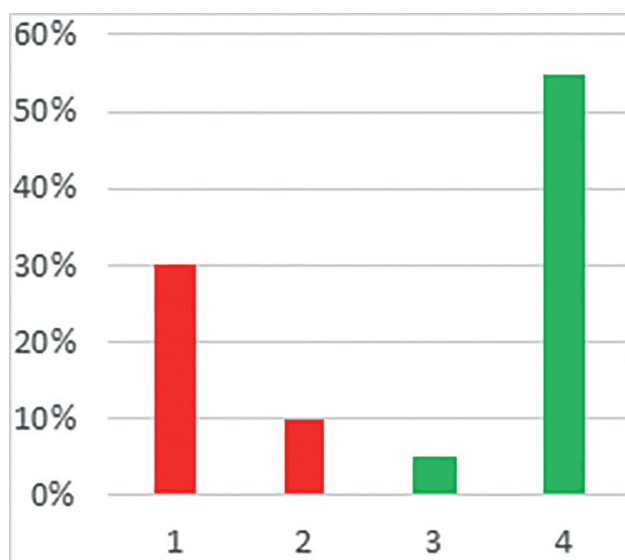
Bij de overige 5 van de 11 flatgebouwen is tijdens het onderzoek geen corrosie van de wapening aangetroffen. Op basis van de onderzoeksresultaten is geconclu-

deerd dat de constructieve veiligheid van de onderzochte galerij- en balkonvloeren in deze flatgebouwen voldoet aan het afkeurniveau.

Onderzoeken uitgevoerd vanaf januari 2013

Het protocol is vanaf het verschijnen veel gebruikt. In april 2014 zijn de ervaringen van een aantal bureaus uitgewisseld. In het totaal zijn onderzoeken van circa 150 flatgebouwen geïnventariseerd. De resultaten hiervan kunnen als volgt worden samengevat:

- Bij ca. 30% van de flatgebouwen bleken galerijvloeren of/of balkons niet te voldoen aan de minimum eisen voor constructieve veiligheid van bestaande bouw, omdat de aanwezige constructie leidde tot een uiterste momentweerstand die lager was dan de rekenwaarde van het moment volgend uit de blijvende belastingen en de opgelegde gelijkmatig verdeelde belasting (van 2,0 kN/m² voor galerijvloeren en 2,5 kN/m² voor balkons).
- Bij ca. 10% van de flatgebouwen was de rekenwaarde van het moment lager dan de uiterste momentweerstand, maar werd corrosie van de wapening vastgesteld op grond waarvan alsnog geconcludeerd moest worden dat niet werd voldaan of op korte termijn niet meer zou worden voldaan aan de eisen voor constructieve veiligheid van bestaande bouw.
- Bij ca. 5% van de flatgebouwen is een zodanig robuuste wapening aangetroffen dat is afgezien van onderzoek naar de (kans op) corrosie; de robuustheid van de wapening volgt daarbij uit een rekenkundige controle van de momentweerstand met een gereduceerde wapening.
- Bij de overige ca. 55% flatgebouwen is na onderzoek naar o.a. de configuratie en sterkte van de wapening en de kans op en de mate van corrosie, geconcludeerd dat de constructie voldoet aan de eisen voor de constructieve veiligheid van bestaande bouw.
- Resumerend: bij 40% (30%+10%) van de flatgebouwen werd niet voldaan of zou op korte termijn niet meer worden voldaan aan de eisen voor constructieve veiligheid van bestaande bouw; bij 60% (5% + 55%) van de flatgebouwen werd voldaan aan de eisen voor constructieve veiligheid van bestaande bouw, zie figuur B1-1.



Figuur B1-1 Resultaten van onderzoeken van ca. 150 flatgebouwen:

1. afgekeurd: $M_{Ed} > M_{Rd}$
2. afgekeurd: corrosie
3. goedgekeurd: robuuste wapening
4. goedgekeurd: geen corrosie en $M_{Ed} \leq M_{Rd}$

Overige vermeldenswaardige bevindingen zijn:

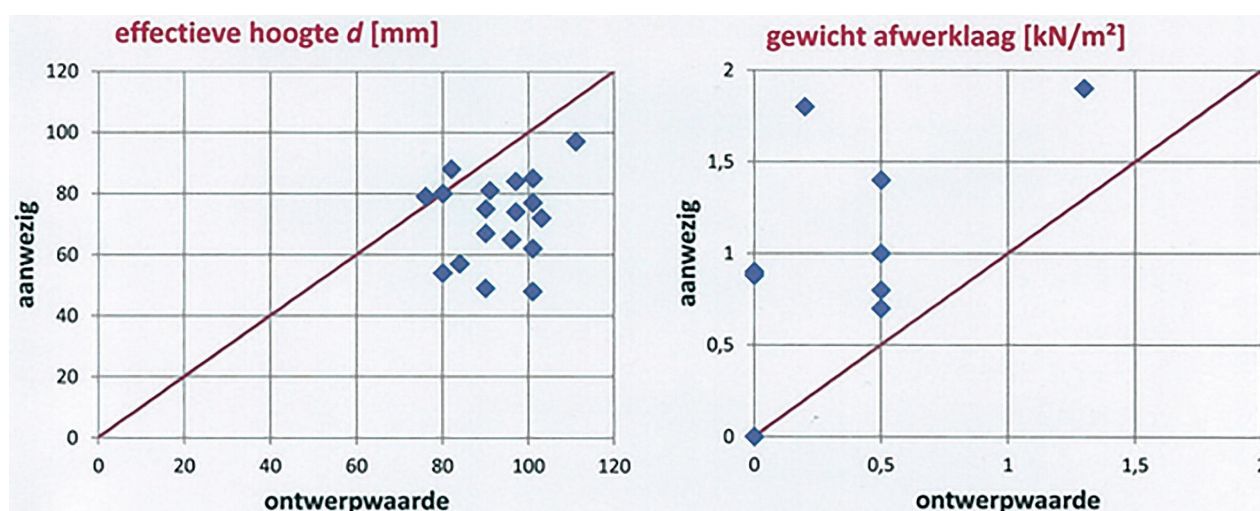
- Puntlast en lijnlast bleken met toepassing de vloeiïjnen theorie meestal niet maatgevend;
- In figuur B1-2 zijn de in enkele woongebouwen de aangetroffen waarden van de effectieve hoogte en het gewicht van de afwerklaag vergeleken met de ontwerpwaarden; deze waarnemingen bevestigen dat een lagere effectieve hoogte en een hogere permanente belasting veel voorkomende afwijkingen zijn.
- Bij het uitvoeren van onderzoeken aan de hand van dit protocol zijn geen ervaringen opgedaan die aanleiding zijn om bij de herziening van het protocol in 2014 van een risicogestuurde aanpak af te wijken.

Maatregelen naar aanleiding van de onderzoeken vanaf 2013

In die gevallen waarin de constructieve veiligheid niet voldeed zijn op voorstel van de constructie- en onderzoeksbureaus maatregelen genomen. Als tijdelijke maatregel is in een groot aantal gevallen gekozen voor stempelen. In die gevallen waar geen corrosie in het spel was, konden soms aanpassingen aan de constructie worden uitgevoerd, waardoor alsnog werd voldaan. De aanpassingen bestonden onder meer uit het reduceren van de blijvende belasting, het inlijmen van wapening en/of aanbrengen van een extra draagweg door middel van kolommen.

Ervaringen vanuit Engeland

In CROSS newsletters 33 en 34 van januari 2014, respectievelijk april 2014 is gepubliceerd over ervaringen in Engeland met uitkragende galerijvloeren. Het betreft een instorting van een galerijvloer en onderzoeken naar de constructieve veiligheid van uitkragende galerijvloeren van hetzelfde type als in de galerijflats in Nederland uit de jaren 1950-1970. De lagere ligging van de wapeningstaven dan op grond van het ontwerp zou mogen worden verwacht, wordt als belangrijkste oorzaak voor constructieve onveiligheid genoemd. Verder wordt geconcludeerd dat onderzoek naar en beoordeling van de constructieve veiligheid van uitkragende galerijvloeren van galerijflats uit de jaren 1950-1970 noodzakelijk is en dat daarbij een risicogestuurde aanpak aan te bevelen is. Zie www.structural-safety.org



Figuur B1-2 Relatie tussen ontwerpwaarden en tijdens onderzoeken aangetroffen waarden.

Bijlage 2 Vloeilijmentheorie

Bij het beoordelen van een bestaande galerijconstructie moet de constructie ook gecontroleerd worden voor de situatie dat de galerij wordt belast door een lijnlast op de rand van de uitkraging q_{II} , of een puntlast die aangrijpt op een oppervlak van $0,5 \times 0,5 \text{ m}^2$. In het algemeen is bij deze locale belastingen de situatie waarbij de lijnlast aangrijpt op de hoek van een galerijplaat, direct naast een eventueel aanwezige voeg, maatgevend. Conform NEN-EN 1991-1-1 is de lengte van de lijnlast, hierna aangeduid met de variabele b , gelijk aan 1 meter.

Het beoordelen van de effecten van de lijnlast kan, indien voldoende vervormingscapaciteit aanwezig is (zie par. 5.6 van NEN-EN 1992-1-1), worden uitgevoerd door het toepassen van de vloeilijmentheorie. Hierna is een beschrijving opgenomen van de vloeilijmentheorie voor deze specifieke situatie. Aangenomen is dat de galerijplaat, naast de lijnlast ten gevolge van de veranderlijke belasting, wordt belast door een gelijkmatig verdeelde last p_{Ed} en een lijnlast ten gevolge van het gewicht van de vloerafscheiding q_{Ed} . Tevens is aangenomen dat de uiterst opneembare momenten, over de lengte van de vloeilijnen constant van grootte zijn.

Het schema van de constructie, met daarbij de relevante parameters is geschetst in figuur B2-1.

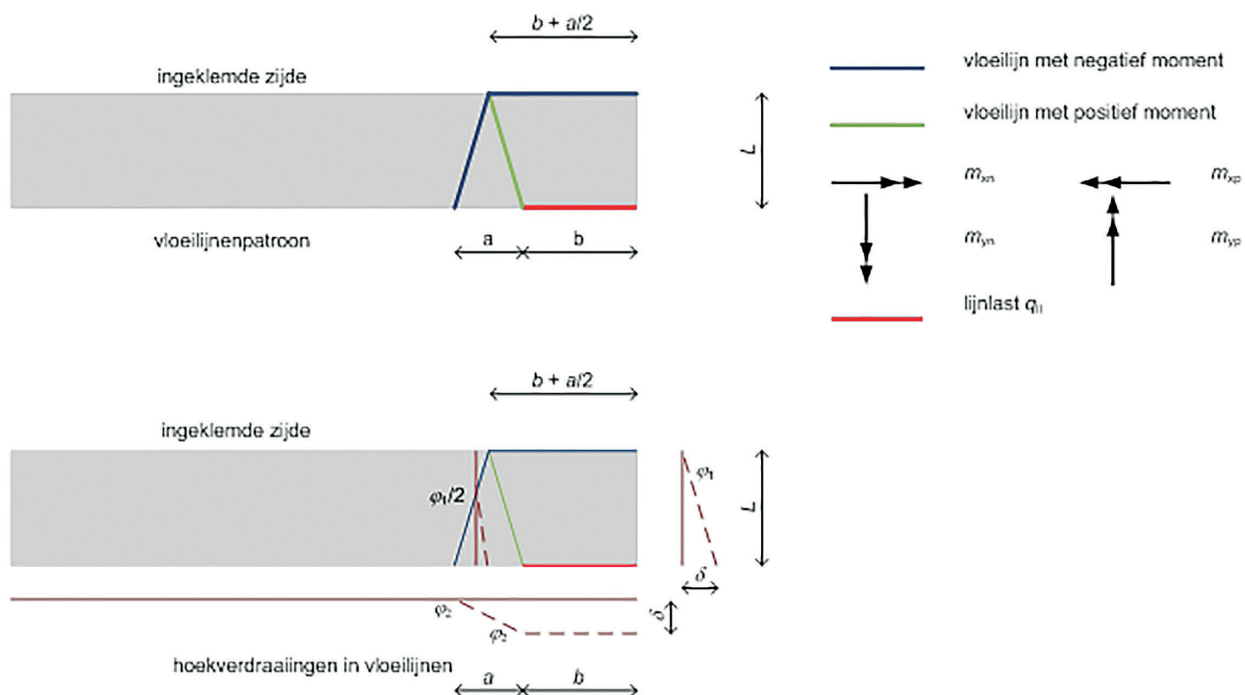
In het geschetste schema is de grootte van de variabele a onbekend. Dit is de afstand tussen beide vloeilijnen aan de rand van de plaat. Omdat de vloeilijmentheorie een zogeheten bovengrensbepending is, moet gezocht worden naar de waarde van a waarbij de opneembare lijnlast q_{II} het kleinst is.

De uiterst opneembare lijnlast kan worden gevonden door de inwendige en uitwendige arbeid te beschrijven en deze aan elkaar gelijk te stellen.

De uitwendige arbeid wordt hierna beschreven voor de aanwezige rekenwaarde van de belastingen en een zakking δ van de rand van de plaat onder de lijnlast q_{II} .

$$A_u = p_{Ed} \left(b L \frac{\delta}{2} + \frac{a L \delta}{4} + \frac{a L \delta}{2} \frac{\delta}{3} \right) + q_{Ed} \left(b \delta + a \frac{\delta}{2} \right) + q_{II} b \delta$$

Bij een beschrijving van de inwendige arbeid wordt de arbeid in de 'schuine' vloeilijnen beschreven door de vloeilijn te ontbinden in de twee orthogonale richtingen en vervolgens voor die orthogonale richtingen de juiste hoekverdraaiing φ en vloeimomenten in rekening te brengen. Zowel de negatieve als de positieve momenten worden beide als positief getal ingevoerd.



Figuur B2-1 Schema van de constructie met vloeilijnenpatroon en bepaling van de rotatie in de vloeilijnen.

Op basis hiervan kan de inwendige arbeid worden beschreven als:

$$A_i = \left(b + \frac{a}{2}\right) m_{xn} \varphi_1 + \frac{a}{2} (m_{xp} + m_{xn}) \frac{\varphi_1}{2} + L (m_{yp} + m_{yn}) \varphi_2$$

De hoekverdraaiing φ_1 is gelijk aan:

$$\frac{\delta}{L}$$

De hoekverdraaiing φ_2 is gelijk aan:

$$\frac{\delta}{a}$$

De vergelijking voor de inwendige arbeid kan dan als volgt worden herschreven:

$$A_i = \left(b + \frac{a}{2}\right) m_{xn} \frac{\delta}{L} + \frac{a}{2} (m_{xp} + m_{xn}) \frac{\delta}{2L} + L (m_{yp} + m_{yn}) \frac{\delta}{a}$$

Bij een gelijkstelling van de inwendige en uitwendige arbeid vervalt de variabele δ en kan de uiterst opneembare lijnlast q_{II} worden gevonden als functie van de variabele a .

$$q_{II}(a) = \frac{L(m_{yn} + m_{yp})}{ab} + \frac{a(3m_{xn} + m_{xp})}{4Lb} + \frac{m_{xn}}{L} - \frac{q_{Ed}(a + 2b)}{2b} - \frac{L p_{Ed}(a + 2b)}{4b}$$

De kleinste waarde van q_{II} (a) wordt gevonden als de afgeleide van de functie $q_{II}(a)$ gelijk is aan nul. Voor de afgeleide kan de volgende vergelijking worden gevonden:

$$\frac{dq_{II}}{da} = -\frac{L(m_{yn} + m_{yp})}{a^2b} + \frac{3m_{xn} + m_{xp}}{4Lb} - \frac{q_{Ed}}{2b} - \frac{L p_{Ed}}{4b}$$

De waarde voor a_{min} , de grootte van a waarbij de laagste waarde van q_{II} wordt gevonden, volgt uit:

$$\frac{dq_{II}}{da} = 0$$

Hieruit is af te leiden dat:

$$a_{min} = L \sqrt{\frac{4(m_{yn} + m_{yp})}{3m_{xn} + m_{xp} - 2L q_{Ed} - L^2 p_{Ed}}}$$

De uiterst opneembare lijnlast volgt dan uit:

$$q_{II}(a_{min}) = \frac{L(m_{yn} + m_{yp})}{a_{min}b} + \frac{a_{min}(3m_{xn} + m_{xp})}{4Lb} + \frac{m_{xn}}{L} - \frac{q_{Ed}(a_{min} + 2b)}{2b} - \frac{L p_{Ed}(a_{min} + 2b)}{4b}$$

Bijlage 3 Conversietabellen

Voor het beoordelen van de constructieve veiligheid van bestaande betonconstructies moet, tot het verschijnen van NEN 8702, gebruik worden gemaakt van NEN-EN 1992-1-1 (Eurocode 2). In de diverse voorgangers van deze norm zijn andere kwaliteitsaanduidingen voor beton en betonstaal gebruikt. In de onderstaande tabellen is een conversie aangegeven van deze oude kwaliteitsaanduidingen naar aanduidingen en/of beschrijvingen die bij gebruik van NEN-EN 1992-1-1 kunnen worden toegepast. De tabellen zijn ontleend aan de Richtlijnen Beoordeling Kunstwerken (RBK), versie 1.0, van RWS.

Tabel 3-1 Overzicht van oude betonsterkteklassen voor toepassing met NEN-EN 1992-1-1.

Betonnorm	NEN-EN 1992-1-1		
Betonkwaliteit	Sterkteklasse	f_{ck} [N/mm ²]	$f_{ck,cube}$ [N/mm ²]
GBV1950			
K 150 ^a	C 8/10	8	10
K 200 ^a	C 11/13	11	13
K 250 ^a	C 13,5/16,5	13,5	16,5
GBV 1962			
K 160	C 9/11	9	11
K 225	C 13/16	13	16
K 300	C 19/22	19	22
K 400	C 28/34	28	34
K 450	C 32/39	32	39
VB 74 + VB 74/84			
B 12,5	C 10/12,5	10	12,5
B 17,5	C 14/17,5	14	17,5
B 22,5	C 18/22,5	18	22,5
B 30	C 25/30	25	30
B 37,5	C 30/37,5	30	37,5
B 45	C 35/45	35	45
B 52,5	C 47,5/52,5	47,5	52,5
B60	C 50/60	50	60
VBC 1990 / VBC 1995			
B15	C 12/15	12	15
B25	C 20/25	20	25
B35	C 28/35	28	35
B45	C 35/45	35	45
B55	C 45/55	45	55
B65	C 53/65	53	65

^a De aanduiding met K-waarden was nog niet ingevoerd. Het beton werd onderscheiden in één beton zonder bouwcontrole en twee betonklassen bij toepassing van bouwcontrole waarbij de toegelaten spanning afhankelijk was van de gemeten kubusdruksterkte. Als een indeling gelijk aan de GBV 1962 wordt aangehouden dan kunnen de volgende betonkwaliteiten worden onderscheiden:

K 150, geen bouwplaatscontrole, een kubusdruksterkte van ten minste 15 N/mm²

K 200, bouwplaatscontrole, een kubusdruksterkte van ten minste 20 N/mm²

K 250, bouwplaatscontrole, een kubusdruksterkte van ten minste 25 N/mm²

Tabel 3-2 Overzicht van oude betonstaalsoorten voor toepassing met NEN-EN 1992-1-1.

Betonnorm	NEN-EN 1992-1-1		
Betonstaalsoort	f_{yk} [N/mm ²]	f_{yd} [N/mm ²]	ductiliteitsklasse
GBV1950			
QR22	220	191	B
QR24	240	209	B
QR30	300	240 ^a	B
QR36	360	270 ^a	B
QR42	420	300 ^a	B
QRn36	360	270 ^a	A ^b
QRn42	420	300 ^a	A ^b
QRn48	480	330 ^a	A ^b
QRn54	540	360 ^a	A ^b
GBV1962			
QR22	220	191	B
QR24	240	209	B
QR32	320	270 ^a	B
QR40	400	330 ^a	B
QR48	480	390 ^a	B
QRn32	320	270 ^a	A ^b
QRn40	400	330 ^a	A ^b
QRn48	480	390 ^a	A ^b
VB 74 + VB 74/84			
FeB 220HW	220	191	B
FeB 400 HW, HWL	400	348	B
FeB 500 HW	500	435	B
FeB 400 HK	400	348	B
FeB 500 HK	500	435	B
FeB 500 HKN, HWN	500	435	A
VBC 1990 / VBC 1995			
Staven:			
FeB 220 HWL	220	191	B
FeB 400 HWL, HK	400	348	B
FeB 500 HWL, HK	500	435	B
FeB 500 HKN	500	435	A
Netten:			
FeB 500 HKN, HWN	500	435	A

^a Op basis van de in de oorspronkelijke norm toegelaten spanningen is een lagere waarde voor f_{yd} bepaald dan op basis van NEN-EN 1992-1-1 zou volgen uit f_{yk} .

^b Op basis van de oorspronkelijke eisen is de staalsoort ingedeeld in ductiliteitsklasse A. Al naar gelang de betreffende productiewijze is het mogelijk dat het betonstaal ook voldoet aan de eisen voor ductiliteitsklasse B; dit dient echter per situatie door onderzoek aangetoond te worden.

Tijdens het onderzoek naar de constructieve veiligheid van uitkragende betonnen vloeren kunnen verschillende meet- en onderzoeksmethoden worden ingezet. In deze bijlage worden enkele relevante meet- en onderzoeksmethodes beknopt beschreven.

Algemeen

Aan de bovenzijde van de vloerplaten kunnen de volgende onderzoeken worden uitgevoerd:

- bepalen van de wapeningsconfiguratie (hart-op-hart afstand hoofdwapening, enkel of dubbel net) en diameter hoofdwapening;
- boren van betonkernen voor het bepalen van de dikte van afwerklaag en de vloerplaten, de positie van het wapeningsstaal, het chloridgehalte en de eventuele aanwezigheid van scheuren in de vloerplaat ter plaatse van de kim;
- monsternamen van wapeningsstaal voor het vaststellen van relevante materiaaleigenschappen;
- uitvoeren van potentiaalmetingen en vrijhakken van wapeningsstaven om de kans op wapeningscorrosie te beoordelen.

Aan de onderzijde van de platen kunnen de volgende onderzoeken worden uitgevoerd:

- bepalen hart-op-hart afstand hoofdwapening;
- bepalen van de positie van het wapeningsstaal / de hefboomsarm;
- meten van de doorbuiging van de platen.

Detecteren wapening – Elektromagnetisch (niet-destructief)

Met hiervoor geëigende apparatuur kunnen de wapeningsstaven in het beton op niet-destructieve wijze worden gelokaliseerd. Deze techniek is gebaseerd op het opwekken van een magnetisch veld in de wapeningsstaven en het detecteren van deze velden. De sterkte van dit veld is afhankelijk van de diameter van en de hoogteligging op de wapening. Door analyse van de meetgegevens worden het aantal wapeningsstaven, hun positie en de (indicatieve) diameter van de wapeningsstaven bepaald.

Met deze techniek kan tot ongeveer 8 cm diep de wapening worden vastgesteld. Toch kan niet altijd alle aanwezige wapening tot deze diepte worden waargenomen/onderscheiden. Dit is met name het geval wanneer:

- wapeningsstaven worden “afgeschermd” door staven erboven;
- staven dicht tegen elkaar liggen; staven met een hart-op-hart afstand < 40 mm worden doorgaans niet afzonderlijk onderscheiden.

Met deze meetmethode zijn drie soorten metingen mogelijk:

- Spotmeting, waarbij met een traditionele dekkingsmeter de positie, hoogteligging en de (indicatieve) diameter van de wapeningsstaven wordt bepaald.
- Linescans (Ferroskan), waarbij relatief snel de positie en de hoogteligging van de wapeningsstaven en het aantal staven, die over een grote lengte in een rechte lijn naast elkaar liggen, worden gemeten.
- Veldscans (Ferroskan), waarbij in een veld van $0,6 \text{ m}^1 \times 0,6 \text{ m}^1$ in twee richtingen de hart-op-hart afstanden van zowel de hoofd- als de verdeelwapening worden vastgelegd. Aan de hand van deze veldscans kan indicatief ook de diameter van de verschillende wapeningsstaven worden bepaald. De nauwkeurigheid van de bepaling van de diameter is afhankelijk van:
 - de staafdiameter;
 - de grootte van de hoogteligging (onnauwkeurig bij een dekking groter dan 50 mm);
 - de aanwezigheid van andere wapening (onnauwkeurig bij een hart-op-hart afstand ≤ 80 mm).

Voor de staafdiameter moet in gunstige gevallen rekening worden gehouden met een spreiding in het meetresultaat van ± 1 handelsmaat. Bij gelaste netten of wapeningskorven en kleinere diameters kan dit onnauwkeuriger zijn. Bij veel omringende wapening en/of grote dekkingen is deze nauwkeurigheid niet of nauwelijks haalbaar. Wanneer een hogere nauwkeurigheid noodzakelijk is, kan dit door het uitvoeren van destructief onderzoek worden verkregen.

Detecteren wapening – Radar (niet-destructief)

Bij radaronderzoek wordt een elektromagnetische golf in de te inspecteren betonconstructie “gestuurd”. De aanwezige wapeningsstaven en eventuele voorspankabels reflecteren de straling. Een meetsonde registreert, in het meetgebied van deze elektromagnetische golven, zogeheten “radarprofielen”: een dwarsdoorsnede van het beton en de wapening. Met radar kan tot ca. $0,3 \text{ m}$ à $0,5 \text{ m}$ diep in beton worden “gekeken”. De indringing van de radargolven is onder andere afhankelijk van de hoeveelheid wapening en de frequentie van de antenne. Bij een hoge wapeningsdichtheid (doorgaans hart-op-hart < 100 mm) kan vaak niet dieper

dan de eerste laag wapening worden gedetecteerd. Daarnaast worden staven die te dicht tegen elkaar liggen (doorgaans hart-op-hart < 40mm) en staven die achter andere staven liggen niet gesignaleerd. De wapeningsdiameter kan met radar niet worden gemeten.

Een relatief eenvoudig te hanteren radarapparaat is de Hilti PS1000 Betonradar. Hiermee wordt met een hoogfrequent radarsignaal het beton tot een diepte van maximaal 0,3 m¹ ingescand. Na digitale verwerking van de radargegevens is het met dit apparaat mogelijk om 3D-beelden te krijgen van de doorsnede van het beton, met de daarin opgenomen wapening, leidingen et cetera. Op deze wijze is eenvoudig te bepalen of er sprake is van een enkel of dubbel wapeningsnet in de te onderzoeken platen. Ook worden de resultaten van de metingen met de radarapparatuur gebruikt ter controle of aanvulling van de Ferroskan metingen.

Boren betonkernen (destructief)

Door het plaatselijk boren van betonkernen en het hierbij gericht kiezen van de boorlocaties, boorricting en boordiepte kan relatief veel informatie worden verkregen, zoals:

- verificatie van de positie van, de betondekking op en de staafdiameter van de hoofdwapening, door deze op te meten met een schuifmaat;
- visueel vaststellen of er sprake is van corrosie op het wapeningsstaal en/of constructieve scheuren op de overgang van de achterliggende betonnen gevelbalk/verdiepingsvloer naar de uitkragende betonnen vloer;
- de laagdiktes van de (zand/cement) dekvloeren en de dikte van de betonnen vloerplaat.

Bovendien kunnen de betonkernen worden gebruikt voor het verkrijgen van monstermateriaal, waaraan het chloridgehalte van het beton wordt geanalyseerd en/of de druksterkte van het beton worden beproefd.

Potentiaalmetingen

Om te onderzoeken of er sprake is van corrosieactiviteit op de wapening van de te onderzoeken platen kunnen potentiaalmetingen worden uitgevoerd. Bij deze metingen wordt het betonoppervlak afgetast met een referentie-elektrode en wordt het potentiaalverschil gemeten tussen de wapening en de referentie-elektrode. Deze metingen worden bij voorkeur uitgevoerd in een strook van circa 0,30 m¹ nabij de kritische

doorsnede van de vloerplaat, recht boven iedere staaf hoofdwapening met een hart-op-hart afstand van ongeveer 5 cm. Voor deze metingen moeten de aanwezige afwerklagen, die een goede werking van de potentiaalmetingen belemmeren, van de betonplaat worden verwijderd.

Deze metingen worden veelal uitgevoerd volgens de Amerikaanse norm ASTM C876-91 of het Duitse Merkblatt B3. Een ter zake kundig bedrijf moet beoordelen welke criteria voor de te onderzoeken vloerplaten relevant zijn. Voor het beoordelen van de meetresultaten is het belangrijk te weten wat de normaalpotentiaal van de gebruikte referentiecel is. De potentialen worden namelijk gemeten ten opzichte van de normaalpotentiaal van de referentiecel. Zo wordt veelal uitgegaan van een potentiaal ten opzichte van CSE (Cu/CuSO₄).

De gemeten potentialen kunnen worden uitgezet in contour diagrammen met iso-potentiaal lijnen of kleurenkaarten. Doordat bij potentiaalmetingen nooit sprake is van “harde” waardes waarbij corrosie al dan niet waarschijnlijk is, moet bij iedere meetveld ten minste één referentie worden bepaald. Hiervoor wordt de wapening vrij gemaakt ter plaatse van de meest negatief gemeten potentiaalwaarde (grootste kans op corrosieactiviteit), waarna de mate van corrosie op die locatie wordt vastgesteld. Op deze wijze wordt duidelijkheid verkregen over de kans op corrosie, die te verwachten is bij een bepaalde potentiaalwaarde op het moment van meten.

Voor het uitvoeren van potentiaalmetingen gelden de volgende aandachtspunten:

- Voor betrouwbare meetresultaten, moet het beton ruim van tevoren te worden bevochtigd, voor een maximale geleidbaarheid van het beton. Wanneer het water zeer snel in de vloer trekt is dit een aanwijzing dat het beton erg droog en/of poreus is.
- Indien het wapeningsnet “elektrisch continu” is, kan volstaan worden met op één locatie de wapening aan te boren en elektrisch contact te maken. Als het wapeningsstaal niet onderling is verbonden worden geen/foutieve potentiaalwaarden gemeten.
- Aanwezige afwerklagen (coatings, hydrofobeerlagen) kunnen de betrouwbaarheid van de metingen negatief beïnvloeden.
- In principe worden de potentiaalverschillen van de eerste laag wapening vanaf het oppervlak gemeten. Deze laag heeft de kleinste afstand tussen de meetpunten (wapening en betonoppervlak) en aldus de laagste weerstand van het beton te overwinnen.

Bij de laagste potentiaal is de kans op chloriden geïnitieerde (put)corrosie van de wapening meestal het grootst.

- De meetresultaten worden beïnvloed door diverse factoren zoals dikte en kwaliteit van de betondekking, vochtigheid van het beton, temperatuur, et cetera.

Bijlage 5 Overzicht vermelde normen

NEN-EN 1990	NEN-EN 1990+A1+A1/ C2:2011 Eurocode: Grondslagen van het constructief ontwerp
NEN-EN 1991-1-1	NEN-EN 1991-1-1+C1:2011 Eurocode 1: Belastingen op constructies Deel 1-1: Algemene belastingen – Volumieke gewichten, eigen gewicht en opgelegde belastingen voor gebouwen.
NEN-EN 1992-1-1	NEN-EN 1992-1-1+C2:2011 Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen.
NEN-EN 14629	NEN-EN 14629:2007 Producten en systemen voor de bescherming en reparatie van betonconstructies – Beproevingsmethoden – Bepaling van het chloridgehalte in beton.
NEN-EN-ISO 15630-1	NEN-EN-ISO 15630-1:2010 Staal voor de wapening en voorspanning van beton - Beproevingsmethoden - Deel 1: Wapeningsstaven en -draden
NEN 8700	NEN 8700:2011 Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk bij verbouw en afkeuren - Grondslagen
NEN 8701	NEN 8701:2011 Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk bij verbouwen en afkeuren - Belastingen

SBRCURnet

SBRCURnet is een onafhankelijk kennisnetwerk voor de gehele bouwsector. Wij zorgen er voor dat professionals in de Burgerlijke en Utiliteitsbouw en in de Grond-Weg- en Waterbouw hun werk beter kunnen doen.

Wij brengen partijen uit de bouwsector met elkaar in contact voor het ontwikkelen van nieuwe vakkennis over actuele vraagstukken. Wij voorzien de sector van betrouwbare, bruikbare vakkennis. Dat doen we door kennis uit te geven in een breed scala aan producten en diensten. Bovendien helpen we bij het implementeren van kennis.

ARTIKELNUMMER 673,14
ISBN 978-90-5367-601-1